

Ökonomische Einschätzung der Potentiale der Biotechnologie

Julia Schüler

1 Einführung

Die Diskussionen über neue Möglichkeiten der Biotechnologie bzw. ihrer kommerziellen Umsetzung reißen nicht ab. Seit zu Mitte der siebziger Jahre der Einsatz gentechnischer Verfahren die bisherige klassische Anwendung der Biotechnologie revolutionierte, entwickelt sich dieser Bereich mit *zunehmender Dynamik*. Desöfteren als *Schlüsseltechnologie* (Hartmann, 1998) für das 21. Jahrhundert bezeichnet, wird der Biotechnologie für die Zukunft ein *ähnlicher Stellenwert* beigemessen, wie heute der *Informationstechnologie*.

Wie stellt sich das *ökonomische Potential* dieser Technologie nun dar und welche Faktoren sind entscheidend für die *kommerzielle Entwicklung*? Diese Punkte gilt es in diesem Beitrag zu erörtern.

Als Grundlage zur ökonomischen Einschätzung der Potentiale der Biotechnologie wird in diesem Kapitel zunächst in Abschnitt 1.1 eine *Begriffsbestimmung* und Charakterisierung des Technologiebereiches vorgenommen. Anschließend erfolgt in 1.2 ein Überblick zur weiteren *Vorgehensweise* dieses Beitrages.

1.1 Begriffsbestimmung und Charakterisierung der Biotechnologie

Bis heute gibt es *keine universell* verwendete standardisierte *Definition* der Biotechnologie. Vielmehr existieren diverse ähnlich ausgerichtete Beschreibungen, von denen vielfach genutzte und anerkannte Definitionen die im folgenden aufgeführten *Begriffsbestimmungen fachlicher Organisationen* darstellen.

Biotechnologie behandelt den Einsatz biologischer Prozesse im Rahmen technischer Verfahren und industrieller Produktionen. Sie ist also eine anwendungsorientierte Wissenschaft der Mikrobiologie und Biochemie in enger Verbindung mit der technischen Chemie und der Verfahrenstechnik. Dieses ist eine Definition der *DECHEMA* (Deutsche Gesellschaft für Chemisches Apparatewesen, Chemische Technik und Biotechnologie e.V.) (DECHEMA, 1974, S. 3).

Die *OECD* (Organisation for Economic Cooperation and Development) versteht unter Biotechnologie die Anwendung wissenschaftlicher und technischer

Grundsätze auf die Verarbeitung von Werkstoffen durch biologische Substanzen, um Güter und Dienstleistungen zu liefern (OECD, 1989, S. 4).

Diese Definition wurde inzwischen von der *EFB* (European Federation of Biotechnology) folgendermaßen aktualisiert (Bull/Holt/Lilly, 1984, S. 29): Biotechnologie ist die integrierte Anwendung von Biochemie, Mikrobiologie und Verfahrenstechnik mit dem Ziel, die technische Anwendung des Potentials der Mikroorganismen, Zell- und Gewebekulturen sowie Teilen davon zu erreichen.

Neben diesen *technisch-wissenschaftlich* orientierten Begriffen der Biotechnologie ist im Hinblick auf die Untersuchung ihrer wirtschaftlichen Bedeutung eine *Definition kommerzieller Ausrichtung* aufzustellen, so daß sie auf folgende Weise umschrieben werden soll:

Biotechnologie ermöglicht den Einsatz von auf biologischen Erkenntnissen beruhenden Know-Hows zur Schaffung von Wertschöpfung.

Abzugrenzen von der Biotechnologie ist die *Bionik*, die teilweise auch als Biotechnik bezeichnet wird (Nachtigall, 1971, S. 1). Bionik stellt ein Kunstwort aus den Begriffen Biologie und Technik dar (Zerbst, 1987, S. 6) und zeichnet sich im Unterschied zur hier zu erklärenden Biotechnik bzw. Biotechnologie dadurch aus, daß Prinzipien biologischer Systeme nicht direkt eingesetzt, sondern mit Hilfe physikalischer und chemischer Technologien nachgeahmt werden.

Weiterhin abzugrenzen von der Biotechnologie ist die *Medizintechnik* bzw. biomedizinische Technik (teilweise auch als Biotechnik bezeichnet), die in der Regel den Einsatz physikalischer und chemischer Technologien zum Nutzen der medizinischen Diagnostik und Therapie umfaßt. Im allgemeinen wird auch die *Landwirtschaft* und die traditionelle Form von Ackerbau und Viehzucht nicht als Biotechnologie aufgefaßt, obwohl durch deren moderne Entwicklung die Verbindung beider Bereiche bereits zunimmt bzw. deutlich zunehmen wird.

Untrennbar mit der Biotechnologie wird seit den siebziger Jahren die *Gentechnologie* bzw. Gentechnik diskutiert. Unter *Gentechnik* werden allgemein Methoden und Verfahren zur Identifikation, Isolierung und Untersuchung der Träger der genetischen Information, zur Neukombination der Erbinformation außerhalb eines Organismus sowie zur Einführung der neukombinierten Erbinformation in einen Organismus und deren Expression zusammengefaßt. (BMFT, 1991, S. 31)

Unter Anwendung einer *präziser Begriffsexplikation* muß Gentechnik allerdings als ein genereller Oberbegriff für alle Verfahren verwendet werden, die dem Ziel der Erbgutuntersuchung und -veränderung dienen. Gentechnik umfaßt somit auch die klassischen genetischen Verfahren der Erbgutveränderung durch Mutation und Züchtung sowie deren moderne Verfahrensanalogien der gezielten Rekombination und Zellfusion. Daher beschreibt die oben aufgeführte Definition zur Gentechnik nur ein (Teil)Verfahren, das exakterweise als rekombinante DNA-Technik bezeichnet wird. Andere im Gebiet der Humanmedizin oder Tierzüchtung angewandte Techniken zum Zweck der Fortpflanzung (Reproduktionstechniken),

wie in-vitro-Fertilisation oder Embryotransfer und -splitting sind von der Gentechnik *abzugrenzen*. (Schüler, 1996, S. 21)

Gentechnologie, desöfteren auch als neue Biotechnologie bezeichnet, ist somit als Teilgebiet der Biotechnologie zu verstehen, das als vorgelagerter Schritt in biologischen Produktionsprozessen zu deren Optimierung bzw. als fundamentales Hilfsmittel in der Forschung Einsatz findet.

Über die rein begriffliche Abgrenzung von Biotechnologie hinaus, ist dieser Bereich gekennzeichnet durch eine Menge von *Einzeltechnologien* (vgl. folgend Becher et al., 1997, S. 23-25). So umfaßt Biotechnologie einerseits als *Oberbegriff* verschiedene Verfahrensschritte zur *biologischen Stoffproduktion* wie z.B. Fermentation von Mikroorganismen, Zell- und Gewebekulturen oder enzymatische Katalysen. Zudem wird ebenfalls als Biotechnologie bezeichnet der Einsatz von Biosensorik bzw. Bioelektronik, Biopolymeren und stoffabbauenden Vorgängen.

Andererseits werden aber auch *chemische und physikalische Verfahren* zur Stoffaufbereitung bzw. -separation und zur Prozesskontrolle sowie Analytik bzw. Sensorik zum Bereich der Biotechnologie gerechnet, obwohl sie streng genommen keine Anwendung biologischer Prinzipien repräsentieren.

Gentechnik als *Oberbegriff* für diverse Methoden der Erbgutuntersuchung, -durchmischung und -veränderung umfaßt gewöhnlich molekularbiologische Techniken der DNA-Rekombination, DNA/RNA-Preparation, -Sequenzierung und -Synthese, der Genamplifikation sowie der Erzeugung transgener Systeme in Pflanzen und Tieren. Ferner beruhen auch geplante Veränderungen von Protein-Strukturen durch Protein Engineering sowie Eingriffe in das RNA-System von Zellen durch sogenannte Antisense-Techniken letztlich auf der Beeinflussung zellulärer DNA-Sequenzen. Wie bereits erwähnt, dienen neben der Technik der DNA-Rekombination auch zellbiologische Verfahren der Zellfusion bzw. Hybridoma-Technik sowie die klassische Mutagenese mit Hilfe chemischer und physikalischer Techniken dem Ziel der Veränderung bzw. Durchmischung des Erbgutes.

1.2 Vorgehensweise zur ökonomischen Einschätzung der Potentiale der Biotechnologie

Nach der grundlegenden Begriffsbestimmung und Charakterisierung der Biotechnologie kann im nun folgenden *Kapitel 2* zur *Einschätzung ihrer ökonomischen Potentiale* übergegangen werden.

Dazu erfolgt in Abschnitt 2.1 die Vorstellung des *Problemlösungspotentials* der Biotechnologie, gegliedert nach einzelnen *Anwendungsfeldern*. In Abschnitt 2.2 werden dann einige ihrer kommerziellen Eckdaten durch die quantitative Darstellung von globalen Marktgegebenheiten aufgezeigt sowie speziell die *kommerzielle Situation in Deutschland* beschrieben.

Schließlich wird in Abschnitt 2.3 eine Diskussion zur *Umsetzung* des ökonomischen Potentials der Biotechnologie vorgenommen, die im einzelnen aufbauend auf der Erstellung eines *Innovationsmodell* zur Biotechnologie die *Charakteristik* des biotechnologischen Innovationssystems ermöglicht. Dabei können zum einen besonderen Merkmale aufgezeigt sowie zum anderen struktur- und prozeßbezogene Defizite im Innovationsprozeß identifiziert werden.

Der vorliegende Beitrag schließt in *Kapitel 3* mit einer Vorstellung möglicher *Ansatzpunkte* für die erfolgreiche zukünftige *Entwicklung* der kommerziellen Biotechnologie.

2 Das ökonomische Potential der Biotechnologie

Das ökonomische Potential der Biotechnologie zeichnet sich insbesondere durch die *Breite an Anwendungsgebieten* bzw. einen *Charakter* als *Querschnittstechnologie* aus. Zumeist bietet sie die Möglichkeit der Schaffung *neuartiger Problemlösungen* oder aber sie erlaubt *qualitativ bessere*, wie z.B. umweltfreundlichere und/oder *kostengünstigere* Verfahren zur Bereitstellung bereits bestehender Problemlösungen und wirkt zu diesen somit *substituierend*.

2.1 Problemlösungspotentiale in einzelnen Anwendungsfeldern

Bei der Darstellung von Lösungspotentialen in einzelnen Anwendungsfeldern der Biotechnologie (überwiegend entnommen aus Becher et al., 1997, S. 26-32) wird der Schwerpunkt der Betrachtung auf *moderne* bzw. *neue Verfahren* und *Produkte* dieses Technologiebereiches gelegt. Gewöhnlich erfolgt eine Aufteilung derzeitiger Hauptanwendungsfelder auf die Segmente Pharma bzw. Medizin, Agrarwirtschaft und Lebensmittel, Chemie, Umwelt sowie sonstige Anwendungsfelder.

2.1.1 Das Segment Pharma bzw. Medizin

Der Bereich *Pharma* wird vertreten durch die biotechnologische *Herstellung* von *Therapeutika*, *Impfstoffen* und *medizinischen Diagnostika* mit Hilfe enzymatischer Katalyse sowie der *Fermentation* von Mikroorganismen und Zellkulturen.

Der Einsatz *gentechnischer* Verfahren unterstützt diesen Prozess, indem bei Zellen auf molekularer Ebene das Erbgut als Informationsträger des Produktionsablaufes verändert und somit im übertragenen Sinne die "Produktionshardware" der Zellen dahingehend gesteuert wird, daß *Prozesse* z.B. *schneller* ablaufen oder *mehr Ausbeute* erbringen. Die *Veränderung* der *Erbinformation* von Mikroorganismen sowie die Erzeugung transgener Pflanzen und Tiere ermöglicht desweite-

ren die gentechnische Herstellung pharmazeutisch wirksamer humaner, tierischer und pflanzlicher *Körperstoffe*, die *bisher* lediglich *klassisch* durch chemische oder physikalische *Extraktion* gewonnen werden konnten. Der *Vorteil* der Substitution durch gentechnische Verfahren liegt darin, daß die *Stoffe reiner*, wie beispielsweise frei von Krankheitserregern und in *größeren Mengen* vorliegen.

Teilweise können *Therapeutika* hergestellt werden, die auf der komplexen Struktur von Protein-Molekülen bzw. anderen Wirkmechanismen wie bisher beruhen und damit *völlig neuartig* sind. Derartig produzierte *Biopharmazeutika* wären auf klassisch chemisch-synthetischem Wege nicht wirtschaftlich herzustellen.

Der Einsatz molekularbiologischer Methoden ist durch die *Aufklärung* grundlegender *Körperfunktionen* auch im Bereich der *medizinischen Forschung* bedeutend, da mit Hilfe der Kenntnis gesunder Funktionen auch krankhafte Abweichungen bzw. Funktionsstörungen besser nachvollzogen werden können. Damit ist der gezielte Einsatz von Medikamenten und Therapien möglich, der nicht wie bisher meist auf symptomatischer Wirkungseinstufung beruht, sondern sehr viel effizienter an der *Ursache* von Krankheiten ansetzt. In diesem Zusammenhang sind auch zunehmende Anstrengungen im Bereich der *Genomforschung* und der *somatischen Gentherapie* zu sehen.

2.1.2 Das Segment Agrarwirtschaft und Lebensmittel

Die Anwendungsbereiche *Agrar* und *Lebensmittel* sind nicht immer absolut voneinander zu trennen, da die Landwirtschaft im Prinzip durch die Produktion pflanzlicher und tierischer Produkte Ausgangspunkt jeder Lebensmittelherstellung ist. Wie schon erwähnt, umfaßt die herkömmliche Definition von Biotechnologie nicht landwirtschaftliche Anwendungen, es werden in diesem Bereich jedoch z.B. Zellkulturverfahren zur *Pflanzen-* und *Tierzucht* eingesetzt. Auch für die Gebiete *Pflanzenschutz* bzw. *Veterinärmedizin* werden biotechnologische Verfahren in Form der Produktion biologischer Pflanzenschutzmittel bzw. biotechnologisch hergestellter Medikamente gegen Tierkrankheiten genutzt.

Die Anwendung *gentechnischer* Verfahren konzentriert sich im Bereich *Agrar* einerseits auf die *Erforschung* von *Stoffwechselfunktionen* der Pflanzen und andererseits auf die Erzeugung *neuartiger transgener Pflanzen* mit Krankheits- und Pestizid-Resistenzen sowie veränderter stofflicher Zusammensetzung mit Vorteilen für die industrielle Weiterverarbeitung. Da diese meist für den Bereich *Lebensmittel* erfolgt, profitieren entsprechende Industrien von *verbesserten Verarbeitungseigenschaften* der Inhaltsstoffe genetisch veränderter Organismen. Neben der besseren Verarbeitung besteht als weiteres Ziel des Einsatzes gentechnischer Methoden für die Lebensmittelerzeugung, die *Herstellung qualitativ höherwertiger Lebensmittel* mit z.B. geringerem Fettanteil, besseren Geschmacks- oder ernährungsphysiologischen Eigenschaften sowie geringerer allergener Wir-

kung (sogenannter *Novel Food*). Letztlich sind die gentechnisch eingeführten Qualitätsverbesserungen jedoch auf verändertes Pflanzen- bzw. Tiermaterial zurückzuführen, deren Produktion in den Agrarbereich fällt. Es wird hierdurch nochmal die *enge Verzahnung* beider Bereiche deutlich. Zudem können für die Produktion von Lebensmittelzusatzstoffen, wie Vitaminen, Aminosäuren, Hilfsstoffen oder Enzymen gentechnische Verfahren eingesetzt werden, deren Herstellung jedoch im Grunde genommen in den Bereich Chemie fällt.

Rein biotechnologische Prozesse nehmen neben der Anwendung nicht-biologischer Verfahren einen Anteil von 25% an der Verarbeitung von Lebensmittelrohwaren ein (Hammes/Hertel, 1995, S. 121). Zur Anwendung kommen hierbei vor allem enzymatische Verfahren mit Vorteilen der schonenden, energiesparenden und ökonomischen Prozeßführung sowie Starterkulturen für fermentative Prozesse.

2.1.3 Das Segment Chemie

Im Bereich der *chemischen Industrie* ermöglicht die Anwendung biotechnologischer Verfahren die *Herstellung von Grund- und Feinchemikalien*. Mit Hilfe der enzymatischen Katalyse oder der Fermentation von Mikroorganismen ist z.B. die Produktion von Ethanol, Butanol, Aceton, Glycerin, Zitronensäure, Acrylamid und anderen chemischen Rohstoffen in großen Mengen möglich. Der Vorteil biologischer zu chemischen Technologien liegt hauptsächlich in der höheren *Umweltfreundlichkeit* beruhend auf *geringerem Energieeinsatz*, der Möglichkeit der *Verwendung nachwachsender Rohstoffe* als Ausgangsmaterialien und dem *Verzicht auf aggressive Reaktionschemikalien*.

Die Anwendung biotechnologischer Verfahren in diesem Bereich wird daher oftmals auch als "*sanfte Chemie*" bezeichnet. *Teilweise* ist durch die Selektivität, Verkürzung und Vereinfachung von Synthesen auch ein *Kostenvorteil* gegeben..

Der Bereich *Feinchemikalien* zeichnet sich dadurch aus, daß die Moleküle komplexer als die beispielhaft genannten Grundchemikalien sind und somit auf chemisch-synthetischen Wege desöfteren nicht wirtschaftlich herzustellen sind. Dies gilt z.B. für die Produktion von Vitaminen und Aminosäuren, die weiter als Nahrungsmittelzusatzstoffe Anwendung finden. Auch die Herstellung von *Enzymen*, die im Prinzip auch als Feinchemikalien zu betrachten sind, ist aufgrund ihrer Komplexität nur biotechnologisch möglich. *Abnehmer* der produzierten Enzyme sind wiederum in vielen Feldern zu finden, so beispielsweise in der Lebensmittelverarbeitung, Waschmittel-, Textil- und Papierherstellung sowie in der chemischen Stoffsynthese und -umwandlung selbst.

Der Einsatz *gentechnischer* Verfahren ermöglicht erneut unterstützend die *Optimierung der Produktionsorganismen* z.B. hinsichtlich Ausbeute und Effizienz.

2.1.4 Das Segment Umwelt

Im Anwendungsfeld *Umwelt* konzentriert sich der Einsatz der Biotechnologie auf die *mikrobiologische Behandlung* von Abluft, Abwasser und Abfall sowie auf die mikrobielle Bodensanierung. Es wird hier das Potential von Mikroorganismen genutzt, in ihrem Stoffwechsel Schadstoffe in nicht-umweltschädliche Substanzen zu wandeln. Im Vergleich zu konventionellen mechanischen, thermischen und chemischen Verfahren der Schadstoffentfernung sind *biologische* Verfahren oft *einfacher* und *kostengünstiger* sowie vielfach *effektiver*. Gentechnische Methoden können hier ebenfalls zur Optimierung der schadstoffabbauenden Organismen verwendet werden.

2.1.5 Sonstige Anwendungsfelder

Die bisher genannten Anwendungsfelder der Biotechnologie konzentrieren sich auf gängige Verfahren der Stoffsynthese bzw. -wandlung und den Stoffabbau. Nicht zu vernachlässigen ist jedoch das Potential weiterer *Querschnittsanwendungen* biologischer Technologien, wie z.B. von *Sensorik*, *Mikrosystemtechnik* und *Energietechniken*, die Wirkungen für andere Bereiche wie Mikroelektronik und Energieerzeugung haben können. Diese noch stark in der *Entwicklungsphase* stehenden und damit weit in die *Zukunft* reichenden Anwendungen sind vor allem auf das Vermögen biologischer Organismen zur *Informations- und Energie-Transformation* zurückzuführen. Desweiteren wird auch die Leistungsfähigkeit zur *Materie-Transformation* bisher nur zu einem Teil genutzt, d.h. biologische Problemlösungen beruhend auf *Trenn- und Verbindungstechniken* sowie *natürliche Werkstoffe* finden bisher eher *selten* Einsatz.

Eine Übersicht zu sehr abstrakt aufgegliederten Anwendungszwecken der Biotechnologie, deren Einzeltechnologien zu Technologietypen zusammengefaßt wurden, unter Angabe von Anwendungsfeldern zeigt nachfolgende Abbildung 1 (Schüler, 1996, S. 97). Es wird hierdurch ein sehr weit gespanntes, aber denkbare Potential illustriert.

Beschäftigten, wovon gut die *Hälfte* in der *biotechnologischen FuE* arbeiten und die insgesamt einen *Umsatz* in Höhe von *577 Mio. DM* erwirtschaften.

Der Beitrag der Großunternehmen nimmt dagegen zur Zeit mit weiteren knapp *drei Mrd. DM Umsatz* , der direkt in der Biotechnologie erzielt wird, eine bedeutendere Rolle ein. Dennoch stellt dieser lediglich einen Anteil von vier Prozent des gesamten Umsatzes dar, wobei gleichzeitig bereits mehr als ein Drittel, d.h. 6800 Mitarbeiter, der Gesamt-Beschäftigten in FuE für die Biotechnologie forscht und entwickelt.

Insgesamt stiegen die Investitionen in die deutsche Biotech-Industrie in den letzten zwei Jahren um mehr als das Fünffache, d.h. von 75 Mio. DM im Jahr 1996 auf 424,3 Mio. DM in 1998. Für Gründungswillige stehen nach Expertenmeinung zur Zeit etwa eine Mrd. DM zur Finanzierung zur Verfügung.

2.3 Umsetzung des ökonomischen Potentials der Biotechnologie

Die Umsetzung technologischer und auch anderer neuer Problemlösungspotentiale im Sinne einer wirtschaftlichen Anwendung bzw. Markteinführung wird auch als *Innovation* bezeichnet (Pfeiffer/Staudt, 1975, Sp. 1943 und Bullinger, 1994, S. 35). Zur Einschätzung der Umsetzungsmöglichkeiten des ökonomischen Potentials der Biotechnologie ist es daher zunächst hilfreich, ein *Modell* zur Strukturierung des *biotechnologischen Innovationssystems* zu erstellen. Basierend darauf lassen sich dann einige seiner Eigenarten ökonomischer Ausrichtung aufzeigen sowie Faktoren bestimmen, die eine beeinflussende Wirkung auf die weitere kommerzielle Entwicklung der Biotechnologie haben.

2.3.1 Modell zum biotechnologischen Innovationssystem

Zur *Modellbildung* kann auf ein allgemeines Modell zurückgegriffen werden, mit dem sich im Prinzip jedes *Wertschöpfungsnetzwerk* abbilden läßt und das letztlich auf Anwendung *systemtheoretischer* Grundlagen beruht (Schüler, 1996, S. 108).

Das Modell setzt ein System Unternehmen in Relation zu seinen *Umsystemen* , die wesentlich in ein ökonomisches und ein sonstiges Umsystem differenziert werden können. Das *ökonomische* Umsystem umfaßt Elemente wie das Konkurrenzumfeld und in der Wertschöpfungskette vor- und nachgelagerte sowie komplementäre Umfelder. Dem Bereich des *sonstigen* Umsystems lassen sich ein staatlich-rechtliches, ein mediales und gesellschaftliches sowie ein naturwissenschaftlich-technisches Umfeld zuordnen.

Aufbauend auf einem derartigen Strukturierungsmodell kann ein allgemeines technologisches *Innovationsmodell* erstellt werden, das den Innovationsprozeß bzw. seine inhärenten Komponenten abbildet. Das Zentrum des Modells stellt den

Kern des Innovationsprozesses dar, welcher ausgehend von der Entstehung neuen technologischen Wissens über die Entwicklung marktfähiger Problemlösungen zur Verbreitung auf dem Markt führt. Dabei steht der Kern, der an sich wiederum als eigenes System betrachtet werden kann, in *Wechselwirkung* mit den ihn *umgebenden Feldern* des ökonomischen und sonstigen Umsystem.

In Bezug auf die Biotechnologie ergibt sich nun ein bestimmtes *Muster* des Innovationsmodells, welches als *biotechnologisches Innovationssystem* bezeichnet, überblicksartig durch die nachfolgende Abbildung 2 dargelegt wird. Mit Hilfe des Modells ist neben der *Bezeichnung* einzelner *struktureller Elemente* des Kerns bzw. der Umsysteme gleichzeitig eine *Kennzeichnung prozessualer Elemente* möglich. Dieses erlaubt in Folge im Rahmen einer *Charakteristik* des biotechnologischen Innovationssystem neben der Darlegung seiner besonderen *Merkmale* auch die Diskussion struktur- und prozeßbezogener *Defizite* bei der Umsetzung des ökonomischen Potentials der Biotechnologie.

2.3.2 Charakteristik des biotechnologischen Innovationssystems

Die Biotechnologie zeichnet sich im *Vergleich* zu anderen *Hochtechnologien* in ihren technisch-wirtschaftlichen Strukturen und Entwicklungsdeterminanten bzw. dem notwendigen Innovationsumfeld durch einige *besondere Merkmale* aus.

Jedoch liegt die "Einzigartigkeit" des biotechnologischen Innovationssystems *nicht* in den hervorragenden *Entwicklungschancen* oder vielfältigen *Anwendungsfeldern* , es bestehen vielmehr folgende Eigenarten (Becher et al., 1995, S. 47ff.).

Eine *entscheidende Rolle* im Innovationsprozeß nehmen nach Meinung von Experten sehr *kleine, junge* und äußerst *risikobereite Unternehmen* ein, indem sie - vor allem in den USA - als Quelle und Motor für eine erfolgreiche Entwicklung der Biotechnologie fungieren. Gerade sie sind in der Lage, die sehr starke *FuE-Intensität* und *Wissenschaftsbindung* dieses Gebietes umzusetzen. Eine *ähnlich* starke FuE-Intensität findet sich im Vergleich mit anderen Hochtechnologien nur in der *Luft- und Raumfahrtindustrie* , die dagegen durch *Großunternehmen* dominiert wird und zum größten Teil direkt *staatlich finanziert* ist. Aufgrund der Wissenschaftsbindung ist die *Notwendigkeit* zur *intensiven Kooperation* von Unternehmen mit Einrichtungen, die grundlagenorientierte Spitzenforschung betreiben, viel höher ausgeprägt als in anderen Technikgebieten. Eine weitere Besonderheit stellen die *hohen Finanzierungskosten* dar. So müssen z.B. für die Entwicklung neuer biotechnologischer Diagnostika mit 5 bis 100 Mio. \$, für Therapeutika sogar mit 150 bis 500 Mio. \$ Kosten bis zur Zulassung gerechnet werden. Diese sind, vor allem in den Bereichen Pharma und Landwirtschaft, meist mit einer *langen Entwicklungsdauer* verbunden. Im Vergleich mit anderen Innovationsgebieten ist daher die Distanz bis zum Erreichen eines Deckungsbeitrages und erst recht eines Gewinnes häufig sehr viel länger.

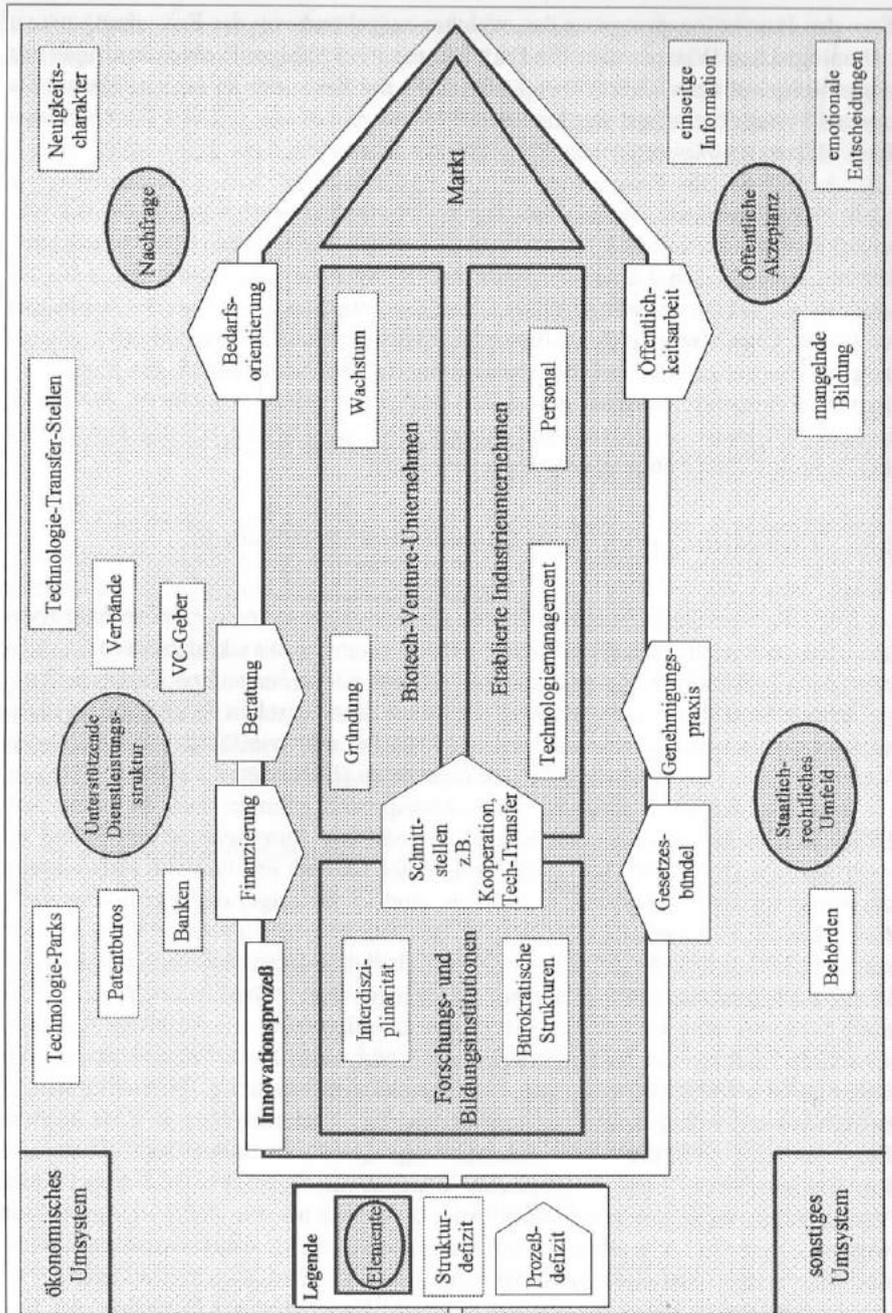


Abb. 2 Modell zum biotechnologischen Innovationssystem

Weiterhin ist *kennzeichnend*, daß die kommerzielle Entwicklung von *Faktoren* beeinflusst wird, die im Vergleich zu anderen Innovationsfeldern als wesentlich *komplexeres Wirkungsbindel* auftreten. Zur Komplexität der verschiedenen Entwicklungsfaktoren kommt hinzu, daß deren Reichweite sich in einzelnen *Hauptanwendungsfeldern* wie Pharma/Medizin, Diagnostik, Landwirtschaft, Nahrungsmittel, Umweltschutz und Chemie relativ stark *unterscheidet*. Gleiches gilt bei Betrachtung einzelner technologischer Teilbereiche der Biotechnologie, so z.B. allein schon bei der Differenzierung von Bio- und Gentechnologie.

Übersichtsartig können als die bedeutendsten beeinflussenden Faktoren genannt werden, die Forschung, die Finanzierung von FuE und weiteren unternehmerischen Aktivitäten, die Nachfrage nach biotechnologischen Problemlösungen und eng damit verbunden ihre Akzeptanz, die gesetzlichen und anderen staatlich getragenen Regulationen sowie ein gewisses Innovationsumfeld. Zudem sind neben derartigen externen auch unternehmensinterne Faktoren zu berücksichtigen (vgl. ähnlich und ausführlicher auch Streck/Pieper, 1997, S. 247-258).

Nachfolgend werden nun einzelne *Entwicklungsdeterminanten* in ihrer Bedeutung diskutiert, wobei der Schwerpunkt auf die Darlegung von *Defiziten* (vgl. auch Abbildung 2) bei der Kommerzialisierung der Biotechnologie gesetzt wird.

Wie bereits erwähnt, ist für die Biotechnologie besonders hervorzuheben ihre ausgeprägte *Forschungsintensität*. Daher ist die Umsetzung der in der Forschung gewonnenen Erkenntnisse in marktfähige Produkte und Verfahren beispielsweise abhängig von der intensiven *Zusammenarbeit* forschender, entwickelnder und vermarktender Gruppen, die in *Deutschland* teilweise *nicht ausreichend* gegeben ist. Hemmend erweisen sich beim Technologie-Transfer neben mangelnder *Interdisziplinarität* die meist grundlegend verschiedenen *Zielsetzungen* einzelner Beteiligter im Innovationsprozeß. Auch entstehen bei der Grundlagenforschung viele Ideen zur kommerziellen Nutzung erst *technologieinduziert* aus dem Potential der biologischen Forschungsergebnisse heraus, was meist einen intensiveren Suchprozeß nach marktfähigen Anwendungen zur Folge hat.

Aufgrund der hohen Kosten bzw. der langen Entwicklungszeiten hin zu einem marktfähigen biotechnologischen Produkt oder Verfahren ergibt sich ein besonderer *Bedarf nach geeigneter Finanzierung* entsprechender Aktivitäten. Gerade in den *USA* wird der kommerzielle Erfolg der modernen Biotechnologie durch eine hohe Verfügbarkeit an *Risikokapital* unterstützt. Obgleich dieses in der *Bundesrepublik* bisher *weniger* genutzt werden konnte, hat sich die Verfügbarkeit inzwischen sehr verbessert. Allerdings ist die tatsächliche Ausschöpfung insoweit problematisch, als daß einerseits die erforderliche Erstellung von Geschäftsplänen durch zumeist naturwissenschaftlich orientierte Unternehmensgründer mit Schwierigkeiten verbunden ist. Andererseits fehlt es zum Teil an ausreichenden Kenntnissen zur Beurteilung biotechnologischer Problemlösungen bei Finanzierungsträgern wie z.B. vor allem den Banken. Auch die Beiträge etablierter *Großunternehmen* konnten bislang zu keiner vergleichbaren Entwicklung der Biotechnologie wie in den *USA* beitragen. Die Bedeutung der *öffentlichen Finan-*

zierung von biotechnologischen FuE-Aktivitäten spielt daher hierzulande nach wie vor eine größere Rolle. Neben der Finanzierung von FuE ist aber auch der *Vermarktungsprozeß* je nach Anwendungsfeld mit nicht zu unterschätzenden *Kosten* verbunden. Gerade im Bereich *Pharma* sind aufwendige Zulassungs- und Vertriebsverfahren die Regel, die oft nur von größeren, *etablierten Unternehmen* übernommen werden können. Die Lösung entsprechender Problematik erfolgt desöfteren durch verschiedene Arten der Zusammenarbeit wie z.B. *Kooperationen*.

Mit der Vermarktung eng verbunden ist die *Nachfrage* nach biotechnologischen Problemlösungen. Eine unabdingbare Voraussetzung hierzu ist die *Akzeptanz* entsprechender Produkte und Verfahren beim Kunden. Aufgrund des ausgeprägten Neuigkeitscharakter der Bio- und insbesondere der Gentechnologie, nicht immer eindeutig vermittelbarer Chancen und Risiken sowie mangelnder Bildung ist deren Akzeptanz keine absolute Selbstverständlichkeit. Die starke *Einbeziehung einer Bedarfsorientierung* bei der Entwicklung unternehmerischer Angebote in der Biotechnologie gilt daher als eine *unabdingbare Grundlage* für die Planung erfolgreicher Bio-Innovationen. Obwohl die bisherige betriebliche Kommunikation bzw. Öffentlichkeitsarbeit oft nicht adäquat gestaltet ist, bestehen doch bei allen Beteiligten im Innovationsprozeß sowie von staatlicher Seite verstärkte Bemühungen notwendige *Aufklärungsarbeit* zu leisten.

Im Zusammenhang mit den Bemühungen zur gesteigerten Akzeptanz kann auch der Erlaß staatlicher *Gesetze* zum Umgang mit der Gentechnik bzw. die Schaffung einheitlicher *regulatorischer Grundlagen* gesehen werden. Der nicht informierte Kunde hat so z.B. die Möglichkeit, sich in gewisser Weise auf die Sicherheit gentechnischer Arbeitsverfahren zu verlassen, die für Industrie und Wissenschaft allgemein gültig sind. Rein sachlich gesehen ist davon auszugehen, daß das Gentechnik-Gesetz an sich *kein Innovationshemmnis* darstellen sollte, vielmehr ist es das gesamte *Bündel* mit zusätzlichen sicherheitsrechtlichen Vorschriften, das beeinflussend wirkt. Inwieweit zudem der Vollzug gesetzlicher Bestimmungen - und dies gilt nicht nur für das Gentechnik-Gesetz - einen *diffusionshemmenden Faktor* für die Umsetzung der Biotechnologie darstellt, ist manchmal noch ein umstrittener Punkt. Dermaßen teilweise seitens der Industrie bejaht, muß entgegnet werden, daß die Existenz von Regularien primär eine aktive Auseinandersetzung, d.h. frühzeitige Einplanung in den Innovationsprozeß verlangt. Ferner sind von staatlicher Seite aus Einflußfaktoren für die Kommerzialisierung der Bio- wie auch für andere Technologien durch Steuer-, Börsen-, Arbeits- und Hochschulgesetze sowie Patentrecht und Unternehmensrechtsformen und ähnliches gegeben.

Mit Blick auf Komponenten des *Innovationsumfeldes* sind, über gesetzliche Regularien hinaus, weitere *Faktoren infrastruktureller Art* von besonderer Bedeutung. So wird oft, wie für Finanzierungsfragen bereits erwähnt, der Existenz *beratender bzw. dienstleistender Stellen* eine wichtige Bedeutung beigemessen, die den zumeist maßgeblich naturwissenschaftlich vorgebildeten *Existenzgrün-*

dem für unternehmerische Fragen zur Seite stehen. Auf der anderen Seite ist auch Beratungsbedarf bei *diversifizierenden Unternehmen* vorhanden, welche wissenschaftliche Potentiale der Biotechnologie als kommerziell realisierbar einzuschätzen sind. Obwohl sich ein derartiges Angebot hierzulande bereits sehr verbessert hat, ist doch, im Vergleich zu den USA, noch ein Fortschritt möglich, der primär von der noch stärkeren Integration betriebswirtschaftlicher sowie spezifisch biowissenschaftlicher bzw. technologischer Aspekte abhängig ist.

Neben derartigen externen Entwicklungsdeterminanten nehmen im Bereich der Bio- wie auch bei anderen Technologien zudem *interne, unternehmensspezifische Erfolgsfaktoren* eine bedeutende Rolle bei der Umsetzung der technologischen Potentiale ein. So ist beispielsweise die effektive Erkennung, Analyse und Einschätzung des Technologiepotentials sowie die frühzeitige und aktive planerische Einbeziehung der Technologie und ihrer Rahmenbedingungen notwendig. Die Bewältigung solcher Aufgaben verlangt den Einsatz adäquater *Methoden*, wie z.B. des Technologiemanagements mit Hilfe eines Technologie-Portfolios (Pfeiffer/Weiß, 1995, S. 674f.) und qualifizierten *Personals*. Dieses sollte, mit Blick auf die Umsetzung biotechnologischer Potentiale, ein gewisses Grundverständnis des Technologiebereiches verbunden mit der Fähigkeit zu ökonomischen Einschätzungen aufweisen. Die Möglichkeit einer derartigen *Qualifizierung* ist in unserem derzeitigen Bildungssystem jedoch nicht ausreichend gegeben.

3 Ansatzpunkte für die erfolgreiche zukünftige Entwicklung der kommerziellen Biotechnologie

Zur ökonomischen Einschätzung der Potentiale der Biotechnologie erscheint es erforderlich, über die Darlegung von Defiziten hinaus, Ansatzpunkte für ihre erfolgreiche zukünftige Entwicklung aufzuzeigen. Im wesentlichen wird hierzu auf die Wiedergabe von *Expertenurteilen* zurückgegriffen, die zum einen direkt dem Bereich der *kommerziellen Biotechnologie* und zum anderen dem *öffentlichen Bereich*, basierend auf den Aussagen eines Technologierates entstammen.

Aus Sicht der Wirtschaft bestehen damit folgende Erfordernisse für die weitere erfolgreiche Entwicklung der kommerziellen Biotechnologie (Stadler, 1998):

- gründerfähige und gründerwillige Wissenschaftler
- erfahrenes Management
- Gründungsberatung
- Wagniskapital
- staatliche Finanzierungsförderung
- Zugang zu weiteren Kapitalquellen
- Reformmaßnahmen im steuerlichen Bereich
- Biotech-Netzwerke
- strategische Allianzen

Darüber hinaus können hier fachlich fundierte aktuelle Handlungsempfehlungen widergegeben werden, die einem Bericht des Rates für Forschung, Technologie und Innovation (Technologierat) zur Biotechnologie entstammen (BMBF, 1997, S. 13f.). Da sich der Technologierat unter anderem auch aus Vertretern der Wirtschaft zusammensetzt, liegen entsprechend Ansatzpunkte ähnlicher Ausrichtung vor, die sich mit den bereits erwähnten Erfordernissen teilweise überschneiden können. Insgesamt werden 96 einzelne Empfehlungen zu unterschiedlichen Problemgebieten vorgelegt, die in Übersicht allgemeine Aspekte zu Forschung, Technik und Anwendung sowie Aspekte insbesondere zu rechtlichen Rahmenbedingungen und gesellschaftlichen Herausforderungen umfassen. Aufgrund der Vielzahl an gegebenen Empfehlungen muß, im Rahmen dieser kurzen Vorstellung, deren Darstellung auf folgende - im Bericht als schwerpunktmäßig eingestufte - zu treffende Maßnahmen beschränkt werden:

- die Intensivierung der Zusammenarbeit zwischen Wirtschaft und Wissenschaft durch den Ausbau vorhandener und die Schaffung neuer Kooperationsformen, Kooperationsnetzwerke und Kooperationsplattformen;
- die Optimierung der Rahmenbedingungen für die biotechnologische Forschung und Entwicklung in Deutschland, vor allem durch geeignete Leistungsanreize für die Wissenschaft, aber auch durch regelmäßige Qualitätskontrollen von Forschungseinrichtungen und die Konzentration staatlicher Fördermittel auf leistungsfähige Kernbereiche;
- die Flexibilisierung von Ausbildungsstrukturen und Ausbildungsinhalten sowie die gezielte Förderung des wissenschaftlichen Nachwuchses;
- die Verbesserung struktureller und finanzieller Anreize für die Gründung neuer und den Ausbau vorhandener Unternehmen im Biotechnologiebereich;
- die effektivere Ausgestaltung des Rechtsschutzes sowie der kommerziellen Umsetzung und Nutzung biotechnologischer Erfindungen vor allem durch einen verbesserten Patentschutz und durch eine professionelle Verwertung von Forschungsergebnissen durch unabhängige, gewinnorientierte Patentverwertungsgesellschaften;
- die weitere Flexibilisierung und Harmonisierung der rechtlichen Rahmenbedingungen, um eine optimale Entwicklung der Biotechnologie zu ermöglichen, die zugleich schutzwürdige Interessen berücksichtigt;
- gezielte Maßnahmen und Aktivitäten, die eine differenzierte, ethische Aspekte integrierende Auseinandersetzung mit der Biotechnologie und Gentechnik ermöglichen. Diese richten sich auf die Schaffung eines gesellschaftlichen Umfeldes, das die wissenschaftlichen und wirtschaftlichen Potentiale der Biotechnologie erkennt und sie als ein zentrales Instrument der aktiven Gestaltung unserer Zukunft akzeptiert;
- die Beseitigung von spezifischen Entwicklungshemmnissen und die gezielte Förderung von innovativen Schwerpunktbereichen.

Literatur

- Bartholomäus, U./Miltner, F./Fürst, I. (1998): Gen-Ritter im Goldrausch, in: FOCUS Nr. 22 v. 25.5.98, S. 144-148
- Becher, G./Haker, K./Schüler, J./Schuppenhauer, M.R. (1997): Kommerzielle Bio- und Gentechnik in Nordrhein-Westfalen, Prognos AG, Basel 1997
- Becher, G./Holland, D./Menrad, K./Reiß, T./Herrmann, C./Konzack, T. (1995): Wirkungsanalyse zum Programm "Förderung der Biotechnologie in der Wirtschaft", Schlußbericht für das BMBF, Prognos AG, Fraunhofer-Institut für Systemtechnik und Innovationsforschung ISI, Forschungsagentur GmbH, Basel - Karlsruhe - Berlin, 1995
- BMBF (Bundesministerium für Bildung, Wissenschaft, Forschung und Technologie) (Hrsg.) (1997): Biotechnologie, Gentechnik und wirtschaftliche Innovation. Feststellungen und Empfehlungen des Rates für Forschung, Technologie und Innovation, Bonn 1997
- BMFT (Bundesministerium für Forschung und Technologie) (Hrsg.) (1991): Biotechnologie 2000. Programm der Bundesregierung, Bonn 1991
- Bullinger, H.-J. (1994): Einführung in das Technologiemanagement: Modelle, Methoden, Praxisbeispiele, Stuttgart 1994
- DECHEMA (Deutsche Gesellschaft für Chemisches Apparatewesen, Chemische Technik und Biotechnologie e.V) (1974): Biotechnologie - Eine Studie über Forschung und Entwicklung, Frankfurt a.M. 1974
- Hammes, W.P./Hertel, Ch. (1995): Neue biotechnologische Ansätze in der Lebensmittelproduktion und -verarbeitung, in: Biotechnologie - Gentechnik. Eine Chance für neue Industrien, hrsg. v. von Schell, T./Mohr, H., Berlin/Heidelberg 1995, S. 121-143
- Hartmann, M. (1998): Wissensmanagement mit der Technologiebilanz, in diesem Band
- ISB (Informationssekretariat Biotechnologie) (1998): Zahlen aus der Biotechnologie, in: <http://www.dechema.de/deutsch/isb/zahlen.htm> vom 18.5.98
- Klusmann, S. (1997): Die GENialen, in: manager magazin, September 1997, S. 123-133
- Köhler, I./Kremer, C. (1998): Erster deutscher Biotech-Report von Schitag, Ernst & Young, Vortrag am 27.5.98 auf der 16. Jahrestagung der Biotechnologen in der DECHEMA, Wiesbaden 1998
- Mahnke, H.-J. (1995): Biotechnologie: Deutschland holt auf, in: Die Welt v. 4.5.1995, S. 13
- Nachtigall, W. (1971): Biotechnik. Statische Konstruktionen in der Natur, Heidelberg 1971
- OECD (Organisation for Economic Cooperation and Development) (1989): Biotechnology. Economic and Wider Impacts, Paris 1989

- Pfeiffer, W./Staudt, E. (1975): Innovation, in: Handwörterbuch der Betriebswirtschaft, hrsg. v. Grochla, E./Wittmann, W., Stuttgart 1975, Sp. 1943-1953
- Pfeiffer, W./Weiß, E. (1995): Methoden zur Analyse und Bewertung technologischer Alternativen, in: Handbuch Technologiemanagement, hrsg. v. Zahn, E., Stuttgart 1995, S. 663-679
- Schüler, J. (1996): Strategisches Technologiemanagement in der Biotechnik. Analyse und Konzeption von Bio-Innovationen, Göttingen 1996
- Stadler, P. (1998): Biotechnologie in Deutschland: Bestandsaufnahme und zukünftige Erfordernisse, Vortrag von Prof. Dr. P. Stadler, Geschäftsführer der Artemis Pharmaceuticals AG i. G., Haan am 27.5.98 auf der 16. Jahrestagung der Biotechnologen in der DECHEMA, Wiesbaden 1998
- Streck, W.-R./Pieper, B. (1997): Die biotechnische Industrie in Deutschland: eine Branche im Aufbruch, ifo Studien zur Industriegewirtschaft Nr. 55, ifo Institut für Wirtschaftsforschung, München 1997
- Zerbst, E. W. (1987): Bionik. Biologische Funktionsprinzipien und ihre technischen Anwendungen, Stuttgart 1987