



Weißer Biotechnologie

Ökonomische und ökologische Chancen

Weißer Biotechnologie

Ökonomische und ökologische Chancen

Dokumentation der vom Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, dem Umweltbundesamt und der Deutschen Industrievereinigung Biotechnologie gemeinsam veranstalteten Fachtagung „Weiße Biotechnologie – Ökonomische und ökologische Chancen“ am 18. Oktober 2006 im Bundespresseamt, Berlin.

Herausgeber: Dr. Wolfgang Dubbert

Fachgebiet III 2.3 „Chemische Industrie, Energieerzeugung“
Umweltbundesamt
Wörlitzer Platz 1
06844 Dessau

Dr. Tina Heine

Deutsche Industrievereinigung Biotechnologie
Mainzer Landstraße 55
60329 Frankfurt am Main

Impressum: Umweltbundesamt
Wörlitzer Platz 1
06844 Dessau

Deutsche Industrievereinigung Biotechnologie
Mainzer Landstraße 55
60329 Frankfurt am Main

Inhalt

Vorwort von Michael Angrick und Ricardo Gent	[6]
Programm	[10]
Grußworte von Matthias Machnig, Andreas Troge und Bernward Garthoff	[11]
Garabed Antranikian: Die industrielle Biotechnologie – gegenwärtiger Stand in Forschung und Technik	[25]
Wolfgang Dubbert: Umweltentlastung durch biotechnische Verfahren	[35]
Friedhelm Balkenhohl: Weiße Biotechnologie: Biotech meets Chemistry	[41]
Michael Schedel: Weiße Biotechnologie in der Wirkstoffproduktion: Das Fallbeispiel Miglitol	[54]
Podiumsdiskussion	[62]
Die Referenten, die Herausgeber und der Moderator	[72]
Teilnehmerliste	[74]

Vorwort

Deutschland ist für die weiße Biotechnologie neben den USA der weltweit stärkste Standort für Entwicklung und Produktion. Was Expertise, Qualität von technischen Einrichtungen sowie Kapazität und Leistungsfähigkeit von Produktionsanlagen angeht, ist Deutschland in Europa die Nummer eins und teilt sich im weltweiten Ranking zusammen mit den USA die Führungsposition. Dies gilt ganz besonders für die Bereiche Verfahrensentwicklung, Produktion und Technik von Pharma und Chemie. Diese deutsche Vorreiterrolle gilt es zu erhalten und auszubauen. Aus diesem Grund arbeitet die Deutsche Industrievereinigung Biotechnologie (DIB) mit dem Umweltbundesamt zusammen, wenn es darum geht, die Potenziale der Weißen Biotechnologie in Deutschland in Politik und Gesellschaft sichtbar zu machen. Ein Forum dieser guten Zusammenarbeit war die gemeinsame Veranstaltung „Workshop Weiße Biotechnologie“ vom 18. Oktober 2006. Während der Veranstaltung wurde deutlich, dass die Weiße Biotechnologie eine Schlüsseltechnologie für die moderne industrielle Produktion ist.

Eine Studie des Fraunhofer Instituts ISI und des Deutschen Instituts für Wirtschaftsforschung im Auftrag der DIB und der Industriegewerkschaft Bergbau, Chemie und Energie sowie der Hans Böckler Stiftung ergab, dass zurzeit 258 000 bis 443 000 Arbeitsplätze direkt von der Biotechnologie beeinflusst sind (Direktbeschäftigte Anwender und Bereitsteller). Dieses Potenzial lässt sich bis zum Jahr 2020 auf 369 000 bis 596 000 Arbeitsplätze ausbauen – wenn die Rahmenbedingungen stimmen. Dieses Potenzial gilt es für Deutschland zu nutzen! Denn das Besondere am Beschäftigungspotenzial der Biotechnologie ist, dass es sich quer durch alle anwendungsnahen Branchen ausbreitet. Einen maßgeblichen Anteil daran hat die Weiße Biotechnologie, sie ist die Verknüpfung zu vielen Anwendungsfeldern der biotechnologischen Produktinnovationen.

Die Weiße Biotechnologie ermöglicht die Herstellung neuer Produkte zu wettbewerbsfähigen Bedingungen – eine notwendige Voraussetzung zur Etablierung von Produktneuheiten. Bei aller Euphorie um die Potentiale der weißen Biotechnologie wäre es allerdings falsch, einseitig und um jeden Preis allein auf die Biotechnologie zu setzen. Auch herkömmliche chemische Verfahren bleiben wichtig. Die Biotechnologie bietet zusätzlich zur herkömmlichen Chemie weitere Produktionswege, ist aber nicht zwingend die bessere Lösung. Biotechnologische Verfahren sind nicht per se den chemischen Verfahren überlegen – weder wirtschaftlich noch ökologisch. In jedem Einzelfall muss geprüft werden, welches Verfahren hinsichtlich Kosten, Energieverbrauch, Ressourcenschonung und Emissionen das bessere ist. Ein Beispiel hierfür ist Indigo, der Farbstoff für das berühmte Jeans-Blau.

Die chemische Synthese von Indigo ist auch heute noch biotechnologischen Verfahren wirtschaftlich und ökologisch überlegen.

Ein Problem beim Einsatz nachwachsender Rohstoffe in der Chemie ist bislang häufig die fehlende Wirtschaftlichkeit. Die Politik schließt hieraus gerne, dass die Industrie per Quote zum Einsatz von nachwachsenden Rohstoffen gezwungen werden müsse oder der Einsatz subventioniert werden müsse. Das ist der falsche Weg. Zwangsquoten gehen auf Kosten der Wettbewerbsfähigkeit der Industrie und Subventionen sind volkswirtschaftlich zu teuer.

Eine wichtige Voraussetzung für den wirtschaftlichen Erfolg von Produkten aus nachwachsenden Rohstoffen ist, dass die nachwachsenden Rohstoffe in der erforderlichen Qualität und Quantität zu wettbewerbsfähigen Preisen zur Verfügung stehen. Die Pflanzenbiotechnologie kann hierzu einen maßgeblichen Beitrag leisten. Dies wurde während der Veranstaltung daher auch mehrfach diskutiert. Aus diesem Grund muss Pflanzenbiotechnologie in Deutschland möglich sein und darf nicht durch ein rigides Gentechnikgesetz in der Anwendung verhindert werden.

Auch beim zentralen Rohstoff Zucker für die Fermentationsindustrie tun sich bereits kurz nach Umsetzung der europäischen Zuckermarktreform schwerwiegende Probleme auf. Die industrielle Biotechnologie ist auf wettbewerbsfähige Zuckerpreise angewiesen. Die derzeit gültige Zuckermarktordnung scheint die Nachfrage aber nicht befriedigen zu können, daher sind Ausweichmechanismen wie Importkontingente vom Weltmarkt notwendig.

Im Workshop wurde betont, dass Weiße, Grüne und Rote Biotechnologie nicht separat von einander betrachtet werden können, da sie eng miteinander zusammenhängen. Sie sind Teil einer gemeinsamen Wertschöpfungskette. Zwar zeigte der Workshop, dass die Industrievertreter mit den politischen Rahmenbedingungen für die industrielle Biotechnologie zufrieden sind, es wurde aber auch deutlich, dass die Biotechnologie eine gemeinsame Technologie ist, die in den verschiedensten Branchen Anwendung findet. Einzelne Branchen politisch zu diskriminieren ist fatal für die Wettbewerbsfähigkeit Deutschlands in diesem Gebiet. Denn die Synergien der Technologiefelder wirken auch an der Basis: Die Biotechnologie ist zuallererst eine Technologie, d.h. Entdeckungen und Fortschritte auf der Technologieebene finden Anwendung in allen drei Farben der Biotechnologie. Oder umgekehrt: Wird einer dieser Bereiche in der Weiterentwicklung behindert, wirkt sich das negativ auf die verbleibenden aus.

Vorwort

Lebenswissenschaften, hierzu gehört unter anderem die Biotechnologie, werden das 21. Jahrhundert entscheidend mitprägen. Sie sind ein dynamisches Forschungsfeld von großer ökonomischer und ökologischer Bedeutung. Die industrielle Biotechnik, die so genannte weiße Biotechnik, ist eine Schlüsseltechnik, die das Bundesumweltministerium fördern will, weil sie aus Sicht des Umweltschutzes große Potenziale besitzt: Der Einsatz von Mikroorganismen, auch gentechnisch veränderten, und Enzymen in geschlossenen Anlagen kann industrielle chemische Verfahren auf breiter Basis energie- und emissionsärmer gestalten und fossile durch nachwachsende Rohstoffe ersetzen. Allerdings stehen in biotechnischen Verfahren diesen Chancen auch potenzielle Risiken für Mensch und Umwelt gegenüber, so im Bereich der grünen Biotechnik. Chancen und Risiken müssen daher in gemeinsamen Diskussionen erörtert und abgewogen werden. Eine Veranstaltung, die diesem Anliegen Rechnung tragen sollte, war der „Workshop Weiße Biotechnik“, der am 18. Oktober 2006 gemeinsam von Industrie und Staat veranstaltet wurde.

Das Umweltbundesamt bewertet innovative Produktionsverfahren hinsichtlich ihrer Umweltfreundlichkeit und bringt sie in den „Sevilla-Prozess“ zur Feststellung des Standes der Technik in der chemischen Industrie ein. Im ständigen Austausch miteinander regen die chemische Industrie und das Umweltbundesamt die Entwicklung der Nachhaltigkeit in der chemischen Produktion an. In diesem Sinne wünschen die chemische Industrie, Bundesumweltministerium und Umweltbundesamt einen intensiveren Dialog zwischen Industrie, Forschung und Politik. Die hier dokumentierte Veranstaltung bestätigte, dass sich das Klima deutlich gewandelt hat: Der frühere Prozess des Gegeneinanders ist Vergangenheit. Die Rahmenbedingungen, die der Staat setzt, werden als vernünftig angesehen und akzeptiert.

Heute geht es meist nicht mehr um schlichte Gefahrenabwehr, sondern um die gemeinsame Entwicklung einer intelligenten ökologischen Industriepolitik der Zukunft.

Um das Ziel der breiten Nutzung biotechnischer Verfahren in der chemischen Produktion zu erreichen, müssen wir heute daran denken, die Entwicklung, chemische Produkte auf biotechnischem Weg herzustellen, weiter zu unterstützen und zu stärken. Dafür bedarf es einer Umweltpolitik mit einem innovationsorientierten Ansatz, jenseits von „Technikskeptizismus und Alarmismus“. Eine moderne Umweltpolitik umfasst auch die wirtschaftspolitischen Aspekte und heutige Wirtschaftspolitik muss „verstärkt umweltpolitisch denken“. Nur so sind Ziele, die z. B. durch den Klimaschutz vorgegeben werden, zu erreichen.

In den Vorträgen und Diskussionen des Workshops wurden Ergebnisse vorgestellt, die verdeutlichen, dass Industrie und Staat auf dem richtigen Wege sind. Die Vertreter aus Industrie und Forschung sind mit den gegenwärtigen Rahmenbedingungen für die industrielle Biotechnik weitgehend zufrieden.

Eine effektive Forschungs- und Entwicklungspolitik hat auch positive Auswirkungen auf den Arbeitsmarkt in Deutschland. Die Forschung in Industrie und Wissenschaft braucht hochqualifizierte Leute. Auf dem Gebiet der weißen Biotechnik findet die Forschung mehr oder weniger ausschließlich in Deutschland statt.

Eine große Chance ist der möglichst schnelle Transfer universitären Know-hows in wirtschaftliche Anwendungen. Falls es gelingt, neue Produkte erfolgreich auf den Markt zu bringen, dann werden dadurch auch Arbeitsplätze geschaffen. Hierbei ist allerdings nicht zu erwarten, dass der Beschäftigungseffekt durch die Biotechnik additiv ist, sondern er wird in der Regel substituierend verlaufen, so dass die Netto-Beschäftigungszahlen keine allzu großen Sprünge machen werden. Ein Vorteil wird in den positiven Auswirkungen auf das weitere Umfeld der Technik – in der Zuarbeit und in den Zulieferketten – liegen, hier kann längerfristig auf einen Arbeitsplätzezuwachs gehofft werden. Heute schon sehen die Vertreter aus Industrie und Universitäten gute Beschäftigungschancen für Studienabgänger der Biotechnik.

Ein Schwerpunkt der Diskussion bildete die Entwicklung von Rahmenbedingungen zur Schaffung von Anreizen für die Industrie, in ressourceneffizientere Verfahren zu investieren und damit zu produzieren.

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. Dabei kommt man nur dann zu guten Lösungen, wenn wirklich eine sehr umfassende Betrachtung aller möglichen Wirkfaktoren erfolgt. Als gravierendes Hemmnis zur Durchführung der Bewertung des Umweltentlastungspotenzials biotechnischer Verfahren reklamiert das Umweltbundesamt fehlende Daten und Informationen von Seiten der Industrie, besonders zu „innovativen Verfahren“. Daher appelliert das Umweltbundesamt an die chemische Industrie, die zur Beurteilung notwendigen Daten im Rahmen ihrer „Responsible-Care-Verantwortung“ zur Verfügung zu stellen. Als Anreiz für die Anwendung innovativer Techniken in der chemischen Industrie schlägt das Umweltbundesamt Produktzertifikate vor, mit denen für umweltfreundliche innovative Verfahren geworben werden kann.

Auch hierfür sind Daten für eine Bewertung der Nachhaltigkeit notwendig.

Es gibt eine Reihe von Maßstäben (Nachhaltigkeitskriterien) für die Bewertung von innovativen Verfahren. Für biotechnische Verfahren hoben die Teilnehmer beispielsweise den Flächenverbrauch als zentralen Punkt hervor, da diese in der Regel auf nachwachsenden Rohstoffen basieren. An einer Flächenkonkurrenz muss eine Ausrichtung der Industrie neben der Lebensmittelproduktion auch auf die Rohstoffproduktion in Europa nicht scheitern.

Die Gentechnik stand nicht im Fokus der Veranstaltung, wurde aber trotzdem wiederholt thematisiert. Bezüglich des Arbeits- und Umweltschutzes kann ein hochkomplexer, traditionell chemischer Prozess durchaus einem Prozess mit Einsatz gentechnisch veränderter Organismen in der Sicherheitsbewertung unterlegen sein. In der Produktion selbst kann und muss man gentechnisch veränderte Organismen in vielen Fällen anwenden, um effektiv sein zu können. Auf diesem Weg lassen sich effiziente Prozesse entwickeln. Diese Produktionsverfahren haben sich heute als völlig normal etabliert und es gibt kein Akzeptanzproblem.

Das Klima miteinander auch kontroverse Themen zu besprechen, ist so günstig wie nie. Alle Akteure sind sich einig, dieses Klima zu nutzen, um im Dialog Kontroversen auszutragen und zu tragfähigen Lösungen zu gelangen. Der Workshop Weiße Biotechnik war hierfür ein gutes Beispiel.

Diese Tagung zu dokumentieren, heißt gerade auch, den Dialog zu fördern. Dem Tagungsband viele Leserinnen und Leser zu wünschen, den Dialog erfolgreich zu gestalten.

Programm

10:00	Grußworte StS Matthias Machnig Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit Prof. Dr. Andreas Troge Präsident des Umweltbundesamtes Dr. Bernward Garthoff Vorsitzender des Vorstands der Deutschen Industrievereinigung Biotechnologie	14:30	Kaffeepause
10:45	Pause	15:00	Podiumsdiskussion: Industrielle Biotechnologie – ökologische und ökonomische Chancen • MinDir Jochen Flasbarth (BMU), • DirProf. Dr. Michael Angrick (UBA), • Prof. Dr. Garabed Antranikian (TUHH), • Dr. Friedhelm Balkenhohl (BASF AG) Moderation: Armin Maiwald Flash Filmproduktion
11:15	Industrielle Biotechnologie – gegenwärtiger Stand in Forschung und Lehre Prof.Dr.Dr.h.c. Garabed Antranikian TU Hamburg-Harburg	16:30	Ende der Veranstaltung
12:00	Umweltentlastung durch biotechnische Verfahren Dr. Wolfgang Dubbert Umweltbundesamt		
12:30	Mittagspause		
13:30	Fallbeispiele aus der Industrie Weißer Biotechnologie: Biotech meets Chemistry Dr. Friedhelm Balkenhohl BASF AG		
14:00	Aktuelles Fallbeispiel aus der Wirkstoffproduktion Dr. Michael Schedel Bayer AG		

Grußworte

Sehr geehrte Damen und Herren,
vielen Dank für die Möglichkeit, hier ein paar einleitende Worte zu sagen. Herr Gabriel wäre gerne selber gekommen, muss aber heute im Parlament Verpflichtungen wahrnehmen. Ich finde diese Veranstaltung wichtig. Sie passt, glaube ich, in die Philosophie des neuen Umweltministeriums. Ich sage ganz bewusst „Neues Umweltministerium“.

Mit dieser Veranstaltung wollen wir das Zusammenspiel zwischen Umweltbundesamt, dem Umweltministerium und der Deutschen Industrievereinigung Biotechnologie fördern. Dass wir Dialoge und Plattformen organisieren, ergibt sich aus dem neuen Selbstverständnis unseres Hauses. Ich will ein paar Beispiele nennen. Wir versuchen – zum Beispiel mit dem BDI – über Fragen der Wirtschafts- und Umweltpolitik im Gespräch zu sein. Wir haben einen Dialog zum Thema Nanotechnologie begonnen, in dem wir zusammen mit dem VCI über die Chancen, aber auch über die Risiken der Nanotechnologie sprechen. Heute diskutieren wir Fragen der Weißen Biotechnologie.

Wir versuchen, insgesamt ein neues Debattenfeld zwischen Ökonomie und Ökologie zu eröffnen. Ich halte das für eine der entscheidenden Fragen, weil ich glaube, dass die Umweltpolitik an einer Weggabelung steht. Einer Weggabelung, die an drei Punkten deutlich wird und an denen wir uns neu ausrichten müssen. Erstens: Ich glaube, wir müssen eine Umweltpolitik entwickeln, die sich jenseits von Alarmismus positioniert. Das heißt, wir müssen zwar Dinge zur Kenntnis nehmen – Herr Troge und Herr Gabriel haben gestern die neusten Entwicklungen im Bereich Klimaschutz vorgetragen und deutlich gemacht, welche Maßnahmen wir in Deutschland im Rahmen einer Anpassungsstrategie brauchen – doch Alarmismus alleine ist noch keine Antwort auf Herausforderungen.

Zweitens: Wir müssen eine Umweltpolitik jenseits von Wachstumsскеptizismus entwickeln. Ich glaube, Wachstum ist eine der zentralen Voraussetzungen, um in einer modernen Industriegesellschaft Akzeptanz zu erzielen und Wachstum ist die Voraussetzung, dass wir eine bestimmte Form von Lebensstil in unserer Gesellschaft aufrechterhalten können. Deswegen muss Wachstum auch Teil einer umweltpolitischen Strategie sein. Drittens: Wir brauchen eine Umweltpolitik, die jenseits von Technikскеptizismus ist. Ich glaube, dass moderne Technologien – mit Ausnahme der Kernenergie – einen Beitrag dazu leisten können und müssen, um Umweltprobleme zu lösen. Wie notwendig dies ist, will ich am Beispiel China verdeutlichen. China ist der stärkste Wachstumsmarkt global und wird 2030/2040 die größte Ökonomie der Welt sein. Eines ist völlig klar:

Der jetzige chinesische Industrialisierungspfad ist weder nachhaltig noch ist er in der Lage mit den Problemen im Umweltbereich, die über diesen enormen Wachstumsprozess in Gang gekommen sind, gegenwärtig fertig zu werden. China muss pro Jahr etwa 10 % seines Bruttoinlandsproduktes dafür aufwenden, nachsorgende Umweltpolitik zu betreiben. Das macht klar, dass wir einen Technologiesprung/Innovationssprung brauchen, um nachhaltige und auch umweltverträgliche Industrialisierungsmöglichkeiten nicht nur in Deutschland, sondern auch in anderen Teilen der Welt, auf den Weg zu bringen. Deswegen glaube ich, hat gerade Deutschland, hat Europa eine ganz zentrale Rolle als Innovationsmotor in unterschiedlichen Bereichen als Technologieführer, als Entwickler von Verfahrensstandards, die einen Beitrag zu nachhaltigen wirtschaftlichen Entwicklungen in unterschiedlichen Bereichen leisten können. Deswegen wollen wir als Ministerium einen Beitrag dazu leisten, Vorschläge und Diskussionen über das, was eine ökologische Industriepolitik in den nächsten Jahren leisten kann und leisten muss, mit auf den Weg zu bringen. Ich halte dies für eine Schlüsselfrage. Darin liegt eine große Chance für die Entwicklung in Deutschland und in Europa, weil wir hier enorme Wachstumspotenziale haben. Wir lassen gerade von Roland Berger eine Studie erarbeiten, die wir am 30. Oktober auf der Innovationskonferenz des Bundesumweltministeriums in Teilen vorstellen werden. Ein Ergebnis wird sein, dass im Jahre 2030 der Bereich der Umwelttechnologien vom Marktpotenzial her doppelt so groß sein wird, wie der Bereich der Automobilindustrie heute.

Deutschland hat im Bereich der Umwelttechnologie heute einen Weltmarktanteil von etwa 19 %. Es gibt inzwischen einen Markt mit einem Volumen von etwa 50 Mrd. €, wir haben etwa 1,5 – 2 Mio. Beschäftigte. Die Wachstumskurve dieser Umwelttechnologien wird sich deutlich nach oben bewegen, und wir werden 2030 ein Vielfaches dieses Marktes haben. Schätzungen gehen davon aus, dass Umwelttechnologien im Jahre 2030 ein Marktpotenzial von 700 Mrd. bis 1.000 Mrd. € haben werden. Darin liegen unsere großen Chancen, und deswegen wollen wir diese Chancen auch nutzen.

Warum habe ich das am Anfang dieser Tagung gesagt? Heute geht es um den Bereich der Weißen Biotechnologie. Ich weiß, Biotechnologie, Gentechnologie waren oder sind Technologien, über die es eine öffentliche, zum Teil auch kontroverse Diskussion gibt. Ich glaube, dass sich diese Diskussion, im Vergleich zur Diskussion in den 80iger Jahren, inzwischen versachlicht hat. Das begrüße ich ausdrücklich, weil ich glaube, dass im Bereich der Bio- und Gentechnologie erhebliche Potenziale für die nächsten Jahre liegen. Das gilt insbesondere für den Bereich der Weißen Biotechnologie, die die

Staatssekretär Matthias Machnig

Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit,
Robert-Schuman-Platz 3, 53175 Bonn

Möglichkeit bietet, sie an Stelle von herkömmlichen chemischen Produktionsprozessen bei der Waschmittelherstellung, der Tensidherstellung und ähnlichen Bereichen zu setzen. Vor allem kann die Weiße Biotechnologie einen Beitrag dazu leisten, dass wir im Bereich der Energie- und Ressourceneffizienz zu mehr Nachhaltigkeit kommen. Wir unterstützen Prozesse und Diskussionen zu diesem Bereich, weil wir ein erhebliches Potenzial sehen, auch auf diesem Gebiet wirklich führend in der Welt zu sein. Es muss darum gehen, diese Diskussion ernsthaft und seriös zu führen, sich über die Risiken bewusst zu sein, und auch klar zu machen, dass es eben zwischen „Weißer“ und „Grüner“ Biotechnik Unterschiede gibt. Unterschiede, die ganz erheblich sind. Weiße Biotechnik bedeutet nicht immer gleich Gentechnik, und eines ist klar: Da wo Gentechnik im Bereich der Weißen Biotechnik eingesetzt wird, erfolgt dies im geschlossenen System. Das ist der Unterschied zur Grünen Gentechnik, und deswegen muss man diese beiden Bereiche auch klar differenzieren. Wir werden versuchen, im Bereich der Grünen Gentechnik die Potenziale zu sehen, aber auch klar zu machen, dass dort Sicherheitsstandards eine ganz zentrale Rolle spielen.

Ich freue mich, dass dieser Workshop heute Morgen hier stattfindet. Ich hoffe, dass wir eine Reihe von sehr fruchtbaren Diskussionen führen können und dass wir vor allen Dingen einen Beitrag dazu leisten, dass dort, wo im Rahmen der Hightech-Strategie der Bundesregierung Projekte auf den Weg gebracht wurden, wie etwa mit der Initiative Bioindustrie 2021, neue Impulse gesetzt werden können. Ich sage es noch einmal: Ich glaube, wir sind an einem Punkt, wo wir auch über die Veränderung der Umweltpolitik nachdenken müssen. Umweltpolitik muss auch immer wirtschaftspolitisch denken. Wirtschaftspolitik muss immer stärker auch umweltpolitisch denken. Nur dann können wir die großen Ziele wirklich realisieren, die da heißen: Klima schützen, Nachhaltigkeit entwickeln, aber auch eine ökonomische Perspektive für unser Land entwickeln. Das ist, glaube ich, eine gemeinsame Aufgabe. Deswegen wünsche ich dieser Tagung viel Erfolg und fruchtbare Diskussionen.

Herzlichen Dank!

Grußworte

Meine sehr geehrten Damen und Herren, ich begrüße Sie herzlich zur heutigen Veranstaltung „Weiße Biotechnologie – ökologische und ökonomische Chancen“. Das Bundesumweltministerium und das Umweltbundesamt haben – unterstützt von der Deutschen Industrievereinigung Biotechnologie (DIB) – diesen Workshop gemeinsam vorbereitet. Die UN-Konferenz für Umwelt und Entwicklung hat sich 1992 in Rio de Janeiro zum Leitbild der Nachhaltigen Entwicklung bekannt. Mit der Agenda 21 wurde ein globales Aktionsprogramm formuliert, das von den Unterzeichnerstaaten die Erarbeitung von Strategien fordert, die eine wirtschaftlich leistungsfähige, sozial ausgewogene und ökologisch verträgliche Entwicklung zum Ziel haben. Die Bundesregierung hat im Jahr 2002 eine solche Strategie – die Nachhaltigkeitsstrategie – für Deutschland veröffentlicht. In dieser Strategie werden 21 Schlüsselindikatoren benannt, deren fortlaufende Beobachtung und Aufzeichnung die Annäherung Deutschlands an die Nachhaltigkeitsziele zeigen sollen. Von diesen 21 Indikatoren betreffen sechs die Umweltbelange:

- Ressourcenschonung (Verdopplung der Ressourcenproduktivität bis 2020 im Vergleich zu 1990 (Materialien) und 1994 (Energie)),
- erneuerbare Energien (Steigerung des Anteils am Primärenergieverbrauch bis 2010 auf 4,2 Prozent; am Stromverbrauch auf 12,5 Prozent),
- Klimaschutz (Reduktion der Treibhausgase bis 2012 um 21 Prozent CO₂-Äquivalente im Vergleich zu 1990),
- Luftqualität (Reduktion der Belastung mit Luftschadstoffen bis 2010 gegenüber 1990 um rund 70 Prozent),
- Flächeninanspruchnahme (Begrenzung der Zunahme von derzeit 115 auf 30 Hektar pro Tag bis 2020) und
- Artenvielfalt (Stabilisierung der Artenvielfalt auf hohem Niveau).

Innovative Verfahren, wie auch die „Weiße Biotechnik“, müssen sich an diesen Umweltindikatoren messen lassen. Einige biotechnische Verfahren haben im Vergleich zu chemisch-technischen Verfahren positive Effekte, besonders bei der Ressourcenschonung und dem Klimaschutz.

Zur Umsetzung der Nachhaltigkeitsstrategie hat das Bundesumweltministerium gemeinsam mit dem Umweltbundesamt Projektgruppen für einige der genannten Umweltindikatoren eingerichtet. Neben der Schonung natürlicher Ressourcen und dem Gebrauch erneuerbarer Energien befassen sich die Projektgruppen vor allem mit den Chancen innovativer Produktionsverfahren. Das höchste Innovationspotenzial wird hier – neben der Nanotechnik – der

„Weißen Biotechnik“ zuerkannt. Die chemische Industrie ist ein ressourcen- und energieintensiver Wirtschaftsbereich, der mit erheblichen Kosten produktionsbedingte Umweltbelastungen reduziert. Neben nachgeschalteten nutzt die Chemische Industrie vor allem prozessintegrierte Umweltschutztechniken, um das Aufkommen an Reststoffen zu vermeiden und eine weitgehende Verwertung der genutzten Rohstoffe zu ermöglichen.

Der Chemiesektor zählt weltweit zu den wichtigsten und innovativsten Branchen. Wesentliche Stoffflüsse nehmen hier ihren Anfang. Deutschland ist als führender Standort besonders gefragt, eine nachhaltige Chemieproduktion zu entwickeln und diese weltweit an allen Standorten der Unternehmen zu realisieren. Der Begriff „Nachhaltige Chemie“ und die in diesem Kontext genannten Schlagworte „Weiße Biotechnik“ und „Nanotechnik“ sowie das Thema „nachwachsende Rohstoffe“ sind in aller Munde. Innovative Produktionsverfahren sind aber nicht per se umweltfreundlich. Das Umweltbundesamt bewertet Produktionsverfahren und bringt diese – soweit sie umweltfreundlicher als andere sind – in den „Sevilla-Prozess“ zur Feststellung des Standes der Technik in der chemischen Industrie ein. Hierzu steht das Umweltbundesamt in einem ständigen Austausch mit der chemischen Industrie. Beide – chemische Industrie und Umweltbundesamt – regen somit maßgeblich zur Weiterentwicklung der Nachhaltigkeit in der chemischen Produktion an.

Innovative Techniken – wie auch die in der heutigen Veranstaltung im Mittelpunkt stehende Biotechnik – haben ein hohes Potenzial für Wachstum und Beschäftigung in der deutschen chemischen Industrie und können als produktionsintegrierte Maßnahmen zu einer Umweltentlastung beitragen. Hierauf gehen die folgenden Beiträge detailliert ein. Die Anwendungsfelder der „Weißen Biotechnik“ sind vielfältig. Das Umweltbundesamt beschäftigt sich daher schon seit längerer Zeit mit diesem Thema. Mit Hilfe der „Weißen Biotechnik“ lassen sich energieaufwändige und umweltbelastende klassische Produktionstechniken ablösen. Bei den Vorteilen dürfen wir jedoch mögliche Umweltrisiken nicht vernachlässigen, denn auch biotechnische Verfahren benötigen Energie und Rohstoffe, verursachen Emissionen und Abfälle.

Aus Sicht der Unternehmen sind die mit produktionsintegrierten Maßnahmen verbundenen Umweltentlastungseffekte häufig kein ausreichender Anreiz für eine Verfahrensumstellung. Eine Umstellung wird aus unternehmerischer Sicht vollzogen, falls – in der Regel zusätzlich zur Umweltentlastung – Produkt- und Verfahrensinnovationen in der Produktion ermöglicht werden und damit finanzielle Vorteile einhergehen. Für solche Verfahrensumstellungen sind Anreize zu schaffen. Beispielsweise könnte eine Kennzeichnung der Produkte, die aus

Prof. Dr. Andreas Troge

Präsident des Umweltbundesamtes,
Wörlitzer Platz 1, 06844 Dessau

umweltfreundlichen biotechnischen Verfahren stammen, ein solcher Anreiz sein. Leider fehlen zur Bewertung innovativer Verfahren häufig belastbare Daten. Hier ist die Industrie gefragt, damit die Umwelt entlastenden Aspekte solcher Verfahren richtig gewürdigt werden können.

Die „Weiße Biotechnik“ kann einen wichtigen Beitrag zum Ressourcen- und Klimaschutz leisten. Wir müssen dafür sorgen, dass dieser Beitrag weiter wächst! Ich freue mich auf eine interessante Veranstaltung, spannende Diskussionen und wünsche diesem Workshop viel Erfolg.

Grußworte

Weiß Biotechnologie – die Perspektive der Industrie

Sehr geehrter Herr Staatssekretär, Herr Troge!
Meine Damen und Herren!

Diese Veranstaltung heute ist für mich eine große Freude, denn wir haben heute zum ersten Mal in einer gemeinsamen Veranstaltung den Dialog zwischen dem Bundesministerium für Umwelt, dem Umweltbundesamt und der deutschen Industrie. Ich glaube, das ist der richtige Weg, um neue Technologien anzugehen. Wir haben in der Vergangenheit zu wenig Dialog geführt und werden ihn daher intensivieren.

Somit ist dies ein besonderer Tag, denn wir sind in der Gemeinschaft mit dem Umweltbundesamt und dem BMU tatsächlich einen neuen Weg gegangen. Ich bin aus einem Hause, in dem wir alle drei Bereiche der Biotechnologie haben. Die reine Farbenlehre, dies muss ich Ihnen ehrlich sagen, gibt es nicht. Ich habe aus Überzeugung heraus in allen drei Bereichen bei Bayer diese Tätigkeiten ausgeübt. Die Einteilung in Weiß, Grün, Rot wird der Technologie nicht gerecht. Ich glaube, wir sollten gerade an dem heutigen Tag die weiße Biotechnologie und das Umfeld betrachten und in den Dialog einsteigen. Wo sind die Begrenzungen und wo können wir die gemeinsamen Ziele erreichen? Insofern begrüße ich diese Veranstaltung umso mehr.

Die Streitpunkte haben auch durchaus ihren Benefit. Dies sollten wir wahrnehmen, denn nur im Dialog können wir tatsächlich weiterkommen. Ich hatte eben schon erläutert, dass es eine einheitliche Biotechnologieindustrie als solche nicht gibt (Abbildung 1).

Alle Bereiche der Biotechnologie haben eine gemeinsame Grundlagenforschung und basieren in ihren Anwendungen auf derselben Technologie. Deswegen gehe ich auch ein wenig weg von dem reinen Begriff „weiße Biotechnologie“, sondern nenne es industrielle Anwendung. Sie wissen auch, dass es durchaus als Synonym verwandt wird – industrielle Biotechnologie –, das hat seinen Grund, denn es ist nicht so einfach differenzierbar. Sie sehen auf meiner Folie eine Zuordnung der Produkte und Produkt-

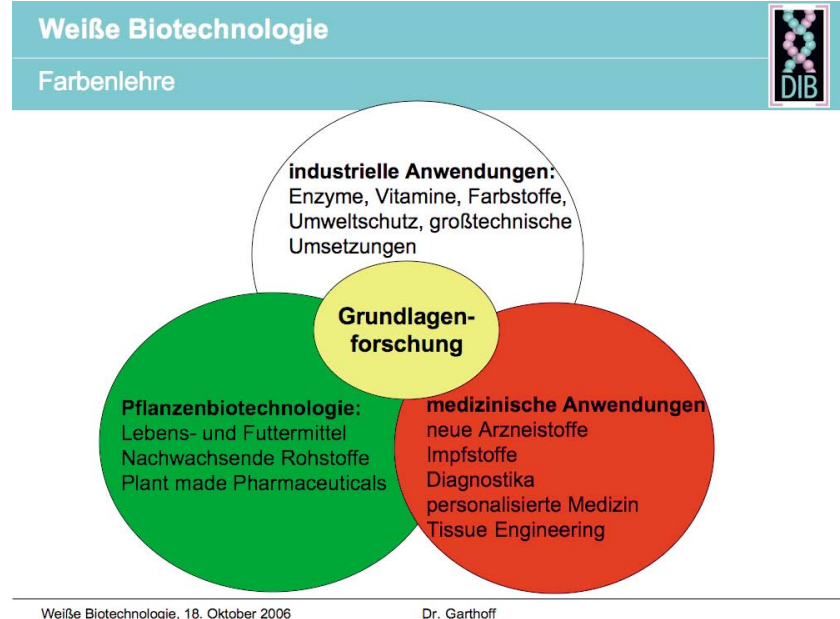
bereiche zu der jeweiligen Farbe der Biotechnologie: rot, weiß oder grün. Zu den industriellen Anwendungen zählen wir die Enzyme, die Vitamine, die Farbstoffe und die Anwendungen im Umweltschutz. Dazu werden wir sicherlich heute noch mehr hören. Industrielle Anwendungen sind vor allem großtechnische Umsetzungen. Diesen Punkt möchte ich gleich noch einmal beleuchten.

Für jemanden, der aus allen diesen drei Bereichen kommt, ist natürlich insbesondere der Grüne Bereich interessant. Denn dort ist die Zukunft, da haben wir noch nicht das volle Potenzial ausgeschöpft. Aber Sie sehen auf der rechten Seite der Abbildung die medizinischen Anwendungen, selbst da ist noch ein großes Potenzial und ich werde versuchen, dieses Thema stärker zu beleuchten.

Es ist gerade die Gentechnik, die uns in den medizinischen Anwendungen weiter gebracht hat. Ein weiterer Hintergrund ist, Gentechnik ist preiswerter geworden – auch für die Unternehmen. Nehmen Sie als Beispiel die Genomanalysen vor einigen Jahren: Man musste damals pro entsprechendem „DNA-Schnipsel“ 10 \$ bezahlen – heutzutage nur noch 1 Cent. Jetzt möchte ich die deutsche Biotechnologie-Industrie mit ein paar Zahlen näher vorstellen (Abbildung 2).

Abb. 1

Weiß Biotechnologie Farbenlehre



Dr. Bernward Garthoff

Vorsitzender des Vorstands der Deutschen Industrievereinigung Biotechnologie (DIB),
Mainzer Landstraße 55, 60329 Frankfurt am Main

Es stellt sich die Frage: „Was ist denn im deutschen Umfeld tatsächlich Biotechnologie?“ Sie werden auch an dieser Tabelle sehen, dass Sie gar nicht so sehr differenzieren können. Wir hatten neulich die DIB-Pressekonferenz und einer der Journalisten fragte mich, wie viel Umsatz in der weißen Biotechnologie generiert wird und wie viele Beschäftigte es in diesem Bereich gibt. Das ist schwierig zu beantworten, denn selbst heute schon findet im Prinzip in jedem Unternehmen keine Differenzierung zwischen biochemischen, chemischen, biotechnologischen Verfahren statt. Man differenziert nicht mehr, wie man zu diesem oder jenem Ziel gekommen ist. Die Zahlen des Bundesforschungsministeriums zeigen auf, dass es derzeit in Deutschland mit Pharmachemie und Saatgutunternehmen insgesamt 539 Biotechnologieunternehmen gibt. Insgesamt sind knapp 24.000 Mitarbeiter in der Biotechnologie beschäftigt.

Der Umsatz, allein im klar dedizierten Bereich, liegt bei 1,5 Milliarden Euro. Hier steht ein großer Ausstrahlungseffekt dahinter. Ein Ausstrahlungseffekt ist z. B. die Erbauung von Großanlagen. In meinem Unternehmen ist es bisher die Chemie gewesen, die die Anlagen bauen musste, aber dieses Unternehmen hat sich inzwischen verselbstständigt und es werden Anlagen, z. B. für die Zuckerindustrie, Ethanolgewinnung usw., gebaut. Diese Arbeitsplätze sind in dieser Erhebung gar nicht mitberücksichtigt. Biotechnologie hat einen beachtlichen Ausstrahlungseffekt, was Beschäftigung angeht. Innerhalb dieser Erhebung im Auftrag des BMBF wurden die Unternehmen auch gefragt, in welchen Bereichen der Biotechnologie sie tätig sind.

In dieser Tabelle erkennt man, dass 13,2% der Unternehmen angeben, auch in der industriellen Biotechnologie tätig zu sein. Weiter unten in der Tabelle liest sich dann – was ich ganz besonders betonen möchte – „unspezifische Forschungsmethoden“. Was heißt das? Es heißt, dass wir gar nicht so klar differenzieren können. Das Anwendungsspektrum der Technologie ist breit und wir nehmen eigentlich eine willkürliche Einteilung in Weiß, Grün und Rot vor. Die Farbenlehre ist nicht rein. Ich möchte jetzt ein wenig auf die Perspektiven eingehen (Abbildung 3).

Hinter den hier dargestellten Daten von McKinsey steht, dass wir in 2005 weltweit 77 Milliarden Euro Umsatz durch industrielle Biotechnologie erwirtschaftet haben. Was im Vordergrund steht, das sind die Zahlen 2005 versus 2010. McKinsey hat sich selbst auch etwas revidiert, daher will ich jetzt gar nicht lange mit Ihnen darüber diskutieren, ob die Zahlen von 2003 oder 2006 richtig sind. Wenn jemand Perspektiven diskutiert, dann geht es um die Chancen. Es geht nicht darum, genaue Zahlen zu haben, was denn wohl 2010 exakt sein wird. Das weiß heute keiner, und offen gesagt, auch das Umfeld verändert sich natürlich, z. B. das gesetzliche Umfeld. Das hat einen Einfluss, z. B. auf Biofuels, gar keine Frage. Dass Biofuels hier die größte Umsatzerwartung haben, ist eine zentrale Aussage. Der Punkt ist, Biofuels haben eine globale Basis. Da kommen wir vielleicht gleich noch mal darauf zurück. Wir tun immer so, als wäre unsere Welt limitiert auf Deutschland. Das ist nicht so.

Die Zuwächse zeigen sich insbesondere bei Biofuels und bei den

Pharmawirkstoffen. Angesichts dieser Breite an Anwendungen werden Sie sich fragen, ob das alles weiße Biotechnologie ist. Sind Biofuels weiße Biotech? Da können Sie trefflich darüber streiten. Ich werde Ihnen gleich verdeutlichen, dass Sie eigentlich immer alles betrachten müssen, denn Biotechnologie ist eine gemeinsame Technologie. Wenn Sie dann mal ganz rechts in der Abbildung schauen, da ist noch so eine kleine Säule „Sonstige“, d.h., die Anwendungen sind breiter als man tatsächlich in das übliche Schema pressen kann. Das sind die Chancen der weißen Biotechnologie. Deutschland ist das Land, in dem man auf diesem Feld besonders stark werden kann. Jetzt möchte ich mit Ihnen in die Historie zurückgehen (Abbildung 4).

Wirtschaftliche Bedeutung der Biotechnologie in Deutschland

Abb. 2

Wirtschaftliche Bedeutung der Biotechnologie in Deutschland



•dedizierte Biotech-Unternehmen:	480
•innovativ biotechnologisch-aktive Unternehmen: (Pharma-, Chemie-, Saatgutunternehmen)	59
	539 Unternehmen

Gesamtzahl Mitarbeiter: knapp 24.000
Umsatz (nur dedizierte Unternehmen): 1,5 Mrd. Euro

Tätigkeitsfelder [%; Mehrfachnennungen]:

Medizin:	83
Tiergesundheit:	19
Landwirtschaft:	10
Industrielle Biotechnologie:	13
unspez. Forschungsmethoden:	35
sonstiges:	29

Quelle: biotechnologie.de (BMBF)

Abb. 3

Weißer Biotechnologie Weltweiter Umsatz mit Produkten der weißen Biotechnologie

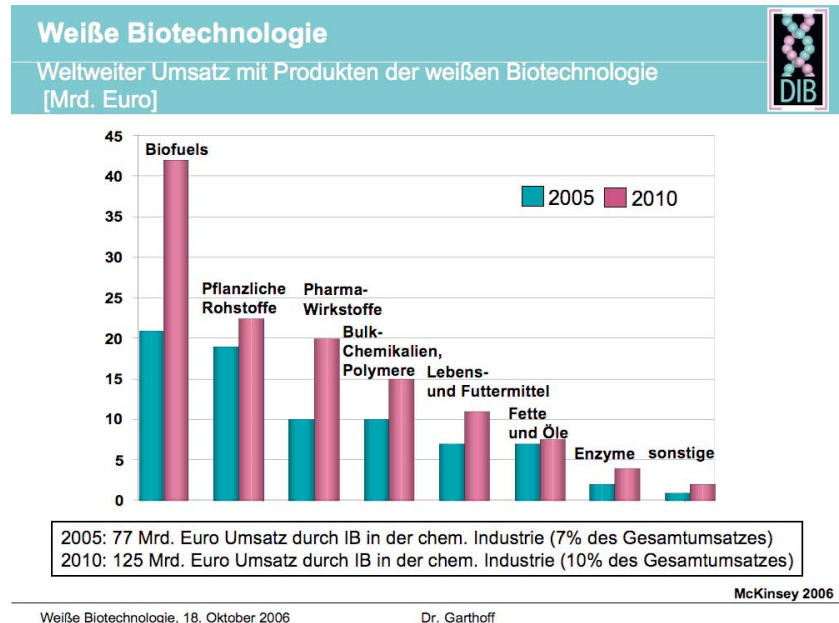


Abb. 4

Weißer Biotechnologie Was kann weißer Biotechnologie?

Weißer Biotechnologie

Was kann Weißer Biotechnologie?

▪ Weißer Biotechnologie

- Alternativ-Verfahren zur chemischen Synthese
- neue Produkte



Dr. Bernward Garthoff

Vorsitzender des Vorstands der Deutschen Industrievereinigung Biotechnologie (DIB),
Mainzer Landstraße 55, 60329 Frankfurt am Main

Sie werden heute von verschiedenen Rednern natürlich Alternativverfahren zur chemischen Synthese en masse vorgestellt bekommen. Es gibt in allen Bereichen alternative Möglichkeiten zur chemischen Synthese. Was aber für mich und natürlich auch für die Perspektive der Industrie fast wichtiger ist, sind die neuen Produkte, die dahinter stehen. Produkte, die Sie zum Teil gar nicht anders herstellen können. Nehmen wir aus meinem Feld Blutfaktor „Faktor VIII“, der sich mit chemischen Methoden überhaupt nicht darstellen lässt. Da braucht man auch gar nicht darüber nachzudenken, noch irgendwelche Vorprodukte oder ähnliches zu erstellen. Faktor VIII wird vollständig biotechnologisch hergestellt.

Ich habe gerade die Zwischenprodukte erwähnt. Die sind fast genauso wichtig. Zwischenprodukte für die Pharmaindustrie, Zwischenprodukte für den Pflanzenschutz und, und, und. Eine Breite von Anwendungen, zum Teil Produkte, die Sie anders oder zum Mindesten kostengünstig nicht herstellen können. Die breite Anwendung der Biotechnologie möchte ich mit einem Beispiel aus der Lebensmittelherstellung untermauern und auch die Tatsache herausstellen, dass Biotechnologie in vielen Produktbereichen längst Alltag geworden ist (Abbildung 5).

60–70 % unserer Lebensmittel haben einen biotechnologischen Prozess in der einen oder anderen Form durchlaufen oder enthalten Stoffe, die mit Hilfe der Gentechnik hergestellt wurden.

Dank der Gentechnik sind wir in der Lage, Käse wirklich vegetarisch zu produzieren. Für die Dicklegung der Milch brauchen Sie ein Enzym, das so genannte Chymosin. Sie wissen, früher wurde das mit Kälbermägen gemacht. Das Problem ist nur, dass die weltweit anfallende Menge an Kälbermägen nicht ausreicht, um die Weltkäseproduktion sicherzustellen. Insgesamt werden heutzutage 80% aller industriell genutzten Enzyme durch gentechnisch veränderte Mikroorganismen hergestellt. Im Falle von Chymosin sind seit 1997 drei Präparate in Deutschland zugelassen. In Großbritannien und den USA werden 80 – 90% des Käses mit Hilfe von gentechnisch verändertem Chymosin hergestellt.

Ein weiteres Beispiel, was die Kollegen im Laufe der heutigen Veranstaltung sicherlich noch genauer beleuchten werden, ist Phytase (Abbildung 6).

Phytase ist ein Enzym, welches indirekt beim Umweltschutz hilft. Erlauben Sie mir, dieses Beispiel als gelernter Tierarzt mit heranzuziehen. Schweine und Geflügel haben ein Problem, Phosphor zu verwerten. Aufgrund dieses Unvermögens muss das Futter mit Phosphor angereichert werden, um sicherzustellen, dass wenigstens ein Teil davon von den Tieren aufgenommen wird. Der nicht verwertete Teil des Phosphors wird aber von den Tieren wieder ausgeschieden und gelangt so unnötigerweise ins Grundwasser. Durch den Zusatz von Phytase aber ist nur eine geringe Menge an Phosphorzusatz

notwendig, da diese geringe Menge mit Hilfe der Phytase vollständig aufgenommen werden kann. Phytase wird heute aus gentechnisch veränderten Schimmelpilzkulturen gewonnen. Die Kollegen werden sicherlich im Detail noch darauf eingehen. Jetzt kommen wir zu dem Thema, was vielleicht genauso schwierig zu vermitteln ist, wie gentechnisch veränderte Enzyme in Lebensmitteln. Im Bereich Grüne Gentechnik haben wir Anwendungen, die wiederum der Weißen Biotechnologie zuarbeiten (Abbildung 7).

Weiße Biotechnologie Beispiel Enzyme

Abb. 5

Weiße Biotechnologie

Beispiel Enzyme

▪ Käseherstellung

- Dicklegung der Milch („Bruch“) benötigt Chymosin
- früher Enzym aus dem Magen säugender Kälber isoliert
- weltweiter Käsebedarf entspricht 70 Mio. Kälbermägen
- seit 1988 Gewinnung von Chymosin aus gentechnisch veränderten Bakterien
- seit 1997 drei Chymosin-Präparate in Deutschland zugelassen
- in USA und Großbritannien 80-90 % des Käses mit gv Chymosin hergestellt



**80 % ALLER industriell hergestellten Enzyme
beruhen auf gv Mikroorganismen**



Abb. 6 Weiße Biotechnologie
Beispiel Enzyme

Weiße Biotechnologie

Beispiel Enzyme



■ Phytase:

- Element Phosphor bei Tieren für Knochen und Zähne essentiell
- Schweine und Geflügel können Phosphor aus Futterpflanzen nicht freisetzen wegen Mangel an Phytase
- Phosphor wird Tierfutter zugesetzt, dennoch wird großer Teil unverwertet ausgeschieden → Belastung von Böden/Grundwasser
- Abhilfe: Phytase-Zusatz im Futter
- Herstellung: gv Schimmelpilzkulturen

→ Phosphormenge in Tierexkrementen
um 1/3 verringert



Abb. 7 Weiße Biotechnologie
Beispiel nachwachsende Rohstoffe

Weiße Biotechnologie

Beispiel nachwachsende Rohstoffe



■ gv Mais für Bioethanolproduktion

- gv Mais bildet Amylase mit höherer Hitzestabilität
- Ethanolgewinnung kann bei höheren Temperaturen erfolgen
- Prozess wirtschaftlicher
- 10 % geringere Produktionskosten



EU-Ziel:

bis 2010 mindestens
5,75 % aller Kraftstoffe
aus regenerativen Quellen

**Ethanol aus Mais ist ab einem Rohölpreis von 55 US\$ pro
Barrel wettbewerbsfähig.**



Dr. Bernward Garthoff

Vorsitzender des Vorstands der Deutschen Industrievereinigung Biotechnologie (DIB),
Mainzer Landstraße 55, 60329 Frankfurt am Main

Der so genannte Amylasemais von Syngenta ist ein Beispiel dafür. Amylase ist ein Enzym zur Spaltung von Stärke in einzelne Zuckerbausteine. Dieses Enzym haben wir Menschen übrigens auch im Speichel. Syngenta hat einen gentechnisch veränderten Mais gezüchtet, der die für die Stärkeverzuckerung notwendige Amylase bereits mitbringt. Diese Amylase hat die Eigenschaft, besonders temperaturstabil zu sein, was dazu führt, dass die Bioethanolgewinnung aus diesem Mais bei höheren Temperaturen und insgesamt wirtschaftlicher ablaufen kann. Dadurch sinken die Produktionskosten um 10 %. Dieses Beispiel zeigt, wie wichtig es ist, bei der Erzeugung von Biofuels wettbewerbsfähig zu sein. Jeder fragt sich natürlich: Wird es denn irgendwann einmal möglich sein, Rohöl dann auch tatsächlich zu ersetzen? Es gibt die Möglichkeit, aber wir müssten dann einen Rohölpreis von 55 \$ vor uns sehen. Dann wären wir durchaus wirtschaftlich, vorher nicht. Dieses Beispiel möchte ich auch vor dem Hintergrund des EU-Zieles geben, dass bis 2010 5,75 % der Kraftstoffe aus regenerativen Quellen stammen sollen. Noch ein anderes Beispiel: Die Fermenteranlage von Boehringer Ingelheim (Abbildung 8).

Mir geht es hier darum zu zeigen, dass dahinter auch noch andere Arbeitsplätze stehen. 36 Monate Bauzeit hat es benötigt, um diese Anlage in Bieberach zu erstellen. 400 neue Mitarbeiter wurden eingestellt, um die Anlage zum Laufen zu bringen. Aber da waren eben noch die Mitarbeiter dahinter, die die Anlage erbaut

haben. Das sind Aufträge an unsere Industrie. Deutschland ist hier führend. Deutschland ist nämlich nicht nur führend in der Anwendung industrieller Biotechnologie, sondern eben auch im Anlagenbau. Boehringer Ingelheim investierte 255 Mio. Euro. In dieser Anlage werden nun modernste Medikamente gegen Herzinfarkt, rheumatoide Arthritis und Psoriasis hergestellt. Sie ist damit ein Beispiel für meine Kernaussage: Wir haben in der Biotechnologie eine Basistechnologie, die in den verschiedensten Branchen zum Einsatz kommt, die wiederum durch eine gemeinsame Wertschöpfungskette verknüpft sind (Abbildung 9).

Ich habe Ihnen ein Beispiel zur Verknüpfung von Pflanzenbiotechnologie und industrieller Biotechnologie gegeben. So ist auch der Anlagenbau als Service-Technologie für die Biotechnologie zu verstehen. Auch Patente sind nicht zu unterschätzen. Sie glauben gar nicht, wie viel Patentgebühren nicht nur die Ämter kassieren, sondern auch unsere Rechtsanwälte, die an dieser Stelle tatsächlich reichlich Patente legen. Gerade in der Frage Patente müssen wir uns eines globalen Umfeldes dieser Technologie bewusst sein. China will ich hier als Beispiel anführen. In diesem Land werden fast mehr Patente gelegt als im Rest der Welt, z. B. im Bereich der Grünen Biotechnologie. Wir sind uns bewusst, wir sind in einem globalen Umfeld, aber gleichzeitig wollen wir Arbeitsplätze der höheren Kategorie sichern. Unsere Industrie ist diejenige, die das tatsächlich kann. Das sehen Sie aus dieser gesamten Wertschöpfungskette.

Wir werden ja gleich noch von den Kollegen der Universitäten hören: Die Grundlagenforschung ist genauso wichtig wie das, was wir als Anwendung haben. Ohne diese Grundlagenforschung ist Deutschland arm und damit unsere Industrie arm.

Nun sehen wir uns noch einmal an, was die Vorteile der weißen Biotechnologie sind (Abbildung 10).

Weißer Biotechnologie Beispiel Biopharmazeutika

Abb. 8

Weißer Biotechnologie

Beispiel Biopharmazeutika

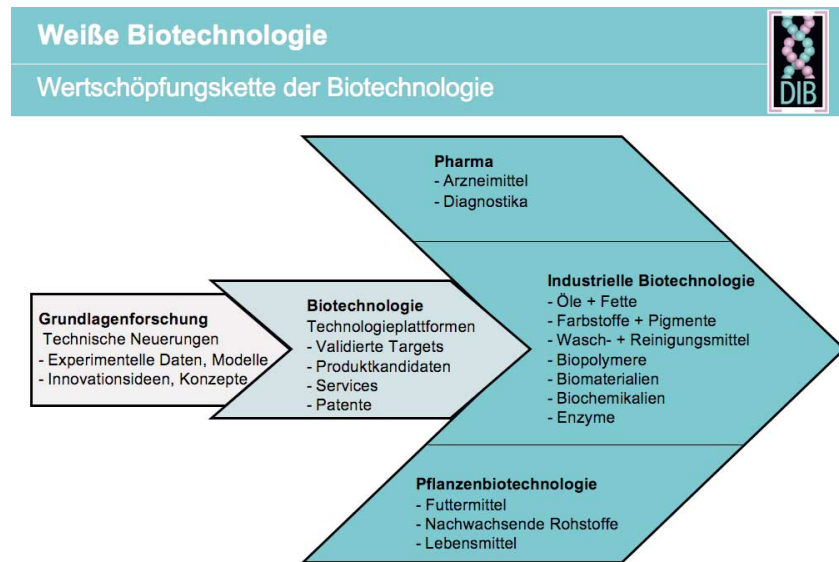


▪ Boehringer Ingelheim:

- weltweit größte Fermenteranlage zur Auftragsfertigung
 - ♦ Herstellung rekombinanter Proteine mit Hilfe von Säugerzellkulturen
 - ♦ 400 neue Mitarbeiter
 - ♦ in Betrieb seit 2003, 36 Monate Bauzeit
 - ♦ Investitionsvolumen: 255 Mio. Euro
 - ♦ therapeutische Proteine zur Behandlung akuter Herzinfarkte, rheumatoide Arthritis, Psoriasis
 - ♦ Umsatz 2004: 392 Mio. Euro



Abb. 9 Weiße Biotechnologie
Wertschöpfungskette der Biotechnologie



Weiße Biotechnologie, 18. Oktober 2006

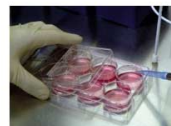
Dr. Garthoff

Abb. 10 Weiße Biotechnologie
Chancen der Weißen Biotechnologie

Weiße Biotechnologie

Chancen der Weißen Biotechnologie

- **weniger Produktionsschritte**
- **geringerer Rohstoffverbrauch**
- **größere Energieeffizienz**
- **verminderte Schadstoff-Emissionen**
- **niedrigere Produktionskosten**
- **neue Produkte**



Weiße Biotechnologie, 18. Oktober 2006

Dr. Garthoff

Wir haben weniger Produktionsschritte, geringeren Rohstoffverbrauch, größere Energieeffizienz. In den meisten Prozessen verminderte Schadstoffemission und niedrigere Produktionskosten. Sonst würden diese Verfahren nicht eingesetzt werden. Aber vor allem ermöglicht die Biotechnologie neue Produkte. Solche, die wir unter Umständen sonst gar nicht hätten herstellen können. Aber ich will nicht verhehlen, wir haben auch Grenzen in der Biotechnologie (Abbildung 11).

Nicht automatisch sind die biotechnologischen Verfahren den chemischen per se überlegen. Das muss abgewogen werden. Alle Faktoren müssen berücksichtigt werden: ist es tatsächlich kostengünstiger, ist es schadstoffärmer und, und, und. Eine Umstellung von chemischen auf biotechnologische Verfahren, das geht nicht von heute auf morgen. Biotechnologie ist also damit Ergänzung und mit Sicherheit kein Ersatz für die Chemie.

Jetzt möchte ich noch auf das Thema nachwachsende Rohstoffe eingehen, was auch Herr Staatssekretär schon angesprochen hat (Abbildung 12).

Wir haben natürlich nun plötzlich einen neuen Wettbewerb: die Flächenkonkurrenz. Wir haben den Wettbewerb der Tanksäule versus Supermarkt. In dieser Abbildung ist verdeutlicht, wie z. B. Raps im Lebens- und Futtermittel-, sowie Energie- und Kraftstoffsektor oder

auch in der stofflichen Verwertung in der chemischen Industrie eingesetzt werden kann. Sie wissen, dass Rapsöl inzwischen das interessanteste Öl ist, auch für den Lebensmittelsektor. Nicht nur, weil Sie mit der Gentechnik z. B. den Anteil an entsprechenden Vitaminen und Fettsäuren optimieren können, sondern es besteht die Möglichkeit, durch Rapsöl bestehende Öle in vielen Anwendungen zu ersetzen. Dann gibt es noch die Verwendung von Rapsöl als Ausgangsstoff zur Herstellung von Biodiesel sowie die stoffliche Verwertung in der chemischen Industrie. Wir haben jetzt plötzlich den Wettbewerb zwischen Anwendungen aus den verschiedenen Bereichen (Abbildung 13).

Der Knackpunkt hier ist: es bewirbt sich alles um dieselbe Ackerfläche. Von 1993 bis 2005 ist der Anteil deutscher Ackerfläche, auf dem nachwachsende Rohstoffe angebaut werden, auf 12 % gestiegen. Das entspricht 1,4 Mio. Hektar. Früher war die Ansicht weit verbreitet, dass man einfach nur die Stilllegungsflächen „reaktivieren“ müsste. Das reicht aber nicht, das reicht auch in Europa nicht! Aufgrund dieser Flächenkonkurrenz entstehen Auswegmechanismen, die ich nicht verschweigen möchte. Man kauft Bioethanol aus Brasilien und riskiert damit ganz andere Umweltschäden, nämlich Abholzung von Regenwäldern. Oder: man holt Palmöl aus Malaysia. Malaysia hat inzwischen schon erwogen, einen Exportstopp zu verhängen.

Weißer Biotechnologie Grenzen der Biotechnologie

Abb. 11

Weißer Biotechnologie

Grenzen der Biotechnologie



- 1. Biotechnologische Verfahren sind chemischen Verfahren nicht per se überlegen.**
- 2. Die Umstellung von chemischen auf biotechnologische Verfahren geht nicht von heute auf morgen und muss wettbewerbsfähig sein.**
- 3. Biotechnologie ist eine Ergänzung, aber kein Ersatz für die Chemie.**

Ich glaube, wir müssen unsere Probleme hier diskutieren und eben auch die Frage „Wie viel Ackerfläche haben wir für nachwachsende Rohstoffe und für die Lebensmittelerzeugung zur Verfügung?“ Danach kann man diskutieren, wie man Gesetze zur Gestaltung der Situation platziert. Man muss den Markt entscheiden lassen. Der Energiemarkt ist global, letztendlich wird auch der Energiepflanzenmarkt global sein. Es gibt auch Verdrängungsbeispiele. Ich bringe hier das Beispiel Raps noch einmal. Da der größte Teil der weltweiten Sojaernte gentechnisch verändert ist, wird bestimmte Margarine nicht mehr unter Verwendung von Sojaöl hergestellt, sondern aus Rapsöl. Aus Raps, der nicht gentechnisch verändert ist.

Abb. 12 Weiße Biotechnologie
Konkurrenz um nachwachsende Rohstoffe

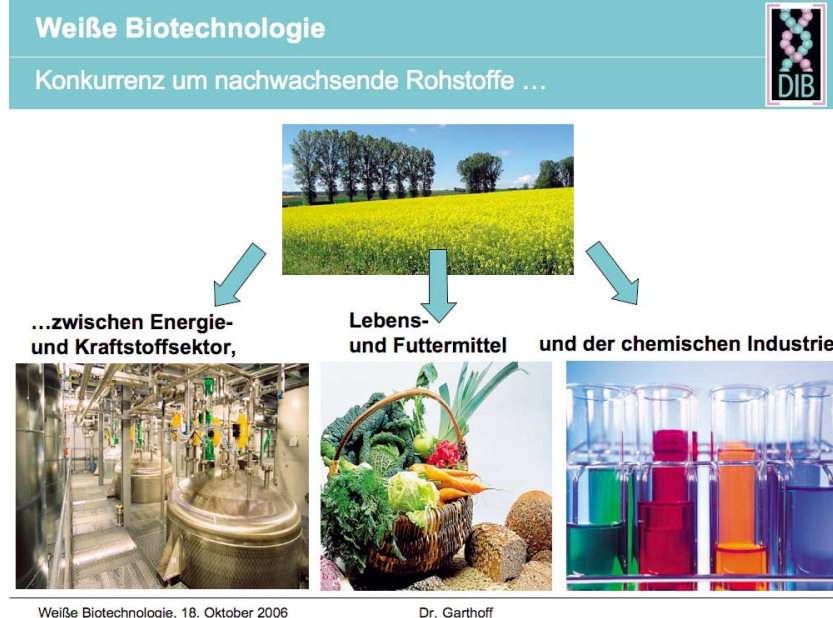
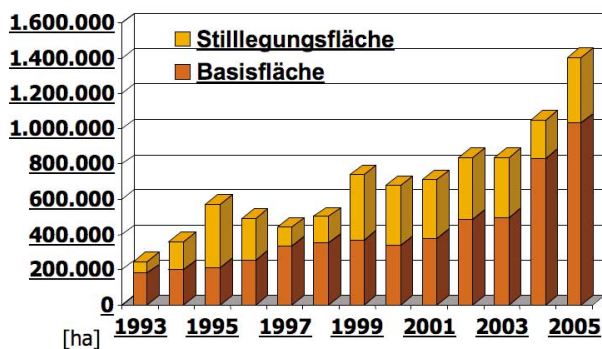


Abb. 13 Weiße Biotechnologie
Anbaufläche nachwachsende Rohstoffe Deutschland

Weiße Biotechnologie
Anbaufläche Nachwachsende Rohstoffe Deutschland

2005: 1,4 Mio. ha* = 12 % der dt. Ackerfläche



Quelle: BMELV

* erste Schätzungen

Weiße Biotechnologie, 18. Oktober 2006

Dr. Garthoff

Dr. Bernward Garthoff

Vorsitzender des Vorstands der Deutschen Industrievereinigung Biotechnologie (DIB),
Mainzer Landstraße 55, 60329 Frankfurt am Main

Diese Art von Verdrängungsdiskussion, die sollten wir eigentlich aufnehmen. Hier sollten wir diskutieren und fragen: Macht es tatsächlich Sinn? Geben wir nicht am liebsten allen Energiepflanzen eine Chance? Lassen wir den Markt entscheiden, gehen wir in den globalen Wettbewerb! (Abbildung 14)

An dieser Stelle muss die Diskussion geführt werden. Quoten oder Regulierungen helfen uns nicht weiter. Wir sind ein kompetitives Land. Interdisziplinäre Grundlagenforschung und Ausbau von Forschungsnetzwerken sind für uns ganz entscheidend. Das ist die Basis, die wir auch in der deutschen Industrie und darüber hinaus brauchen. Da müssen wir intensivieren.

Vielleicht als Anmerkung am Schluss noch eine Frage zu Biotechnologie-Start-ups: Wie viele Unternehmen kennen Sie, die z. B. im agrartechnologischen Bereich in Deutschland tätig sind? Irgendeins? Wir hatten zwei, die sind natürlich jetzt inzwischen von einigen der weltweit operierenden Konzerne eingenommen worden. Wir sollten mehr haben. Es gibt Länder – wie Belgien – die wesentlich mehr haben. Sind wir also hier wirklich kompetitiv? Wir brauchen Start-ups in allen Bereichen der Biotechnologie. In der Roten haben wir große Schritte gemacht. In der weißen Biotechnologie sind wir in der Produktion von bestimmten Arzneistoffen

Weltmarktführer. Aber hier in der Pflanzenbiotechnologie haben wir, ich glaube, noch ein kleines Problem. Wir haben diese Information, wir haben den brain trust. Nutzen wir ihn.

Jetzt mein letztes Credo: Ein Großteil der Weißen Biotechnologie ist ohne Grüne Gentechnik nicht möglich. Wir sollten sorgfältig diskutieren. Ich gehe konform mit Ihnen, Herr Staatssekretär, natürlich müssen wir in der Diskussion darauf eingehen, wo Risiken gesehen werden, denn Akzeptanz spielt eine große Rolle. Aber auch diese Diskussion müssen wir zusammen aufnehmen, denn sonst schneiden wir einen wichtigen Teil der Themen ab. Insofern kann ich nur sagen, lassen wir den Markt entscheiden, aber setzen wir den richtigen Rahmen.

Herzlichen Dank!

Weiße Biotechnologie Rahmenbedingungen für die Weiße Biotechnologie

Abb. 14

Weiße Biotechnologie

Rahmenbedingungen für die Weiße Biotechnologie



1. **Förderung von Markt und Wettbewerb statt Quoten und Regulierungen**
2. **Interdisziplinäre Grundlagenforschung und Ausbau von Forschungsnetzwerken**
3. **Unterstützung von Biotechnologie-Start-ups**
4. **Nutzung der Grünen Gentechnik**

Weiße Biotechnologie, 18. Oktober 2006

Dr. Garthoff

14

Die industrielle Biotechnologie – gegenwärtiger Stand in Forschung und Technik

1 Definition der industriellen Biotechnologie

Unter der industriellen Biotechnologie, im deutschen Sprachraum häufig auch als weiße Biotechnologie bezeichnet, versteht man gemeinhin den innovativen Einsatz der Life Sciences für die nachhaltige Herstellung von (Fein-)Chemikalien, Wirkstoffen, neuen Materialien und Energieträgern aus nachwachsenden Rohstoffen unter Einsatz von Biokatalysatoren. In erster Linie werden dabei intakte Mikroorganismen (Ganzzellbiotransformation) oder deren Enzyme als Biokatalysatoren genutzt. Als Querschnittstechnologie integriert die industrielle Biotechnologie verschiedene Disziplinen der Natur- und Ingenieurwissenschaften, wie z. B. die Mikro- und Molekularbiologie, die Chemie, die Biochemie, die Bioverfahrenstechnik, die Materialwissenschaften und die Bioinformatik. Da sich die industrielle Biotechnologie am Leitbild der Nachhaltigkeit orientiert, werden diese Expertisen zusätzlich durch ökologische und soziale Komponenten ergänzt. In der allgemeinen „Farbenlehre“ der Biotechnologie kann die industrielle (weiße) Biotechnologie eindeutig von der roten (Pharmazie/medizinische Anwendungen) und der grünen (Landwirtschaft) Biotechnologie abgegrenzt werden (Abbildung 15).

Zwar hat die weiße im Vergleich zur roten Biotechnologie ein Visibilitätsdefizit, ist allerdings in Sachen öffentlicher Akzeptanz der grünen Biotechnologie weit überlegen. Auf Grund ihrer Stellung als interdisziplinäre Querschnittstechnologie wird der industriellen Biotechnologie nicht nur ein besonders großes Problemlösungspotenzial eingeräumt, sondern in ihr wird auch eine Triebfeder für die Stärkung der Wettbewerbsfähigkeit der chemischen Industrie gesehen.

2 Biokatalysatoren – Motor der industriellen Biotechnologie

Den Motor der industriellen Biotechnologie bilden die Biokatalysatoren, also stoffwechselaktive Mikroorganismen (Ganzzellbiokatalyse) und Enzyme. Auf Grund ihrer außergewöhnlichen Stoffwechselleistungen werden Mikroorganismen schon seit Jahrhunderten in industriellen Produktionsverfahren eingesetzt. Die große Diversität in der Physiologie und Enzymausstattung dieser Kleinstlebewesen versetzt uns in die Lage, biotechnologische Verfahren zur Herstellung von Grund- und Feinchemikalien mit hoher Effizienz zu entwickeln. Durch Ganzzellbiotransformationen können Zucker oder komplexere Kohlenhydrate (Stärke, Cellulose) aus nachwachsenden Rohstoffen zu Wert schöpfenden Produkten (Alkohole, Aminosäuren, Essigsäure, Milchsäure, Wasserstoff und Methan) umgesetzt werden, ohne dabei auf Schwermetallkatalysatoren oder aggressive Lösungsmittel angewiesen zu sein.

Enzyme sind als katalytisch aktive Proteine in der Lage, sehr komplexe biochemische Reaktionen durchzuführen. Sie ermöglichen (bio-)chemische Umsetzungen in zellfreien Systemen, sind also auch außerhalb der lebenden Zelle aktiv. In enzym-katalysierten Umsetzungen wird eine Ausgangssubstanz in einem oder mehreren Schritten in ein hochwertiges Endprodukt umgewandelt. Enzyme spielen insbesondere eine herausragende Rolle bei der Herstellung von hoch reinen chemischen Substanzen, wie sie beispielsweise in der Arzneimittelherstellung benötigt werden.

Abb. 15 Die Farbenlehre der Biotechnologie

Weiße Biotechnologie (industrielle Biotechnologie)



Chemie
- Feinchemikalien
- Building Blocks
- Aminosäuren
- Vitamine
- Antibiotika
- Bioethanol
- Biogas



Rote Biotechnologie (medizinische Biotechnologie)

Gesundheit
- Diagnostika
- Therapeutika
- Impfstoffe



Grüne Biotechnologie (landwirtschaftliche Biotechnologie)

Landwirtschaft
- Pestizide
- Pharming



Biokatalysatoren arbeiten in der Regel präziser als chemische Katalysatoren, da sie eine höhere Selektivität aufweisen, d.h. nur bestimmte Ausgangsprodukte zu definierten Produkten umsetzen. Ein weiterer Vorteil von Enzymen ist ihre Enantioselektivität, die es ermöglicht, die Produktsicherheit beispielsweise in der Pharmaindustrie signifikant zu erhöhen. In der klassischen chemischen Synthese müssen die unerwünschten Enantiomere durch aufwändige Techniken aus dem Produkt entfernt werden.

3 Bedeutung der industriellen Biotechnologie

Die industrielle Biotechnologie nimmt innerhalb der nachhaltigen Chemie eine immer wichtigere Rolle ein, wie auch aktuelle Zahlen belegen. So beträgt der weltweite Umsatz an Enzymen ca. 4 Mrd. € bei einer jährlichen Wachstumsrate von 5 – 10%. Das Marktvolumen der mit Hilfe von Enzymen erzeugten Produkte liegt bei etwa 150 Mrd. € pro Jahr (Abbildung 16). Die Haupteinsatzgebiete für Enzyme sind Waschmittel (32%), technische Prozesse (20%) und die Herstellung von Lebensmitteln (33%) und Futtermitteln (11%). Die Mehrzahl der in industriellen Prozessen eingesetzten Enzyme sind Hydrolasen, Isomerasen, Oxidoreduktasen, Lyasen und Transferasen. Den Löwenanteil machen dabei die Hydrolasen aus, zu denen biotechnologisch relevante Enzyme wie Amylasen, Cellulasen, Xylanasen, Pektinasen, Chitinasen, Phytasen, Lipasen, Proteasen, Nitrilasen und Amidasen gehören.

Der Anteil der an der Herstellung von Feinchemikalien und Pharmaprodukten beteiligten Enzyme ist mit 4 – 5% des Weltmarktes vergleichsweise gering. Laut einer Studie von McKinsey & Company beträgt der Anteil der mit Hilfe biotechnologischer Verfahren erzeugten chemischen Produkte rund 5%, was einem Umsatz von 55 Mrd. € entspricht. Das für den Bereich der industriellen Biotechnologie hoch relevante Marktvolumen für Chiralika lag im Jahr 2000 bei ca. 5 Mrd. € und wird bis zum Jahr 2007 auf 15 Mrd. € ansteigen. Sowohl McKinsey & Company als auch Festel Capital gehen davon aus, dass die Bedeutung der Biotechnologie in der chemischen Industrie weiter anwachsen wird. Nach aktuellen Prognosen sollen im Jahr 2010 rund 20% aller Chemieprodukte in einer Größenordnung von rund 310 Mrd. US-Dollar auf biotechnologischem Weg hergestellt werden.

Insbesondere bei der Produktion von Feinchemikalien (Aminosäuren, Wirkstoffe), Polymeren (auf Basis nachwachsender Rohstoffe), von Spezialchemikalien für die Lebensmittel-, Kosmetik-, Textil- und Lederindustrie sowie von Bulkchemikalien und Building Blocks wird die industrielle Biotechnologie zukünftig ökonomisch und ökologisch überlegene Konzepte anbieten. Die entscheidenden Triebkräfte für einen Wechsel zu biotechnologischen Produktionsverfahren sind:

- Einsparung von Rohstoffen und Energie
- Prozessvereinfachung: Ersatz mehrstufiger chemischer Syntheseverfahren durch biotechnologische Verfahren (Fermentation bzw. enzymatische Synthese)
- Optimierung der Produktaufarbeitung und -reinigung im Vergleich zu chemischen Syntheseverfahren
- Vermeidung bzw. Reduktion von Neben- und Abfallprodukten.

Wirtschaftliche Bedeutung der industriellen Biotechnologie

Abb. 16



4 Industrielle Biotechnologie in der Praxis

Prozesse und Produkte der industriellen Biotechnologie haben bereits heute in zahlreichen Fällen eine marktbeherrschende Position erobert. Insbesondere bei Aminosäuren (L-Glutaminsäure, L-Lysin), Carbonsäuren (L-Milchsäure, Zitronensäure) oder Vitaminen (Riboflavin/Vitamin B₂, Vitamin C) liegt der Anteil der biotechnologisch hergestellten Produkte bei fast 100%. Bei der Produktion von Riboflavin hat innerhalb von 4 Jahren ein nahezu kompletter Wechsel von einem chemischen zu einem biotechnologischen Verfahren stattgefunden. Dabei konnten die Produktionskosten um ca. 50% gesenkt, die Mindestanlagengröße um den Faktor 10 gesenkt werden und der Investitionsbedarf für neue Kapazitäten fiel um 40% geringer aus. Die OECD sowie EuropaBio (Broschüre „White Biotechnology: Gateway to a More Sustainable Future, 2003) zeigen eine Reihe von Fallbeispielen auf, bei denen die biotechnologische Erzeugung von Vitaminen, Medikamenten und Polymeren sowohl ökonomisch als auch ökologisch vorteilhaft ist. Eine Übersicht über die bereits heute im Tonnenmaßstab biotechnologisch hergestellten Produkte ist in Tabelle 1 wiedergegeben.

4.1 Antibiotikasyntese

Die 7-Aminocephalosporansäure (7-ACS) ist eine wichtige Ausgangssubstanz für die Herstellung einer Vielzahl von antimikrobiell wirksamen Antibiotika (Cephalosporine). Zusammen mit den Penicillinen stellen die Cephalosporine die umsatzstärkste Substanzklasse innerhalb der Antibiotika dar. In der Vergangenheit wurde 7-ACS durch

Tab. 1 Produkte der industriellen Biotechnologie im Tonnenmaßstab (DECHEMA 2004)

Produkt	Weltjahresproduktion (t)	Marktwert (Mio. €)	Anwendung
Säuren			
Citronensäure	1 000 000	800	Lebensmittel, Waschmittel
Milchsäure	150 000	270	Lebensmittel, Leder, Textil, Kunststoff
Essigsäure	190 000	95	Lebensmittel, Reinigungsmittel
Aminosäuren			
L-Glutamat	1 500 000	1 800	Geschmacksverstärker
L-Lysin	700 000	1 400	Futtermittel
L-Threonin	30 000	180	Futtermittel
L-Phenylalanin	10 000	100	Aspartam, Medizin
L-Cystein	500	20	Pharma, Lebensmittel
Lösungsmittel			
Bioethanol	18 500 000	7 400	Lösungsmittel, Grundchemikalie, Kraftstoff
Antibiotika			
Penicilline	45 000	13 500	Medizin, Futtermittelzusatz
Cephalosporine	30 000	–	Medizin, Futtermittelzusatz
Tetracycline	5 000	250	Medizin
Bacitracin A	4	12	Wundheilung
7-ACS	4 000	–	Antibiotikaderivat
Biopolymere			
Dextran(-derivate)	2 600	520	Blutersatzstoff
Xanthan	40 000	336	Erdölförderung, Lebensmittel
Polylactid	140 000	315	Verpackung
Vitamine			
Ascorbinsäure (Vit.C)	80 000	640	Pharma, Lebensmittel
Riboflavin (B2)	30 000	–	Wirkstoff, Futterzusatz
Kohlenhydrate			
High Fructose Syrup*	8 000 000	6 400	Getränke, Ernährung
Glucose*	20 000 000	6 000	Flüssigzucker
Fructooligosaccharide*	10 500	–	Prebiotikum
Cyclodextrine*	5 000	50	Kosmetik, Pharma, Lebensmittel
Aspartam**	10 000	850	Süßstoff

*Enzymatisch hergestellte Produkte, **Aspartam ist ein Aminosäurederivat

chemische Verfahren hergestellt und umfasste eine Reihe von Reaktionen und Syntheseschritten unter Einsatz von umweltschädlichen Substanzen wie Zinksalze, Trimethylchlorsilan, Phosphopentachlorid und Dichlormethan. Durch energieaufwändige Destillationsverfahren wurden die Lösungsmittel recycelt. Die schwer abbaubaren Substanzen (z. B. Zink) mussten vor Einleitung in die biologische Abwasserreinigungsanlage abgetrennt werden. Aufgrund der hohen Entsorgungskosten wurde ein enzymatisches Verfahren zur Herstellung von 7-ACS entwickelt. Dadurch konnte auf den Einsatz von Chlorkohlenwasserstoffen und toxischen Hilfsstoffen verzichtet werden. Der Anteil an den Herstellungskosten, der auf die Abfallverbrennung sowie die Abwasser- und Abgasreinigung zurückzuführen war, sank dadurch von 21% auf 1%.

4.2 Synthese von Vitaminen

Vitamin B2 (Riboflavin) hat zahlreiche positive Wirkungen auf den Menschen und beeinflusst das Wachstum der menschlichen Zellen, die Produktion von roten Blutkörpern und Antikörpern sowie die Versorgung der Haut mit Sauerstoff.

Während der chemisch-technische Produktionsweg einen achsstufigen Syntheseprozess nutzt, bei dem zwar nachwachsende Rohstoffe, aber auch verschiedene umweltrelevante Chemikalien zum

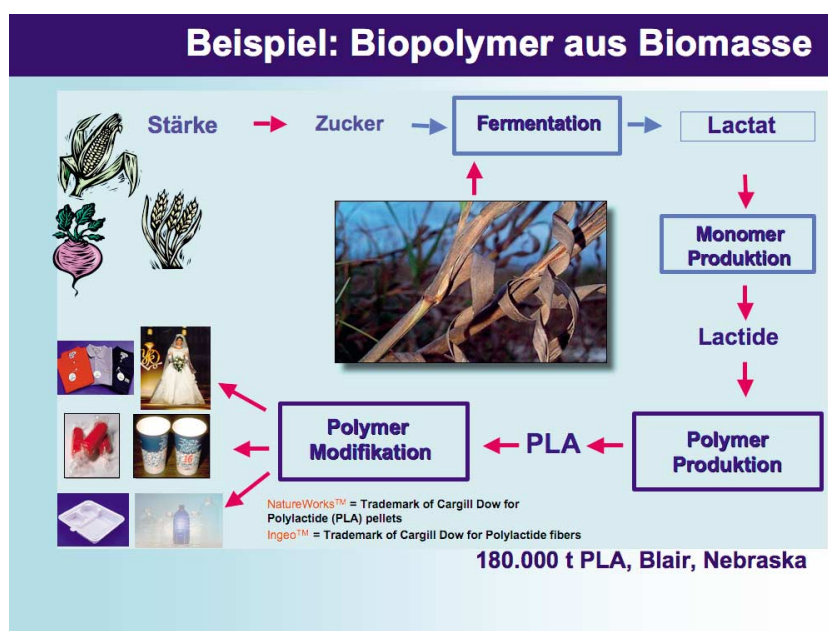
Einsatz kommen, verläuft der biotechnische Herstellungsprozess nur über einen einstufigen Fermentationsprozess, für den neben nachwachsenden Rohstoffen nur geringe Mengen an chemischen Hilfsmitteln mit geringer Umweltrelevanz benötigt werden. Durch die Produktion des Vitamins mittels eines Pilzes, konnten die Herstellungs- und Umweltschutzkosten gegenüber dem chemischen Herstellungsverfahren um 40% reduziert werden.

4.3 Synthese von Bulkchemikalien und Polymeren

Ein gutes Beispiel für das Potenzial enzymatischer Verfahren bei der Herstellung von Bulk- und Basischemikalien ist Acrylamid, das als Ausgangsmaterial für die Produktion eines breiten Spektrums chemischer Derivate genutzt wird, sowohl in monomerer Form als auch in wasserlöslichen Polymeren. Wesentliche Vorteile des biokatalytischen Verfahrens, bei dem die Ausgangsverbindung Acrylnitril in einem enzymkatalysierten Hydratisierungsschritt in Acrylamid verwandelt wird, liegen in der hohen Selektivität und in den milden und umweltfreundlichen Reaktionsbedingungen der Synthese. Beim vergleichbaren kupferkatalysierten chemischen Prozess hingegen muss nicht nur überschüssiges Acrylnitril und der eingesetzte Kupferkatalysator aus dem Syntheseyklus entfernt, sondern auch, aufgrund der hohen Reaktionstemperatur von 100°C, die Bildung von Neben- und Polymerisationsprodukten in Kauf genommen werden.

Herstellung von Polylactid aus Stärke mit Hilfe fermentativer Milchsäuregewinnung und anschließender Polymerisierung

Abb. 17



Ein weiteres zukunftsträchtiges Innovations- und Entwicklungsfeld biokatalytischer Verfahren ist die biotechnische Herstellung monomerer Bausteine und Polymere für die Kunststoff- und Polymerindustrie. Dabei ist sowohl die Substitution petrochemischer Verfahren bei der Produktion von Ausgangsverbindungen für die Kunststoffherstellung (z. B. von 1,3-Propandiol (PDO)) als auch die Entwicklung neuartiger biologisch abbaubarer Polymerprodukte aus Polylactid (PLA) (Abbildung 17) oder Poly-3-Hydroxybutyrat-co-3-Hydroxyhexanoat (PHBH) von steigender wirtschaftlicher Bedeutung.

5 Hemmnisse und Chancen

Trotz der vielen beeindruckenden Beispiele erfolgreicher Umsetzung biotechnologischer Innovationen, bleiben Hemmnisse, die es zu überwinden gilt, um der industriellen Biotechnologie weitere Impulse zu verleihen. So ist die Verfügbarkeit von effizienten Enzymen heute noch sehr limitiert. Aus der fast unerschöpflichen Vielfalt der Natur haben nur rund 75 Enzyme den Weg in industrielle Produktionsverfahren geschafft. Die Diversität der Natur wird also nur unzureichend genutzt. Hinzu kommt, dass noch 98% aller auf der Erde vorkommenden Mikroorganismen noch unentdeckt sind oder sich nicht kultivieren lassen (Tabelle 2). Um diese Hemmnisse abzubauen, bedarf es innovativer Technologien (siehe unten), die dabei helfen, die Vielfalt der Natur zu nutzen, neue Biokatalysatoren zu erschließen und Optimierungen an bestehenden Systemen vorzunehmen.

Tab. 2:

Anteil kultivierbarer Mikroorganismen bezogen auf die mikrobielle Gesamtpopulation in verschiedenen Lebensräumen. Nach Amann et al. (1995) *Microbiol. Rev.* 59, 143-169.

Lebensraum	Kultivierbare Mikroorganismen (cfu, colony forming unit)
Meerwasser	0,001 – 0,1%
Süßwasser	0,25%
mesotropher See	0,1 – 1%
Brackwasser	0,1 – 3%
Klärschlamm	1 – 15%
Sediment	0,25%
Erde	0,30 %

5.1 Neue Technologien

Die rasante Entwicklung neuer Werkzeuge und Methoden in den letzten Jahren wie beispielsweise die Etablierung intelligenter und effizienter Screening-Systeme für neuartige Wirkstoffe und Biokatalysatoren (High-Throughput-Systeme, Kombinatorik), Genomanalyse (Genomics, Metagenomics, Bioinformatics), die Herstellung optimierter oder maßgeschneiderter Biokatalysatoren (Directed Evolution, DNA Shuffling), die Stoffwechselfluxanalyse (Transcriptomics, Metabolic Engineering, Metabolomics, Proteomics) erlauben die detaillierte Analyse zellulärer Bestandteile und deren

Zusammen- und Wechselwirken. Gebündelt werden diese sogenannten „-omics“-Technologien in der neuen Disziplin der Systembiologie, die die verschiedenen metabolischen Wechselwirkungen auf unterschiedlichen Ebenen untersucht. Die Integration dieser neuen Technologien wird in Zukunft die Entwicklung innovativer und umweltfreundlicherer biotechnischer Verfahren und Produkte beschleunigen und die oben angesprochenen Hemmnisse abbauen helfen, indem beispielsweise die genetische Information unkultivierbarer Mikroorganismen erschlossen wird (Metagenomics) oder optimierte Enzymsysteme bereitgestellt werden (Directed Evolution). Die effiziente Enzymproduktion in rekombinanten Wirtstämmen (*Bacillus*, Hefen, Pilze) wird das Potenzial der Biokatalyse ebenfalls signifikant steigern.

5.2 Verfahrenstechnik: Fermentation und Downstream-Processing

Zur optimalen Nutzung der mikrobiellen Stoffwechselleistungen ist es notwendig, effektive Produktionsverfahren für Mikroorganismen und deren Enzyme zu entwickeln. Die moderne Bioverfahrenstechnik stellt heute Bioreaktoren für die Kultivierung bereit, die den charakteristischen Wachstumsbedingungen der Mikroorganismen Rechnung tragen. Überwiegend kommen dabei begaste Rührkesselreaktoren zum Einsatz. Dieser Reaktortyp verfügt durch seine hohe Rührergeschwindigkeit (bis zu 3.000 Upm¹) und eine effiziente Be- und Entgasung über sehr gute Stoffübergangskoeffizienten. Für spezielle Anwendungen stehen alternative Reaktortypen, wie beispielsweise Blasensäulen-, Schlaufen-, oder Festbettreaktoren zur Verfügung. Diese Reaktortypen besitzen keine Rührwelle und werden häufig in solchen Fällen eingesetzt, in denen die mechanische Belastung der Zellen durch das Rühren reduziert werden soll. Die Optimierung der Produktaufarbeitung (Downstream-Processing), z. B. durch Einsatz der Membrantechnik (Membranreaktor), erlaubt es, die Fermentationsprodukte mit hohen Ausbeuten zu gewinnen.

6 Lösungsansätze

6.1 Bereitstellung einer großen Enzymvielfalt

Um die Diversität und Verfügbarkeit von Enzymen zu stärken, sind bereits Modellprojekte wie die Einrichtung einer Internationalen Sammlung von Biokatalysatoren (BiocatCollection) initiiert worden. Die BiocatCollection, hervorgegangen aus dem durch die Deutsche Bundesstiftung Umwelt (DBU) geförderten Programm InnovationsCentrum Biokatalyse (ICBio, www.icbio.de) macht die enzymatische Vielfalt, wie sie an Hochschulen und Instituten

¹Upm: Umdrehungen pro Minute

vorhanden ist, für Enzymanwender verfügbar. Die BiocatCollection (www.biocatcollection.de) archiviert, dokumentiert und produziert bei Bedarf Enzyme, die für Testzwecke zur Verfügung gestellt werden. Ziel ist es, biokatalytische Innovationen zu einer breiteren Anwendung zu verhelfen und die Entwicklungszeiten (Time-to-Market) für biotechnologische Verfahren zu verkürzen, indem ein schneller Zugang zu einem breiten Spektrum verschiedener Biokatalysatoren ermöglicht wird (Abbildung 18).

6.2 Biokatalyse unter nicht-konventionellen Bedingungen

Der Einsatz von Enzymen in industriellen Produktionsprozessen scheitert häufig an der geringen Stabilität der Biokatalysatoren. Für die Entwicklung effizienter Verfahren ist es aber oft notwendig, Enzyme auch unter ungewöhnlichen Bedingungen (hohe Temperaturen, extreme pH-Werte, in organischen Lösungsmitteln) einzusetzen (Abbildung 19).

Enzymsysteme aus extremophilen Mikroorganismen, die sich beispielsweise in der Arktis bei 0 – 5°C, in heißen Quellen bei 70 – 130°C, in Salzseen mit 20 – 30% Salzgehalt oder bei pH-Werten zwischen 0 – 1 bzw. 9 – 12 optimal vermehren, verfügen über ein großes Potenzial, diese Anforderungen zu erfüllen. Die Zellbestandteile extremophiler Mikroorganismen sind optimal an extreme Umweltbedingungen angepasst und haben Eigenschaften, die sie

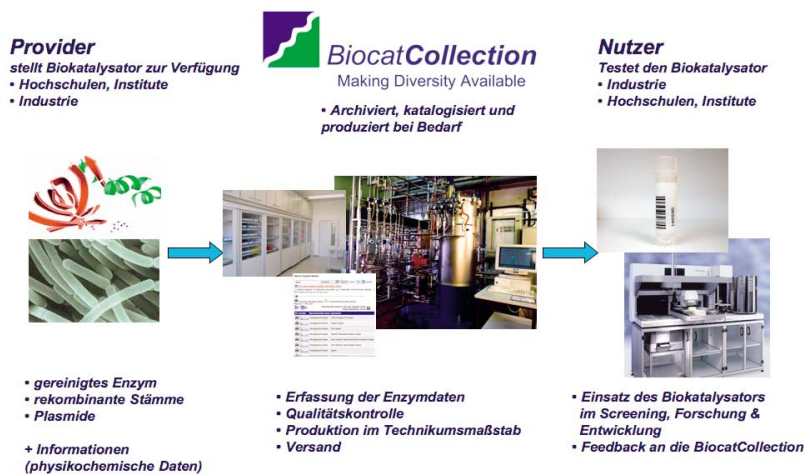
für eine biotechnologische Anwendung unter harschen Bedingungen interessant machen. Für zahlreiche industrielle Verfahren werden spezielle Biokatalysatoren benötigt, die sich neben einer hohen Spezifität auch durch eine ausgeprägte Stabilität unter extremen Bedingungen auszeichnen.

Die Applikation von Enzymen aus extremophilen Mikroorganismen kann die verschiedensten industriellen Bereiche, wie z. B. die Waschmittel-, die Lebensmittel-, die Textil-, die Papier-, die chemische und die pharmazeutische Industrie umfassen.

Die Enzyme extremophiler Mikroorganismen zeichnen sich darüber hinaus durch eine hohe Stabilität gegenüber Chelatbildnern, Detergenzien und denaturierenden Reagenzien aus, die in einer Vielzahl industrieller Verfahren und Produkte zum Einsatz kommen. Durch die Anwendung moderner Technologien (gerichtete Evolution, Gene Shuffling, Hochdurchsatzverfahren zum Screening) können maßgeschneiderte Biokatalysatoren (Extremozyme) in großen Mengen entwickelt und der Industrie zur Verfügung gestellt werden.

Die BiocatCollection ermöglicht den Zugriff auf eine große Enzymdiversität

Abb. 18



6.3 Nutzung nachwachsender Rohstoffe

Die zunehmende Verknappung fossiler Rohstoffe und die damit einhergehende Kostenexplosion auf den Rohstoffmärkten sowie die Notwendigkeit, den Eintrag des klimaschädigenden Treibhausgases CO_2 zu reduzieren, rücken den Einsatz nachwachsender Rohstoffe in den Fokus der aktuellen Diskussion. Der Nutzung von Biomasse aus Pflanzenmaterial für die Produktion von Chemikalien und Kraftstoffen (z. B. Ethanol, Wasserstoff, Biogas) wird in den nächsten Jahren mehr Bedeutung beigemessen werden. Es ist festzustellen, dass nachwachsende Rohstoffe als regenerative Kohlenstoffquelle dem Leitbild der Nachhaltigkeit in besonderem Maße entsprechen.

Bereits heute setzt die chemische Industrie in Deutschland rund 2 Mio. t/a an Rohstoffen aus erneuerbaren Quellen ein (exklusive Cellulose), was einem Anteil von 12% an den Rohstoffen der chemischen Industrie Deutschlands entspricht. Betrachtet man die globale Biomasseproduktion von rund 170 Mrd. t/a, so wird deutlich, dass 75% hiervon als Kohlenhydrate vorliegen (Cellulose, Chitin, Stärke und Saccharose), 20 % als Lignin und nur 5% in Form anderer Naturstoffe, wie Fette, Öle und Proteine. Kohlenhydrate stellen damit den wichtigsten Ausgangspunkt für die Herstellung von Bulk- und Feinchemikalien sowie neuen Materialien und Energieträgern dar. Aus der Vielzahl der aus Kohlenhydraten darstellbaren Verbindungen zählen insbesondere Milchsäure, Zitronensäure, Ethanol, Essigsäure und Lävulinsäure als bedeutende Intermediate für den Aufbau industriell relevanter Produktionsstammbäume (Abbildung 20).

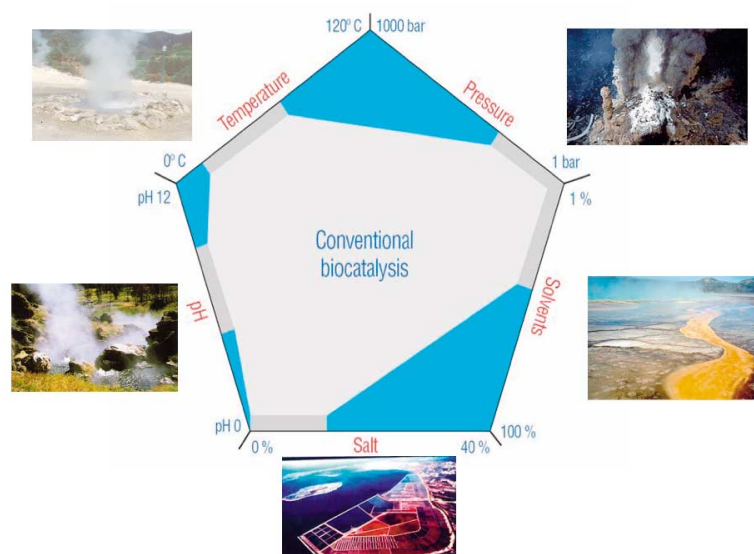
Zu den wichtigsten Herausforderungen zählt nach wie vor die effiziente Umsetzung von Lignin-, Hemicellulose und Cellulose-haltigen Pflanzenmaterialien. Auf diesem Gebiet besteht hoher Forschungsbedarf, um Enzymsysteme zur Verfügung zu stellen, die diese komplexen Biopolymere hydrolysieren können. Hochaktive Hemicellulasen und Cellulasen sind dringend erforderlich, um auch Pflanzenabfälle wie Stroh für eine biotechnologische Verwertung zugänglich zu machen. Durch die Nutzung von pflanzlichen Abfällen können hochwertige Kohlenhydratquellen (Stärke) für die Ernährung von Menschen und Tieren erhalten bleiben.

6.4 Verbesserte, interdisziplinäre Ausbildung

Um für die Herausforderungen der Zukunft gewappnet zu sein, bedarf es intensiver Anstrengungen, um die Ausbildung von Naturwissenschaftlern so zu verbessern, dass diese den interdisziplinären Erfordernissen der biotechnologischen Berufswelt gerecht werden können. Dabei müssen die Ausbildungsinhalte zwar genügend Breite und Interdisziplinarität sicherstellen, aber gleichzeitig auch die Spezialisierung in den einzelnen Fachgebieten (Mikrobiologie, Molekularbiologie, Biochemie, Verfahrenstechnik, Bioinformatik) nicht vernachlässigen. Als positive Beispiele können sicherlich die DFG-geförderten Graduiertenkollegs sowie die Doktorandenausbildung in den Sonderforschungsbereichen angesehen werden. Neue Chancen ergeben sich zusätzlich durch die Internationalisierung der Studiengänge und die in diesem Zusammenhang notwendige Neuordnung in Bachelor- und Master-Studiengänge. Die breitgefächerte Grundlagenausbildung kann hierbei im Bachelor-Studium stattfinden, während die notwendige Spezialisierung im Master-Studium und in der Promotion erfolgt. Immer wichtiger werden auch die sogenannten Softskills (Fähigkeit zur Teamarbeit, Konfliktlösung) und zusätzliche Qualifikationen wie im Projektmanagement, in der Kostenrechnung und anderen betriebswirtschaftlichen Feldern (Abbildung 21).

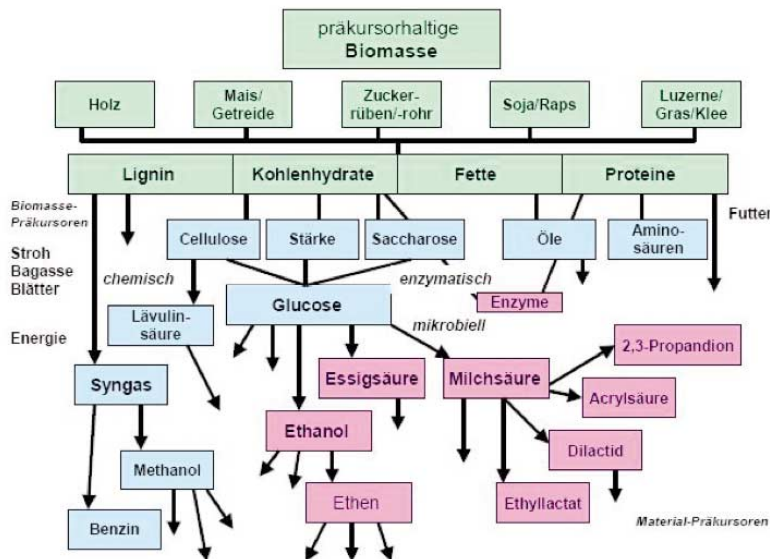
Abb. 19

Enzyme aus extremophilen Mikroorganismen ermöglichen biokatalytische Umsetzungen auch unter ungewöhnlichen Bedingungen (dunklere bzw. hellblaue Bereiche)



Nachwachsende Rohstoffe als Ausgangsstoffe für chemische Synthesen

Abb. 20



Verbesserte Ausbildung an den Hochschulen

Abb. 21

Ausbildung an den Hochschulen

Generalist, Spezialist ... Biotechnologe

Förderung der Interdisziplinarität und zugleich
Spezialisierung in den Schlüsseldisziplinen der
Biotechnologie (Biologie, Verfahrenstechnik, Chemie)



Positive Beispiele

Promotionsprogramme (Graduiertenkollegs, SFB, Netzwerkprojekte,
EU: Cost-Projekte)

Neue Chancen

Internationalisierung der Studiengänge (Bachelor / Master)

- Chance, neue Studienpläne zu entwickeln
- breite Übersicht im Bachelor-Studiengang und Spezialisierung im Master-Studiengang
- zusätzliche Qualifikation: Projektmanagement, Teamarbeit, soft skills

7 Zukünftige Trends und Technologiefelder

Die rasante Entwicklung von neuen Werkzeugen und Methoden (Gentechnik, Genomanalysen, Genoptimierung, Einsatz Roboter gestützter Analyse- und Screeningsysteme) in den letzten Jahren erlaubt uns heute die detaillierte Untersuchung von Mikroorganismen und ihren Enzymen. Es ist davon auszugehen, dass sich die Biotechnologie ähnlich wie die Silizium- und Informationstechnologie zu einer Schlüsseltechnologie des 21. Jahrhunderts entwickeln wird. Schwerpunkte und Trends werden dabei sicherlich in den folgenden Technologiefeldern gesetzt werden:

7.1 Die Bioraffinerie

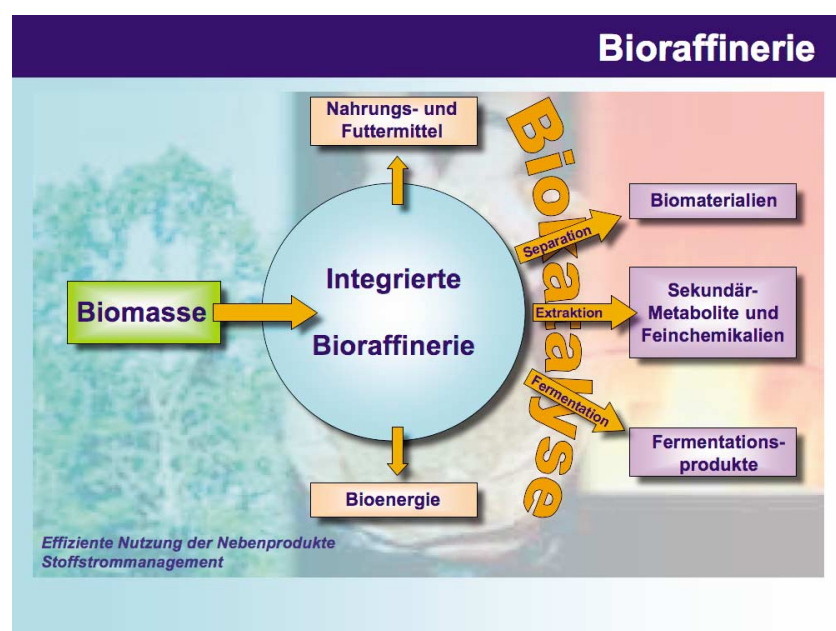
Unter einer Bioraffinerie versteht man einen Produktions- und Wertschöpfungsprozess, der nachwachsende Rohstoffe und Biomasseabfälle in vollem Umfang verwertet und dabei biotechnologische, mechanische und thermische Konzepte synergistisch bündelt (Abbildung 22). Zusätzlich ist es aber auch möglich, durch biotechnologische Verfahren aus den pflanzlichen Rohstoffen den Grundbaustein Glucose zu gewinnen, aus dem in nachfolgenden Schritten Grundchemikalien wie Ethanol, Methan, Wasserstoff aber auch Feinchemikalien und Wirkstoffvorstufen, wie beispielsweise veredelte Kohlenhydrate, hergestellt werden können. Dabei werden biotechnologische und chemische Verfahren nicht in Konkurrenz zueinander stehen sondern sich je nach ökologischen und ökonomischen Gesichtspunkten ergänzen. Die Bioraffinerie ist also ein Zukunftskonzept, das die bisherigen Grenzen zwischen den natur- und ingenieurwissenschaftlichen Disziplinen auflöst, um innovative, interdisziplinäre Lösungsansätze anzubieten. Neben der Interdisziplinarität machen die Nachhaltigkeit sowie die ökologischen und ökonomischen Vorteile dieses Konzept besonders zukunftssicher (Abbildung 9). Dabei hängt der eingesetzte pflanzliche Rohstoff ganz von der jeweiligen Verfügbarkeit ab und unterscheidet sich je nach Region (Amerika, Europa, Asien).

7.2 Prozessintegration und Downstream-Processing

Wie schon beim Konzept der Bioraffinerie handelt es sich bei der Prozessintegration um einen integrierten und interdisziplinären Lösungsansatz. Die Prozessintegration stellt einen wichtigen Teil der Biokatalyse und anschließenden Produkt-, Enzym- bzw. Mikroorganismenabtrennung (Downstream-Processing) dar. Die Prozessintegration umfasst dabei so wichtige Aspekte wie 1. Modellierung und Simulation, 2. Prozessdesign und -optimierung, 3. Prozesssteuerung und 4. Maßstabsvergrößerung (Scale-up). Eine innovative Prozessintegration basiert auf ökologischen und ökonomischen Erwägungen und bezieht neue Strategien zur Steigerung der Produktausbeute sowie zur Senkung von Energieeintrag und Abfällen mit ein. Ziel ist es, vielstufige Verfahren zu vereinfachen und die Produktabtrennung mit der Produktsynthese zeitlich und räumlich zu kombinieren. Möglich wird dies beispielsweise durch die Integration von der Membrantechnologie in den biotechnologischen Produktionsprozess. Ein wichtiger Aspekt bei der Prozessentwicklung ist auch die Prozessintensivierung, also die Steigerung der Raum-Zeit-Ausbeute eines Produktionsverfahrens. Dies kann z. B. durch eine Druck- oder Temperaturerhöhung erreicht werden, da viele Prozesse bei erhöhter Temperatur und unter hohem Druck schneller ablaufen.

Abb. 22

Das Prinzip der Bioraffinerie ist die vollständige stoffliche und energetische Nutzung nachwachsender Rohstoffe. Aus Biomasse entstehen so durch enzymatische Biokonversion bzw. Fermentation (Ganzzellbiotransformation) hochwertige Produkte. Die anfallenden organischen Abfälle können zu Biogas und Dünger weiterverarbeitet werden.



Unter solchen rauen Bedingungen könnten dann beispielsweise oben erwähnte Enzyme aus extremophilen Mikroorganismen zum Einsatz kommen.

8 Fazit

Die Natur stellt uns vielseitige Werkzeuge zu Verfügung, mit denen neuartige industrielle Prozesse und Produkte für eine nachhaltige Chemie entwickelt werden können. Die biotechnologische Herstellung von Bulk-, Feinchemikalien und Kraftstoffen unter Einsatz isolierter Enzyme oder ganzer Zellen (industrielle Biotechnologie) gewinnt gegenwärtig zunehmend an Bedeutung.

Das große Problemlösungspotenzial der industriellen Biotechnologie liegt darin begründet, dass es sich um eine wirklich integrative Technologie handelt, die das Know-how verschiedener ingenieurs- und naturwissenschaftlicher Bereiche synergistisch bündelt. Man kann mit Recht davon ausgehen, dass die industrielle Biotechnologie dazu beitragen wird, die Lücke zwischen biologischen und chemischen Prozessen zu schließen. Die Komplexität der Querschnittsdisziplin Biotechnologie erfordert die Bündelung von unterschiedlichen Expertisen in ausgewiesenen Kompetenzzentren, die nicht nur deutschlandweit Innovationen vorantreiben, sondern auch

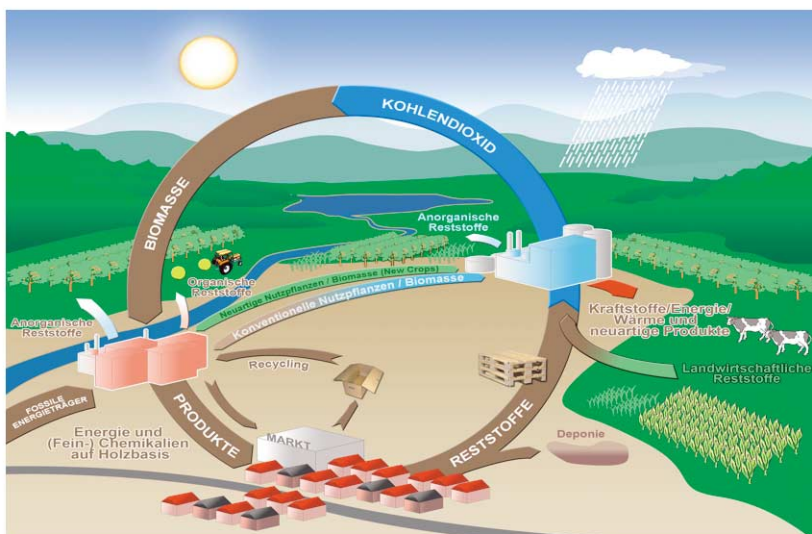
internationale Leuchttürme darstellen. Ziel der gemeinsamen Anstrengungen ist es, die Umwelt auch für die zukünftigen Generationen zu schützen.

[Weiterführende Quellen]

- Biotechnologie als interdisziplinäre Herausforderung (2001). S. Heiden, C. Burschel, R. Erb (Hrsg.), Spektrum Akademischer Verlag, Heidelberg, Berlin, ISBN: 3-8274-0893-8.
- Bertoldo, C., Grote, R., Antranikian, G. (2001). Biocatalysis under extreme conditions. In: Rehm, H.-J. (ed.) Biotechnology, Vol. 10, Wiley-VCH, Weinheim, 61-103.
- McKinsey & Company: Industrial Biotechnology, 2003 (www.mckinsey.com).
- Festel, G., Knöll, J., Götz, H. & Zinke, H. (2004): Der Einfluss der Biotechnologie auf Produktionsverfahren in der Chemieindustrie. Chemie Ingenieur Technik, 76, No. 3, 307 - 312, Wiley-VCH, Weinheim.
- Frost & Sullivan: Advances in Biotechnology for Chemical Manufacture, 2003 (www.frost.com, www.technical-insights.frost.com).
- CEFIC: Horizon 2015: Perspectives for the European Chemical Industry, 2004 (www.cefic.org/scenario2015).

Die Bioraffinerie: Geschlossene Kreisläufe sichern einen nachhaltigen Umgang mit den natürlichen Ressourcen und eine ganzheitliche Nutzung von Biomasse.
Modifiziert nach: Oak Ridge National Laboratory, Oak Ridge, TN, USA.

Abb. 23



- CEFIC & EuropaBio: A European Technology Platform for Sustainable Chemistry, 2005 (http://www.europabio.org/relatedinfo/ETP_sustainable_chemistry.pdf)
- DECHEMA e. V. Weiße Biotechnologie: Chancen für Deutschland, 2004, DECHEMA, Frankfurt am Main (<http://wbt.dechema.de/>).
- InnovationsCentrum Biokatalyse: www.icbio.de
- Internationale Sammlung von Biokatalysatoren: www.biocatcollection.de

Umweltentlastung durch biotechnische Verfahren

1 Anforderungen an eine nachhaltige Chemieproduktion

25 Prozent der europäischen Chemieproduktion wird von deutschen Unternehmen erwirtschaftet. Deutschland ist also ein führender Chemiestandort und damit besonders gefordert, eine nachhaltige Chemieproduktion zu entwickeln und umzusetzen. Unter „nachhaltig“ ist dabei eine umwelt- und gesellschaftsverträgliche Wirtschaftsweise zu verstehen, die global und über Generationen hinweg Bestand hat. Wie für alle Branchen stellt sich auch für die Chemische Industrie die Frage, welche Anforderungen an solch eine „nachhaltige“ Produktion zu erfüllen sind. Das Umweltbundesamt und die meisten europäischen Akteure verfolgen zur Erreichung einer „Nachhaltigen Chemie“ weitgehend dieselben ökologischen Ziele und setzen dabei auf ein breites Instrumentenspektrum, das regulatorische und freiwillige Maßnahmen ebenso einschließt wie Forschungsförderung und Bildungsprogramme.

Auf eine wichtige regulatorische Maßnahme der Europäischen Union soll an dieser Stelle hingewiesen werden, weil sie einen Schwerpunkt der Arbeiten im Umweltbundesamt darstellt: dabei handelt es sich um die Konkretisierung der nachhaltigen Produktion: Hierzu sind sog. „Leitgedanken“ (d.h. Kriterien) zum Stand der Technik in der Richtlinie zur Integrierten Vermeidung und Verminderung von Umweltverschmutzungen (IVU-Richtlinie 96/61/EG) zu berücksichtigen. Die IVU-RL setzt für die Genehmigung chemischer Produktionsanlagen den Einsatz der Besten Verfügbaren Technik (BVT) zum umfassenden Schutz der Umwelt voraus. Das erfordert den Einsatz energie- und materiaeffizienter Produktionsverfahren sowie die Minimierung der Emissionen und Unfallrisiken.

Das Umweltbundesamt will über den derzeitigen Stand der Technik und dessen Weiterentwicklung weitere Initiativen entwickeln. So sind zukunftsweisende Forschungs- und Entwicklungsarbeiten sowie Produkt- und Verfahrensinnovationen auf ihre Beiträge zur Umweltentlastung und zu einer nachhaltigen Produktionsweise zu prüfen.

2 Umweltentlastung durch Weiße Biotechnik

Die Biotechnik und hier insbesondere die Weiße Biotechnik ist ein innovatives Teilgebiet der Chemischen Industrie. Die chemische Industrie arbeitet häufig mit für die Umwelt problematischen Stoffen unter chemisch und physikalisch anspruchsvollen, energieintensiven Reaktionsbedingungen. Biotechnische Verfahren laufen dagegen unter vergleichsweise milden Bedingungen in wässrigem Milieu, bei niedrigen Temperaturen, Normaldruck und neutralem pH-Wert. In der Folge sind viele biotechnische Verfahren energie- und ressourceneffizient, risikoarm und gesundheitsverträglich. Die chemische Industrie setzt große Hoffnungen in die Weiße Biotechnik und will vor allem Kosten sparen. Bis zum Jahr 2010 wird ein Anstieg biotechnisch erzeugter Produkte in der chemischen Industrie von heute 5 % auf 10 bis 20 % gerechnet. Laut einer Studie von McKinsey könnten Unternehmen weltweit bis 2010 durch Rohstoff- und Energieeinsparung Kosten von insgesamt 6 bis 12 Milliarden Euro pro Jahr einsparen.

Positive Ergebnisse in Bezug auf Umweltentlastung zeigen Fallstudien biotechnischer Verfahren, die die Organisation für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung (OECD) 2001 veröffentlicht hat (Abbildung 24).

Abb. 24 Fallstudien Ressourceneinsparung- und Umweltentlastungspotenziale biotechnischer Verfahren (OECD, 2001) (k.A.: keine Angaben)

Fallstudie	Einsatz von		Emission in		Betriebskosten
	Energie	Rohstoffen	Luft	Wasser	
Vitamin B2	gleich	-75 % fossile Rohstoffe	-50 %	-66 %	-50 %
7-ACA	k.A.	k.A.	-90 %	-33 %	-90 % (umweltbezogen)
Cephalexin	Strom +, Dampf -	k.A.	-80 %	-80 %	Reduktion
Aminosäuren	gleich	k.A.	k.A.	k.A.	-43 %
Acrylamid	-80 %	k.A.	geringer	geringer	geringer
Acrylsäure	k.A.	geringer	geringer	geringer	-54 % (Rohstoffe)
Polyester	geringer	k.A.	geringer	k.A.	geringer

3 Studien des Umweltbundesamtes zur Bewertung von biotechnischen Verfahren

Das Umweltbundesamt hat in den vergangenen Jahren eine Reihe von Studien zur Bewertung von biotechnischen Verfahren erarbeiten lassen. Die Ergebnisse von drei Studien sind für den Rahmen der heutigen Veranstaltung relevant sind.

In der Studie der Umweltkanzlei Dr. Rhein (Rhein et al., 2002) wurden Ergebnisse dahingehend gewonnen, dass mit Hilfe biotechnischer Methoden Produktionsverfahren im Sinne des Arbeitsschutzes und des Umweltschutzes sicherer durchgeführt werden können als herkömmliche chemisch-technische Verfahren. Mehrere Beispiele (z. B. n-Butanol-, Acrylamid-, Propylenoxid-Herstellung) zeigen, dass biotechnische Verfahren durch den Einsatz von vergleichsweise weniger aggressiven Chemikalien und seichterem Produktionsbedingungen (niedrigere Temperaturen und Drücke) niedrigere Ansprüche an Regelungs- und Sicherheitstechniken stellen und schon hierdurch einen gewissen Preisvorteil für die Unternehmen haben können. Die Studie zeigt, dass aus Sicht der Anlagensicherheit sehr wohl ein risikoentlastendes Potenzial erkennbar ist. Das biologische Risiko ist bei industriellen Verfahren größtenteils sowieso gering, da in der Regel in geschlossenen Systemen mit Organismen der Risikostufe 1 gearbeitet wird, bei denen gemäß deutschem

Gentechnikgesetz (GenTG) und Biostoffverordnung (BioStoffV) nicht von einem Risiko für die menschliche Gesundheit und die Umwelt sowie die Beschäftigten auszugehen ist.

Ein wichtiges Ergebnis einer weiteren Studie, ausgeführt von dem Fraunhofer-Institut für Systemtechnik und Innovationsforschung (Hüsing et al., 2003), betrifft die Verwendung von lignocellulosehaltigen Rohstoffen für die biotechnische Verarbeitung in Wertstoffe. Neben der Studie kommt auch ein kürzlich erschienenen Papier der OECD (OECD, 2005) zu dem Schluss, sowohl vermehrt Gras und Stroh (speziell für Bioraffinerien) sowie lignocellulosehaltiges Material verstärkt als Rohstoffe zu nutzen. Dieses Material steht in großen Mengen zur Verfügung. Heute bleibt es meist ungenutzt oder wird vielfach verbrannt. Dafür ist dieses Material eigentlich zu wertvoll. Es besteht ein Bedarf daran, dieses Material ökonomisch und effektiv umzusetzen (alle Bestandteile einer Pflanze sind zu nutzen, nicht nur die Früchte; auch die in der Biomasse enthaltenen Proteine sollen genutzt werden). Neben der Herstellung von Wertstoffen würde dieses Material dann auch als Tierfutter zur Verfügung stehen.

Das Bayerische Institut für Angewandte Umweltforschung und Technik, BIfA (Hoppenheidt et al., 2005) erarbeitete eine Studie, die vergleichende Analysen zur Abschätzung des Entlastungspotenzials

Teilbereiche der Studie „Entlastungseffekte für die Umwelt durch Substitution konventioneller chemisch-technischer Prozesse und Produkte durch biotechnische Verfahren“ (Hoppenheidt et al., 2005)

Abb. 25

- Vergleichende ökologische Bewertung biotechnischer und chemischer Verfahren
 - Vitamin B₂-Produktion
 - Lederherstellung
- Produktvergleich von Produktsubstitutionen mit funktionaler Gleichwertigkeit
 - Loose-fill-Packmittel
 - Leistungsförderer für die Tierproduktion
 - Enzymeinsatz in Vollwaschmitteln
- Vergleich einer biotechnischen mit einer chemischen Anlage in Bezug auf die Konzeption

für die Umwelt durchführte (Abbildung 25). Im ersten Teilprojekt betreffen zwei Analysen den Vergleich von Verfahren, d.h. ein biotechnisches Verfahren und ein chemisches Verfahren zur Herstellung von einem identischen Produkt wurden miteinander verglichen.

Besonders das erste Teilprojekt und hier die Produktion von Vitamin B₂ ist im Rahmen dieses Workshops von Interesse.

Der tägliche Bedarf des Menschen an Vitamin B₂ (Lactoflavin, Riboflavin) (Abbildung 26) beträgt bis 1,8 mg. In den 40er Jahren wurde es bereits mit Hilfe von Mikroorganismen (z. B. *Clostridium acetobutylicum*) biotechnisch hergestellt. Aus Kostengründen wurde später das chemische Verfahren bevorzugt.

Heute wird es wieder überwiegend biotechnisch hergestellt. Dazu verhalf, dass zwischenzeitlich wesentliche Optimierungen des biotechnischen Verfahrens erzielt wurden. Die weltweite Gesamtproduktion von Vitamin B₂ wird auf knapp 30.000 Tonnen geschätzt, wobei die jährliche Wachstumsrate der Produktionsmenge bei 3 – 4 % liegt. Die BASF AG und die DSM Nutritional Products stellen heute etwa 70 Prozent des weltweit produzierten Vitamin B₂ her. Die BASF AG ersetzte 1996 das chemische Verfahren und verwendet eine für die Überproduktion optimierte Mutante des Pilzes *Ashbya gossypii*. Die Roche Vitamin GmbH (heute DSM Nutritional Products) nahm im Jahr 2000 die biotechnische Produktion von Vitamin B₂ auf. Dieses arbeitet mit einem gentechnisch veränderten Bakterium *Bacillus subtilis*.

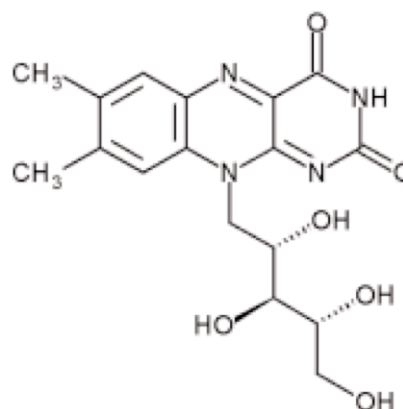
In der Studie werden die biotechnischen Verfahren beider Unternehmen in einen ökobilanziellen Vergleich mit dem chemisch-technischen Verfahren einbezogen. Der ökobilanzielle Vergleich lehnte sich in seiner Methodik an die sog. Ökobilanz an (Abbildung 27). Die Ökobilanz erlaubt eine wissenschaftlich fundierte Analyse von Verfahren und Produkten. Diese Methode ist genormt (DIN EN ISO 14040-14043). Hauptbestandteil ist zunächst die Festlegung des Ziels und Rahmens, also der Systemgrenzen der Untersuchung, also welcher Bereich des Lebensweges eines Produktes soll von der Wiege bis zur Bahre vergleichend untersucht werden. In einer Sachbilanz werden dann alle In- und Outputgrößen gesammelt, bevor sie einer sog. Wirkungsabschätzung unterzogen und schließlich ausgewertet werden. Das ist ein komplizierter und überaus umfangreicher Prozess, der natürlich in einem so kleinen Projekt wie der von der BfA erarbeiteten Studie nicht vollständig zu leisten war. Um eine Vergleichbarkeit von Produkten und Verfahren zu gewährleisten, müssen neben der Festlegung der funktionellen Einheiten auch die Grenzen der Betrachtung für die zu vergleichenden

Szenarien konsistent definiert werden. Da für die Studie Zeit, Daten und Mittel oft nicht ausreichend zur Verfügung standen, musste von den Verfassern oft eine Entscheidung darüber getroffen werden, welche Module zur Untersuchung miteinbezogen werden sollten. Einzelheiten sind der Studie zu entnehmen, die auf den Internetseiten des Umweltbundesamtes (www.umweltbundesamt.de) kostenlos herunterzuladen sind. Der Übersichtlichkeit halber konzentriert sich der Vortrag auf die aus der Studie vorliegenden Daten des DSM-Prozesses (Im Ergebnis schneidet dieser ähnlich dem BASF-Prozess ab). Anzumerken ist, dass die Firmen DSM und BASF natürlich laufend ihre Verfahren verbessern. Daher können die gezeigten Daten in der Zwischenzeit überholt sein. Für unseren Zweck der Darstellung des umweltentlastenden Vorteils des biotechnischen Verfahrens mögen die hier genannten Werte genügen.

Beim Vergleich des biotechnischen mit dem chemischen Verfahren (Abbildung 28) fällt auf, dass das chemisch-technische Verfahren vom Rohstoff bis zum Riboflavin über mehrere Syntheseschritte benötigt, wogegen das biotechnische Verfahren mit einem katalytischen Schritt mit Hilfe des eingesetzten Mikroorganismus auskommt.

Als Ergebnis der Bewertung in der Studie lässt sich festhalten, dass der biotechnische Prozess bei der Vitamin B₂-Produktion in fast allen Ökobilanz-Wirkungskategorien besser abschneidet, als das chemische Verfahren (in Abbildung 29 in weißen Zahlen dargestellt).

Abb. 26 Riboflavin



Elemente einer Ökobilanz

Abb. 27

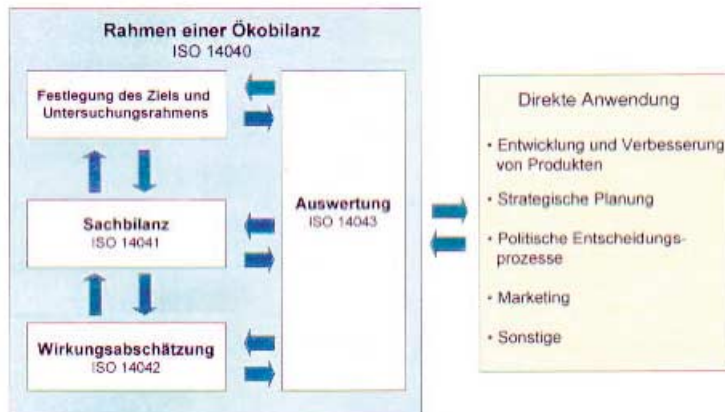
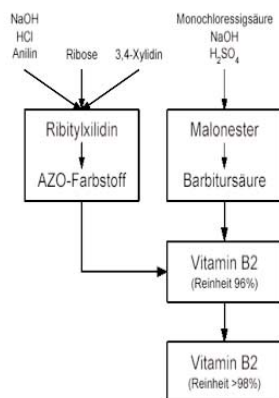
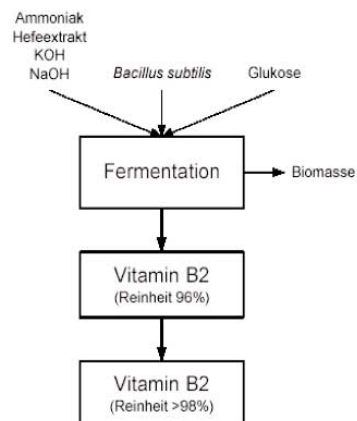
Verfahrensvergleich Vitamin B₂-Produktion

Abb. 28

chemische Vitamin B₂-Produktion



biotechnische Vitamin B₂-Produktion (Beispiel Roche)



Es wurden weniger Chemikalien und Energie verbraucht. Der erhöhte Wert des aquatischen Eutrophierungspotenzials ist fast ausschließlich auf die Abwasserbehandlung in den standorteigenen Kläranlagen zurückzuführen (99 % der PO_4 -Äquivalente kommen aus diesen). Hinzuweisen ist, dass es sich bei den gewonnenen Daten zum Eutrophierungspotenzial um Modellannahmen handelt und die Abwasserparameter aus Angaben in Abwasserberichten geschätzt wurden.

Aus unserer Sicht ist das wichtigste Kriterium, das eine innovative Technik zu einer „nachhaltigen“ Technik macht, der nachweisbare umweltentlastende Effekt. Deshalb ist das Umweltbundesamt an der diesbezüglichen Bewertung innovativer Techniken auf ihre Umweltrelevanz und deren Umweltentlastungspotenziale so interessiert. Bei all den positiven Beispielen darf man aber nicht zu euphorisch werden. Nicht alle derzeit realisierten biotechnischen Verfahren und Produkte sind unter Umweltgesichtspunkten vorteilhaft. So haben so genannte Ökoeffizienz-Analysen der BASF AG ergeben, dass die chemisch-technische Variante der Herstellung von Astaxanthin und von Indigo bessere Werte zeigte. Eine weitere Veröffentlichung (Gerngross, 1999) ergab für die biotechnische Polymerproduktion insbesondere wegen der landwirtschaftlichen Vorkette (Intensivlandwirtschaft: Einsatz von Schädlingsbekämpfungsmitteln und Herbiziden, Transportwege) eine höhere Umweltbelastung als die Polymerproduktion auf Erdölbasis.

4 Ausblick

Es bleibt noch eine Menge zu tun, um zumindest das von der Studie von McKinsey (McKinsey & Company, 2003) prognostizierte Wachstum auf 15 % im Jahr 2010 zu erreichen:

- Erwartete technische Entwicklungen müssen realisiert werden. Das betrifft sowohl die technische Entwicklung der Produktionsverfahren selbst als auch die der landwirtschaftlichen Vorkette zur Herstellung der nachwachsenden Rohstoffe.
- Es ist zu berücksichtigen, dass chemisch-technische Produktionsverfahren oft einen deutlichen Entwicklungsvorsprung haben. Außerdem werden auch hier innovative Techniken entwickelt und eingesetzt, die durchaus eine hohe Umweltrelevanz zeigen. Zu nennen ist hierbei beispielhaft die Nanotechnik und die Mikrosystemtechnik.
- Zur Realisierung der technischen Entwicklung ist sicherzustellen, dass geeignetes und entsprechend ausgebildetes Personal zur Verfügung steht.
- Eine entsprechende Nachfrage nach Verfahren und Produkten muss realisiert werden.
- Die Preisentwicklung für Rohstoffe – sowohl die fossilen als auch besonders die nachwachsenden – muss in entsprechen den Maß erfolgen.
- Geeignete politische Rahmenbedingungen müssen vorhanden sein.

Abb. 29 Ergebnis der Wirkungsabschätzung

	Einheit	Biotechnischer Prozess	Chemisch-technischer Prozess	Biotechnischer Prozess	Chemisch-technischer Prozess	Differenz (Bio. - Chem.)
				Einwohnerwerte	Einwohnerwerte	Einwohnerwerte
Wirkungskategorien, aggregiert						
KEA	GJ	391	590	2,24	3,38	-1,14
Treibhauspotential	Mg CO_2 -Äq.	25,0	33,5	2,12	2,84	-0,72
Versauerungspotential	kg SO_2 -Äq.	115	229	2,84	5,63	-2,79
Eutrophierungspotential (terrestr.)	kg PO_4 -Äq.	11,4	15,2	2,19	2,91	-0,73
Eutrophierungspotential (aquat.)	kg PO_4 -Äq.	21,4	5,8	3,85	1,04	2,81
Ozonbildungspotential (POCP)	kg Eth-Äq.	8,6	20,3	0,99	2,35	-1,36
Humantoxische Einzelstoffe						
Benzo(a)pyren (L)	g	0,0067	0,0034	0,04	0,02	0,02
Blei (L)	g	0,28	0,16	0,04	0,02	0,02
Cadmium (L)	g	0,095	0,034	0,71	0,26	0,45
Schwefeldioxid (L)	kg	53,2	145,56	5,51	15,1	-9,55
Staub (L)	kg	11,7	37,7	3,73	12,0	-8,25
Ökotoxische Einzelstoffe						
Ammoniak (L)	kg	8,42	1,15	1,11	0,15	0,96
Fluorwasserstoff (L)	kg	0,05	0,05	0,03	0,03	0,00
Schwefeldioxid (L)	kg	53,2	146	5,51	15,1	-9,55
Schwefelwasserstoff (L)	g	0,061	0,36	–	–	–
Stickoxide (L)	kg	65,3	114	3,36	5,85	-2,49
Ammonium (W)	kg	8,16	1,48	2,92	0,53	2,39
AOX (W)	g	0,0024	7,75	0,000045	0,15	-0,15
Chlorid (W)	kg	100	239	–	–	–
Kohlenwasserstoffe (W)	kg	0,001	2,04	0,01	39,3	-39,25

Für eine qualifizierte Beurteilung des Umweltentlastungspotenzials von innovativen Verfahren und Produkten ist die Bewertung dieser Verfahren und Produkte mit Hilfe geeigneter Instrumente wie die Ökobilanz unabdingbar. Ein gravierendes Hemmnis zur Durchführung solcher Bewertungen sind fehlende Daten und Informationen besonders zu innovativen Verfahren, wie Erfahrungen bei biotechnischen Verfahren zeigten und die sich vermutlich auch bei der zukünftigen Bewertung nanotechnischer Verfahren wiederholen werden. Daher an dieser Stelle unser Appell an die chemische Industrie, dem Umweltbundesamt die zur Beurteilung notwendigen Daten im Rahmen ihrer „Responsible-Care-Verantwortung“ zur Verfügung zu stellen, damit es in die Lage versetzt wird, für umweltfreundliche innovative Verfahren „werben“ zu können. Weiter schlagen wir vor, Produktzertifikate als Anreiz für die Anwendung innovativer Techniken in der chemischen Industrie zu schaffen. Voraussetzung hierfür sind selbstverständlich auch Ergebnisse ökobilanzieller Betrachtungen.

Außerdem halten wir eine verstärkte Integration biotechnischer Lehrinhalte in die Ausbildung auch von Chemikern für wichtig. Wie wir aus der Vergangenheit wissen, können mangelndes Wissen von geeigneten Alternativverfahren und mangelnde Akzeptanz biologischer/biotechnischer Verfahren die Einführung von umweltverträglichen Verfahren durchaus verzögern. Wir legen bei der Ausbildung von Chemikern, Biologen und Biotechnologen größten Wert auf die Berücksichtigung von Umwelt- und Gesellschaftsaspekten. Nur so kann die Ausbildung zu später verantwortungsvoll tätigen Wissenschaftlern gelingen.

Zur Verbesserung der Situation brauchen wir einen noch intensiveren Dialog mit dem Verband der Chemischen Industrie e.V. (VCI) und einzelnen Betreibern. Bestandteil dieses Dialogs ist die heutige Veranstaltung.

[Weiterführende Literatur]

- DIN – Deutsches Institut für Normung e.V. (1997):
DIN EN ISO 14040 – Umweltmanagement – Produkt-Ökobilanz – Prinzipien und allgemeine Anforderungen. Beuth Verlag, Berlin.
- DIN – Deutsches Institut für Normung e.V. (1999):
DIN EN ISO 14041 – Umweltmanagement – Ökobilanz – Festlegung des Ziels und des Untersuchungsrahmens sowie Sachbilanz. Beuth Verlag, Berlin.
- DIN – Deutsches Institut für Normung e.V. (2000):
DIN EN ISO 14042 – Umweltmanagement – Ökobilanz – Wirkungsabschätzung. Beuth Verlag, Berlin.
- DIN – Deutsches Institut für Normung e.V. (2000a):
DIN EN ISO 14043 – Umweltmanagement – Produkt-Ökobilanz – Auswertung. Beuth Verlag, Berlin.
- Gerngross, T.U. (1999): Can biotechnology move us toward a sustainable society? *Nature Biotechnology* Vol. 17, pp. 541-544.
- 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. Umweltbundesamt Texte 07/05.
<http://www.umweltdaten.de/publikationen/fpdf-l/2876.pdf>
- Hüsing, B., Angerer, G., Gaisser, S., Marscheider-Weidemann, F. (2003): Biotechnologische Herstellung von Wertstoffen unter besonderer Berücksichtigung von Energieträgern und Biopolymeren. Umweltbundesamt Texte 64/03.
- McKinsey & Company (2003): Industrial Biotechnology. Internet: www.mckinsey.com.
- OECD (2001): The Application of Biotechnology to Industrial Sustainability.
- OECD (2005): Working Party on Biotechnology: Environmental Impacts of the Biobased Economy. DSTI/STP/BIO(2005)42, 14.11.2005 (unclassified).
- Rhein, H.-B., Katzer, S., Hitzmann, B., Schnitzmeier, D., Ulber, R. (2002): Ermittlung von Substitutionspotentialen von chemischen Verfahrenstechniken durch bio-/ gentechnische Verfahren zur Risikovorsorge. Umweltbundesamt Texte 29/02.

Weißer Biotechnologie: Biotech meets Chemistry

Zum Einstieg in das Thema habe ich Ihnen ein Gebet mitgebracht, das Stoßgebet eines unbekannten Chemikers (Abbildung 30).

Die Chemiker haben schon immer die Natur als einen wesentlichen Lehrmeister für die organische Synthese betrachtet. Daher lehnen sich viele organische Synthesen auch an natürliche (sprich biologische) Prozesse an. In der Weißen Biotechnologie geht es nun darum, biologische Stoffumwandlungen selbst industriell zu nutzen (Abbildung 31).

Weißer oder industrielle Biotechnologie ist die Anwendung von Mikroorganismen und Enzymen für die Herstellung von Chemikalien sowie die Nutzung von Enzymen/Proteinen und Mikroorganismen als industrielle Produkte (Abbildung 31). Schwerpunkt ist die gezielte Stoffumwandlung mit biologischen Methoden. Damit ist zum einen die Fermentation gemeint, bei der die Stoffwechselleistung lebender Mikroorganismen genutzt wird, um aus nachwachsenden Rohstoffen Chemikalien, Biokraftstoffe, Biopolymere oder Enzyme herzustellen. Letztere können nun selbst als industrielle Produkte vermarktet werden. Als Beispiel seien Waschmittelenzyme genannt. Zum anderen können Enzyme als Katalysatoren in chemischen Prozessen eingesetzt werden, um konventionelle petrochemische Rohstoffe umzuwandeln (Biokatalyse). Lassen Sie mich kurz darlegen, was aus unserer Sicht nicht zu diesem Arbeitsgebiet gehört (Abbildung 32). Ohne eine klare Definition des Umfangs dieser Technologie lassen sich Marktzahlen, wie sie reichlich in der Presse kursieren, nicht miteinander vergleichen.

Pharmaproteine, beispielsweise Insulin, Antikörper, Wachstumshormone, bilden den Schwerpunkt der „Roten“ Biotechnologie. Sie sollten deshalb nicht als Produkte der Weißen Biotechnologie betrachtet werden, obwohl diese Aufteilung natürlich eine gewisse Willkür aufweist. Das Arbeitsgebiet der rein chemischen Umwandlung nachwachsender Rohstoffe, beispielsweise die etablierte Oleochemie, kann nicht als Teil der industriellen Biotechnologie betrachtet werden. Gleiches gilt für Biodiesel – es sei denn, zukünftig würden Enzyme als Katalysatoren in der Biodieselproduktion Verwendung finden.

Die Gewinnung von Naturstoffen aus Pflanzen, beispielsweise Phytochemikalien, Naturkautschuk oder auch Stärke, gehört nicht zum Arbeitsgebiet der Weißen Biotechnologie – ebenso wenig wie der Abbau organischer Materialien in Kläranlagen. Nur Produkte, die durch gezielte Stoffumwandlung mit biologischen Methoden (Fermentation und Enzymkatalyse) hergestellt werden, sollten als Produkte der Weißen Biotechnologie betrachtet werden. Die Weiße Biotechnologie hat in den letzten Jahren einen großen Aufschwung erfahren. Diese Renaissance, die von manchen auch als die dritte Welle der Biotechnologie bezeichnet wird, hat verschiedene Ursachen (Abbildung 33).

Zum einen gibt es beachtliche technologische Fortschritte, wie es heute Morgen schon Professor Antranikian vorgestellt hat. Man kann heute viel besser als noch vor einigen Jahren biologische Systeme, sprich Mikroorganismen und Enzyme, gezielt optimieren, was die Möglichkeit für neue industrielle Anwendungen eröffnet. Zum anderen wird die Weiße Biotechnologie von allen Seiten als eine nachhaltige Technologie angesehen. Dabei spielt die Nutzung nachwachsender Rohstoffe, die damit einhergehende Unabhängigkeit von Öl und Gas sowie die positive CO₂-Bilanz eine besondere Rolle. Die öffentliche Forschungsförderung auf diesem Gebiet nimmt seit einigen Jahren deutlich zu. Auch die chemische Industrie unternimmt beträchtliche Anstrengungen. Schließlich gibt es eine lebhaftere Start-up-Szene und – last but not least – spektakuläre

Abb. 30 White (Industrial) Biotechnology
The Chemist's Perspective

White (Industrial) Biotechnology The Chemist's Perspective



**Oh Lord, I fall upon my knees
And pray that all my syntheses
Will no longer seem inferior
To those conducted by bacteria**

Organic Chemist's Prayer (unknown origin)

White Biotechnology
Definition

Abb. 31

White Biotechnology
Definition

White or industrial biotechnology is the application of microorganisms and enzymes for the production of chemical products or their use as industrial products

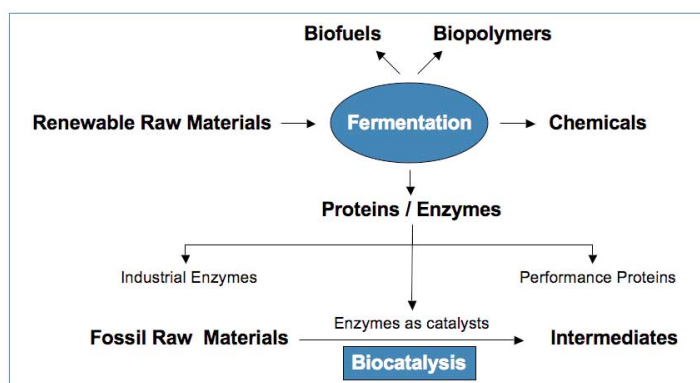
White Biotechnology
Scope

Abb. 32

White Biotechnology
Scope**White Biotechnology is not:**

- Pharmaproteins (Biologics e.g. Antibodies, Hormones, etc.)
- Discovery research in pharma or agrochemicals
- Chemical transformation of renewable raw materials
- Biodiesel
- Extraction of natural products from plants
- Degradation of organic waste materials

Wachstumsprognosen von verschiedenen Beratern: In diesen Prognosen aus dem Jahre 2003 wurde das zukünftige Marktwachstum verschiedener Produktklassen analysiert (Abbildung 34). Der Bedarf an Bioethanol, dem größten Produkt der Weißen Biotechnologie und zurzeit wichtigsten Biokraftstoff, nimmt enorm zu. Allein in den USA befinden sich gegenwärtig 40 Neuanlagen im Aufbau. Vitamine und Aminosäuren sind etablierte Arbeitsgebiete der industriellen Biotechnologie. Das Mengenwachstum dieser Produkte ist zwar ungebrochen, aber gleichzeitig verfallen die Preise. Das gleiche gilt für die organischen Säuren (wie Zitronensäure und Milchsäure).

Bei den Pharmazwischenprodukten und Pharmawirkstoffen erwarten wir ein solides Wachstum, gleiches gilt für Enzyme und Aromachemikalien. Der Gesamtumsatz mit Produkten der Weißen Biotechnologie – ca. 30 Mrd. \$ in 2001 – wird bis zum Jahr 2010 deutlich zunehmen. Den hier dargestellten Prognosen können wir uns allerdings nicht anschließen. Wir schreiben bereits das Jahr 2006. Der Großteil des Wachstums des Chemiemarktes findet in Asien statt. Die meisten Anlagen, die dort im Bau sind, um dieses Wachstum zu befriedigen, sind klassische Chemieanlagen. Daher ist es aus unserer Sicht unmöglich, dass in 2010 die Produkte der Weißen Biotechnologie 10 oder gar 20 % des Chemieumsatzes ausmachen. Wir sind allerdings davon überzeugt, dass die Produkte der Weißen Biotechnologie schneller wachsen werden als die der konventionellen Chemie, nicht zuletzt wegen einer zunehmenden Nachfrage im Markt nach biobasierten Produkten.

Was tut die BASF nun, um an diesem Wachstum Teil haben zu können? Wir haben im letzten Jahr sogenannte Wachstumscluster definiert (Abbildung 35). Wir wollen in den nächsten Jahren beträchtliche Forschungsmittel in die hier dargestellten Arbeitsgebiete investieren. Über 50 % dieser Forschungsmittel fließen in die Biotechnologie (Pflanzenbiotechnologie und Weiße Biotechnologie). Weitere Schwerpunkte sind Energiemanagement, Rohstoffwandel und Nanotechnologie.

Erwähnt werden sollte, dass es auch außerhalb der Weißen Biotechnologie Forschungsthemen gibt, die stark mit dem Thema Nachhaltigkeit verknüpft sind, beispielsweise organische Photovoltaik (im Wachstumscluster Energiemanagement) oder die chemische Umwandlung nachwachsender Rohstoffe (im Wachstumscluster Rohstoffwandel).

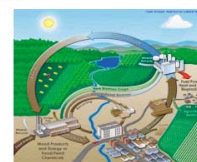
Was ist unsere Strategie im Wachstumscluster Weiße Biotechnologie? Was wollen wir erreichen (Abbildung 36)? Wir wollen den Wissenszuwachs in der Biotechnologie mit den BASF-Kernkompetenzen in der Chemie und Verfahrensentwicklung kombinieren, um neue Lösungen für unsere industriellen Kunden zu entwickeln. Wir konzentrieren uns dabei sowohl auf neue nachhaltige Prozesse, als auch auf neue Produkte. Letzteres kommt in der Diskussion zum Thema Weiße Biotechnologie oft zu kurz. Schwerpunkte sind Chemikalien, Monomere und Zwischenprodukte durch Fermentation und Enzymkatalyse, biobasierte Polymere sowie Spezialenzyme und Performance Proteine. Wir glauben, dass wir mit unserer Kompetenz in den Chemie-Märkten und unserem Know-how in der Anwendungstechnik in einer exzellenten Ausgangsposition sind. Wir wollen die „Nische“, in der sich die Biotechnologie in der BASF bis heute befindet, verlassen. Wie sieht diese Nische aus?

Abb. 33 White Biotechnology Renaissance – „The Third Wave“

White Biotechnology Renaissance - "The third Wave"



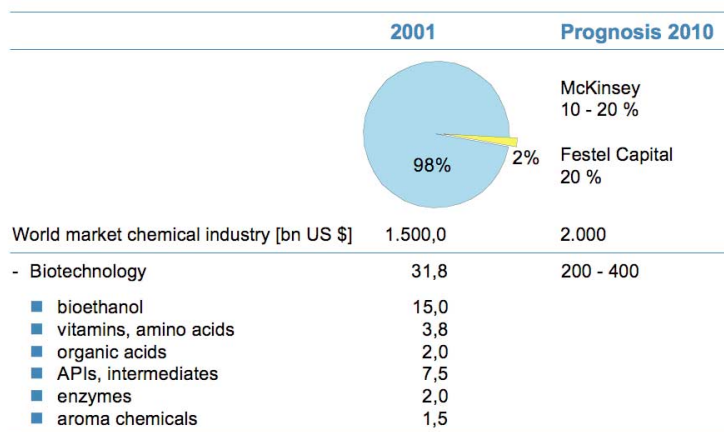
- Significant technological progress in identification and optimisation of biological systems opens up new opportunities for industrial application
- White Biotechnology is generally regarded as sustainable (renewable raw materials, independency from oil and gas, reduction of CO₂-emissions, low hazardous potential)
- Strong international public research funding
- Chemical Industry (e.g. BASF, DuPont, DSM, Degussa) is committed to White Biotechnology and actively communicates to stakeholders
- Vivid technology based start-up scene
- Spectacular growth forecasts by several consultants



„The Biotech Effect“
Wishful thinking or reality?

Abb. 34

„The Biotech Effect“
Wishful thinking or reality?



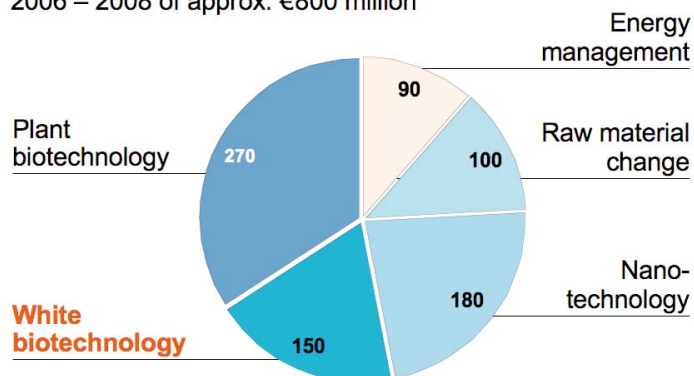
BASF 2005: „We innovate for growth!“
R&D focus on growth clusters

Abb. 35

BASF 2005: „We innovate for growth!“
R&D focus on growth clusters



Cross-platform developments in growth clusters:
2006 – 2008 of approx. €800 million



Gegenwärtig erwirtschaftet die BASF mit Produkten der Weißen Biotechnologie einen jährlichen Umsatz von ca. 400 Mio. €, was weniger als 1 % des gesamten Umsatzes der BASF darstellt. In der Forschung sind annähernd 200 Mitarbeiter beschäftigt. Wir haben eine Vielzahl von nationalen und internationalen Forschungsk Kooperationen und gehören in der Weißen Biotechnologie zu den fünf führenden Unternehmen auf der Welt.

Wir sind einer der größten Hersteller der Futtermittel-Aminosäure Lysin (Abbildung 37). Weiterhin produzieren wir durch Fermentation die Vitamine B₂ und C, das Enzym Phytase sowie Milchsäure. Enzyme als Katalysatoren nutzen wir, um chirale Zwischenprodukte (ChiPros®) herzustellen sowie für die Produktion des Pharmawirkstoffs Ephedrin. Auf drei Beispiele möchte ich näher eingehen: **Vitamin B₂** ist bis heute das einzige Produkt, bei dem es uns gelungen ist, einen etablierten chemischen Prozess durch einen biotechnologischen Prozess abzulösen (Abbildung 38).

Ich will kurz darauf eingehen, was diese beiden Verfahren unterscheidet (Abbildung 39). Bei den Herstellkosten wird mit dem biotechnologischen Verfahren eine Reduktion von 40 % erzielt, bei den Rohstoffen 60 %, bei den Abfallprodukten sogar 95 % und bei den

CO₂-Emissionen immerhin 30 %. Wenn die Vorteile so klar sind, lässt sich auch der Markterfolg nicht auf sich warten. Die BASF startete die Forschung zur biotechnologischen Herstellung von Vitamin B₂ Mitte der 80er Jahre. 1990 wurden 5 % des Weltmarktes biotechnologisch erzeugt (Abbildung 40). In 2002 waren es 75 % und heute wird quasi die gesamte B₂-Menge durch Fermentation erzeugt.

Heute Morgen wurde kurz über die Widerstände diskutiert, die diese biotechnologischen Prozesse in klassischen Chemieunternehmen überwinden müssen. In der Tat waren anfänglich diese Arbeiten innerhalb der Forschung der BASF durchaus umstritten. Die Diskussion ist heute verstummt. Zu erwähnen bleibt in diesem Zusammenhang, dass die Ablösung eines etablierten Prozesses immer sehr zeitaufwändig ist, und zwar unabhängig davon, ob es sich bei dem neuen Prozess um einen chemischen oder biotechnologischen Prozess handelt.

Abb. 36 White Biotechnology
Vision / Strategy

White Biotechnology Vision / Strategy



We combine **biotechnology** with BASF core competencies in (organic and polymer) **chemistry** and process development to create novel solutions for our industrial customers.

We focus on new sustainable processes *and* products:

- chemicals, monomers, intermediates from fermentation / biocatalysis
- biobased polymers
- performance proteins / speciality enzymes

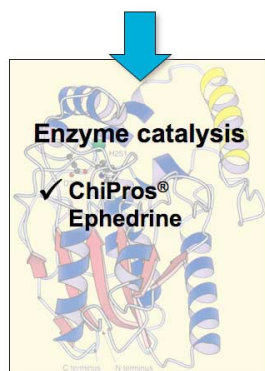
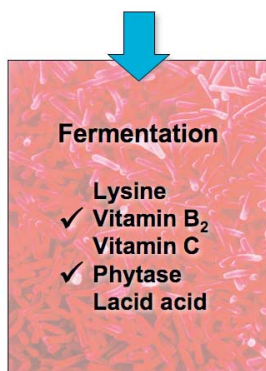
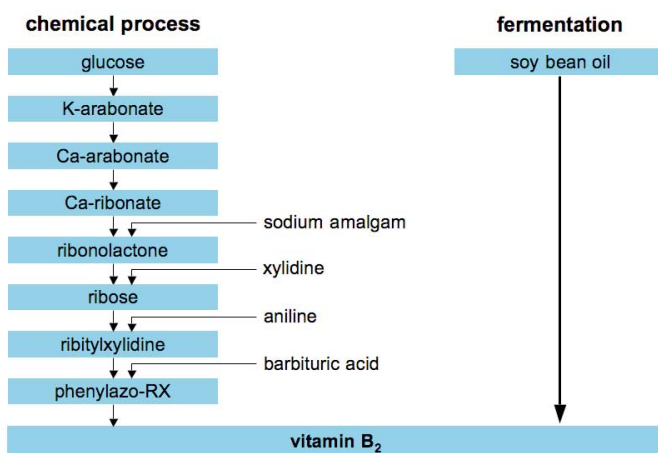
White Biotechnology at BASF
Established Products/Processes**Renewable raw materials****Petrochemical raw materials****Process for the Production of Vitamin B₂**

Abb. 39 Vitamin B₂ by Fermentation
Biotech vs Chemical Process

Vitamin B₂ by Fermentation

Biotech vs Chemical Process



Advantages:

- manufacturing costs
- 40 %
- raw materials
- 60 %
- waste
- 95 %
- CO₂-emissions
- 30 %

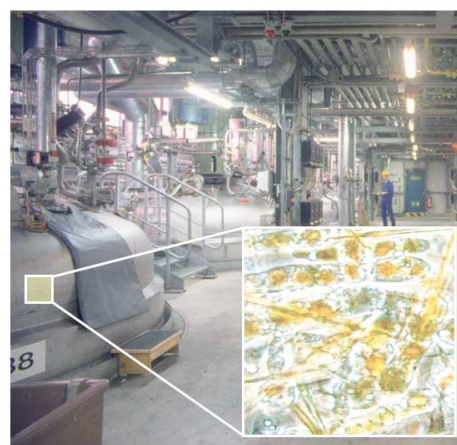
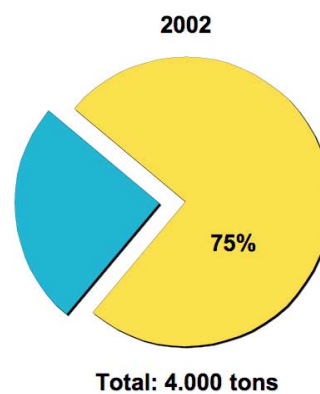
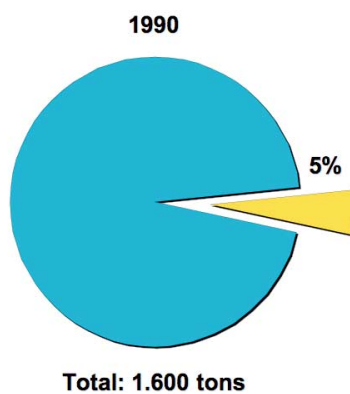


Abb. 40 Vitamin B₂ by Fermentation
Market Share

Vitamin B₂ by Fermentation

Market Share



Zweites Beispiel: Das Futtermittelenzym **Phytase**.

Das BASF-Handelsprodukt heißt Natuphos® (Abbildung 41). Aufgabe dieses Produktes ist es, als Futterzusatzstoff den natürlichen Phosphorspeicher Phytat, der in Getreide vorkommt, für das Nutztier besser verwertbar zu machen. Das Enzym sorgt durch Abspaltung des Phosphats für eine bessere Verfügbarkeit des natürlichen Phosphors im Getreide. Durch 100 g der Enzymformulierung kann der Zusatz von über 6 kg Calciumphosphat vermieden werden. Dies stellt eine echte Entlastung für die Umwelt dar, weil das zugesetzte Phosphat schließlich seinen Weg in das Abwasser finden würde. Heute arbeiten wir daran, dieses Enzym in seiner Performance zu verbessern.

Zum dritten Beispiel: Die chiralen Zwischenprodukte oder auch **ChiPros®** (Abbildung 42).

Wir verwenden hier ein Enzym, eine Lipase, um racemische Amine in die Enantiomere zu spalten. Das Enzym hat hier die Rolle eines Katalysators. Ein solcher Prozess unterscheidet sich nur sehr wenig von einem Chemieprozess. Das Enzym wird in diesem kontinuierlichen Verfahren als Immobilisat eingesetzt und agiert in wasserfreier, das heißt unnatürlicher Umgebung. Auf Basis dieser Technologie wurde in Ludwigshafen eine Multiproduktanlage für

verschiedene chirale Amine gebaut. Eine weitere Anlage für ein spezielles Pflanzenschutzzwischenprodukt, die auch diese Technologie nutzt, wurde in den USA in Betrieb genommen. Basierend auf diesen Erfahrungen haben wir unter Nutzung weiterer Enzyme, wie Nitrilasen und Dehydrogenasen, mittlerweile eine Palette von chiralen Zwischenprodukten aufgebaut, schwerpunktmäßig für die Pharma- und Pflanzenschutzindustrie (Abbildung 43).

Erlauben Sie mir nun ein paar Worte über Möglichkeiten und Grenzen der Weißen Biotechnologie (Abbildung 44).

Wir halten die Weiße Biotechnologie für eine wichtige Technologie für Innovation und Wachstum in der chemischen Industrie. Durch Einsatz biotechnologischer Verfahren kann es nicht nur gelingen, die Herstellkosten etablierter Produkte zu reduzieren und diese damit wettbewerbsfähiger zu machen. Große Chancen sehen wir auch in der Entwicklung völlig neuer Produkte und Systemlösungen. Die Weiße Biotechnologie hat das Potenzial, industrielle Prozesse umweltfreundlicher zu gestalten. Weiterhin ist sie eine Schlüsseltechnologie, um die Vision der Nutzung von Pflanzenabfällen (Biomasse) zur Erzeugung von Energie, Treibstoffen und Chemikalien wahr werden zu lassen.

Was sind die Grenzen? Wie bereits erwähnt, sind biotechnologische Prozesse nicht per se den chemischen Prozessen überlegen.

Sie müssen sich mit etablierten Prozessen messen und können sowohl aus wirtschaftlicher Sicht als auch aus Umweltsicht unterlegen sein. Es braucht viel Zeit und Geld, um neue Prozesse in die Produktion einzuführen. Auch wenn ein klarer Vorteil für eine neue Technologie gegeben ist, muss diese ja gegen etablierte, bereits abgeschriebene Anlagen konkurrieren und das legt die Messlatte für verbesserte Prozesse relativ hoch. Die Biotechnologie wird nicht, wie das manche glauben, die Chemie ersetzen. Sie ist ein zusätzliches Werkzeug und sie wird gerade auch in der Kombination mit der Chemie Neues hervorbringen. Noch ist die Zahl der mit biotechnologischen Methoden zugänglichen Produkte oder Prozesse im Vergleich zur klassischen Chemie limitiert.

Industrial Enzymes
Better Solutions by White Biotechnology

Abb. 41

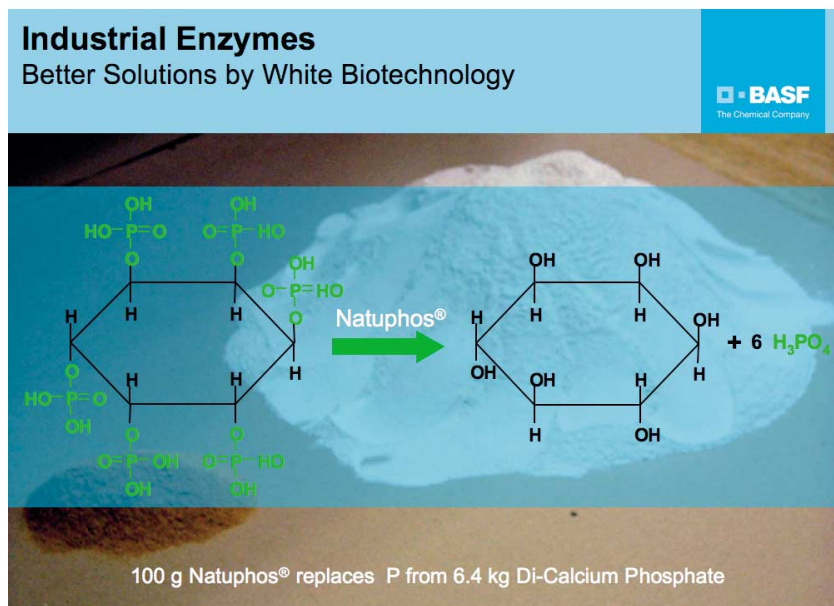
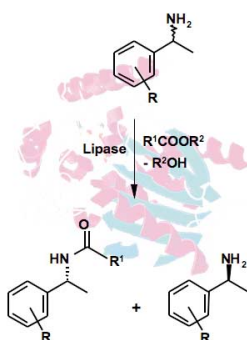


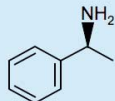
Abb. 42 Biocatalysis
Use of Enzymes as Catalysts**Biocatalysis**
Use of Enzymes as Catalysts

ChiPros® - Plant, Ludwigshafen

Abb. 43 Biocatalysis
Chiral Building Blocks**Biocatalysis**
Chiral Building Blocks

Chiral Intermediates for agrochemicals and pharmaceuticals

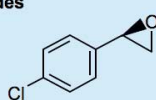
Amines



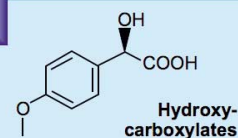
Alcohols



Epoxides



ChiPros
Chiral Products by BASF



Schließlich darf nicht unerwähnt bleiben, dass die stoffliche Nutzung nachwachsender Rohstoffe in Zukunft sowohl mit deren Nutzung für die Herstellung von Biokraftstoffen, als auch mit der Nutzung für die Ernährung konkurrieren wird.

Ökoeffizienzanalysen wurden von BASF entwickelt, um die Ökologie und Effizienz verschiedener Herstellungsverfahren für ein gegebenes Produkt unter Berücksichtigung des gesamten Lebenszyklus („von der Wiege bis zur Bahre“) zu analysieren und zu vergleichen. Der Umwelteinfluss wird dabei den Herstellkosten eines Produkts gegenübergestellt. In der folgenden Darstellung (Abbildung 45) werden verschiedene Prozesse zur Herstellung von Vitamin B₂ verglichen.

Die klassische Vitamin B₂-Synthese zeigt bei relativ hohen Herstellkosten auch die schlechteste Umweltbilanz. Hier spiegeln sich die Vielstufigkeit der chemischen Synthese und das Gefährdungspotenzial der verwendeten Chemikalien wider. Zwei der drei Biotechnologieprozesse sind der chemischen Route sowohl bei den Herstellkosten, als auch im Einfluss auf die Umwelt überlegen. Der BASF Prozess weist dabei die höchste Ökoeffizienz auf.

Ein zweites Beispiel: Das Indigo (Abbildung 46).

Hier konkurriert die Gewinnung aus Pflanzen mit verschiedenen chemischen Synthesen und der Fermentation. Vor den ersten industriellen Synthesen Ende des 19. Jahrhunderts wurde Indigo aus Pflanzen gewonnen und war entsprechend kostbar. Bis heute wird Indigo durch Totalsynthese gewonnen. Drei verschiedene Verfahren sind hier dargestellt. Es hat natürlich nicht an Bemühungen gefehlt, diesen Naturstoff durch Fermentation herzustellen. Bis heute ist es allerdings nicht gelungen, gegen die etablierten chemischen Verfahren zu konkurrieren. Wie aus der Darstellung ersichtlich ist das elektrochemische Verfahren deutlich ökoeffizienter als die Fermentation, die ihrerseits die Gewinnung aus Pflanzen in den Schatten stellt. Gerade auch aus Umweltsicht ist das biotechnologische Verfahren (noch) nicht konkurrenzfähig.

Schließlich möchte ich mit einer zusammenfassenden Darstellung (Abbildung 47) erläutern, was aus unserer Sicht die Herausforderungen sind, um neue biotechnologische Prozesse in der Chemieindustrie zu etablieren:

Wir brauchen preiswerte und preisstabile nachwachsende Rohstoffe für die Fermentation. Ziel ist es dabei, die Verwendung der Nahrungsbestandteile Zucker, Stärke oder Pflanzenöl durch lignozellulosehaltige Pflanzenabfälle abzulösen. Dieses Thema wird mit

Schwerpunkt Bioethanol (als Kraftstoff) mit großer Intensität und großem finanziellem Aufwand in den USA bearbeitet. Eine weitere Herausforderung ist die fermentative Herstellung nicht natürlicher Produkte unter Nutzung künstlicher Stoffwechselwege. Hier gibt es heute ein oder zwei Beispiele. Wir sehen große Chancen, fettlösliche Naturstoffe, die heute aus Pflanzen oder durch Totalsynthese gewonnen werden, durch Fermentation herzustellen (beispielsweise Menthol, Carotinoide oder auch Vanillin). Hier sind noch grundlegende Forschungsarbeiten notwendig. Gleiches gilt für die fermentative Herstellung von zelltoxischen Verbindungen wie Lösungsmitteln. Butanol und Aceton wurden bis weit nach dem zweiten Weltkrieg durch Fermentation erzeugt. Diese Verfahren

White Biotechnology Chances and Limitations

Abb. 44

White Biotechnology Chances and Limitations



Chances / Potential

- important technology for innovation and growth (new processes *and* new products)
- reducing manufacturing costs
- decreasing the environmental impact of industrial processes (emissions, hazardous potential, CO₂-balance etc.)
- key technology for usage of biomass to produce fuels and chemicals (biorefinery)

Limitations

- biotech processes are not *per se* superior compared to chemical processes
- introduction of a new process is time consuming and expensive
- biotechnology will *not* replace chemistry - additional tool
- available products / processes are still limited
- chemical use of renewable raw materials competes with their use in biofuels and nutrition

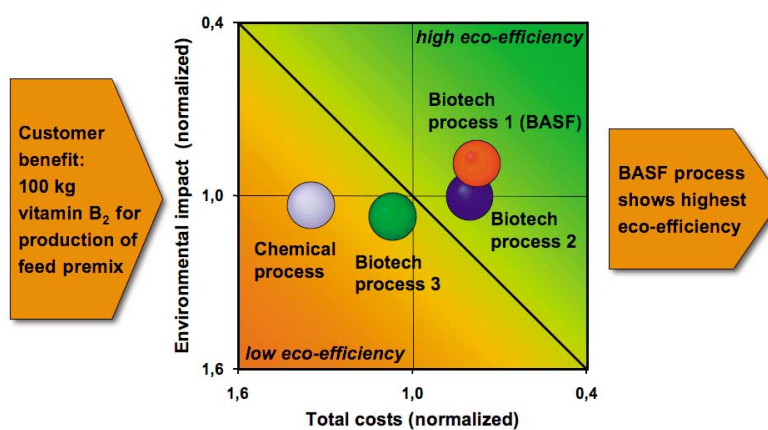
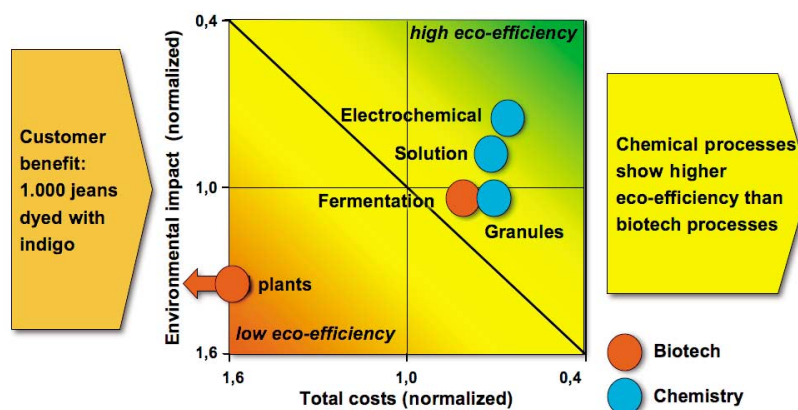
Abb. 45 Vitamin B₂ – Eco-Efficiency AnalysisVitamin B₂ – Eco-Efficiency Analysis

Abb. 46 Indigo – Eco-Efficiency Analysis

Indigo – Eco-Efficiency Analysis



wurden durch effizientere petrochemische Prozesse abgelöst. Soll es gelingen, hier mit der Biotechnologie den Anschluss zu gewinnen, muss die Konzentration der Fermentationsprodukte erhöht und die Aufarbeitung verbessert werden. Wenn das Produkt am Ende der Fermentation nur 2 %ig in wässriger Lösung anfällt, so ist ein solcher Prozess energieineffizient, weil gewaltige Mengen Wasser bei der Produktreinigung entfernt werden müssen. Es müssen daher auf der einen Seite die Produktionsorganismen mit den modernen Methoden der Gentechnik verbessert werden.

Auf der anderen Seite brauchen wir intelligente Verfahren für das so genannte „down stream processing“. Große Chancen sehen wir auch in der Kombination der Fermentation mit einer sich anschließenden chemischen Stoffumwandlung. Das habe ich hier mit dem Schlagwort „In-broth Chemistry“ versehen. Die Enzymkatalyse wird heute fast ausschließlich für chirale Zwischenprodukte eingesetzt. Die Herausforderung besteht darin, das Potenzial zum „Maßschneidern“ von Enzymen zu nutzen, um klassische Chemieprozesse effizienter zu gestalten. Schließlich bietet die Grüne Biotechnologie Chancen, maßgeschneiderte Pflanzen für Fermentationsanwendungen bereitzustellen. Schwerpunkt ist hier das Thema Ertrag (Bereitstellung preiswerter Rohstoffe). Die größte Herausforderung ist, die richtigen Zielmoleküle zu identifizieren, bei denen es der Biotechnologie gelingt, gegen eine etablierte und starke Chemie zu konkurrieren.

Für BASF ist die Biotechnologie eine Methode, um chemische Produkte herzustellen. Abhängig von dem Produkt verwenden wir entweder die klassische Synthese oder die Biotechnologie (Abbildung 48). Lycopin, der rote Farbstoff der Karotte, kann heute beispielsweise nicht durch Fermentation zu Konditionen hergestellt werden, wie es durch die Totalsynthese gelingt. Zur Produktion chiraler Zwischenprodukte, hier das Beispiel Mandelsäure, bedienen wir uns der Techniken der Weißen Biotechnologie und in dem Fall dieser speziellen Stärke nutzen wir die Pflanze. Abhängig vom Produkt kann die eine oder die andere Technologie überlegen sein.

Schließen möchte ich mit dem Bild vom „magischen Dreieck“ (Abbildung 49), das die enge Verbindung zwischen den Arbeitsgebieten Weiße Biotechnologie, nachwachsende Rohstoffe und Pflanzenbiotechnologie verdeutlicht.

An der Schnittstelle dieser Technologien befindet sich die Chemie: Nur durch den intelligenten Verbund mit der Chemie werden wir zu neuen Produkten und Lösungen kommen. Deshalb sind wir überzeugt, dass BASF, The Chemical Company, wesentliche Beiträge zu Innovationen auf diesen Gebieten leisten wird.

Vielen Dank!

White Biotechnology Challenges

Abb. 47

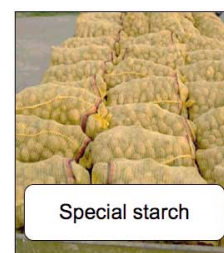
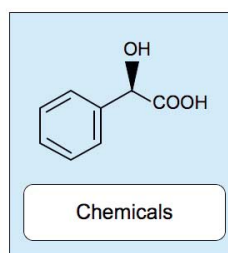
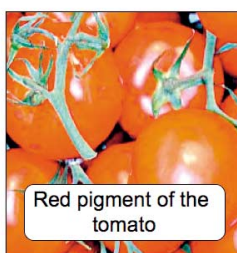
White Biotechnology Challenges



- use of renewable raw materials: from sugar / starch to ligno-cellulosic biomass (corn stover, wheat straw, wood)
- non natural products from artificial metabolic pathways
- fermentation of fat soluble natural products e.g. carotinoids
- fermentation of cell toxic products
down streaming and in-broth chemistry
- enzyme catalysis for bulk chemicals
- tailor-made plants for white biotech applications
low-cost feedstock
- Identify the right target molecules!

Abb. 48 Which Technology and when?

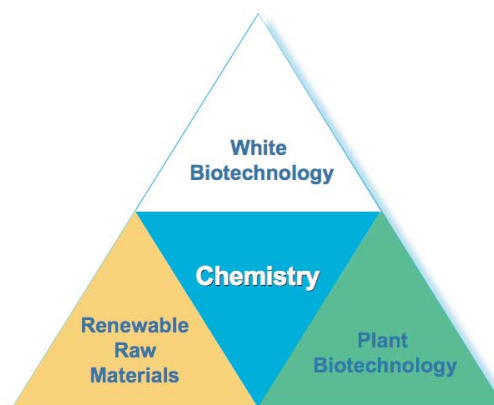
Which Technology and when?

 **BASF**
The Chemical Company

Production by.....

Classical
Organic SynthesisWhite
BiotechnologyGreen
BiotechnologyAbb. 49 Magic Triangle...
...needs Chemistry

Magic Triangle... ...needs Chemistry

 **BASF**
The Chemical Company

Dr. Michael Schedel

Bayer HealthCare AG, PH-OP-Biotechnologie,
42096 Wuppertal

Weißer Biotechnologie in der Wirkstoffproduktion: Das Fallbeispiel Miglitol

Ich möchte Ihnen an einem konkreten Beispiel aus der Pharmawirkstoffproduktion den Einsatz und den Vorteil der Weißen Biotechnologie aufzeigen, aber vielleicht auch einige einschränkende Bemerkungen machen. Das Beispiel ist Miglitol (Abbildung 50).

Lassen Sie mich kurz zur Orientierung ein paar Worte zum Miglitol sagen. Miglitol ist ein Medikament zur Behandlung der Zuckerkrankheit. Die Struktur des Miglitols ist in Abbildung 50 abgebildet. Chemisch gesehen gehört es in die Gruppe der Iminozucker. Miglitol hat eine längere Geschichte hinter sich: Es wurde im Jahre 1979 von der Firma Bayer AG patentiert und ist 1996 in Europa zugelassen worden; es ist inzwischen in allen wichtigen Ländern – zuletzt auch in Japan – auf den Markt gekommen. Miglitol ist wirksam als kompetitiver Inhibitor von α -Glucosidasen. α -Glucosidasen sind Enzyme, die im menschlichen Dünndarm Kohlenhydrate abbauen und zu Mono- und Di-Sacchariden zerlegen, sie sind auch für die Resorption der Glucose ins Blut zuständig. Miglitol verlangsamt nach einer Mahlzeit die Kohlenhydratverdauung im Dünndarm und dämpft somit den Anstieg der Blutglucosekonzentration.

Die Firma Bayer stand in den 80er Jahren vor der Frage, ob und wie Miglitol großtechnisch, also z. B. im 100 Tonnen-Maßstab, hergestellt werden kann. Die Struktur von Miglitol erscheint auf den ersten Blick relativ einfach, die Synthese ist aber für den Chemiker eine Herausforderung, da das Molekül vier Symmetriezentren und

außerdem viermal den selben Substituenten besitzt. Die chemische Herstellung von Miglitol erfordert eine umfangreiche Schutzgruppenchemie und aufwändige chirale Syntheseschritte.

Miglitol ist das N-Hydroxy-Ethyl-Derivat der Vorstufe 1-Desoxynojirimycin. Die Herstellung dieser Vorstufe wollen wir nun näher betrachten. Rückblickend gesehen gab es vier unterschiedliche Zugangswege (Abbildung 51):

1. Die Isolierung aus Pflanzenmaterialien, 2. die chemische Vollsynthese, 3. die Fermentation – also ein typisches Verfahren der Weißen Biotechnologie – und 4. die Kombination aus Chemie und Biotechnologie. Die Entscheidung für ein industriell gangbares Verfahren zur 1-Desoxynojirimycin-Herstellung orientierte sich an folgenden vier Zielen: Erstens: Wirtschaftlichkeit, das heißt Herstellkosten in der Größenordnung von 100 € pro Kilogramm oder darunter. Zweitens: ein ökologisch günstiges Verfahren. Drittens: niedrige Investitionskosten sowohl für die Verfahrensentwicklung als auch für die spätere Produktionsanlage. Viertens: ein stabiles Verfahren mit reproduzierbar hohen Ausbeuten.

Welcher dieser vier Herstellwege war überlegen und erfüllte die genannten Ziele am besten? Gab dabei die Weiße Biotechnologie mit ihren hoch selektiven Reaktionsschritten den Ausschlag? Lassen Sie mich die Bewertung der vier Verfahren und die Entscheidung für den bevorzugten Herstellweg kurz nachvollziehen: Herstellweg 1

war die Isolierung aus Pflanzen (Abbildung 52). Dieses Herstellverfahren wurde aus folgenden Gründen nie ernsthaft als industriell gangbarer Weg angesehen: Der Einsatz pflanzlicher Rohstoffe führt in der Regel zu einer komplizierten Rohstofflogistik und der relativ geringe Wirkstoffgehalt, sowie die Anwesenheit strukturell sehr ähnlicher Nebenkomponenten erfordert ein aufwändiges Reinigungsverfahren. Hinzu kommt, dass eine konstante Rohstoffversorgung nicht immer gewährleistet ist. Die Wirtschaftlichkeit war bei diesem Verfahren am wenigsten gegeben.

Miglitol

Abb. 50

Miglitol

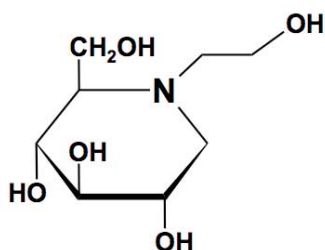
Orales Medikament zur Behandlung des Diabetes mellitus

Kompetitiver Inhibitor intestinaler α -Glucosidasen

Verzögert die Kohlenhydratverdauung im Dünndarm

Dämpft den Blutglucose-Peak nach einer Mahlzeit

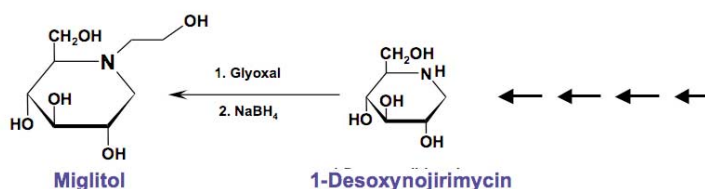
**Patentiert: 1979
Zulassung in Europa: 1996**



Miglitol (Bay m 1099)
N-Hydroxyethyl-1,5-dideoxy-1,5-imino-D-Glucitol



Abb. 51 Zugangswege zur Herstellung von Miglitol



4 Wege zur Herstellung von 1-Desoxynojirimycin

1. Isolierung aus Pflanzen

Maulbeerbaum: M. Yagi et al., Chem. Abstr., 1977, 86, 167851r.
 Euphorbiaceae: G.C. Kite et al., Biochem. System. Ecol., 1991, 19, 441.

2. Chemische Vollsynthese

H. Paulsen et al., Chem. Ber., 1967, 100, 802.

3. Fermentation

Bacillus spec.: D.D. Schmidt et al., Naturwiss., 1979, 66, 584.
 Streptomyces lavendulae: S. Matsumura et al., Ger. Offen. 2850467, 1979.

4. Biotechnisch-chemisches Verfahren

G. Kinast u. M. Schedel, Angew. Chem., 1981, 20, 799.

Dr. M. Schedel, BHC PS-PH-BT, 18.10.2006



Abb. 52 Herstellung von 1-Desoxynojirimycin aus Pflanzen

Herstellung von 1-Desoxynojirimycin: Isolierung aus Pflanzen

Maulbeerbaum (Morus alba, M. bombycis, M. nigra)
 Jacobinia suberecta, J. tinctoria
 Euphorbiaceae
 Endospermum medullosum
 Omphalea queenslandiae

**Keine konstante Rohstoffversorgung,
niedriger und schwankender Produktgehalt**

Komplizierte Logistik

Aufwändiges Reinigungsverfahren

**Strukturell ähnliche Nebenkomponenten
(z.B. Nojirimycin, 1-Desoxymannojirimycin)**

→ **Kein industriell gangbares Verfahren**



Dr. M. Schedel, BHC PS-PH-BT, 18.10.2006



Der Zugangsweg 2 war die chemische Synthese. Die Herstellung von 1-Desoxynojirimycin und anderen Iminozuckern war bereits eine intensiv bearbeitete Fragestellung in der Chemie, lange bevor die Firma Bayer vor der Aufgabe stand, ein technisches Verfahren zu entwickeln. Vor allem die Arbeitsgruppe von Prof. Paulsen in Hamburg hat umfangreiche Arbeiten durchgeführt.

In Abbildung 53 ist die erste von Prof. Paulsen publizierte Synthese von 1-Desoxynojirimycin dargestellt. Ohne ins Detail zu gehen wird deutlich, dass die Synthese komplex und vielstufig ist, den Umgang mit Gefahr- und Störfallprodukten erfordert und eine aufwändige Schutzgruppenchemie beinhaltet. In der Zwischenzeit sind etwa 40 bis 50 weitere Synthesewege publiziert worden, ausgehend von ganz unterschiedlichen Substanzen. Die meisten sind ähnlich komplex und anspruchsvoll wie die von Prof. Paulsen vorgeschlagene Erstsynthese. Die Schlussfolgerung Ende der 80er Jahre war, dass die chemische Synthese zwar prinzipiell möglich ist, aber aufwändig und teuer sein würde. Da es zum damaligen Zeitpunkt bereits überlegene Herstellalternativen gab, wurde die chemische Vollsynthese von 1-Desoxynojirimycin ab Anfang der 90er Jahre nicht weiter verfolgt.

Zugangsweg 3 war die fermentative Herstellung von 1-Desoxynojirimycin (Abbildung 54). Es gibt mehrere, in der Literatur beschriebene Mikroorganismen, die 1-Desoxynojirimycin bilden.

Ein besonders guter Produzent ist *Bacillus amyloliquefaciens*, der bereits als Wildstamm zu erstaunlich hohen Produktausbeuten in der Größenordnung von 1 Gramm pro Liter führt. Mit der Fermentation eröffnete sich in der Tat die Option für ein wirtschaftliches Verfahren. Aber – und das ist spezifisch für einen Fermentationsprozess – es wäre eine vieljährige Verfahrensbearbeitung notwendig gewesen, um die Fermentationsausbeute zum Beispiel durch genetische Optimierung des Produktionsstammes in die Größenordnung von 30, 40 oder 50 Gramm pro Liter anzuheben. Erst in diesem Ausbeutebereich wäre das Verfahren wirtschaftlich.

Ferner ließ sich abschätzen, dass die Produktionsanlage – je nach Fermentationsausbeute – einen Fermenter mit einem Arbeitsvolumen von ca. 100 m³ benötigen würde. Das heißt, es hätte sich um eine relativ große Anlage, die auch eine entsprechende Investitionssumme erfordert, gehandelt. Das Fermentationsverfahren zur 1-Desoxynojirimycin-Herstellung im technischen Maßstab wurde noch bis Anfang der 90er Jahre bearbeitet, dann aber wegen der abzusehenden Investitionen eingestellt. Entscheidend war dabei, dass das vierte Herstellverfahren für 1-Desoxynojirimycin – die biotechnisch-chemische Synthese – zu diesem Zeitpunkt bereits einen sehr fortgeschrittenen Reifegrad erreicht hatte.

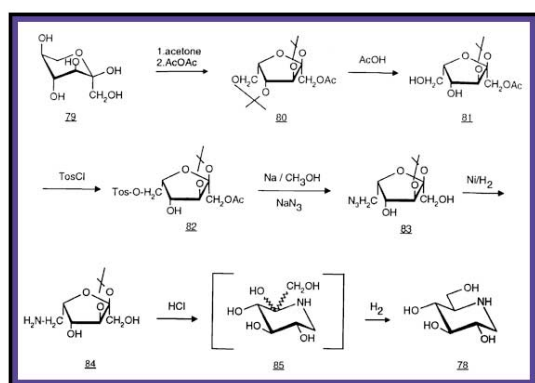
Worum geht es bei dem vierten Herstellweg, der biotechnisch-chemischen Synthese von 1-Desoxynojirimycin? Sie wurde von einem Kollegen der Firma Bayer aus dem Bereich Chemie, Dr.

Günther Kinast, konzipiert, der interdisziplinär dachte und die Kohlenhydratchemie und das Potential der Biotechnologie zusammenführte. Von ihm stammt das Synthesekonzept, das in Abbildung 55 in der später modifizierten und von uns heute im technischen Maßstab umgesetzten Form dargestellt ist. Die Synthesesequenz besitzt einen zentralen und selektiven biotechnologischen Schritt – die regioselektive Oxidation der nicht-natürlichen Substanz N-Formyl-Aminosorbit an Kohlenstoffatom C5 mit *Gluconobacter oxydans*. Der zentrale Biokatalyseschritt wird von großtechnisch etablierten und seit vielen Jahren bekannten, einfachen chemischen Reaktionen flankiert. Die Reaktionssequenz beginnt mit Glucose, einem kostengünstigen

Chemische Synthese von 1-Desoxynojirimycin

Abb. 53

Herstellung von 1-Desoxynojirimycin: Chemische Synthese



Nach:
H. Paulsen, I. Sanger und K. Heyns,
Chem. Ber., 100, 802 (1967)

Abb. 54 Fermentative Herstellung von 1-Desoxynojirimycin

Herstellung von 1-Desoxynojirimycin: Fermentation

***Bacillus amyloliquefaciens*: Ausbeute des Wildstammes ≥ 1 g/L;**

Frommer, W. und Schmidt, D.D. (1980), Ger. Offen. 2907190

Voraussetzung für ein wirtschaftliches Verfahren:

1. Entwicklung von Hochleistungsstämmen
(notwendige Ausbeutesteigerung: 50 bis 100-fach)
2. Entwicklung eines Fermentations- und Reinigungsverfahrens
3. Produktionsanlage:
Benötigte Fermentergröße:
Ca. 100 m³ Arbeitsvolumen



→ Entscheidung Anfang der 90-iger Jahre:
Weitere Entwicklung zugunsten der biotechnisch-chemischen Synthese zurückgestellt

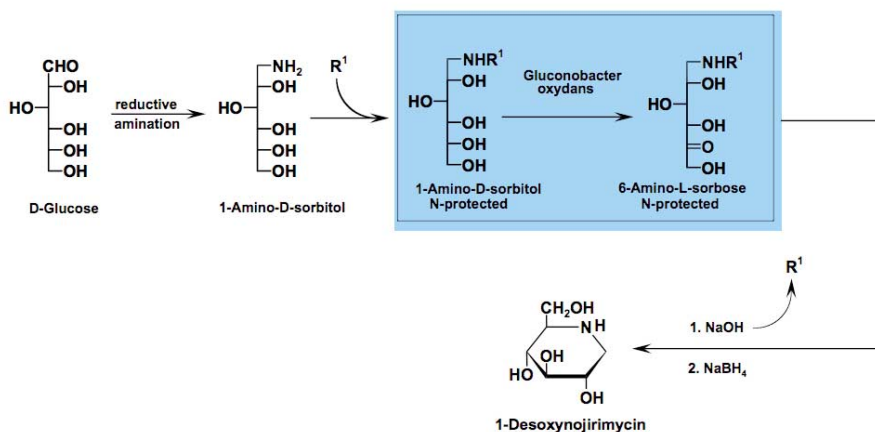
Dr. M. Schedel, BHC PS-PH-BT, 18.10.2006



Bayer HealthCare

Abb. 55 Biotechnisch-chemisches Verfahren zur Herstellung von 1-Desoxynojirimycin

Herstellung von 1-Desoxynojirimycin: Biotechnisch-chemisches Verfahren Synthesekonzept



Dr. M. Schedel, BHC PS-PH-BT, 18.10.2006



Bayer HealthCare

Ausgangssubstrat, das an drei Symmetriezentren bereits die richtige Konfiguration von 1-Desoxynojirimycin besitzt. Glucose wird zunächst reduktiv aminiert und der Stickstoff im Aminosorbit mit einer Schutzgruppe geschützt. Es folgt der Biokatalyseschritt. Der anschließende reduktive Ringschluss mit Abspaltung der Schutzgruppe führt direkt zum Zielprodukt 1-Desoxynojirimycin.

Die Verwendung von Ganzzellbiokatalysatoren für die regioselektive Oxidation von Zuckern und zuckerähnlichen Substanzen war nicht neu. Sie wurde erstmals vor über 100 Jahre von dem Franzosen Bertrand beschrieben, der erste Untersuchungen mit „Sorbosebakterien“ im Jahre 1904 publizierte (Abbildung 56). In seinen Versuchen hatte er die regioselektive Oxidation mit dem Substrat D-Sorbit nachgewiesen. Es handelt sich um eine inzwischen Lehrbuch-bekannte, unvollständige Oxidation mit Hilfe von Bakterien der Art *Gluconobacter oxydans*, früher auch beschrieben als *Acetobacter oxydans*. Großtechnisch etabliert ist seit vielen Jahren die Sorbit/Sorbose-Oxidation als Teilschritt der Vitamin C-Synthese oder auch die Oxidation von Glycerin zum Dihydroxyaceton – einem Produkt, das unter anderem als Bräunungsmittel Verwendung findet. Wir bewegen uns demnach mit der regioselektiven Oxidation von N-Formylaminosorbit auf sehr bekannten Pfaden.

Es ließ sich in der Tat zeigen, dass N-Formylaminosorbit in der erwünschten Weise an Kohlenstoffatom C5 mit *Gluconobacter oxydans* oxidiert werden kann. Der Prozess wurde aus verschiedenen

Gründen, die hier im Detail nicht näher erläutert werden sollen, zweistufig ausgelegt (Abbildung 57). Stufe 1 ist die fermentative Gewinnung des Biokatalysators durch Kultivierung auf dem Substrat D-Sorbit. Es findet die unvollständige Oxidation statt zur L-Sorbose. L-Sorbose, bei anderen Prozessen das Wertprodukt, bleibt hier in der Kulturbrühe zurück und wird dem Abwasser zugeführt. Der durch Separation gewonnene Biokatalysator kann im gefrorenen Zustand über Jahre ohne Aktivitätsverlust Langzeit-gelagert werden. Er wird in der zweiten Stufe – in der eigentlichen Biotransformationsreaktion – eingesetzt; diese wird unter pH-konstanten Bedingungen in Wasser durchgeführt. Der Organismus gewinnt, da er keine sonstigen Substrate zur Verfügung hat, aus dieser Oxidation keinen Nutzen für sein Wachstum. Die Oxidationsreaktion läuft entkoppelt ab, die freigesetzte Energie wird als biologische Wärme abgegeben und muss abgeführt werden.

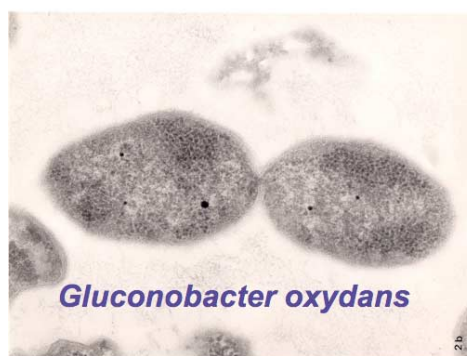
Herstellweg 4 ist der bevorzugte, den anderen Syntheseoptionen überlegene Zugangsweg zum 1-Desoxynojirimycin. Das Verfahren wurde optimiert und bei der Firma Bayer in Wuppertal großtechnisch umgesetzt. Möglich wurde diese elegante, kurze und daher besonders wirtschaftliche Synthese durch die Nutzung eines hoch effizienten und selektiven Reaktionsschrittes der Weißen Biotechnologie. Lassen sie mich zur Veranschaulichung einige Bilder aus der 1-Desoxynojirimycin-/ Miglitol-Produktion zeigen. In Abbildung 58 ist ein 40 m³ Fermenter dargestellt. Mit diesem Fermenter gewinnen wir den Biokatalysator und führen dann im Anschluss

auch die Biokatalysereaktion durch. Abbildung 59 zeigt einen Separator mit einem Durchfluss von etwa 4 m³/h Kulturbrühe zur Abtrennung der Biomasse. Das Bild in Abbildung 60 ist schon ein bisschen älter und seine Qualität daher nicht ganz so gut. Ich habe es ausgewählt, um ihnen ein Gefühl zu geben, welche phantastische Raum-Zeit-Ausbeute mit der durch *Gluconobacter oxydans* katalysierten Reaktion erzielt werden kann. Es zeigt eine Serie von „Big-bags“, in denen das Biotransformationssubstrat angeliefert wird. Zu sehen ist etwa 1/3 der Feststoff-Substratmenge, die mit einem einzigen Ansatz in einem 40 m³ Kessel umgesetzt werden kann. Hier treten typische, für die große Technik relevante Aspekte in den Vordergrund,

Regioselektive Oxidation von Polyolen

Abb. 56

Regioselektive Oxidation von Polyolen



G. Bertrand:
Etude biochimique de la bactérie du sorbose, Ann. Chim. Phys. 3, 181 (1904)

G. oxydans oxidiert regioselektiv die mittlere von drei endständigen OH-Gruppen in der D-erythro-Konfiguration

D-Sorbit → L-Sorbose
Glycerin → Dihydroxyaceton

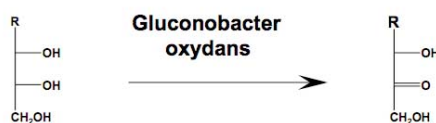
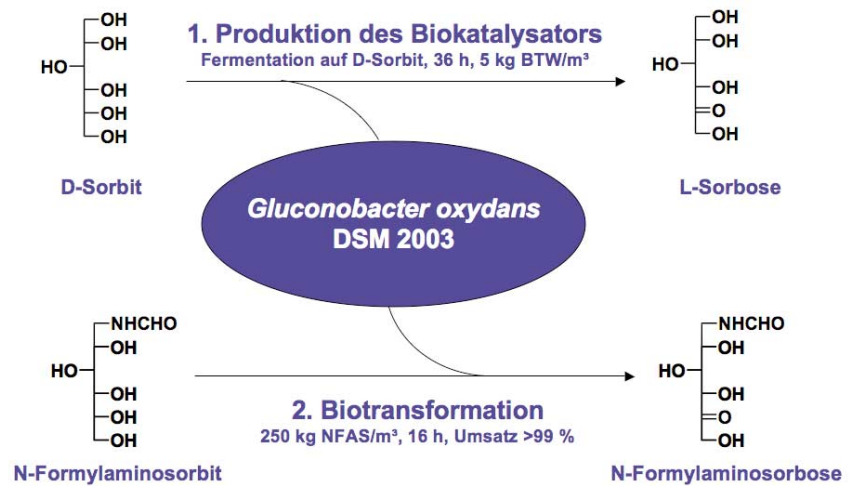


Abb. 57 Biotransformation von N-Formylaminosorbit

Biotransformation von N-Formylaminosorbit

Dr. M. Schedel, BHC PS-PH-BT, 18.10.2006

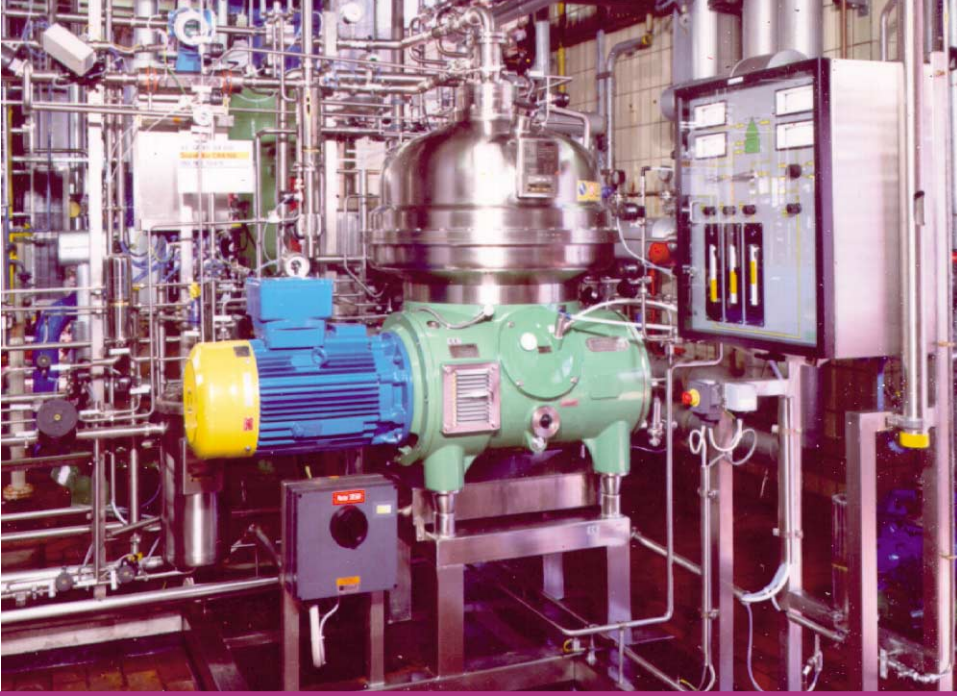
Abb. 58 40 m³-Fermenter

Dr. Michael Schedel

Bayer HealthCare AG, PH-OP-Biotechnologie,
42096 Wuppertal

Separator

Abb. 59



Bigbags

Abb. 60



wie z. B. die Feststoffhandhabung mit der Frage, wie man in einer vernünftig kurzen Zeit diese erheblichen Mengen an Trockenmaterial in einen Kessel bekommen und als Substrat für die Biotransformationsreaktion bereitstellen kann.

Fassen wir zusammen: Wir haben gesehen, dass die technische Synthese des Iminozuckers 1-Desoxynojirimycin, Vorstufe des Wirkstoffs Miglitol, mit einem biotechnisch-chemischen Verfahren durchgeführt wird, für das die Weiße Biotechnologie die Grundlage liefert. Die Kernaspekte dieser Synthese sind:

1. ein zentraler selektiver Biokatalyseschritt,
2. flankierende, technisch etablierte chemische Reaktionsschritte,
3. eine insgesamt kurze und sehr effiziente Synthese und
4. die Verwendung des stereo-chemisch günstigen und preiswerten Ausgangssubstrats Glucose.

Der zentrale Biokatalyseschritt erfolgt mit einem Ganzzellbiokatalysator. Diese Reaktion ist zweistufig und erlaubt außergewöhnlich hohe Volumenumsätze.

Wenn wir abschließend den Prozess noch einmal unter den heute verschiedentlich im Zusammenhang mit der Weißen Biotechnologie genannten Aspekten bewerten, ergibt sich Folgendes:

1. Ökonomie: Das Ziel „Wirtschaftlichkeit des Prozesses“ ist erreicht. Die biotechnisch-chemische Synthese ist das kosteneffektivste Verfahren, das für die 1-Desoxynojirimycin-/Miglitolsynthese zur Auswahl stand. Entscheidend hierfür ist die durch die regioselektive Biokatalysereaktion möglich gewordene Kürze und Einfachheit des Prozesses.

2. Ökologie und Sicherheit: Bezüglich Umweltschutz und Arbeitssicherheit bringt der Biokatalyseschritt – da „Wasserchemie“ – den großen Vorteil des sehr geringen Gefährdungspotentials. Die flankierenden chemischen Reaktionsschritte sind sichere und etablierte Verfahren, bei denen allerdings mit Gefahrstoffen und Störfallprodukten im großen Maßstab umgegangen wird.

3. Abluft- und Abwasserentsorgung: Sowohl Fermentation als auch Biotransformation führen zu einem größeren Abluftstrom. Die Abluft ist stofflich und geruchsmäßig wenig belastet, so dass keine hohen Anforderungen an die Abluftentsorgung gestellt sind. Dies ist für biotechnische Verfahren mit meist stärker riechenden Fermentationsabläufen allerdings eher die Ausnahme. Auf der Abwasserseite ergibt sich die für Verfahren der Weißen Biotechnologie häufig zu lösende Fragestellung der Entsorgung großer Abwassermengen mit einem

hohen BSB-Gehalt². Es ist eine gut funktionierende und auch von der Kapazität richtig ausgelegte Abwasserentsorgungsmöglichkeit in Form einer Kläranlage für die Behandlung des Kulturüberstandes aus der Fermentation notwendig. Aus den chemischen Reaktionsschritten entsteht ebenfalls ein größerer Abwasserstrom, der aber unproblematisch ist und direkt der Kläranlage zugeführt werden kann.

4. Anlagen- und Verfahrensinvestition: Die notwendigen Investitionen waren begrenzt. Das Verfahren konnte dank seiner Eleganz und Kürze in Mehrzweckproduktionsbetriebe integriert werden; die Errichtung eines eigenen Herstellbetriebes war nicht notwendig. Für die fermentative Gewinnung des Biokatalysators ist – wiederum ein Spezifikum der Weißen Biotechnologie – eine steriltechnisch taugliche Großapparatur und ein für Sterilarbeiten gut qualifiziertes Personal erforderlich. Wir arbeiten im Zuge der Miglitolsynthese mit einem vorhandenen 40 m³-Fermenter, eine Kesselgröße, die normalerweise in der Chemie nicht erreicht wird. Die Aspekte: große Kessel, steriltaugliche Apparaturen, etablierte Entsorgungswege für größere Mengen Abwasser und Abluft sind typisch für Verfahren im Fermentationsbereich oder – verallgemeinert – für Verfahren der Weißen Biotechnologie.
5. Stabilität des Verfahrens: Die biotechnisch-chemische Miglitolsynthese zeichnet sich durch eine hohe Verfahrensstabilität aus. Wir führen den Prozess seit Jahren durch und erzielen eine sehr gute Reproduzierbarkeit.

Die biotechnisch-chemische Synthese von 1-Desoxynojirimycin/Miglitol ist somit ein prägnantes Beispiel dafür, wie ein hoch-selektiver und effizienter Reaktionsschritt der Weißen Biotechnologie die Basis für eine erfolgreiche industrielle Synthese eines komplexen Wirkstoffmoleküls bildet. Diese Synthese war anderen Zugangsweisen deutlich überlegen und erfüllte die gestellten Zielsetzungen zur Ökonomie, Ökologie, Sicherheit und Stabilität des Verfahrens am besten.

²BSB: Biologischer Sauerstoffbedarf

Moderation: Armin Maiwald (Flash Filmproduktion, Köln)

Teilnehmer: Dr. Friedhelm Balkenhohl (BASF AG, Ludwigshafen),
Prof. Dr. Garabed Antranikian (TU Hamburg-Harburg, Hamburg),
MinDir. Jochen Flasbarth (BMU, Bonn),
Dr. Michael Angrick (UBA, Dessau)

Podiumsdiskussion

1. Wachstumspotenziale der weißen Biotechnik

Sind die Zahlen aus dem Bericht von McKinsey & Co aus dem Jahre 2003³, wonach bis zum Jahr 2010 etwa 20 % aller Chemieprodukte auf biotechnischem Weg hergestellt werden, noch realistisch?

[Antranikian]

Im Prinzip handelt es sich nur um Prognosen. Wichtig ist, dass die Entwicklung positiv verläuft und aufwärts geht. Wir müssen heute daran denken, wie wir die Entwicklung noch optimieren können.

[Balkenhohl]

Wenn wir als industrielle Biotechnologie wirklich Prozesse und Produkte betrachten, in denen biotechnologische Schritte eine Rolle spielen, dann sind die Prognosen sicherlich nicht realistisch. Wesentlich ist aber, dass die Produkte der weißen Biotechnologie – und zwar auch jenseits von Bioethanol – stärker wachsen werden als die der klassischen Chemie.

Wie wird die Entwicklung über 2010 hinaus gesehen?

[Flasbarth]

Letztendlich ist es eine Frage der Rahmenbedingungen und es ist auch eine Frage der Bereitschaft der Industrie, solche Rahmenbedingungen aufzugreifen und auf solche Märkte zu springen. Es gibt Rahmenbedingungen, die wir setzen, und wichtige Rahmenbedingungen von außen, wie die Rohstoffpreisentwicklung, beispielsweise für Erdöl. Da ist der bis vor einiger Zeit doch noch unterschätzte Ressourcen hunger aus China mit wirklich weitreichenden Auswirkungen. Da ist eine sich immer stärker abzeichnende konkurrierende Arbeitsteilung. Es stellt sich die Frage: Wie reagieren wir als hochentwickelte Industrienation darauf und welche Branchen haben dann komparative Vorteile zu anderen Weltregionen? Wir glauben, dass wir mit der weißen Biotechnologie eine solche Schlüsselbranche haben, die wir als Umweltministerium auch aus industriepolitischer Sicht sehr stark fördern wollen, allerdings natürlich nicht blind. In den heutigen Vorträgen ist sehr deutlich geworden: Es gibt keine per se Entscheidung, dass Biotechnologie immer gut ist. Diese Frage enthält ökonomische Aspekte. Aber vor allem stellen sich für das Umweltministerium Fragen wie: Gibt es eigentlich wirkliche Nachhaltigkeitsvorteile? Gibt es Umweltvorteile innerhalb der Nachhaltigkeitsbetrachtung solcher Produktionsprozesse oder solcher Produkte? Diese Fragen bringen Deutschland in einem

industriepolitischen Feld voran und lenken vor allem in der Umweltpolitik den Blickwinkel stärker auf die Ressourcenproduktivität. Wir haben in den letzten 25 Jahren enorme Fortschritte bei den Schadstoffreduktionen gemacht, aber es gab und gibt auch einen Trend, die Produktion einfach zu verlagern.

[Maiwald]

Es gibt die Behauptung, wenn der Preis für ein Barrel Öl über 55 € steigt, dann würde die Entwicklung vom Bioethanol oder anderen biotechnisch hergestellten Produkten wirtschaftlich. In der letzten Zeit war der Preis schon über 60 €. Ist jetzt der Zeitpunkt gekommen, die Biotechnik stärker nach vorne zu bringen?

[Antranikian]

Das hängt davon ab, welche Ressourcen zur Verfügung stehen, denn man braucht große Mengen an Biomasse. Weiterhin ist zu fragen, wie es um die Umweltverträglichkeit der Technologie steht. Zum Beispiel besteht Japan zu 70 Prozent aus Bergen, so dass die Produktion von Biomasse dort problematisch ist. In Japan wird zurzeit viel im Bereich der Umsetzung von Stroh geforscht. In den USA scheint das bis jetzt zu funktionieren. Aber es besteht bei der Ethanolproduktion eine große Konkurrenz zu Brasilien. Ich denke, die Umsetzung von Biomasse zu Chemikalien, hochwertigen Produkten, ist für Deutschland ein wichtiger Weg. Bei Bioethanol bin ich mir nicht sicher, da ich kein Experte für Ethanolproduktion bin. Man muss zunächst Analysen durchführen und dann entscheiden, ob Bioethanol für Deutschland wichtig ist. In Deutschland wird argumentiert, dass es in Ostdeutschland genug Agrarflächen gibt. Es fragt sich, ob das reicht, um in Deutschland auch Bioethanol zu produzieren. In diesem Bereich wird geforscht und es entstehen jetzt auch Produktionsanlagen.

[Angrick]

Herr Troge hatte in seiner Begrüßungsrede darauf hingewiesen, dass es Maßstäbe für die Bewertung von Innovationen gibt. Er hat die Nachhaltigkeitskriterien genannt, die in dem Nachhaltigkeitsbericht der Bundesregierung⁴ auch enthalten sind. In Bezug auf Bioethanol ist das genau der Punkt, den Herr Antranikian gerade noch mal aufgriff und der sehr differenziert zu betrachten ist: Es kann nicht sein, dass man irgendwo auf der Welt die Wälder abholzt und Mais anbaut, um hier bei uns dem Kraftstoff Bioethanol zusetzen zu können. Das kann auch in Amerika letztendlich nicht funktionieren.

³McKinsey & Company, Industrial Biotech – New Value-Creation Opportunities (2003)

⁴Die Bundesregierung: Nachhaltigkeitsstrategie für Deutschland: Wegweiser Nachhaltigkeit – Bilanz und Perspektiven. Kabinettsbeschluss vom 10. August 2005

Moderation: Armin Maiwald (Flash Filmproduktion, Köln)

Teilnehmer: Dr. Friedhelm Balkenhohl (BASF AG, Ludwigshafen),
Prof. Dr. Garabed Antranikian (TU Hamburg-Harburg, Hamburg),
MinDir. Jochen Flasbarth (BMU, Bonn),
Dr. Michael Angrick (UBA, Dessau)

[Maiwald]

Wo ist der Königsweg in der Konkurrenz zwischen der Nutzung von Pflanzen für die chemische Industrie, beispielsweise für die Herstellung von Bioethanol, und für die Nahrungsmittelversorgung?

[Angrick]

Es kann nicht darum gehen, nur die Konkurrenz zu sehen, sondern es ist sinnvoll zu überlegen, beispielsweise die gesamte Pflanze zu nutzen, also einerseits die Frucht als Nahrungsmittel und andererseits die übrigen Pflanzenteile als Biomasse, um daraus Proteine oder etwas anderes zu gewinnen. So könnte man im Grunde an dieser Stelle, wenn man so will, eine Kreislaufwirtschaft einführen.

[Flasbarth]

Die Flächenkonkurrenz ist einer der ganz zentralen Punkte. Einmal ist das ein objektiver Diskussionspunkt, über den man sich im Klaren sein muss, aber das ist auch sehr schnell ein hoch emotionalisierter Diskussionspunkt. Um hier eine schicke Chemieproduktion auf einer neuen Basis aufzubauen, verdrängen wir andernorts die Möglichkeiten der Ernährungssicherung. Ich glaube, dass dies nicht der Fall ist und man das steuern kann. Wir müssen eine wirklich umfassende Betrachtung machen: Was nutzen wir an Biomasse? Wo kommt sie her? Und wie ist diese Biomasse erzeugt worden? Wir haben in Europa ganz gute Erfahrung damit, was man mit einigen wenigen Strukturrentscheidungen an Auswirkungen auslösen kann. Nach der Agrarreform wollten wir kein Tiermehl mehr an Tiere verfüttern und fühlten uns mit gutem Gewissen auf der sauberen Seite. Aber man muss sich natürlich auch die Frage stellen: Woher kommt eigentlich die sehr stark angestiegene Sojaproduktion in Südamerika? Was war eigentlich die auslösende Nachfrage? Und welche ökologischen Folgen hat das? Ich will keinesfalls sagen, dass die Agrarreform falsch war. Ich will auch nicht sagen, dass wir wieder Tiermehl verfüttern sollen. Ich will nur sagen, man kommt nur dann zu guten Lösungen, wenn man wirklich eine sehr umfassende Betrachtung aller möglichen Wirkfaktoren vornimmt. Was die Produktion in Europa angeht, will ich darauf hinweisen, dass die Agrarproduktion in großen Teilen gar nicht stattfinden würde, wenn wir sie nicht mit wirklich erheblichen Mitteln, nämlich der Hälfte der Ausgaben der EU, aufrecht erhalten würden. Und deshalb muss man auch gerade bei den 2008/2009 anstehenden grundsätzlichen Entscheidungen auf EU-Ebene zur Überprüfung der Agrarfinanzierung noch mal ganz genau hinschauen, was wir als eine Region, die eine führende Wirtschaftsregion der Welt bleiben oder jedenfalls wieder werden will, eigentlich mit dem vielen Geld machen wollen. Und: Hat der gezielte Aufbau auf einer rohstoffbasierten Produktion

hier nicht auch einen Stellenwert, der im Augenblick noch nicht genügend abgebildet ist? Es geht dabei um die Frage, wofür wir die Agrarsubventionen verwenden. Wir können sicherlich einiges dafür verwenden, in regionale Wirtschaftskreisläufe zu investieren, das ist ein wichtiger Baustein für den gesamten Bereich Kulturlandschaftsentwicklung. Ich bin davon überzeugt, dass eine Ausrichtung neben der Lebensmittelproduktion auch auf Rohstoffproduktion etwas ist, was nicht an einer Flächenkonkurrenz in Europa scheitern muss.

Wo werden die zukünftigen Schwerpunkte der weißen Biotechnik liegen? Wird eine Verschiebung von Feinchemikalien und Pharmazeutika hin zu Bulk-Chemikalien (Produktion über 100.000 Tonnen pro Jahr) erwartet?

[Balkenhohl]

Das ist sicherlich eines der Ziele unserer Aktivitäten. Wir wollen mit fermentativen oder mit biokatalytischen Prozessen auch in der Produktion von Bulk-Chemikalien Fuß fassen. Es gibt bislang nur sehr wenige Beispiele.

Welche Bedeutung hat die weiße Biotechnik für die Beschäftigung? Wird eine Erhöhung der Zahl der Arbeitsplätze oder eher eine Verlagerung der Arbeitsplätze erwartet? Oder wird es nur noch Arbeitsplätze für sehr hoch qualifizierte Leute geben?

[Balkenhohl]

Für die Forschung brauchen wir hoch qualifizierte Mitarbeiter. Die Forschung auf dem Gebiet der weißen Biotechnologie findet in der BASF heute fast ausschließlich in Deutschland statt. Sie ist integraler Bestandteil einer unserer Forschungsplattformen in Ludwigshafen. In der Biotech-Produktion ist mehr oder weniger die gleiche Qualifikation für das Personal notwendig wie bei einer normalen Chemieanlage. Auch in einer normalen Chemieanlage müssen die Mitarbeiter genau wissen, was sie tun, und entsprechend gut ausgebildet sein. Das ist in einer Produktionsanlage, die auf einem biokatalytischen oder in einem fermentativen Prozess basiert, nicht anders. Ob durch die Weiße Biotechnologie Arbeitsplätze entstehen werden, kann ich nicht vorhersagen. Wenn wir erfolgreich sind und es uns gelingt, neue Produkte auf den Weg zu bringen, dann werden dadurch auch Arbeitsplätze geschaffen. In den zwei Produktionsanlagen, die ich in meinem Vortrag erwähnt habe, sind neue Arbeitsplätze geschaffen worden. Und wenn es uns gelingt, auch Bulk-Chemikalien über Fermentation herzustellen, dann muss noch

Moderation: Armin Maiwald (Flash Filmproduktion, Köln)

Teilnehmer: Dr. Friedhelm Balkenhohl (BASF AG, Ludwigshafen),
Prof. Dr. Garabed Antranikian (TU Hamburg-Harburg, Hamburg),
MinDir. Jochen Flasbarth (BMU, Bonn),
Dr. Michael Angrick (UBA, Dessau)

entschieden werden, wo der richtige Ort für eine solche Anlage ist. Der richtige Ort ist dort, wo zum einen der Markt ist und wo zum anderen die Rohstoffe günstig sind.

[Angrick]

Ich denke, wir machen uns etwas vor, wenn wir uns sehr große beschäftigungswirksame Erfolge aus der Biotechnik versprechen. Wir können froh sein, wenn wir die Beschäftigung so halten, wie sie ist. Sicherlich mag es in dem Bereich Forschung und Entwicklung eine Reihe von zusätzlichen qualifizierten Stellen geben. Aber man muss sich – wie bei anderen Techniken übrigens auch – immer vor Augen halten, dass die Beschäftigung nicht additiv ist, sondern sehr häufig substituierend ist. Das heißt, eine Produktion, die bisher betrieben wurde, wird letztendlich runtergefahren, eine andere wird im Gegenzug aufgebaut. Unterm Strich ist möglicherweise bei der biotechnischen Produktionsweise in dem eigentlichen Produktionsbereich weniger Personal notwendig als in der bisherigen Produktion. Und dann haben wir für die Beschäftigungszahlen nicht wirklich einen großen Vorteil oder Nutzen. Ein Vorteil kann in beschäftigungspositiven Auswirkungen auf das weitere Umfeld der Technik liegen, also in der Zuarbeit und in den Zulieferketten. Aber die hat meines Wissens bisher noch niemand wirklich untersucht.

[Flasbarth]

Die Frage, wie viel Arbeitsplätze das eigentlich bringt, ist doch ein bisschen zu eng gestellt. Die Frage muss eigentlich lauten: Welche Beschäftigungschancen haben wir in Deutschland? Aus unserer Sicht können das nur solche sein, die die Fragen von Nachhaltigkeit, technologischem Know-how und wissenschaftlicher Exzellenz mit wichtigen Feldern der industriellen Produktion verbinden. In einer zunehmend arbeitsteiligen Welt, in der Standorte relativ rasch austauschbar sind, wird es immer so sein, dass eine gute Idee entsteht, eine Produktion in Gang kommt und ein paar Jahre später dann meist an anderen Stellen in der Welt produziert wird. Darauf müssen wir uns einstellen und damit können wir in Deutschland auch leben. Unsere Chance ist, universitäres Know-how möglichst schnell in wirtschaftliche Anwendung zu bringen.

Inwieweit kann die auf 15 Jahre ausgerichtete Programmatik des neuen Förderschwerpunkts „Bioindustrie 2021“ des Bundesministeriums für Bildung und Forschung (BMBF) einen wirklichen Schub für die Entwicklung der weißen Biotechnologie bringen, insbesondere auch vor dem inhaltlichen Fokus, der das große Thema Bioenergie weitestgehend ausklammert, und der in Richtung Metabolic Design und Biokatalyse geht. Falls wirklich ein Schub erzielt werden soll, worauf sollen sich solche Konzepte dann insbesondere konzentrieren? (Frage aus dem Publikum: Dr. Günter Peine, BioTOP Berlin-Brandenburg)

[Balkenhohl]

Die Initiative, die die Grundlagenforschung auf dem Gebiet weiße Biotechnologie fördern soll, finde ich sinnvoll. Der Grundgedanke ist, Experten aus verschiedenen Disziplinen in Clustern zusammenzubringen. Es sollen Grundlagenthemen bearbeitet werden, für die ich in meinem Vortrag hoffentlich ein paar Anstöße geben konnte, beispielsweise die Fermentation lipophiler Substanzen. Dass das Thema Energie nicht Teil dieser Initiative ist, halte ich für sinnvoll, weil dies ein erheblich umfangreicheres Thema darstellt, was auch in einer größeren Breite gesehen werden muss und entsprechend größerer finanzieller Aufwendungen bedarf. Industrielle Biotechnologie kann sehr wohl einen Beitrag zu diesem Thema leisten, Stichwort Ethanol aus Lignozellulose oder Biogas. Allerdings dürfen auch andere Technologien zur nachhaltigen Energieerzeugung nicht vernachlässigt werden, zum Beispiel BtL-Kraftstoffe⁵ oder Solarenergie.

[Antranikian]

Die Universitäten sind sehr daran interessiert, dass diese Initiative mit Leben gefüllt wird. Die Frage ist, ob die Industrie sagt, bei welchen Produkten und Verfahren sie mit Universitäten kooperieren will. Dazu muss irgendwie ein Vertrauen zwischen Hochschulen und Industrie aufgebaut werden. Das BMBF erwartet nicht, dass wir nur Technologieplattformen bedienen. Sie wollen vom Screening bis zum Produkt auch Verfahrensentwicklung im Programm haben. Das ist eine große Chance für die Universitäten. Ich denke, es ist viel effektiver, wenn man versucht, die besten in dieser Republik zusammenzubringen.

⁵BtL-Kraftstoff (Biomass to Liquid) ist ein flüssiger Treibstoff der aus fester Biomasse erzeugt wird.

Moderation: Armin Maiwald (Flash Filmproduktion, Köln)

Teilnehmer: Dr. Friedhelm Balkenhohl (BASF AG, Ludwigshafen),
Prof. Dr. Garabed Antranikian (TU Hamburg-Harburg, Hamburg),
MinDir. Jochen Flasbarth (BMU, Bonn),
Dr. Michael Angrick (UBA, Dessau)

Wie hoch ist das Potenzial pflanzlicher Systeme zur Herstellung von Chemikalien? Wozu braucht man pflanzliche Systeme? Welche Vorteile haben sie gegenüber mikrobiellen Systemen? Ist die Aussage: „Weiße geht nicht ohne grüne Biotechnik“, richtig? (Frage aus dem Publikum: Dr. Klaus Steinhäuser, Umweltbundesamt, Dessau)

[Balkenhohl]

Ich glaube sehr wohl, dass es Chancen gibt, mit Hilfe der Pflanzenbiotechnologie zu einer effizienteren Produktion von Pflanzeninhaltsstoffen zu kommen. Für das Thema weiße Biotechnologie bedeutet das, günstigere Rohstoffe zugänglich zu machen. So stellt die Pflanzenbiotechnologie beispielsweise Pflanzen zur Verfügung, die einen höheren Stärkegehalt aufweisen oder die auch bei Trockenheit noch vernünftig wachsen. Schwerpunkt ist hier aus meiner Sicht das Thema Erhöhung der Erträge. Für verschiedene Bereiche der weißen Biotechnologie (z. B. Biokatalyse) spielt das Thema Pflanzengentechnik keine Rolle.

[Flasbarth]

Ich kann nicht dazu raten, eine Technologie, die gesellschaftlich weitgehend unumstritten ist, wie die weiße Biotechnologie, für etwas anderes in Geiselhaft zu nehmen und zu sagen: Das machen wir aber nur, wenn der Staat uns auch eine liberalistische Politik im Bereich der grünen Gentechnik bereitstellt. Diese Bundesregierung ist angetreten, im Bereich der grünen Gentechnik die Forschung zu fördern, und dort, wo das mit dem Schutz von Umwelt und Gesundheit vereinbar ist, auch die Anwendung zu unterstützen. Es bleibt aber auch ein Faktum, dass viele Menschen in Europa der grünen Gentechnik skeptisch gegenüber stehen. Deshalb möchte ich nochmals davon abraten, eine unumstrittene Technologie in eine Zwangsverbindung mit der grünen Gentechnik zu bringen.

[Antranikian]

Es wäre wünschenswert, wenn die grüne Biotechnik die Pflanzen so optimiert, dass sie das ideale Substrat für die weiße Biotechnik sind. Auch ich denke, dass man nicht beides hundertprozentig koppeln muss. Die gesellschaftliche Akzeptanz wird ein wichtiger Faktor für die grüne Biotechnik bleiben. Die Geschwindigkeit in der Entwicklung der weißen und grünen Biotechnik wird weiterhin unterschiedlich sein. Wir werden mit der weißen Biotechnik in der Entwicklung und Akzeptanz kein Problem haben, aber mit der grünen schon. Wenn heute die Substrate und die Pflanzen noch nicht hundertprozentig ideal sind, so kann man aber in Zukunft diese Systeme effizienter gestalten. Zum Beispiel versucht man zurzeit am

Craig-Venter-Institut in den USA, eine minimale Zelle zu konstruieren, also eine Zelle, die nur bestimmte für die Produktion von interessanten Wertstoffen notwendige Gene enthält. Mit solchen Zellen kann man beispielsweise Zellulose zu bestimmten Produkten in einem Schritt umsetzen. Auf diesem Wege lassen sich effiziente Prozesse entwickeln. Gentechnisch veränderte Organismen kann man und muss man in vielen Fällen anwenden, um effektiv sein zu können. In vielen Fällen ist die Produktivität nicht gut, weil die Produkte in Wasser stark verdünnt sind. Deshalb muss man versuchen, auch mit Hilfe von Gentechnik, diese Produkte in höheren Konzentrationen zu produzieren. Das macht die Industrie seit langem.

[Balkenhohl]

Ob es darum geht, mit evolutionären Methoden Enzyme zu optimieren oder Mikroorganismen nach Maß zu schneiden, das alles verlangt Gentechnik. Neue biotechnologische Verfahren und Produkte wird es ohne Nutzung gentechnischer Methoden nicht geben.

[Flasbarth]

Ich rate, die doch ganz unideologischen Signale aus der Politik auch genau als solche aufzufassen. Sie bringen die Konstrukte. Und wenn sie mit einem vernünftigen Sicherheitsstandard auf den Markt zu bringen sind, dann ist das in Ordnung. Aber es kann keinen Kredit bei der Anwendung im Freiland geben, weil es einfach ein Unterschied ist, ob gentechnische Organismen in einer geschlossenen Anlage genutzt oder ob sie auf einen Acker ausgebracht werden.

Moderation: Armin Maiwald (Flash Filmproduktion, Köln)

Teilnehmer: Dr. Friedhelm Balkenhohl (BASF AG, Ludwigshafen),
Prof. Dr. Garabed Antranikian (TU Hamburg-Harburg, Hamburg),
MinDir. Jochen Flasbarth (BMU, Bonn),
Dr. Michael Angrick (UBA, Dessau)

2. Bewertung der Nachhaltigkeit

Welche Auswirkung ist durch die Erhöhung des Anteils an biotechnischen Produkten auf die Umwelt zu erwarten, z. B. auf Luft und Wasser? Kann man generelle Aussagen treffen oder muss man jedes einzelne Verfahren für sich bewerten?

[Angrick]

Es ist in der Tat so, dass eine genaue Einzelfallbewertung notwendig ist. Sicherlich ist richtig, dass es in einigen Bereichen spürbare Entlastungen gibt. Das hängt damit zusammen, dass die biotechnischen Verfahren normalerweise in einem Medium arbeiten, das relativ ungefährlich ist, zum Beispiel Wasser, und dass sie bei normalen Temperaturen und keinen hohen Drücken arbeiten. Sie bilden kaum Emissionen in die Luft. Sie haben auch sonst relativ wenig Probleme, die wir normalerweise bei klassischen Prozessen immer wieder feststellen und diese zu minimieren die Industrie in der Vergangenheit viel Geld aufwenden musste. Das sind die positiven Aspekte. Wir haben bei den Forschungsberichten, die wir in Auftrag gegeben haben, nicht alles angeschaut, beispielsweise den Landverbrauch bei der Bewertung ausgeklammert, weil wir uns nur auf bestimmte Nachhaltigkeitskriterien konzentriert haben. Hätten wir uns alles angeschaut und den Flächenverbrauch zusätzlich einbezogen, dann wäre das Ergebnis der Bewertung an dieser Stelle anders, zumindest negativer, ausgefallen. Es gibt auf keinen Fall diesen „Persilschein“, weiße Biotechnik ist gut und schön. Es gibt Vorteile und das ist für uns ein Teil dessen, was wir unter nachhaltiger Produktion verstehen und fördern wollen.

Für die Bewertung der Nachhaltigkeit gibt es unterschiedliche Instrumente, zum Beispiel die Ökobilanz. Sind die Daten dazu einfach ausreichend oder werden von der Industrie zu wenig Daten geliefert? Und wie groß ist die Bereitschaft der Industrie, den Datenfluss zu verbessern?

[Balkenhohl]

Wir können und wollen natürlich nicht unsere Prozesse komplett bis ins letzte Detail offenlegen. Wenn allerdings die Vertraulichkeit gewährleistet ist, gibt es keine Probleme, die Daten mit entsprechenden Instituten zu diskutieren.

[Angrick]

Das höre ich gern, weil das natürlich für uns ein ganz wesentlicher Punkt ist. Wir können uns natürlich nur dann zu gewissen Dingen, auch substanziell, äußern, wenn uns entsprechende Daten vorliegen. Klar ist, dass wir als Umweltbundesamt die Vertraulichkeit zusichern. Sie werden nicht erleben, dass das Umweltbundesamt anfängt, Vitamin B₂ zu synthetisieren. Ich denke, da sind wir auf einem guten Weg. Auch diese Veranstaltung ist eine gemeinsame Veranstaltung mit der Industrie. Und das zeigt, dass das Klima sich deutlich gewandelt hat: von so einer eher konfrontativen Situation wie vor ein paar Jahren zu einer gemeinsamen. Da gibt es in den letzten Jahren eine Reihe von sehr guten Beispielen, gerade mit der chemischen Industrie. Das muss man ganz deutlich sagen: Der frühere Prozess des Gegeneinanders ist wirklich Vergangenheit. Die chemische Industrie hat sich ein ganzes Stück bewegt. Und ich denke auch, sie hat gemerkt, dass die Rahmenbedingungen, die der Staat setzt, vernünftig sind und keine überzogenen Forderungen stellen.

[Flasbarth]

Ich denke, Anforderungen an die Industrie zu stellen, ist ein ganz natürlicher Prozess, der in den vergangenen drei Jahrzehnten die Umweltpolitik auch geprägt hat. Das stößt dort zunächst auf eine gewisse Zurückhaltung, weil viele dieser Anforderungen zunächst auch mit Produktionsumstellungen und mit Kosten verbunden sind. Aber wenn dann erst einmal eine Entscheidung getroffen ist, dann kommt das Geschäft wieder in Gang. Das haben wir bei allen End-of-the-pipe-Technologien und bei Produktionsverbesserungen gesehen. Und dann gibt es in der Regel irgendeinen Innovationsfortschritt. Wesentlich ist – das hat Herr Staatssekretär Machnig auch deutlich gemacht –, wir kommen zunehmend in Bereiche, wo es gar nicht mehr um schlichte Gefahrenabwehr geht, sondern darum, wie entwickeln wir gemeinsam eine intelligente Volkswirtschaft der Zukunft. Und dann ist gerade in der globalen Welt das Agieren des Staates nicht mehr so einfach möglich wie früher, als Herr Friedrich Zimmermann (Bundesinnenminister 1982 bis 1989) sagte: „So, Großfeuerungsanlagen, das machen wir jetzt mal eben so.“ Heute kommt es viel mehr auf den Dialog zwischen Industrie, Forschung und Politik an. Das heißt nicht, dass der Staat sich in eine Rolle zurücklehnt, in der er nur noch Moderator und Beobachtender ist.

Moderation: Armin Maiwald (Flash Filmproduktion, Köln)

Teilnehmer: Dr. Friedhelm Balkenhohl (BASF AG, Ludwigshafen),
Prof. Dr. Garabed Antranikian (TU Hamburg-Harburg, Hamburg),
MinDir. Jochen Flasbarth (BMU, Bonn),
Dr. Michael Angrick (UBA, Dessau)

3. Ausbildung und Sicherstellung des Sachverstandes

Welche Bedeutung hat die Ausbildung bei der Weiterentwicklung oder Entwicklung der weißen Biotechnik? Wie kann die Ausbildung verbessert werden? Ist mehr auf eine Spezialisierung zu setzen oder mehr auf eine breitere Ausbildung? Spielt der Umweltaspekt bei den Studiengängen zur Biotechnologie eine Rolle?

[Antranikian]

Deutschland ist arm an Rohstoffen. Deshalb ist Deutschlands Stärke sein Know-how und seine wirklichen Experten auf ihrem Gebiet. Bisher schloss die Ausbildung mit dem Diplom, heute mit Bachelor und Master. Es ist klar, dass man versucht, diese Ausbildung optimal zu gestalten, auch für die Biotechnologie, die eine sehr komplexe Disziplin ist. Es gibt die Gefahr, dass wir Biotechnologen ausbilden, die von jeder Disziplin nur ein bisschen mitbekommen. Das wäre nicht ideal für diese Technologie. Biotechnologie ist eine interdisziplinäre Wissenschaft, in der der Biotechnologe mit Anlagenbauern, mit Ingenieuren und mit Chemikern zusammenarbeiten muss. Hierfür erfolgt zunächst eine allgemeine Ausbildung bis zum Bachelor gefolgt von einer Spezialisierung. Auf jeden Fall bildet man entweder Ingenieure aus oder Naturwissenschaftler. Beispielsweise müssen Chemiker auch andere Kurse besuchen, zum Beispiel für Biokatalyse oder Verfahrenstechnik. Auch ist die Kooperation mit der Industrie wichtig. Es ist aber kurzsichtig, erst mal die Technik nur anwenden zu wollen. Grundlagenforschung ist für die Zukunft und für die Erhaltung des Know-how in Deutschland extrem wichtig. Damit können wir auch zum Beispiel mit Asien und anderen Regionen im Patentschutz konkurrieren. Das kann man nur mit guten Studenten und Forschern machen. Umweltrelevanz, Evaluation, aber auch Projektmanagement spielen eine wichtige Rolle.

Wie sollte sich ein Biotechnologiestudent im Masterstudiengang spezialisieren? Kann ein spezialisierter Masterstudent in der weißen Biotechnologie langfristig auf Arbeit hoffen?

[Antranikian]

Ich kann das für uns, der Technischen Universität Hamburg-Harburg, sagen. In der Fachrichtung Verfahrenstechnik/Biotechnologie haben bisher alle Absolventen eine Stelle bekommen. Sie können in der chemischen Industrie wie auch in der Lebensmittelindustrie arbeiten, weil sie unterschiedliche Verfahren abdecken können und das Know-how hierzu haben, einschließlich Chemie, Biologie und Verfahrenstechnik. Die Absolventen wollen oft auch nicht promovieren,

weil sie bereits eine gute Stelle haben. Das ist ein Problem für die Forschung, dass viele Ingenieurwissenschaftler nicht promovieren wollen.

[Balkenhohl]

Wir stellen als Forscher normalerweise promovierte Naturwissenschaftler (Chemiker, Biologen, Biotechnologen etc.) ein, die schon ein gehöriges Stück selbstständige wissenschaftliche Arbeit hinter sich gebracht haben. Das ist für die Ideenfindung und für die effiziente Projektbearbeitung besonders wertvoll. Die technischen Mitarbeiter bilden wir im Normalfall selbst aus (Chemie- und Biologielaaboranten).

Moderation: Armin Maiwald (Flash Filmproduktion, Köln)

Teilnehmer: Dr. Friedhelm Balkenhohl (BASF AG, Ludwigshafen),
Prof. Dr. Garabed Antranikian (TU Hamburg-Harburg, Hamburg),
MinDir. Jochen Flasbarth (BMU, Bonn),
Dr. Michael Angrick (UBA, Dessau)

4. Umsetzung von der Forschung zum Produkt

Wie wird der Informationsstand von öffentlich geförderten Projekten, zum Beispiel in Universitäten, wahrgenommen und wie ist die Umsetzung von den Ergebnissen dieser Projekte in der Industrie? Wie viel Zeit braucht die Entwicklung von der Forschung bis zur Vermarktung?

[Balkenhohl]

Zur Erläuterung möchte ich auf die in meinem Vortrag erwähnten chiralen Zwischenprodukte, die so genannten ChiPros™ eingehen: Das erste Laborexperiment führten wir 1993 durch, die ersten Produkte waren 1995/96 auf dem Markt und die Produktionsanlagen gingen 2000/2001 in Betrieb. Ob es zum Bau einer Produktionsanlage kommt oder nicht, hängt von den Bedarfsmengen ab. Wenn es geringe Mengen sind, die in vorhandenen Multifunktionsbetrieben hergestellt werden können, dann erfolgt der Übergang von der Forschung zur Vermarktung schon in wenigen Jahren. Der Wissenschaftler an den Hochschulen hat großes Interesse, seine wissenschaftliche Arbeit in Fachzeitschriften zu veröffentlichen und damit in Fachkreisen bekannt zu machen. Die Forscher in der Industrie lesen Fachzeitschriften, gehen zu nationalen und internationalen wissenschaftlichen Kongressen und prüfen, ob das neue Wissen technisch genutzt werden kann. Das ist eine der Kernaufgaben der industriellen Forschung, die Suche nach der Anwendung. Im Idealfall können so Ergebnisse aus der Hochschule im Rahmen einer Forschungs Kooperation einer industriellen Nutzung zugeführt werden.

[Antranikian]

Der Zeitfaktor ist extrem wichtig. An den Hochschulen braucht auch die Biotechnologie einen langen Atem. Unsere Projekte werden in der Regel für zwei oder drei Jahre gefördert. Dabei wird von uns erwartet, dass wir etwas Neues finden, und das Ganze sogar bis zur Umsetzung bringen. Das kann aber nicht klappen. Es ist sehr wichtig, dass Projekte langfristiger unterstützt werden, nicht nur für drei Jahre, sondern fünf Jahre oder zehn Jahre. Zum Beispiel werden in Japan Projekte fünf bis zehn Jahre lang gefördert. Damit kann man was anfangen. Nach nur zwei Jahren hat man zu wenige Daten, um genau sagen oder beurteilen zu können, ob ein Projekt klappt oder nicht. Das Problem ist, dass, wenn dann publiziert wird, andere unsere Ergebnisse erhalten und diese dann woanders umgesetzt werden.

5. Die gesellschaftliche Akzeptanz der Biotechnik

Gibt es in der Gesellschaft ein Akzeptanzproblem mit der weißen Biotechnik? Ist zu erwarten, dass sich etwas ändert, wenn zukünftig verstärkt gentechnisch veränderte Ressourcen genutzt werden?

[Balkenhohl]

Es werden schon heute gentechnisch veränderte Mikroorganismen genutzt und es gibt kein Akzeptanzproblem. Die sichere Handhabung rekombinanter Mikroorganismen in geschlossenen Anlagen ist vielfach bewiesen und wird auch in der Öffentlichkeit nicht als Problem angesehen. In unserem Kulturkreis wird immer versucht, mit Ängsten vor neuen Technologien Stimmung zu machen. Das Glas ist bei uns immer halb leer, und in den USA ist das Glas immer halb voll. Es ist die Frage, ob es auf Dauer die richtige Strategie ist, immer zunächst die Risiken zu sehen und nicht die Chancen. Ich sehe allerdings heute keine Probleme in der Akzeptanz für die etablierte weiße Biotechnologie in Deutschland und das ist gut so.

[Flasbarth]

Wir haben es auch in anderen Bereichen industrieller Produktion mit problematischen Stoffen zu tun. Insofern hat die Frage nicht zu lauten: Lasse ich es zu, dass in einem Produktionsprozess gefährliche Stoffe eingesetzt werden?, sondern die Frage ist: Wie ist der Sicherheitsstandard und die Sicherheitstechnik? Da kann ich mir bei der industriellen Produktion durchaus vorstellen, dass ein hochkomplexer, traditionell chemischer Prozess gegenüber einem Prozess mit dem Einsatz gentechnisch veränderter Organismen in der Sicherheitsbewertung unterlegen ist. Das muss man von Fall zu Fall betrachten. Die Erfolgsstory für die grüne Gentechnik fehlt noch, weil das, was im Augenblick auf dem Markt ist, für viele Landwirte und für viele Verbraucher noch nicht den bahnbrechenden Vorteil hat. Auf der anderen Seite haben die Leute ein ganz gesundes Gespür für Risiken. Da sind wir uns schon mal einig: Wenn man so etwas im Freiland einsetzt, in der alltäglichen Praxis, unter nicht-isolierten Bedingungen, dann sind die Sorgen größer. Weil so ein potenzieller Schaden größer sein kann. Deshalb ist unsere Herangehensweise, die Auswirkungen von Fall zu Fall zu betrachten. Wo sind eigentlich Auskreuzungsmöglichkeiten? Kann man diese minimieren? Wie kann man sie minimieren? Wie sichert man andere wirtschaftliche Aktivitäten? Also die Frage der Koexistenz. Aber auch die Frage der Koexistenz mit der Natur, weil wir auch aufpassen müssen, dass wir nicht plötzlich Auskreuzungen in die Natur bekommen, die man möglicherweise nicht mehr so leicht kontrollieren kann. Das mag

Moderation: Armin Maiwald (Flash Filmproduktion, Köln)

Teilnehmer: Dr. Friedhelm Balkenhohl (BASF AG, Ludwigshafen),
Prof. Dr. Garabed Antranikian (TU Hamburg-Harburg, Hamburg),
MinDir. Jochen Flasbarth (BMU, Bonn),
Dr. Michael Angrick (UBA, Dessau)

vielleicht beim Mais noch gar nicht so problematisch sein. Aber wenn man beispielsweise mit Mikroorganismen im Freiland arbeiten würde, dann hätte man eine andere Diskussion und müsste zu Recht sehr genau hinschauen. Die Debatte um die grüne Gentechnik bewegt sich im Moment in nüchternen Bahnen, weil deutlich wird, dass die Politik hier der begrenzende Faktor ist. Es fehlt im Grunde an der Erfolgsstory, an dem wirklich überzeugenden Produkt in der grünen Gentechnik. Es kommt natürlich auch auf die Rahmenbedingungen in der Agrarpolitik insgesamt an. Es kommt auf die Standorte an, zum Beispiel darauf, wie kleinteilig die Landwirtschaft bei uns ist. Und es spiegelt die Skepsis der Verbraucher wider. Ich höre immer wieder, dass wir die Materialströme wunderbar auseinander halten können. Und mit einem Mal taucht überall gentechnisch veränderter Reis in Produkten auf, der da gar nicht hingehören sollte.

[Angrick]

Herr Staatssekretär Machnig hat in seiner Rede auf den Dialog in der Nanotechnik hingewiesen. Der ist bei der Gentechnikdebatte etwas anders gelaufen. Bei Nanotechnik, glaube ich, ist die Industrie heute etwas weiter und hat sich da auch etwas verändert: Man muss die Menschen mitnehmen auf dem Weg zu neuen Entwicklungen, man muss ihnen möglichst frühzeitig zeigen: „Was passiert da, was sind mögliche Risiken und was nicht? In dem einen Fall, der Gentechnik, ist zu wenig informiert worden, in dem anderen Fall, der Nanotechnik, geschieht es jetzt. Wir haben solche Dialoge. Wir bilden Dialogforen. Wir versuchen von vornherein, auch miteinander klarzukommen, Das haben wir vorher nicht getan. Und das, glaube ich, ist schon noch ein wesentlicher Unterschied. Was die weiße Biotechnik angeht, haben diejenigen, die produzieren, und die Wissenschaftler, die forschen, und letztendlich auch das Umweltbundesamt sehr deutlich immer darauf hinweisen, dass hier andere Bedingungen vorliegen, zum Beispiel handelt es sich um geschlossene Systeme. Das akzeptieren die Menschen, das verstehen sie auch sehr wohl.

[Dr. Roland Schröder, Fa. Henkel KGaA (Publikum)]

Ich muss dem Podium widersprechen: Es ist nicht so, dass der Verbraucher ein Gefühl für das Risiko hat. Das Thema ist sehr komplex. Er braucht deshalb eine Art Hinweis oder Anleitung. Da sehe ich auch die Rolle von Behörden. Wir hatten vor Jahren noch eine sehr emotional geprägte, teilweise politisch beeinflusste Diskussion. Will man heute sagen, weiße Biotechnik, also Biotechnik im Reaktor, ist in Ordnung, so ist das gut. Das können wir unterstützen. Aber wir wünschen uns eigentlich, dass man das auch nach außen trägt, nicht

nur in diesem Kreise hier, sondern auch in der Presse. Es war eben zu Recht gesagt worden, dass die Forschung nur arbeiten kann, wenn sie langfristig planen kann. Die Industrie kann auch natürlich nur planen, wenn sie langfristig Gewissheit hat. Insofern ist die Industrie genau wie die Forschung einer Universität auf einen, sage ich mal, langfristigen Horizont angewiesen. Das bedeutet, dass letztendlich alle Akteure eine Situation evaluieren, zu einer Meinung kommen und die auch langfristig verteidigen, es sei denn, dass sich Grundannahmen neu ändern. Ich habe heute verstanden, dass weiße Biotechnik unter dem jetzigen Kenntnisstand als sicher gilt. Das sollten wir kommunizieren: und zwar Behörde, Industrie und Forschung. Wenn sich die Sachlage ändert, wenn neue Daten, neue Fakten auf den Tisch kommen, müssen wir neu diskutieren. Aber so lange das nicht der Fall ist, sollte man unabhängig von Tagesströmungen, von Politikern, von Presse auch diesen Kurs durchhalten.

[Flasbarth]

Dahinter steckt der Vorwurf: Eigentlich macht ihr schlechte Stimmung beim Verbraucher. Daran glaube ich überhaupt nicht. Die Behörden geben ihre Stellungnahmen ab zur Weißen Biotechnologie, zur Grünen Biotechnologie, zu diesem und zu jenem. Glauben sie mir: Alles was über meinen Schreibtisch geht, ist differenziert. Immer! Etwas Undifferenzierter von einer wissenschaftlichen Behörde im Geschäftsbereich des BMU gibt es auf jeden Fall nicht. Die weitere Frage ist: Wie gehen eigentlich Politiker mit der öffentlichen Akzeptanz von neuen Techniken um? So wie ich Politiker erlebe, schauen sie ganz genau hin, wie die Bevölkerung auf bestimmte Themen reagiert. Und glauben Sie mir, so wie das Bundeslandwirtschaftsministerium/Bundesverbraucherschutzministerium jetzt in dieser Frage positioniert ist, hätten wir das gemeinsam vor einem Dreivierteljahr kaum vermutet. Das liegt daran, dass der Bundeslandwirtschaftsminister jemand ist, der ganz genau hinschaut, bei welchen Themen die Bevölkerung skeptisch ist und Fragen hat.

[Dr. Winfried Zombik, Fa. BASF AG (Publikum)]

Politiker, denke ich, können schon sehr wohl in die Kerbe hauen, was positiv oder negativ gesehen wird. Das wird durchaus gemacht. Das haben wir in den letzten Jahren beim Thema Gentechnik erlebt. Wie Stimmung in der Bevölkerung gemacht wird, das sieht man immer wieder. Wir haben sehr wohl Verbände, die ein gewisses Interesse daran haben, bestimmte Stimmungen zu pflegen. Ich halte es für einen Irrtum, dass die Bevölkerung in der Lage ist, ohne weiteres naturwissenschaftliche Notwendigkeiten oder Nicht-Notwendigkeiten und naturwissenschaftliche Abfolgen richtig

Moderation: Armin Maiwald (Flash Filmproduktion, Köln)

Teilnehmer: Dr. Friedhelm Balkenhohl (BASF AG, Ludwigshafen),
Prof. Dr. Garabed Antranikian (TU Hamburg-Harburg, Hamburg),
MinDir. Jochen Flasbarth (BMU, Bonn),
Dr. Michael Angrick (UBA, Dessau)

einzuschätzen. Stimmung wird gemacht und diese Stimmung wird auch genutzt. Insofern ist es schon sehr wichtig, was von Seiten der Öffentlichkeit, also von den Behörden und von der Politik vermittelt wird.

[Flasbarth]

Ja, das bestreite ich nicht. Wir sind doch hier bei einem ganz guten Beispiel. Wir sagen klar: Das was hier stattfindet, das ist eine echte Chance für Nachhaltigkeitsfortschritte, weil die weiße Biotechnologie eine echte industriepolitische Chance bietet. Deshalb gibt es auch ein ganz klares Signal von der Politik: Ja, wir wollen das fördern. Das geschieht durch das BMBF auch mit sehr viel Geld. Das geschieht auch von anderen Ressorts wie z. B. dem unseren, indem wir einen Beitrag zu einer gewissen Atmosphäre des Aufbruchs leisten. In den anderen Bereichen, wo das in der Bevölkerung kritischer gesehen wird, werden Sie immer damit zu tun haben, weitgehend unabhängig von den politischen Grundströmungen. Sie werden alle Schattierungen, flammender Befürworter bis zu großen Skeptikern, finden. Das ist ein Signal dafür, dass bei dieser Technologie, über die wir eigentlich gar nicht vorrangig sprechen wollten, offenbar mehr Probleme und weniger erkennbarer Nutzen gesehen wird als bei der weißen Biotechnologie, über die wir eigentlich reden wollen.

[Dr. Almuth Ostermeyer-Schlöder, BMU (Publikum)]

Wir haben heute eine Presseerklärung rausgegeben und auch das UBA hat eine solche geplant. Diese Presseerklärung soll eigentlich auch die positive Grundstimmung verbreiten. Insofern dürfte damit klar sein, dass wir damit auch an die Öffentlichkeit treten.

6. Rahmenbedingungen

Wie sehen Sie im Moment die Rahmenbedingungen für die Forschung und die Entwicklung und für die industrielle Anwendung in der weißen Biotechnik? Müssen Rahmenbedingungen geändert werden und falls ja, welche? Gibt es Forderungen an die Industrie, an Wissenschaft und Forschung und an die Politik?

[Antranikian]

Man muss die Bundesregierung wirklich loben. In den letzten Jahren hat sich so vieles positiv entwickelt. Mit der HighTech-Initiative sollen etwa 14 Milliarden Euro in etwa 14 oder 17 Feldern – eines davon ist die weiße Biotechnologie – ausgegeben werden. Hinzu kommen noch die Förderprogramme der EU, in denen die

weiße Biotechnik auch vorkommt. Deshalb denke ich, die Rahmenbedingungen sind vorhanden. Jetzt muss man versuchen, in Kooperation mit der Industrie etwas zu tun. Auch die Initiative „BioIndustrie 2021“ ist ein Weg, Themen zu finden, die für die Anwendung in Kooperation mit den Hochschulen von Interesse sind. Wir müssen Schwerpunkte setzen und Netzwerke bilden. Da die Biotechnik sehr komplex ist, müssen wir versuchen, in Kooperationen mit der Industrie – mit Groß- und Klein- und mittelständigen Unternehmen (KMU) – Systemlösungen zu bieten. Die KMUs sind dabei extrem wichtig, denn sie sind häufig der Motor der Biotechnik, weil sie flexibler sind als ganz große Unternehmen und viele Innovationen auch einbringen können. Diese Allianz zwischen KMUs, Großindustrie und auch Hochschulen und ihre langfristige Unterstützung ist sehr wichtig, wenn wir in der Zukunft weiter kommen wollen.

[Balkenhohl]

Für die Forschung in der Industrie sind die Rahmenbedingungen für die weiße Biotechnologie in Ordnung. Aber das waren sie auch schon vor ein paar Jahren. Daran hat sich nichts geändert. Auch für die industrielle Anwendung gibt es in Deutschland keine Probleme. Eine Forderung an die Politik ist, verstärkt die Grundlagenforschung zu fördern, so wie es mit der Initiative „BioIndustrie 2021“ schon realisiert wird. Dabei ist es vor allen Dingen wichtig, die interdisziplinäre Zusammenarbeit im Auge zu haben und wirkliche Kompetenzcluster zu bilden.

[Flasbarth]

Es ist tatsächlich ein gutes Zeichen, wenn gesagt wird, die Rahmenbedingungen sind von der Bundesregierung in vielen Bereichen jetzt gut gesetzt, um zu Fortschritten auch in der Anwendung von weißer Biotechnologie zu kommen. Ich glaube, vor etwa zwanzig bis dreißig Jahren hatten wir einmal die Frage der End-of-the-pipe-Technologien. Danach hatten wir eine sehr intensive gesellschaftliche Debatte um Konsum und Lebensstil, eine wichtige Debatte, die sicherlich auch fortgeführt werden muss. In diesen beiden Phasen sind die Fragen um Effizienz und Ressourceneffizienz zu kurz gekommen. Wie können wir mit technologischen Innovationen zu einer besseren Ausnutzung von Ressourcen kommen, sowohl in der Produktion als auch in den Produkten selbst? Das ist etwas, was das Bundesumweltministerium als ökologische Industriepolitik begreift. Wir müssen einen Beitrag dazu leisten, dass Unternehmen in einer Gesamtumweltpolitik Rahmenbedingungen vorfinden, die Anreize schaffen, in ressourceneffizienten Verfahren zu produzieren. Das ist es, was wir beispielsweise mit der heutigen Veranstaltung, mit

Moderation: Armin Maiwald (Flash Filmproduktion, Köln)

Teilnehmer: Dr. Friedhelm Balkenhohl (BASF AG, Ludwigshafen),
Prof. Dr. Garabed Antranikian (TU Hamburg-Harburg, Hamburg),
MinDir. Jochen Flasbarth (BMU, Bonn),
Dr. Michael Angrick (UBA, Dessau)

vielen Gesprächen auch mit einzelnen Unternehmen und mit dem BDI als Ganzes versuchen voranzubringen.

[Angrick]

Wie schon in einigen Beiträgen, wie von Herrn Staatssekretär Machnig und Herrn Flasbarth angesprochen, ist ein Schwerpunktthema, das im Umweltschutz in den nächsten Jahren viel bewegen muss, vor allen Dingen der Ressourcenschutz und die Ressourcenschonung. Das ist ein Beitrag, den das Umweltbundesamt an dieser Stelle leisten will und leisten kann, aber nur dann leisten kann, wenn es genügend Daten von der Industrieseite bekommt, um auch zu einer weiteren Versachlichung des Themas beizutragen und um heute angesprochenen Abbau eines Technikskeptizismus weiter voranzutreiben. Wir müssen den Dialog fortsetzen.

Deutschland ist auch bei der weißen Biotechnologie zum Beispiel in Hinsicht auf Patente und wissenschaftliche Kompetenz durchaus konkurrenzfähig mit den USA, aber bei der technischen Umsetzung scheinen die USA einen deutlichen Vorsprung zu haben. Mit welchen Rahmenbedingungen hängt dieses Defizit zusammen? Die klassische Chemie ist in ihrer vernetzten Produktion ausgetüftelt bis zum letzten, hat aber auch nicht diese Optimierungspotenziale, die in der weißen Biotechnologie noch drin sind. Wie berechnen wir eigentlich die unterschiedlichen Optimierungspotenziale? (Frage aus dem Publikum: Dr. Steinhäuser, Umweltbundesamt)

[Balkenhohl]

Zur ersten Frage, warum neue Technologien vielfach in den USA so viel schneller angenommen werden als bei uns: Für die chemische Industrie kann man das so pauschal, nicht sagen. Die BASF spielt in der Chemieindustrie bis heute auch im internationalen Vergleich eine herausragende Rolle. Das wäre sicherlich nicht möglich gewesen, wenn die BASF nicht immer innovativ gewesen wäre. Die deutsche Chemische Industrie kann sich weiterhin sehr wohl mit den US-amerikanischen Wettbewerbern messen. Dass sich ganz neue Technologien oftmals in den USA schneller entwickeln, hat sicherlich etwas mit der Mentalität zu tun. Zu den Optimierungspotenzialen ein Beispiel: Acrylsäure ist ein etabliertes Chemieprodukt auf Basis von Propylen, das seit vielen Jahrzehnten industriell erzeugt wird und diverse Optimierungszyklen einschließlich Rohstoffwandel durchlaufen hat. Es gibt Ansätze, eine solche Grundchemikalie durch Fermentation herzustellen. Da ist der Vorsprung der chemischen Technik natürlich gewaltig. Ich halte es nicht für

sinnvoll, durch veränderte Rahmenbedingungen einen solchen Technologiewechsel beschleunigen zu wollen. Auch ohne Subventionen oder andere Eingriffe der Politik werden sich im internationalen Wettbewerb überlegene Prozesse durchsetzen – wie es die Geschichte der industriellen Acrylsäureproduktion anschaulich verdeutlicht. Natürlich bedeutet jede neue Technologie eine neue Investition. Und vor einer solchen Investition wird mit spitzem Bleistift gerechnet. Das ist für eine konventionelle Chemieanlage nicht anders als für eine Biotech-Anlage. Die Zahlen sprechen irgendwann eine klare Sprache und dann fällt man eine Entscheidung. Ein gewisses wirtschaftliches Risiko bleibt natürlich bestehen.

[Maiwald]

Mein Fazit aus der heutigen Veranstaltung ist, dass es die „Aggressionspotenziale“ zwischen Industrie und Politik und Forschung offensichtlich gar nicht gibt. Ich habe mitgenommen, dass die Forschungsbedingungen als Rahmenbedingungen für die weiße Biotechnologie gar nicht so schlecht hier in Deutschland sind, dass die industriellen Rahmenbedingungen auch nicht so schlecht sind und dass es viel mehr Kooperationen gibt auch mit den Umweltbehörden im weitesten Sinne. Man ist weitgehend auf einander zugegangen und tut das auch weiterhin. Das lässt Optimismus aufkommen. Jede neue Technologie und jede neue Produktion, die in Deutschland aufgebaut ist, kann uns eigentlich nur helfen, weil es das einzige Potenzial ist, über das wir verfügen. Rohstoffe gibt es nicht. Insofern müsste bei uns eigentlich sehr viel mehr in diesem Bereich passieren. Ich danke für die Aufmerksamkeit, auch für die Diskussion. Auch einen Dank an das Bundespresseamt für die Überlassung dieses Veranstaltungsraums.

Die Referenten, die Herausgeber und der Moderator

[Angrick, Michael]

Geboren 1952 in Berlin-Charlottenburg, Dr. rer. nat., Diplom-Chemiker, nach einer Beschäftigung in der Chemischen Industrie und in einem Universitätsklinikum seit 1986 im Umweltbundesamt tätig. Seit 1994 Abteilungsleiter in verschiedenen Bereichen des Amtes, verantwortlich für die Aspekte der Nachhaltigen Produktion und für das Thema „Ressourcenschutz“.

E-Mail: michael.angrick@uba.de

[Antranikian, Garabed]

Studierte Biologie an der American University in Beirut (1976). Anschließend promovierte und habilitierte er in Göttingen. Im Jahr 1989 wurde er als Professor für Mikrobiologie an der TU Hamburg-Harburg berufen, leitet dort seit 1990 die Arbeitsgruppe „Technische Mikrobiologie“ und ist seit 2003 Direktor des Instituts für Technische Mikrobiologie. Von 1993 bis 1999 koordinierte er die EU-Netzwerkprojekte „Extremophiles as Cell Factories“ sowie „Biotechnology of Extremophiles“. Von 2000 bis 2003 übernahm er die Koordination des DBU-Projektes „Verbund Biokatalyse“ und seit 2002 das „InnovationsCentrum Biokatalyse“ (ICBio). Er ist Präsident der „International Society for Extremophiles“ und Mitherausgeber zahlreicher Fachzeitschriften. 2004 wurde ihm der Umweltpreis der Deutschen Bundesstiftung Umwelt verliehen und seit 2006 ist er Mitglied der Union der deutschen Akademien der technischen Wissenschaften (acatech).

E-Mail: antranikian@tu-harburg.de

[Balkenhohl, Friedhelm]

Geboren 1961 in Ebbendorf (bei Osnabrück), Dr. rer. nat., Diplom-Chemiker. Studium der Chemie in Göttingen und Hannover. Von 1989 bis 1997 Laborleiter bzw. Leiter einer Forschungsgruppe im Hauptlabor der BASF: Forschungsarbeiten auf den Gebieten Vitaminsynthesen, chirale Zwischenprodukte und kombinatorische Chemie, Innovationspreis der BASF 1996: „Enzyme als Katalysatoren in der Chemie“. Von 1998 bis 2003 war er als Projekt- und Betriebsleiter für Bau und Inbetriebnahme einer Produktionsanlage für Butandiol in Kuantan, Malaysia verantwortlich. Seit 2004 leitet er die Forschungsabteilung „Forschung Feinchemikalien und Biokatalyse“, das BASF-Forschungszentrum für industrielle Biotechnologie.

E-Mail: friedhelm.balkenhohl@basf.com

[Dubbett, Wolfgang]

Geboren 1957 in München, Dr. rer. nat., Diplom-Biologe. Studium der Mikrobiologie an der TU München. Ab 1988 wissenschaftlicher Mitarbeiter an der Universität Bayreuth. Seit 1990 im Umwelt-

bundesamt, wo er zunächst im Vollzug des deutschen Gentechnikgesetzes arbeitete und heute für Umweltaspekte der industriellen Biotechnik und Nanotechnik zuständig ist. Seit 1992 nebenberuflich Lehrbeauftragter im Studiengang Biotechnologie an der Technischen Fachhochschule in Berlin.

E-Mail: wolfgang.dubbett@uba.de

[Flasbarth, Jochen]

Geboren 1962 in Duisburg-Rheinhausen, Diplom-Volkswirt. Studium der Volkswirtschaft, Politikwissenschaft und Philosophie in Münster und Bonn. Von 1989 bis 1994 Lektoratsleiter beim Economica-Verlag in Bonn. 1994 bis 2003 hauptamtlicher Präsident des NABU. Seit 2003 Abteilungsleiter „Naturschutz und nachhaltige Nutzung“ im Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit.

E-Mail: jochen.flasbarth@bmu.bund.de

[Garthoff, Bernward]

Geboren 1948 in Ratingen, Dr. med. vet. Studium der Veterinärmedizin in Hannover. Nach Promotion und wissenschaftlicher Tätigkeit trat er 1976 in die Bayer AG ein. Für die Biotechnologieforschung von Bayer in den USA, West Haven, CT, war er bis 1988 verantwortlich. Er verantwortete seit der Gründung von Bayer CropScience im Jahre 2002 im Vorstand die Bereiche Forschung und Entwicklung. Seit 2005 Vizepräsident des europäischen Biotechnologie-Verbandes EuropaBio. Als Vorstandsvorsitzender der Deutschen Industrievereinigung Biotechnologie (DIB) vertritt er die Interessen der Verbandmitglieder in allen Bereichen der Biotechnologie bei Politikvertretern, bei Behörden und in der Öffentlichkeit.

E-Mail: bernward.garthoff@bayercropscience.com

[Gent, Ricardo]

Geboren 1961 in Mangua/Nicaragua, Dr. agr., Studium der Agrarwissenschaften Bonn. Promotion in der Phytopathologie. Ab 1995 beim Industrieverband Agrar e.V. in Frankfurt/Main – zuständig für gesetzliche Regelungen in der Pflanzenbiotechnologie, Nachhaltige Landwirtschaft, Pflanzenschutz in Entwicklungsländern. Ab 2001 bei CropLife International (Internationaler Verband für Pflanzenschutz und Pflanzenbiotechnologie) in Brüssel, zuständig für Global Information & Knowledge Management, Plantbiotechnology, Crop Protection and Sustainable Agriculture. Seit 2003 Geschäftsführer der Deutschen Industrievereinigung Biotechnologie im Verband der Chemischen Industrie in Frankfurt am Main. Die Deutsche Industrievereinigung Biotechnologie (DIB) ist die Biotechnologie-Vereinigung des Verbandes der Chemischen Industrie e.V.

(VCI) und seiner Fachverbände. Aufgabe der DIB ist es, günstige Rahmenbedingungen für das nachhaltige Wachstum und die internationale Wettbewerbsfähigkeit der Biotechnologie in Deutschland zu schaffen. Die DIB vertritt die wirtschaftspolitischen Interessen der mit biotechnologischen Methoden arbeitenden Unternehmen gegenüber Politik, Behörden, anderen Bereichen der Wirtschaft, der Wissenschaft und den Medien auf nationaler und internationaler Ebene. In der DIB sind 12 Verbände mit ihren Mitgliedsfirmen zusammengeschlossen. Damit vertritt die DIB die wirtschaftspolitischen Interessen von etwa 1.300 Mitgliedsunternehmen im Auftrag und in enger Abstimmung mit den 12 Verbänden. Die DIB ist der deutsche Mitgliedsverband des europäischen Biotechnologieverbandes EuropaBio. Mitglied der DIB können alle Mitgliedsunternehmen des VCI und seiner Fachverbände werden, die mit biotechnologischen Methoden forschen, entwickeln, produzieren oder Dienstleistungen erbringen. Sitz der DIB ist Frankfurt am Main. Email: gent@dib.org

[Heine, Tina]

Geboren 1975 in Mainz, Dr. rer. nat., Studium der Lebensmittelchemie in Kaiserslautern. Ausbildung zum Deutschen Fachtoxikologen/DGPT. Promotion im März 2005 am Institut für Pharmazie/Universität Mainz. Seit Februar 2005 Referentin bei der Deutschen Industrievereinigung Biotechnologie im Verband der Chemischen Industrie in Frankfurt. E-Mail: heine@dib.org

[Machnig, Matthias]

Geboren 1960 in Wimbern (Kreis Soest). Studium Soziologie, Geschichte, Anglistik und Erziehungswissenschaften in Münster. Ab 1989 Referent des Ausschusses für Forschung, Technologie und Technikfolgenabschätzung, ab 1991 Referent der SPD-Bundestagsfraktion, ab 1992 Leiter des Büros des nordrhein-westfälischen Ministers für Arbeit, Gesundheit und Soziales und Leiter der Gruppe Politische Planung. Ab 1995 Leitung des Büros des Bundesgeschäftsführers der SPD und Koordinator der SPD-Wahlkampfzentrale. Ab 1998 Staatssekretär im Bundesministerium für Verkehr, Bau und Wohnungswesen. 1999 bis 2002 Bundesgeschäftsführer der SPD. Ab 2002 Partner der BBDO Consulting GmbH. 2004 Eintritt in die Geschäftsleitung der Unternehmensberatung Booz Allen Hamilton. 2005 selbständiger Unternehmensberater und seit November 2005 Staatssekretär im Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit.

[Maiwald, Armin]

Geboren 1940 in Köln. Autor, Regisseur und Produzent. Er studierte Theaterwissenschaften, Germanistik und Philosophie. 1963 fing er als Regieassistent beim WDR an. Er war Regisseur der Filme „Der Spatz vom Wallrafplatz“, „Robbi, Tobbi und das Fliewatüt“. Seit 1971 produziert und kommentiert er die „Sachgeschichten“ in der „Sendung mit der Maus“. Er erhielt zahlreiche Preise: So beispielsweise 1988 den Adolf-Grimme-Preis und 1995 das Bundesverdienstkreuz. E-Mail: Flash-Film@t-online.de

[Schedel, Michael]

Geboren 1949 in Memmingen, Dr. rer. nat., Diplom-Biologe. Studium der Mikrobiologie in München, Aberdeen, Göttingen und Bonn. 1978 Eintritt bei der Bayer AG in Wuppertal. Bis 1988 Leiter im Bereich der Pharma-Forschung. Mitarbeit im Screeningprogramm „Neue pharmakologisch interessante Naturstoffe aus Mikroorganismen“ und Optimierung von Fermentationsverfahren im Labor- und Technikumsmaßstab. Seit 1989 Leiter des Biotechnikums Mikrobiologie bei BayerHealthCare in Wuppertal: Bearbeitung biotechnischer Verfahren vom Labor- bis zum Produktionsmaßstab, Herstellung neuer Wirkstoffe für präklinische Prüfungen, Produktion von Wirkstoffen und Wirkstoffvorstufen. E-Mail: michael.schedel@bayerhealthcare.com

[Trobe, Andreas]

Geboren 1950 in Berlin, Dr. rer. pol., Diplom-Volkswirt. Studium der Volkswirtschaft an der TU Berlin, Promotion an der Universität Bayreuth. Von 1981 bis 1986 Umweltreferent im Bundesverband der Deutschen Industrie in Köln. Bis 1990 Geschäftsführer des Instituts für gewerbliche Wasserwirtschaft und Luftreinhaltung e.V. (IWL). Ab 1990 Vizepräsident des Umweltbundesamtes, seit 1995 Präsident des Umweltbundesamtes. Ab 1993 war er Lehrbeauftragter an der Universität Bayreuth im Fach Umweltökonomie, 1996 Ernennung zum Honorarprofessor für Umweltökonomie der Universität Bayreuth. E-Mail: andreas.trobe@uba.de

Teilnehmerliste

Workshop „Weiße Biotechnologie“ –
ökologische und ökonomische Chancen
Berlin, 18. Oktober 2006

Frau/Herr	Titel	Vorname	Name	Organisation	Ort
Herr		Günther	Adebar	EURASIA	Berlin
Herr	Dr.	Michael	Angrick	UBA	Dessau
Herr	Prof.Dr.	Garabed	Antranikian	ICBio	Hamburg
Herr	Dr.	Friedhelm	Balkenhohl	BASF AG	Ludwigshafen
Herr	Dr.	Thomas	Bergmann	Roche Diagnostics GmbH	Penzberg
Frau		Rita	Berthold	TFH Berlin FB V	Berlin
Herr	Dr.	Joachim	Betz	Sanofi-Aventis Deutschland GmbH	Frankfurt
Herr	Dr.	Martin	Beyfelder	UBA	Berlin
Frau		Beatrice	Bischoff	TFH Berlin FB V	Berlin
Herr		Hansjörg	Braun	TFH Berlin FB V	Berlin
Frau	Dr.	Viola	Bronsema	BIO Deutschland e.V.	Berlin
Herr		Johannes	Drotleff	UBA	Dessau
Herr	Dr.	Wolfgang	Dubbert	UBA	Dessau
Frau		Traute	Fiedler	UBA	Dessau
Herr		Carsten	Fietz	c-LEcta GmbH	Leipzig
Herr	MinDir	Jochen	Flasbarth	BMU	Bonn
Herr		Christiane	Freitag	GENIUS GmbH Wissenschaft & Kommunikation	Darmstadt
Frau		Undine	Freymann	TFH Berlin FB V	Berlin
Frau		Sabine	Frübis	VCI e.V.	Frankfurt
Herr	Dr.	Bernward	Garthoff	Bayer AG	Leverkusen
Herr	Dr.	Josef	Geller	Verband der Chemischen Industrie	München
Herr	Dr.	Ricardo	Gent	Deutsche Industrievereinigung Biotechnologie (DIB)	Frankfurt
Herr		Ronny	George	UBA	Dessau
Herr		Norbert	Gerbsch	Bundesverband der Pharmazeutischen Industrie	Berlin
Frau		Nina	Günther	TFH Berlin FB V	Berlin
Herr		Fabian	Gutmacher	TFH Berlin FB V	Berlin
Herr		Martin	Hageböck	TFH Berlin FB V	Berlin
Herr	Dr.	Matthias	Hanisch	VCI Landesverband Nordost Referat Fachverbände	Berlin
Herr		Günther	Hanke	EURASIA	Berlin
Frau	Dr.	Tina	Heine	Deutsche Industrievereinigung Biotechnologie (DIB)	Frankfurt
Herr		Lothar	Hermann	ORGANICA Feinchemie GmbH Wolfen	Wolfen
Herr		Michael	Hillenbrand	VCI-Verbindungsstelle	Berlin
Herr		Thorsten	Jamrath	TFH Berlin FVV	Berlin
Herr		Georg	Janßen	Arbeitsgemeinschaft Bäuerliche Landwirtschaft	Lüneburg
Herr		Arne	Jungjohann	Büro Dr. Reinhard Loske MdB Deutscher Bundestag	Berlin
Frau	Dr.	Elvira	Jürgens	BioRegion GmbH	Hannover
Frau		Rahel	Jurisch	UBA	Dessau
Herr		Volker	Kalisch	Chemie Report	Frankfurt
Frau		Maja	Kazubek	TFH Berlin FB V	Berlin
Herr	Dr.	Ulrich	Kettling	DIREVO Biotech AG	Köln
Herr		Jörg	Kittlmann	TFH Berlin FB V	Berlin
Herr	Dr.	Mathien	Klein	metanomics GmbH	Berlin

Teilnehmerliste

Workshop „Weiße Biotechnologie“ –
ökologische und ökonomische Chancen
Berlin, 18. Oktober 2006

Frau/Herr	Titel	Vorname	Name	Organisation	Ort
Frau	Dr.	Jutta	Klein-Goedicke	UBA	Dessau
Frau		Anke	Knöfel	TFH Berlin FV V	Berlin
Herr	Dr.	Burghard	König	Sandoz Ind. Prod. GmbH	Frankfurt
Frau		Anna-Kathleen	König	TFH Berlin FB V	Berlin
Frau		Ute	Kraft	TFH Berlin FB V	Berlin
Herr		Bernd	Krause	UBA	Dessau
Frau	Dr.	Christine	Lang	Organobalance GmbH	Berlin
Frau		Jana	Lezim	TFH Berlin FB V	Berlin
Frau		Pamela	Liebig	TFH Berlin FB V	Berlin
Herr		Robert	Lindner	TFH Berlin FB V	Berlin
Herr		Wolfgang	Löhr	die taz	Berlin
Herr	StS	Matthias	Machnig	BMU	Bonn
Herr		Armin	Maiwald	Flash Filmproduktion	Köln
Frau		Anika	Malitz	UBA	Dessau
Herr		Ronny	Malz	TFH Berlin FB V	Berlin
Herr		Thaugott	Markert	ZDF Red. Umwelt	Mainz
Herr	Dr.	Thomas	Meise	Bundesamt für Naturschutz FG II 2.3	Bonn
Herr		Sven	Menschel	TFH Berlin FB V	Berlin
Herr		Arno	Mohr	Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie	Bonn
Frau		Heike	Moldenhauer	BUND - Freunde der Erde	Berlin
Frau		Stefanie	Muntau	TFH Berlin FB V	Berlin
Frau		Ingrid	Nöh	UBA	Dessau
Frau	Dr.	Almuth	Ostermeyer-Schlöder	BMU	Bonn
Herr	Dr.	Günter	Peine	BioTOP Berlin-Brandenburg	Berlin
Frau		Jutta	Penning	UBA	Dessau
Herr	Dr.	Hans-Jürgen	Pluta	UBA	Berlin
Frau		Bianca	Polchow	TFH Berlin FB V	Berlin
Herr	Prof.Dr.	Milan	Popovic	TFH Berlin FV V	Berlin
Frau		Patrick	Prager	TFH Berlin FB V	Berlin
Frau		Stefanie	Pramschüfer	TFH Berlin FB V	Berlin
Frau		Anne	Reichardt	TFH Berlin FB V	Berlin
Herr	Dr.	Michael	Schedel	Bayer Health Care AG	Leverkusen
Frau		Sonja	Schernke	TFH Berlin FB V	Berlin
Herr	Dr.	Roland	Schröder	Henkel KGaA	Düsseldorf
Frau		Janin	Schulte	TFH Berlin FB V	Berlin
Herr	Prof.	Horst	Schütte	TFH Berlin FB V	Berlin
Herr		Jan	Schwarz	Bundespresseamt	Berlin
Herr	Dr.	Klaus-Günter	Steinhäuser	UBA	Dessau
Herr	Dr.	Rudolf	Straub	Projektträger Jülich Fachbereichsleiter Bereich BIO	Jülich
Herr		Michael	Trippel	Bayer AG	Berlin
Herr	Prof.Dr.	Andreas	Troge	UBA	Dessau
Herr		Thomas	Vogel	TFH Berlin FB V	Berlin

Teilnehmerliste

Workshop „Weiße Biotechnologie“ –
ökologische und ökonomische Chancen
Berlin, 18. Oktober 2006

Frau/Herr	Titel	Vorname	Name	Organisation	Ort
Frau		Annemarie	Volling	Koordination Gentechnikfreie Regionen in Deutschland c/o Arbeitsgemeinschaft Bäuerliche Landwirtschaft	Lüneburg
Frau		Franziska	Wagner	TFH Berlin FB V	Berlin
Herr	Dr.	Michael	Wallmayer		Berlin
Frau	Dr.	Rita	Weber	IG Bergbau, Chemie, Energie	Hannover
Frau		Bruni	Weißer	BMU, Ref. ZG II 5	Berlin
Herr	Dr.	Günter	Wich	Consortium für elektrochem. Industrie GmbH	München
Frau	Dr.	Susanne	Wieland	Henkel	Düsseldorf
Frau		Franziska	Winkler	TFH Berlin FB V	Berlin
Frau	Dr.	Annette	Zimmermann	BASF AG Berliner Büro	Berlin
Herr	Dr.	Holger	Zinke	BRAIN AG	Zwingenberg
Herr	Dr.	Winfried	Zombik	BASF AG GUU/GB - C 100	Ludwigshafen