

Die Pilze in der Biotechnologie

von

Hans Peter Molitoris*

Zusammenfassung

Aus der vielfältigen Verwendung von Pilzen in prähistorischer Zeit entwickelten sich dann in historischer Zeit "Frühe biotechnologische Verfahren", bei denen Pilze unter anderem an der Herstellung von Käse, Brot, Wein, Bier und anderen Lebensmitteln beteiligt waren. Aufbauend auf diesen Verfahren wurden Pilze heute zu einer der wichtigsten Organismengruppen in der modernen Biotechnologie. Diese setzt in industriellem Maßstab Pilze für die Erzeugung von Nahrung, Futtermitteln und verschiedensten Stoffwechselprodukten wie Antibiotika, Enzyme und Steroide ein. Eine wichtige Rolle der Pilze in der Biotechnologie ist auch für die Zukunft zu erwarten, wo mit neuen Methoden, so der Gentechnologie, und für neue Einsatzgebiete, so im Umweltschutz, bei der biologischen Schädlingsbekämpfung und in der Weltraumforschung, Pilze nutzbringend eingesetzt werden können.

Abstract

From multiple uses of fungi in prehistoric times "early biotechnological processes" developed in historic times. Here fungi were used e. g. for production of cheese, bread, wine, beer and other foodstuff. Based on these processes fungi today became one of the most important groups of organisms in modern biotechnology, where in an industrial scale food, fodder and various metabolites such as antibiotics, enzymes and steroids are produced. An equally important role of fungi is also to be expected for the future where by use of modern methods, such as genetic engineering, and for new purposes, such as pollution control, biological control and space biology, fungi will be employed in an increasing scale.

* Prof. Dr. rer. nat. Hans Peter Molitoris, Bot. Inst. Universität Regensburg, Universitätsstr. 31, Postf. 397, 8400 Regensburg

EINLEITUNG

Will man einen knappen Abriß der Rolle der Pilze in der Biotechnologie geben, so sollte man mit einer kurzen Definition des Begriffes "Biotechnologie" beginnen. Man kann sie umschreiben als den "Einsatz von (Mikro-)Organismen für die Produktion von Biomasse und/oder Stoffwechselprodukten in industriellem Maßstab". Dabei verbindet BIOTECHNOLOGIE die Gebiete der BIOLOGIE, der ÖKONOMIE (Kostenfaktoren), der VERFAHRENSLEHRE und der KINETIK, der Lehre vom Ablauf der chemischen und biologischen Vorgänge.

PILZ UND MENSCH

Wie in Tabelle 1 dargestellt, können Pilze generell in recht verschiedener Beziehung zum Menschen gesehen werden:

Tabelle 1: PILZ UND MENSCH

<u>Feind</u>	<u>Freund</u>
Abbau	Mineralisierung
Krankheitserreger	Mykorrhiza
Allergen	Nahrung
Mycotoxin	Heilmittel
Gift	Forschung
	Biotechnologie
	Umweltschutz
	Biologische Kontrolle

Feind

So können Pilze durch den ABBAU und die Zerstörung einer Vielzahl von Strukturen und Stoffen, wie Textilien, Holz, aber auch Kunststoffen große Schäden anrichten: Als bekanntes Beispiel sei hier nur der Hausschwamm (Serpula lacrymans) genannt.

Auch als KRANKHEITSERREGER für Pflanze, Tier und Mensch haben Pilze eine große Bedeutung, wobei Pilze besonders in den Tropen und Subtropen zahlreiche Erkrankungen des Menschen, wie die Blastomykose (Blastomyces dermatitidis), hervorrufen können.

Teilweise werden beim Wachstum bestimmter Pilze in ihrem Substrat Giftstoffe, MYKOTOXINE (z. B. Aflatoxin durch Aspergillus flavus) ausgeschieden oder das Pilzmyzel oder die Fruchtkörper enthalten GIFTSTOFFE, die dann beim Verzehr der Pilze (Mycetismus) teilweise tödlich wirken können. Die Vergiftung durch den Knollenblätterpilz (Amanita phalloides) ist dabei wohl das bekannteste Beispiel.

Freund

In manch anderer Hinsicht müssen Pilze jedoch als nützlich, als Freund des Menschen, betrachtet werden. So sind sie neben anderen Mikroorganismen mitverantwortlich für die MINERALISATION, die Rückverwandlung organischen Materials in die mineralischen Bestandteile der Erde, sie bilden mit den Wurzeln verschiedener Pflanzen eine Lebensgemeinschaft, die MYKORRHIZA (z.B. Amanita muscaria, der Fliegenpilz, mit Betula, der Birke), die für das Leben unserer Waldbäume so wichtig ist und in weiten Bereichen durch Umweltverschmutzung heute gefährdet ist.

Daß Pilze weiterhin als NAHRUNG und für die Herstellung von Nahrungs- und Futtermitteln sowie als HEILMITTEL (Molitoris, 1978) wichtig sind, ist allgemein bekannt. Aber auch für die FORSCHUNG und die BIOTECHNOLOGIE haben sie große und wachsende Bedeutung, wobei der Einsatz von Pilzen bis in Bereiche des UMWELTSCHUTZES und der BIOLOGISCHEN KONTROLLE von Schadorganismen reicht. Diese recht unterschiedlichen Bereiche sollen - soweit sie mit der Biotechnologie im Zusammenhang stehen - im folgenden in einem kurzen geschichtlichen Abriß dargestellt werden, für die Vergangenheit, für die Gegenwart und für die vorhersehbare Zukunft.

PILZE IN DER BIOTECHNOLOGIE - VERGANGENHEIT

In Tabelle 2 sind eine Reihe von Einsatzgebieten aufgeführt, wo Pilze bereits früh in der Menschheitsgeschichte eine wichtige Rolle spielten:

Tabelle 2: Pilze in der Biotechnologie - Vergangenheit

Früher Einsatz von Pilzen

Nahrung

Gift

Heilmittel

Frühe "Biotechnolog. Prozesse"

Käse

Brot

Alkoholische Getränke

Nichtalkoholische Getränke

Kulturpilze

Frühe Einsatzgebiete

Schon aus der frühen Menschheitsgeschichte, aus der Zeit der "Sammler und Jäger" konnten Pilze als NAHRUNGSMITTEL nachgewiesen werden. Dabei wurde auch die GIFTWIRKUNG mancher Pilze bemerkt, seien sie unabsichtlich eingenommen oder absichtlich verabreicht worden. Dies trifft zum Beispiel für das "Mutterkorn" zu, alkaloidhaltige Sklerotien (Myzelklumpen) eines Pilzes (Claviceps purpurea), der als Parasit auf Gräsern lebt und schwere Vergiftungserscheinungen hervorruft, wenn er über verunreinigtes Getreide ins Mehl und damit ins Brot kommt und verzehrt wird.

Gerade dieser Pilz ist aber auch mindestens schon seit dem Mittelalter in entsprechenden Verabreichungen als HEILMITTEL eingesetzt worden. Dies gilt auch für viele andere Pilze wie den Lärchenschwamm (Laricifomes officinalis), die deswegen schon in den mittelalterlichen Kräuterbüchern der "Väter der Botanik" aufgeführt und teilweise sogar abgebildet sind.

Einige Pilze, besonders die halluzinogenen Vertreter wie Psilocybe mexicana, wurden früher in verschiedenen Erdteilen bei mystischen und religiösen Zeremonien verwendet, wie uns dies in Form der bis zu 3000 Jahre alten "Pilzsteine" aus Guatemala überliefert ist.

Frühe "Biotechnologische Prozesse"

Die Nutzung von Pilzen in der Vorzeit führte in einigen Fällen zu Prozessen, die man nach Anlage, Ausmaß und Bedeutung bereits als "Frühe biotechnologische

Verfahren" bezeichnen könnte (Tabelle 2).

Dies trifft etwa auf die Herstellung von KÄSE zu, die bereits in einem etwa 4000 Jahre alten Sumerischen Relief dargestellt ist, ein Vorgang, bei dem neben verschiedenen Bakterien, auch Pilze eine wichtige Rolle spielen.

Als der Mensch gelernt hatte, Getreide zu sammeln oder anzubauen, buk er aus dem daraus gewonnenen Mehl BROT: In dem feuchten Teig entwickeln sich Hefen (Saccharomyces sp.), bestimmte Pilze, die aus den Kohlenhydraten unter anderem Kohlendioxid bilden, das dann für das Aufgehen des Teiges verantwortlich ist.

Die Herstellung derartiger Brote ist schon in Altägyptischen Reliefs gezeigt, im übrigen zusammen mit der Herstellung von WEIN aus Trauben, wobei auch hier wieder Hefen (Saccharomyces u.a.) beteiligt sind, die aus dem Zucker der Trauben bei der Vergärung neben Kohlendioxid auch Alkohol produzieren. In ähnlicher Weise vergären Hefen (Saccharomyces cerevisiae) die Zucker des Gerstenmalzes, was bei Zugabe von Hopfen zu dem alkoholischen Getränk führt, das wir BIER nennen. Daneben spielten Pilze aber auch bei der Herstellung von NICHTALKOHOLISCHEN Getränken, zum Beispiel aus Milch, eine wichtige Rolle.

Schließlich und endlich hat auch der gezielte Anbau bestimmter Pilze als menschliche Nahrung und Delikatesse eine lange Geschichte. Während im Fernen Osten, wie Japan, der SPEISEPILZANBAU (Shiitake, Lentinus edodes) schon auf eine etwa tausendjährige Geschichte zurückblicken kann, geht in Mitteleuropa der Anbau des Kulturchampignons, Agaricus bisporus, der aus Frankreich kam, immerhin bereits bis in das 15. Jahrhundert zurück.

PILZE IN DER BIOTECHNOLOGIE - GEGENWART

Worin liegt nun die gegenwärtige Bedeutung der Pilze in der Biotechnologie? Nur auf einige Punkte der in Tabelle 3 gezeigten eindrucksvollen Aufzählung kann hier eingegangen werden.

Tabelle 3: Pilze in der Biotechnologie - Gegenwart

<u>Nahrung</u>	<u>Nahrungsmittel- u. Futterproduktion</u>	
Speisepilze	Milchprodukte	
Biomasse (SCP)	Getränke	
	Asiatische Fermentationsprodukte	
 <u>Stoffwechselprodukte</u>		
Alkohol	Enzyme	Steroide
Organische Säuren	Antibiotika	Vitamine
Aminosäuren	Mutterkornalkaloide	Pflanzenhormone
Nukleinsäure		
 <u>Forschung</u>		
Genetik	<u>Weitere Einsatzgebiete</u>	
Stoffwechsel	Biologische Kontrolle	
	Umweltschutz	
	Recycling	

Nahrung

Noch immer und in steigendem Ausmaß spielen Pilze eine Rolle als Nahrung, nicht nur die im Walde gesuchten "Schwammerln", wie der Steinpilz, Boletus edulis oder der Pfifferling, Cantharellus cibarius, sondern vor allem die KULTURPILZE, die heute in weitgehend mechanisierten, automatisierten und teilweise auch bereits elektronisch gesteuerten Betrieben in der ganzen Welt angebaut werden. Ein ausgezeichnetes Beispiel gibt es dafür in unserer Region, in der Oberpfalz, wo seit einigen Jahren der weltgrößte Betrieb für den Anbau des Austernseitlings (Pleurotus ostreatus) beheimatet ist.

Tabelle 4: Jährliche Weltproduktion an Kulturpilzen in Tonnen (nach Molitoris, 1989)

Pilzart (Lateinischer/Deutscher Name)	Produktion 1986
<u>Agaricus bisporus</u> (Kulturchampignon)	1.227.000
<u>Lentinus edodes</u> (Shiitake-Pilz)	314.000
<u>Volvariella volvacea</u> (Reisstroh-Pilz)	178.000
<u>Pleurotus ostreatus</u> (Austern-Seitling)	169.000
<u>Auricularia auricula-judae</u> u. andere Arten (Judasohr)	119.000
<u>Flammulina velutipes</u> (Winterpilz)	100.000
<u>Tremella fuciformis</u> (Weißer Zitterling, Silberohr)	40.000
<u>Pholiota nameko</u> (Nameko-Pilz)	25.000
Andere (einschl. <u>Kuehneromyces</u> , <u>Hericium</u> u.a.)	10.000
Weltproduktion (1986)	2.182.000

Die Produktion an eßbaren Pilzen steigt allgemein wegen der zunehmenden Nachfrage und der immer effizienteren Verfahren ständig an. Vorteile sind hierbei billige Substrate, selbst Abfallprodukte können verwendet werden, kein wertvolles Ackerland ist erforderlich, sogar unterirdische Räume können genutzt werden, die

Pilze unterliegen nicht der Gefahr der radioaktiven Verseuchung, sie sind schmackhaft, vitamin- und mineralienreich und nicht zuletzt stellen sie das einzige "Gemüse" dar, das nach dem letzten Krieg nicht teurer, sondern billiger geworden ist.

In Tabelle 4 ist die derzeitige Weltproduktion an Kulturpilzen aufgeführt, die inzwischen bei fast 3 Millionen Tonnen pro Jahr liegen dürfte.

Der Kulturchampignon Agaricus bisporus führt dabei weltweit mit großem Abstand und einer Jahresproduktion von über 1 1/2 Millionen Tonnen, gefolgt vom japanischen Shiitake Pilz. Dabei ist übrigens die Bundesrepublik mit einem jährlichen Pro-Kopf-Verbrauch von über 6 Pfund führend im Champignon-Verzehr.

Im Gegensatz dazu konnte die BIOMASSE-Produktion aus Pilzen, die sogenannten "SCP's" (Single Cell Proteins), die in sie gesetzten Erwartungen zur Bekämpfung des Proteinmangels besonders in Ländern der dritten Welt nicht erfüllen. Die Gründe dafür liegen vor allem in den steigenden Kosten der Ausgangssubstrate (Erdölprodukte) und in den Nahrungsgewohnheiten der Länder, für die diese Produkte gedacht waren.

Nahrungsmittel- und Futter-Produktion

Bereits jetzt werden ca. 25% unserer Nahrung auf biotechnologischem Wege hergestellt und Pilze haben daran einen bedeutenden Anteil. Dazu gehören die bereits erwähnten MILCHPRODUKTE wie Käse (z.B. Penicillium camemberti) und eine Reihe von nichtalkoholischen GETRÄNKEN wie Kwass, Kefir und andere. Von großer Bedeutung ist natürlich auch die Produktion von reinem Alkohol oder von alkoholischen Getränken wie Wein und Bier, die beide eine Jahrtausende alte Tradition haben und mit vielen Kulturen untrennbar verbunden sind.

Stoffwechselprodukte

Die Herstellung verschiedener Stoffwechselprodukte ist ein weiteres Hauptgebiet des Einsatzes von Pilzen in der Biotechnologie. Tabelle 3 führt die wichtigsten Gruppen auf, wobei Pilze in recht unterschiedlichem Ausmaß an der Produktion

beteiligt sind. So ist unter den ORGANISCHEN SÄUREN die Citronensäure, die in den verschiedensten Bereichen, vor allem in der Lebensmittelindustrie eingesetzt wird, mit einer Jahresproduktion von über 350.000 Tonnen ausschließlich ein Pilzprodukt (Aspergillus niger).

Auch zahlreiche ENZYME werden heute in verschiedenem Ausmaß aus Pilzen gewonnen, wobei vor allem hydrolytische Enzyme, besonders Kohlenhydrat- und Proteinspaltende Enzyme wichtig geworden sind (Tabelle 5). Zusätzlich ermöglichen die modernen Techniken der Immobilisierung von ganzen Zellen oder auch von einzelnen Enzymen entsprechende Umsetzungen schneller, spezifischer und in größeren Mengen, damit also insgesamt ökonomischer durchzuführen.

ANTIBIOTIKA sind, wie wir alle wissen, heute in der Medizin und in anderen Bereichen unverzichtbare Substanzen geworden. Über 5000 verschiedene Antibiotika sind heute (zumindest nach ihrer Strukturformel) bekannt, jedoch nur ca. 400 werden in der Medizin therapeutisch eingesetzt. Das erste Antibiotikum wurde 1928 von dem Engländer Sir Alexander Fleming aus dem Schimmelpilz Penicillium isoliert und nach diesem "Penicillin" benannt. Wie auch dieses Antibiotikum, entstammen insgesamt etwa 1/4 der bekannten Antibiotika dem Stoffwechsel von Pilzen und ständig werden neue gesucht und gefunden, wobei sich das Wirkungsspektrum von dem ursprünglichen Einsatzgebiet der Infektionskrankheiten stark ausgeweitet hat und heute auch Krebs und andere Krankheiten umfaßt.

Weitere, zunehmend in der Medizin eingesetzte pilzliche Stoffwechselprodukte sind die MUTTERKORNALKALOIDE, die bereits bei den historischen Heilmitteln erwähnt wurden. Dazu kommen noch eine ganze Anzahl medizinisch relevanter spezieller Substanzen, die aus Pilzen hergestellt oder mit ihrer Hilfe verändert werden. Solche Substanzen sind z.B. die STEROIDE, die in den sogenannten "Antibaby-Pillen" Verwendung finden. Hier macht man sich die Eigenschaft mancher Pilze (Penicillium, Aspergillus) zunutze, an bestimmten Substanzen (hier menschlichen Geschlechtshormonen) ganz spezifische, manchmal nur 1-Schritt-Umwandlungen vorzunehmen, was rein chemisch entweder nicht durchführbar oder zu teuer wäre.

Tabelle 5: Wichtige industriell hergestellte Pilzenzyme und deren Einsatzgebiete (nach Rehm, 1980 und Molitoris, 1989)

ENZYMGRUPPE (Syst. Enzym-#) Einsatzgebiet
Enzym

OXIDOREDUKTASEN (EC 1.)

Glukose Oxidase	LI ^{*)} Geschmacksverbesserer)
Katalase	LI (Entfernung von H ₂ O ₂)

HYDROLASEN (EC 3.)Esterasen (EC 3.1.)

Lipasen	LI (Aromaverbesserung), Extraktionshilfsmittel
Ribonukleasen	LI (Geschmacksverbesserer)

Glykosidasen (EC 3.2.)

α -Amylase	Back- und Brauindustrie
β -Amylase	LI (Stärkespaltung)
Dextranase	Kosmetikindustrie (Zahnpasta)
Glukoamylase	LI (Stärkespaltung), Brauind.
Hemizellulasen	LI
Invertase	Süßwarenindustrie
Laktase	Milchindustrie, Backindustrie
Melibiase	LI (Rübenzuckergewinnung)
Naringinase	Getränkeindustrie (Entbitterung)
Pektinasen	Getränkeindustrie (Obstsäfte)
Xylanase	LI
Zellulasen	LI, Zellulose- u. Papierind., SCP-Herstellung

Peptid-Hydrolasen (EC 3.4.)

Proteasen (pilzl.)	LI, Medizin (Verdauungshilfen), Kosmetikindustrie
Rennin	Milchindustrie (Labersatz)

*) LI = Lebensmittelindustrie

Forschung

Daß Pilze auch in der Forschung in verschiedenster Weise als Forschungsobjekt oder als "Werkzeuge" eingesetzt werden, ist zum Beispiel durch die Verleihung des Nobelpreises 1958 an die amerikanischen Forscher Beadle und Tatum für ihre GENETISCHEN FORSCHUNGEN an dem roten Brotschimmel Neurospora crassa dokumentiert.

Aber auch in vielen anderen Bereichen der Forschung sind Pilze und Pilzprodukte wichtig geworden. So werden einige der erwähnten Antibiotika, wie Penicillin, als Werkzeuge der Biochemie eingesetzt, um bestimmte STOFFWECHSELWEGE, in diesem Fall den Aufbau bakterieller Zellwände, aufzuklären.

Weitere Einsatzgebiete

Die Umweltverschmutzung, besonders das Einbringen verschiedenster Chemikalien in das Erdreich, in die Gewässer und in die Luft, wird zu einem immer drängenderen Problem unserer Zivilisation. Um die Notwendigkeit für den Einsatz von Chemikalien bei der Kontrolle von pflanzlichen und tierischen Schädlingen zu verringern, wurde gerade in jüngster Zeit viel geforscht, um Methoden für erfolgreiche BIOLOGISCHE BEKÄMPFUNGSMETHODEN zu finden, und auch hier sind wiederum Pilze beteiligt.

Ein interessantes Beispiel gibt es dabei aus dem Champignonanbau: Nematoden, bestimmte im Erdreich lebende Fadenwürmer, sind verheerende Schädlinge in Champignonkulturen. Sie können jedoch erfolgreich bekämpft werden durch den Einsatz bestimmter niederer Pilze wie Arthrobotrys-Arten, die mit raffinierten Einrichtungen die Nematoden fangen, in sie eindringen, sie aussaugen und schließlich töten.

Derartige biologische Bekämpfungsmaßnahmen sind nicht nur sehr wirkungsvoll, weil sie sehr spezifisch sind, sie sind auch deshalb heute besonders wertvoll, weil sie die Notwendigkeit zum Einsatz von Chemikalien reduzieren und damit gleichzeitig ein Teil der Mitwirkung von Pilzen im UMWELTSCHUTZ darstellen.

Ein anderer Aspekt des Umweltschutzes ist das sogenannte "RECYCLING", d. h., daß bei Produktionsprozessen keine unverwertbaren Abfälle mehr anfallen, sondern alles entstehende Material einer nutzbringenden Verwendung zugeführt

werden kann. Auch hier können zwei Beispiele genannt werden wo Pilze, in diesem Falle Speisepilze, beteiligt sind: Zum einen hat man herausgefunden, daß der beim Anbau des Austernseitlings Pleurotus ostreatus auf Stroh später anfallende abgeerntete Kompost sehr gut als Viehfutter verwendet werden kann und somit eine vollständige Verwertung des einzigen Ausgangsmaterials Stroh gewährleistet ist. Dies wird bereits in einigen Ländern praktiziert. Zum anderen haben Versuche in der Bundesrepublik gezeigt, daß der an organischem Material reiche und damit wertvolle Hausmüll kompostiert werden kann und gute Ernten von Speisepilzen ergibt. Problematisch ist derzeit nur noch der hohe Anteil an Schwermetallen, der von bestimmten Pilzen aufgenommen wird, so daß hier noch Forschungsaufgaben für die Zukunft vor uns liegen.

PILZE IN DER BIOTECHNOLOGIE - ZUKUNFT

Wie bereits an einigen Stellen erwähnt, erwartet man, daß auch in der Zukunft den Pilzen eine zunehmend wichtigere Rolle in der Biotechnologie zukommen wird, und zwar auf verschiedenen Gebieten, wie dies in Tabelle 6 dargestellt ist.

Nahrungs- und Futtermittel

Der Trend zum verstärkten Anbau der bisherigen kultivierbaren Speisepilze und zur Inkulturnahme weiterer Pilze ist unverkennbar und auch ökonomisch sinnvoll.

Tabelle 6. Pilze in der Biotechnologie - Zukunft

Bisherige Einsatzgebiete

Nahrung
Stoffwechselprodukte
Medizin
Gentechnologie
Erzlaugung
Biologische Kontrolle
Umweltschutz

Forschung

Grundlagenforschung
Weltraumforschung

Stoffwechselprodukte

Neue, bessere und mehr Stoffwechselprodukte aus Pilzen werden in Zukunft produziert werden. Dabei werden neue Anwendungsgebiete erschlossen werden und neue Methoden zum Einsatz kommen. Dies gilt natürlich in besonderem Maße auch für medizinisch einsetzbare Substanzen, wie die Mutterkornalkaloide und Antibiotika, sowie für deren Derivate.

Gentechnologie

Mit Mitteln der Gentechnologie wird es möglich werden, wertvolle Eigenschaften von langsamwachsenden höheren Organismen (z.B. Eukaryonten wie Pilzen) über das genetische Material auf schnellwachsende Mikroorganismen (z.B. Bakterien) zu übertragen und dann von diesen schnell, billig und in großen Mengen produzieren zu lassen. Das bekannteste Beispiel ist wohl derzeit die Produktion "menschlichen" Insulins durch Bakterien.

Erzlaugung

Durch die zunehmende Erschöpfung der Rohstoffvorräte unserer Erde ist man gezwungen, neue Rohstoffquellen zu finden, Ersatzrohstoffe zu entwickeln oder nach konventionellen Methoden "erschöpfte" Rohstoffquellen besser auszunutzen. Bei der Erzgewinnung hat sich dabei die Methode der "Erzlaugung" durch Bakterien als aussichtsreiches Verfahren gezeigt, wobei dem wegen zu geringen Erzgehaltes nicht mehr abbauwürdigen Gestein im Prinzip Nährlösungen mit bestimmten Mikroorganismen zugesetzt werden, die die wertvollen Erze herauslösen, sodaß diese später ausgefällt und gewonnen werden können. Neuere Forschungen lassen nun hoffen (siehe Weide et al., 1987), daß durch den Einsatz bestimmter Pilze (z.B. *Saccharomyces cerevisiae*, *Rhizopus arrhizus*) auf diesem Wege auch so wertvolle Erze wie Mangan, Uran, Gold, und Platin gewonnen werden können.

Biologische Kontrolle von Schädlingen

Nach wie vor steht man hier noch am Anfang, doch werden derzeit eine Mehrzahl vielversprechender Projekte untersucht. So hofft man in den USA (siehe Cook and Baker, 1983) die Bekämpfung des tödlichen Kastaniensterbens mit hypovirulenten

Stämmen von Endothia parasitica in den Griff zu bekommen oder das durch Ceratocystis ulmi verursachte verheerende Ulmensterben durch den Einsatz von Phialophora graminicola erfolgreich bekämpfen zu können.

Umweltschutz

Pilze für den Abbau toxischer Substanzen zu nutzen oder mit Pilzen Abfall zu beseitigen, wird in verschiedenen Forschungsprojekten untersucht. So würde die Papier- und Zellstoffproduktion in einem geschlossenen Kreislauf die Verunreinigung von Gewässern durch die schädlichen Sulfitablaugen verhindern und den Firmen, wie auch den Kommunen, erhebliche Kosten und Probleme ersparen. Besonders in Schweden wird derzeit intensiv über den Einsatz von Pilzen in diesem Bereich geforscht.

Ein weiteres Problemgebiet ist die Reinigung von Abwässern mit hoher Salzfracht, weil diese den Einsatz sonst geeigneter Mikroorganismen erschwert. Neuerdings werden daher u. a. marine, salztolerante Pilze auf ihre Eignung für dieses Einsatzgebiet untersucht (Molitoris and Schaumann, 1986).

Forschung

Als Fortführung bereits bestehender Forschungsprogramme, die bereits im vorhergehenden Kapitel erörtert wurden, werden Pilze auch weiterhin und zunehmend als Werkzeuge und als Forschungsobjekte in der GRUNDLAGENFORSCHUNG und für die BIOTECHNOLOGIE eingesetzt werden.

Als neuer Bereich soll hier nur noch ein sehr junges, aber auch sehr interessantes und aussichtsreiches Arbeitsgebiet genannt werden, die Weltraumforschung.

Weltraumforschung

Auf den ersten Blick würde man sicher nicht vermuten, daß hier Pilze eine Rolle spielen könnten. Wie jedoch in einer kürzlichen Arbeit gezeigt wurde (Molitoris, 1990), waren Pilze seit Anbeginn bei der Erforschung des Weltraumes beteiligt. Diese Untersuchungen zielen zum einen darauf ab, Pilze als relativ einfach strukturierte und einfach zu untersuchende Modellorganismen in der

GRUNDLAGENFORSCHUNG zur Analyse der Einwirkung von kosmischer Strahlung und Schwerelosigkeit zu benutzen.

Der andere Forschungsbereich ist die BIOTECHNOLOGIE, da es Hinweise darauf gibt, daß Weltraumbedingungen für die biotechnologische Produktion verschiedener Stoffwechselprodukte vorteilhaft sein können, und zwar hinsichtlich Ausbeute, Geschwindigkeit und Reinheit.

Zusammenfassend läßt sich also feststellen, daß Pilze in der Biotechnologie immer schon eine wichtige Rolle gespielt haben, daß sie darin heute eine bedeutende Stellung einnehmen und schließlich, daß dies auch für die Zukunft der Fall sein dürfte. Daß dies alles aber zum Wohl der Menschheit geschieht, das liegt an uns, den Menschen, seien es die Wissenschaftler, die forschen, die Industriellen, die herstellen, die Politiker, die die Regeln aufstellen, oder der einfache aber verantwortungsbewußte Nutzer, der letztlich entscheidend sein sollte.

LITERATUR

- Cook, R.J. and Baker, K.F. (1983): The nature and practice of biological control of plant pathogens. Am. Phytopath. Soc., Minnesota.
- Molitoris, H., P. (1979): Pilze als Heilpflanzen in Vergangenheit, Gegenwart und Zukunft. Forum Mikrobiologie. 1:(1), 11- 18.
- Molitoris, H., P. (1989): Fungi in Biotechnology. Proc. XII. Int. Congr. Sci. and Cult. Edible Fungi, Braunschweig, 1987. Mushroom Science XII (Part I), 445-455.
- Molitoris, H., P. (1990): Fungi in space-related research. Ukrainian J. Bot. 4: (in press).
- Molitoris, H., P. and Schaumann, K. (1986): Physiology of marine fungi. A screening program for marine fungi. THE BIOLOGY OF MARINE FUNGI. Ed. S. T. Moss, Cambridge: Cambridge University Press. ISBN 0-521-30899, p. 35-47.
- Rehm, H.-J. (1980): Industrielle Mikrobiologie. 2. A. Springer, Berlin, pp. 353-368.
- Weide, H., Paca, J. und Knorre, W.A. (1987): Biotechnologie, Fischer, Jena. pp. 328 ff.

