

TEXTE 64/2003

UMWELTFORSCHUNGSPLAN DES BUNDESMINISTERIUMS FÜR
UMWELT, NATURSCHUTZ UND REAKTORSICHERHEIT

Forschungsbericht 200 66 301
UBA-FB 000388

Biotechnologische Herstellung von Wertstoffen unter besonderer Berücksichtigung von Energieträgern und Biopolymeren

von

Dr. Bärbel Hüsing
Dr. Gerhard Angerer
Dr. Sibylle Gaisser
Dr. Frank Marscheider-Weidemann

Fraunhofer-Institut für Systemtechnik und Innovationsforschung, Karlsruhe

Kurzfassung

Biotechnische Verfahren bieten erhebliche Potenziale im produktionsintegrierten Umweltschutz. In diesem Forschungsbericht wird untersucht, ob umweltschonende biotechnische Verfahren in der Industrie verstärkt zum Einsatz kommen können, wenn sie zur Herstellung ausgewählter Wertstoffe dienen und gleichzeitig Reststoffe aus industriellen Produktionsprozessen als kostengünstige Substrate verwerten.

Es sollten solche Wertstoffe untersucht werden, in deren Herstellung biotechnische Verfahren involviert sind, die eine regenerative Rohstoffbasis haben, und die funktionell vergleichbare Produkte auf petrochemischer Rohstoffbasis substituieren

könnten. Dies waren die Energieträger und Chemierohstoffe Ethanol, Aceton und Butanol sowie Biopolymere:

- Polymere, die vollständig durch Mikroorganismen synthetisiert werden. In diese Gruppe fallen Polyhydroxyalkanoate, mikrobielle Exopolysaccharide sowie die Polyamino­säuren Polylysin, Polyglutaminsäure und Cyanophycin.
- Polymere, deren Synthese mit Hilfe chemischer Verfahren erfolgt, deren monomere Bausteine mikrobiell synthetisiert werden. Hierzu zählen Milchsäure, 1,3-Propandiol, 1,2-Propandiol, 2,3-Butandiol, Bernsteinsäure, Itaconsäure, Glycerin, Acrylsäure und Adipinsäure.

Eine Sonderstellung nehmen Chitin, Chitosan und Lignin ein, da in diesen Fällen durch Tiere bzw. Pflanzen synthetisierte Polymere enzymatisch modifiziert werden.

Im Forschungsbericht wird der Stand von Wissenschaft und Technik bei der biotechnischen Herstellung dieser Wertstoffe und bei der Nutzung von industriellen Abfällen als Substrate dargestellt. Anwendungsnahe Verfahren werden im Hinblick auf ihre Wirtschaftlichkeit, Realisierbarkeit und Umweltentlastung bewertet.

Zurzeit gibt es nur sehr wenige biotechnisch herstellbare Biopolymere und Energieträger auf regenerativer Rohstoffbasis, die kommerzialisiert bzw. marktnah sind. Kommerzialisiert sind Polylactide, verschiedene bakterielle Exopolysaccharide (Xanthan, Pullulan, Gellan, Curdlan, bakterielle Cellulose sowie diverse Oligosaccharide), und Itaconsäure. Im fortgeschrittenen Forschungsstadium befinden sich Verfahren zur biotechnischen Herstellung von 1,3-Propandiol, von ausgewählten Polyhydroxyalkanoaten, Chitosan, Bernsteinsäure sowie zur enzymatischen Polymerisation von Ligninen. Das weltweite Produktionsvolumen der kommerzialisierten, biotechnisch herstellbaren Biopolymere auf regenerativer Rohstoffbasis beläuft sich auf etwa 200.000 t/a; dies sind etwa 0,13 % der Weltkunststoffproduktion (ca. 150 Mio. t/a). 93 % der Weltethanolproduktion von insgesamt 31,2 Mrd. Litern erfolgt mit biotechnischen Verfahren auf der Basis regenerativer Ressourcen. 60 % des Ethanol­s werden – vor allem in den USA und Brasilien – als Treibstoff bzw. Treibstoffzusatz für Verbrennungsmotoren verwendet, erfordert jedoch Subventionen, um wirtschaftlich mit petrochemisch hergestellten Treibstoffen konkurrieren zu können. Die fermentative Herstellung von Aceton, Butanol und Ethanol hat keine industrielle Bedeutung mehr und wird nur noch in wenigen Pilotanlagen betrieben. Somit sind die hier untersuchten Wertstoffe auf Markt- und Anwendungsnischen beschränkt und der Beitrag dieser biotechnischen Verfahren zur Schonung fossiler Rohstoffquellen ist aktuell und mittelfristig quantitativ vernachlässigbar.

Alle untersuchten kommerzialisierten oder marktnahen biotechnischen Verfahren nutzen Agrarrohstoffe (Zucker, Stärkehydrolysat), jedoch keine industriellen Reststoffe als Substrat. Im Vergleich zu Agrarrohstoffen können Reststoffe aus industriellen Produktionsprozessen folgende inhärente Nachteile aufweisen: Notwendig-

keit der Substratvorbehandlung; zu starke Verdünnung der Nährstoffe; starke Schwankungen in der qualitativen und quantitativen Zusammensetzung; Gehalt an hemmenden, toxischen oder die Produktqualität verringernden Substanzen; Notwendigkeit zur Selektion von spezifisch an den Reststoff angepassten Produktionsorganismen; aufwändige Produktaufarbeitung; unzureichende quantitative Verfügbarkeit des Reststoffs; keine vollständige, wirtschaftliche Umsetzung des Reststoffs zu nutzbaren Produkten; Unvereinbarkeit der Reststoffnutzung mit Verwendungszweck des Produkts.

Diese grundsätzlichen Nachteile sind je nach Reststoff-/Produkt-Kombination unterschiedlich stark ausgeprägt. Es kann nur einzelfallbezogen bewertet werden, die inhärenten Nachteile des Reststoffs als Substrat ausgeglichen und durch die niedrigen Substratkosten mehr als aufgewogen werden. Bislang gibt es jedoch keinen empirischen Beleg für die Annahme, dass allein durch Senkung der Substratkosten der kommerzielle Durchbruch biotechnischer Verfahren erreicht werden kann.

Abschließend werden Empfehlungen für die künftige Ausgestaltung von Fördermaßnahmen und Forschungsprojekten gegeben.

Biotechnological production of value-added substances from industrial waste streams with special reference to energy carriers and biopolymers

Hüsing, Bärbel; Angerer, Gerhard; Gaisser, Sibylle; Marscheider-Weidemann, Frank

Fraunhofer Institute for Systems and Innovation Research (Fraunhofer ISI), Breslauer Straße 48, 76139 Karlsruhe, Germany

Abstract

Biotechnical processes offer considerable potentials in production-integrated environmental protection. In this research report, it is investigated whether environmentally friendly biotechnical processes could be more widely implemented in industry if they produce selected value-added substances and at the same time use industrial waste streams as cheap substrates.

The investigation focusses on value-added substances which involve biotechnical processes in their production, are based on renewable resources, and may substitute functionally equivalent products made from fossil resources. These value-added substances are the fuels and chemical feedstocks ethanol, acetone, butanol and biopolymers:

- Polymers which are completely synthesized by microorganisms. Polyhydroxyalkanoates, bacterial expolysaccharides as well as the polyamino acids polylysine, polyglutamic acid and cyanophycin belong to this category.
- Polymers which are synthesized chemically but whose monomeric building blocks are synthesized by microorganisms. Lactic acid, 1,3-propanediol, 1,2-propanediol, 2,3-butanediol, succinic acid, itaconic acid, glycerol, acrylic acid and adipic acid belong to this category.

Special cases are chitin, chitosan and lignin, which are polymers produced by animals or plants, and which can be modified enzymatically.

The state of science and technology for the production of these value-added substances and for the utilization of industrial waste streams as substrates is presented. Processes sufficiently developed for large-scale application are assessed with respect to economic aspects, feasibility and environmental effects.

Only few biopolymers and fuels made from renewable resources have been commercialized or are close to commercialization. Polylactides, various bacterial

exopolysaccharides (xanthan, pullulan, gellan, curdlan, bacterial cellulose and several oligosaccharides) as well as itaconic acid have been commercialised. Biotechnical processes for the production of 1,3-propanediol, selected polyhydroxyalkanoates, chitosan, succinic acid and for the enzymatic polymerisation of lignins have reached an advanced research stage. The worldwide annual production of biopolymers made from renewable resources is appr. 200,000 t/a; this is 0.13 % of the annual world plastic production (ca. 150 mio. t). 93 % of the world ethanol production, a total of 31.2 billion litres, is produced biotechnically from renewable resources. 60 % of the ethanol are used as fuel or fuel additive in combustion engines – especially in the U.S.A. and Brazil. However, subsidies are required for fermentatively produced ethanol as a fuel additive in order to make it economically competitive with fuels produced from fossil feedstocks. The fermentative production of acetone, butanol and ethanol is no longer of industrial relevance and is only investigated in a few pilot plants. Therefore, the value-added substances investigated here are restricted to market and application niches, and the contribution of these biotechnical processes for saving fossil resources is presently quantitatively negligible and will also remain so in the foreseeable future.

All bioprocesses which have been commercialized or are near commercialization use agricultural products (sugars, starch hydrolysate) as substrate, but no industrial waste streams. Industrial waste streams may have the following inherent disadvantages when compared to agricultural products: requirement for waste pretreatment; strongly diluted nutrients; considerable variation in quantitative and qualitative composition; content of substances with inhibitory, toxic or product quality-impairing properties; requirement for selection of production strains specifically adapted to a given waste stream; complicated or costly downstream processing; insufficient quantitative availability of the waste stream; no complete conversion of the waste stream to useful substances economically achievable; incompatibility of waste use with product application.

To which extent these inherent disadvantages become effective depends on the waste/product combination. It must be assessed on a case-by-case basis whether the inherent disadvantages of waste as a substrate can be compensated and can be outweighed by the lower substrate costs. However, there is at present no empirical support for the assumption that a commercial breakthrough of biotechnical production processes for value-added substances can be achieved by lowering substrate costs alone.

In conclusion, recommendations for the shaping of future supporting measures and R&D projects are derived.