

Produktion von Ethylacetat aus Molkerückständen mit *Kluyveromyces marxianus* und Produktgewinnung mittels Membranverfahren



Koordinierung:	Forschungskreis der Ernährungsindustrie e. V. (FEI), Bonn
Forschungseinrichtung(en):	Technische Universität Dresden Institut für Naturstofftechnik Professur für Bioverfahrenstechnik Prof. Dr. Thomas Walther/PD Dr. Christian Löser
	Fraunhofer-Institut für Keramische Technologien und Systeme (IKTS) Hermsdorf Prof. Dr. Alexander Michaelis/Dr. Marcus Weyd
Industriegruppe(n):	Milchindustrie-Verband e.V. (MIV), Berlin
Projektkoordinator:	Dr. Simon Bauer Bayerische Milchindustrie eG (BMi), Wang
Laufzeit:	2024 – 2026
Zuwendungssumme:	€ 492.410,--

Forschungsziel

Im Jahr 2020 wurden in Deutschland 32,6 Mio. Tonnen Milch verarbeitet. Aus einem hohen Anteil der Milch wird Quark und Käse hergestellt, wobei große Mengen Molke anfallen, aus der wiederum Molkenpulver, Molkenprotein und Lactose produziert werden. Bei diesem Prozess werden die Molkenproteine durch Ultrafiltration abgetrennt, das Molkenpermeat mittels Umkehrosmose und Eindampfen konzentriert und die Lactose kristallisiert. Im letzten Schritt entsteht eine Mutterlauge (Melasse), deren Weiterverwertung aber wegen der hohen Salzfracht problematisch ist.

Die Melasse enthält noch 150 bis 200 g/L Lactose und etwa 90 % der Mineralien der Milch und wird wegen des hohen Mineralgehaltes oft als Abfall angesehen. Die in der Melasse enthaltene Lactose bildet aber eine interessante Rohstoffquelle für biotechnologische Stoffwandlungen, beispielsweise für die Produktion von Ethanol, Acetoin, Bernsteinsäure und Milchsäure. Bis jetzt hat nur die Produktion von Ethanol den technischen Maßstab erreicht; in Sachsen existiert seit 2008 eine Anlage mit einer Jahreskapazität von 12 Mio. L Bioethanol. Dieses Verfahren besitzt jedoch einige Nachteile, wodurch es zwar kostendeckend arbeitet, aber keinen Mehrwert erwirtschaftet.

Alternativ lässt sich Lactose mit Hefen zu Ethylacetat umsetzen. Ethylacetat, auch als Essigsäureethylester bekannt, ist ein organisches Lösungsmittel mit vielfältigen Einsatzmöglichkeiten. 2015 wurden weltweit 3,5 Mio. Tonnen des Esters ausschließlich petrochemisch aus Erdgas produziert. Ethylacetat ist mikrobiell leicht abbaubar und verdrängt zunehmend umweltschädliche Lösemittel, weshalb der Markt für Ethylacetat jährlich um

4.5 % wächst. Der Marktpreis des Esters wird stark von den Kosten für Erdgas bestimmt und beträgt gegenwärtig ca. 2.000 €/t. Mikrobiell erzeugtes Ethylacetat wäre hingegen ein nachhaltiges Produkt, aus dem bei entsprechender Vermarktungsstrategie Waren mit gutem Image und hoher Wertschöpfung hergestellt werden können.

Im Rahmen eines vorangegangenen IGF-Projekts (AiF 20311 BR) wurde nachgewiesen (proof of concept), dass ein großer Teil der in der Melasse enthaltenen Organik in Ethylacetat umgewandelt und der gebildete Ester prozessintegriert durch Stripping aus dem Bioreaktor ausgetragen und mittels Membranverfahren aus der Abluft des Bioreaktors abtrennbar ist. Im Vergleich zum Verfahren der Produktion von Ethanol aus Melasse gibt es eine Reihe von Vorteilen: (a) die Hefe muss nicht in einer gesonderten Prozessstufe angezchtet werden; (b) die Prozessdauer ist um den Faktor 10 verringert; (c) die Hefe behält ihre Aktivität und ist recycelbar; (d) das Stripping des hochflüchtigen Ethylacetats verhindert Produkthemmung; (e) der Energieaufwand für die Produktgewinnung ist geringer; (f) der Marktpreis von Ethylacetat ist um den Faktor 1,3 höher als der von Ethanol.

Ziel des Forschungsvorhabens ist es, aufbauend auf den Ergebnissen dieses Projekts die noch vorhandenen Wissenslücken zu schließen und bereits gut verstandene Teilprozesse weiterzuentwickeln, um die Voraussetzungen für eine Überführung des Prozesses in die Praxis zu schaffen. Hierzu soll an Forschungseinrichtung (FE) 1 der bioverfahrenstechnische Prozess der Synthese von Ethylacetat aus Melassen mit der Hefe *Kluyveromyces marxianus* weiter erforscht werden bzgl. der Aspekte Stammentwicklung zur Steigerung der Salztoleranz, Etablierung der Hefe-Kultivierung in unsteriler Melasse, Quantifizierung der Abhängigkeit der Estersyntheserate vom intrazellulären Eisengehalt, Produktivitätssteigerung der Estersynthese durch Biomasse-Recycling und Upscaling durch Umsetzung der neuentwickelten Kulturkonzepte in den Pilotmaßstab. An FE 2 wurden im Vorgängerprojekt Membranen und Membranmodule entwickelt, mit denen das Ethylacetat aus der Abluft von Bioreaktoren gewinnbar ist. Zum Erreichen höherer Trennleistungen ist eine Weiterentwicklung des Membranmaterials bzgl. höherer Trennleistung und reduzierter Gasleckage vorgesehen. Ferner sind das Testen der weiterentwickelten Membranmaterialien, eine Modelladaptation, die halbtechnische Herstellung der favorisierten Membran zur Produktion von Wickelmodulen sowie das Testen von Membranwickelmodulen geplant.

Wirtschaftliche Bedeutung

Die bei der Lactosekristallisation anfallende Melasse besitzt derzeit kaum Wertschöpfungspotenzial, weil der hohe Mineralgehalt die Verwendungsmöglichkeiten stark einschränkt. Die Entsorgung der Melasse verursacht auf der anderen Seite für die Unternehmen hohe Kosten. Die mikrobielle Konversion von Lactose zu Ethanol ist das bisher einzige großtechnische biotechnologische Verfahren zur Melasseverwertung; dieses weist jedoch viele Nachteile auf und erwirtschaftet keinen Mehrwert.

Mit den im Rahmen des IGF-Projekts AiF 20311 BR durchgeführten Vorarbeiten zur Entwicklung eines Gesamtverfahrens zur mikrobiellen Produktion von Ethylacetat wurde ein innovativer Weg zur Verwertung von Melasse und anderer Molkenrückstände aufgezeigt. Das neue Verfahren vereinigt in sich mehrere Vorteile: es ist kompakt und einstufig (alle Prozessschritte in einem Reaktionsraum), die Stoffwandlung verläuft viel schneller (die Verringerung des Reaktionsvolumens wird möglich), synthetisiertes Ethylacetat ist flüchtig und wird mit der Abluft aus dem Reaktor ausgetragen (keine Produkthemmung, prozessintegrierte Produktgewinnung).

Die wirtschaftliche Bedeutung für Molkereien liegt in der Generierung von Mehrwert durch die Produktion von Ethylacetat aus Reststoffen und in der Reduzierung der Organikfracht der Mutterlauge (Senkung des CSB (chemischer Sauerstoffbedarf) um über 90 %) mit Kostensenkungen für die Entsorgung. Das Verfahren ist nicht auf Mutterlauge beschränkt und auf andere Molkenströme übertragbar. Die Einstufigkeit des Verfahrens und die geringen Reaktionszeiten halten die Anlagenkosten niedrig. Die leichte Skalierbarkeit ermöglicht die Verarbeitung unterschiedlich großer Molkenströme. Wegen des höheren Marktpreises wird mit Ethylacetat ein größerer Erlös erzielt als mit Ethanol. Die innovative Kopplung der mikrobiellen Synthese mit der Produktgewinnung durch Membrantechnologie lässt besonders positive ökonomische Effekte erwarten.

Durch die sinnvolle Nutzung eines Reststoffes liefert das neue Verfahren auch einen Beitrag für eine nachhaltige Wirtschaft, von der insbesondere kleine und mittelständische Unternehmen (KMU) profitieren werden. Neben der Produktion einer Basischemikalie aus einem nachwachsenden Rohstoff spielt auch eine Rolle, dass die Reduktion der Organikfracht die Chancen verbessert, die anfallende Restlösung als Dünger einzusetzen und so den Kreislauf mineralischer Nährstoffe zu schließen.

Von den Ergebnissen werden auch Unternehmen des Maschinen- und die Membrananlagenbaus profitieren, die bisher vor allem auf Flüssigfiltration fokussiert sind und die ihr Geschäftsfeld um Anlagen für die Gastrennung erweitern können. Die erfolgreich entwickelte Membrantechnologie wird sich zudem später auf die Abtrennung anderer flüchtiger Produkte übertragen lassen. Ein solches mikrobiell erzeugtes Produkt ist Isopren (2-Methylbuta-1,3-dien), das zukünftig für eine nachhaltige, von Erdgas und Erdöl unabhängige Kohlenwasserstoff-Chemie bedeutend sein wird. Damit ergeben sich für den Anlagenbau neue Absatzmärkte für Membranmodule und -anlagen.

Der Prozess ist auch auf andere zuckerhaltige Reststoffe der Lebensmittelindustrie anwendbar (z. B. auf konzentrierte Molkenpermeate, Reststoffe der Obstverarbeitung zu Säften und auf Melassen der Zuckerindustrie). Wegen der leichten Skalierbarkeit ist das neue Verfahren insbesondere für kleinere Molkereien interessant, die nicht über die komplette Abfolge der Molkenverarbeitung bis zur Lactosekristallisation verfügen.

Weiteres Informationsmaterial

Technische Universität Dresden
Institut für Naturstofftechnik
Professur für Bioverfahrenstechnik
Bergstraße 120, 01069 Dresden
Tel.: +49 351 463-30
Fax: +49 351 463-337126
E-Mail: christian.loeser@tu-dresden.de

Fraunhofer-Institut für Keramische Technologien und Systeme (IKTS)
Michael-Faraday-Straße 1, 07629 Hermsdorf
Tel.: +49 36601 9301-3937
Fax: +49 351 2554-368
E-Mail: marcus.weyd@ikts.fraunhofer.de

Forschungskreis der Ernährungsindustrie e.V. (FEI)
Godesberger Allee 125, 53175 Bonn
Tel.: +49 228 3079699-0
Fax: +49 228 3079699-9
E-Mail: fei@fei-bonn.de

Förderhinweis

... ein Projekt der Industriellen Gemeinschaftsforschung (IGF)

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages



FORSCHUNGSKREIS
DER ERNÄHRUNGSINDUSTRIE E.V.



INDUSTRIELLE
GEMEINSCHAFTSFORSCHUNG

Das o. g. IGF-Vorhaben der Forschungsvereinigung Forschungskreis der Ernährungsindustrie e. V. (FEI), Godesberger Allee 125, 53175 Bonn, wird/wurde im Rahmen des Programms zur Förderung der Industriellen Gemeinschaftsforschung (IGF) vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWE) aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages gefördert.

Bildnachweis - Seite 1: © Toh Kheng Guan - stock.adobe.com #8412359

Stand: 29. Oktober 2025