

Nutzung von Nebenströmen

aus dem Lebensmittelsektor in biotechnologischen Prozessen

Corina Kleps, Ralf Malchow, Daniel Pleissner, Institut für Lebensmittel- und Umweltforschung (ILU) e. V., Bad Belzig

Um zu globalen gesellschaftlichen Zielen, wie Ressourcenschonung und Klimaschutz beizutragen, werden Prozesse & Technologien erforscht, die zur Minderung von CO₂-Emissionen beitragen und biogene Ressourcen in möglichst geschlossenen Kreisläufen führen. Dabei spielt die kaskadische Nutzung biogener Ressourcen eine entscheidende Rolle, um eine möglichst hohe Wertschöpfung aller Komponenten zu erreichen. Biotechnologischen Verfahren wird dabei im Konzept der Bioökonomie große Chancen und Potentiale eingeräumt, um biogene Ressourcen ganzheitlich zu nutzen. Durch den Einsatz biogener Ressourcen kann eine Minderung von Treibhausgasemissionen erzielt werden, wenn auf fossile Ressourcen weitestgehend verzichtet wird. Durch eine verbesserte Ressourcennutzung und Kreislaufführung von biogenen Ressourcen kann ein Übergang von einer linearen hin zu einer zirkulären Wirtschaft erfolgen und gleichzei-

tig bislang ungenutzten Ressourcen einer wertsteigernden Verwendung zugeführt werden. Biotechnologische Verfahren bieten weiterhin den Vorteil, dass zeitlich bzw. regional wachsende Ressourcen eingesetzt werden können, was eine dezentrale Wertschöpfung ermöglicht.

Ein biotechnologisches Produkt, welches eine hohe industrielle Nachfrage hat, ist Bernsteinsäure. Bernsteinsäure ist eine Dicarbonsäure bestehend aus 4 Kohlenstoffatomen und als eine der 12 vielversprechendsten Plattformchemikalien aus Biomasse eingestuft. Anwendungen von Bernsteinsäure sind z.B. als Konservierungsmittel in Lebensmitteln, als Zusatzstoff für Polyester, Farben, Kraftstoffe, Herbizide, Pharmazeutika und Reinigungsmittel. Die traditionelle chemische Synthese über die Hydrierung von Maleinsäureanhydrid erfordert Schwermetallkatalysatoren, organische Lösungsmittel

sowie hohe Temperaturen und Drücke, was die petrochemisch basierte Bernsteinsäureproduktion kostspielig und ökologisch fragwürdig macht. Zusätzlich sind die steigenden Kosten für Rohöl und der bevorstehende Bedarf an grünen und erneuerbaren Chemikalien die Treiber für die Nachfrage nach biobasierter Bernsteinsäure. Die biobasierte Bernsteinsäureproduktion hat viele Vorteile, wie z.B. einen geringeren Kohlenstoff-Fußabdruck, höhere Kosteneffizienz, geringere Preisvolatilität und die Fähigkeit, die Abhängigkeit von Rohöl zu reduzieren (Pleissner et al., 2019).

Fermentativ kann Bernsteinsäure durch verschiedenste Mikroorganismen, wie z.B. *Actinobacillus succinogenes*, *Mannheimia succiniproducens* und *Corynebacterium glutamicum*, hergestellt werden. Die genannten Stämme zeigen einerseits eine hohe Produktivität und Ausbeute und andererseits hohe

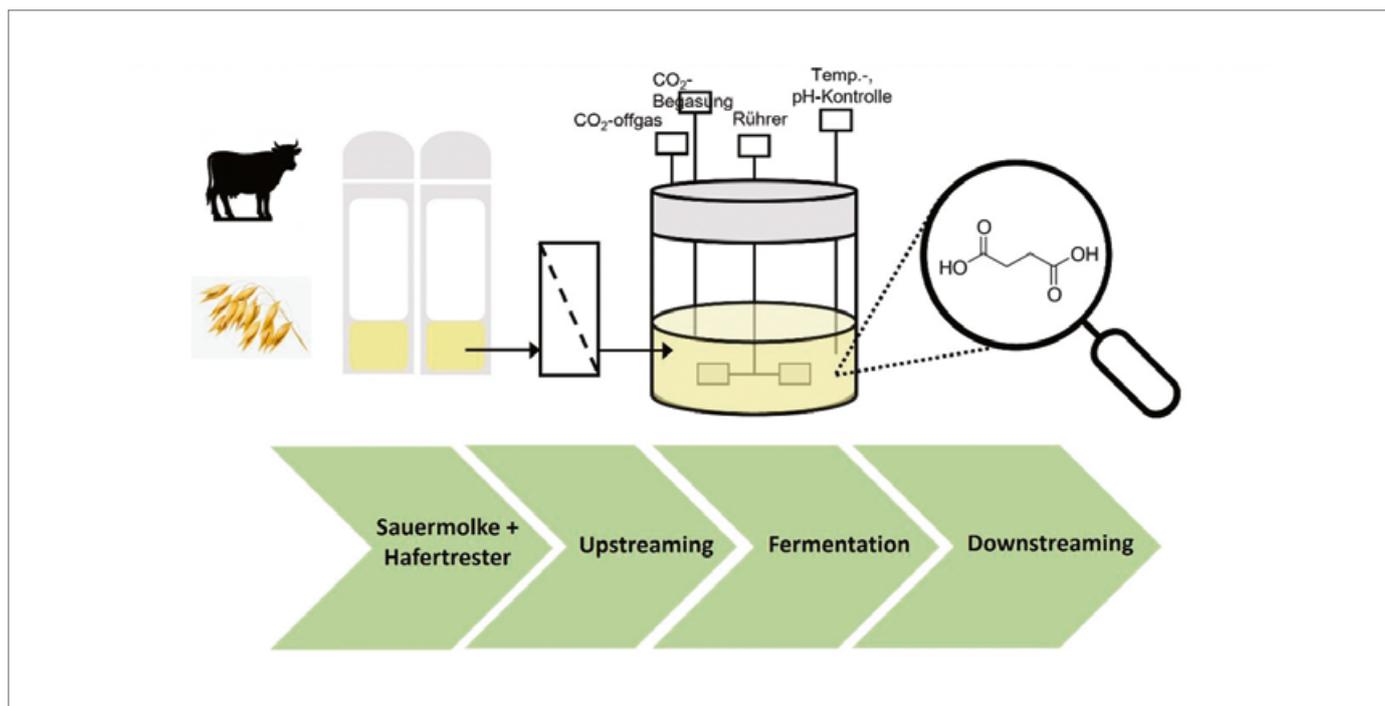


Abbildung 1: Illustration der biotechnologischen Produktion von Bernsteinsäure.

Ansprüche an bereitgestellte Substrate, was ihre industrielle Anwendung einschränkt und eine substratspezifische Untersuchung notwendig macht (Pleissner et al., 2019). Die Kultivierung der Mikroorganismen erfolgt in Bioreaktoren unter definierten Temperatur- und pH-Wert-Bedingungen. Das Verfahren läuft unter anaeroben Bedingungen, d.h. es ist keine Belüftung mit O₂ notwendig, was zur Energieeffizienz beiträgt. Jedoch muss dem Verfahren CO₂ entweder direkt als Gas oder in Form von CO₃²⁻ zugeführt werden (Abbildung 1). Entsprechend der biochemischen Stoffwechselwege von Bernsteinsäurebildnern kann theoretisch mit jedem Mol fermentativ hergestellter Bernsteinsäure ein Mol CO₂ fixiert werden (Gunnarsson et al., 2014). Die Fixierung von CO₂ in biobasierte Produkte hat dabei direkte klimarelevante Vorteile. In der Vergangenheit wurden bereits erfolgreich verschiedenste Reststoffe für die fermentative Bernsteinsäureproduktion verwendet. Die eingesetzten Reststoffe müssen dabei nicht nur den Bedarf an Kohlenstoff decken, sondern ebenfalls ausreichend verstoffwechselbare Stickstoffverbindungen bereitstellen. Gerade die Bedeutung der Stickstoffquelle für die effiziente Bildung von Bernsteinsäure wurde kürzlich in einer Studie herausgestellt. Terboven et al. (2021) haben die Verwertung eines Laktosekonzentrates aus der Käseherstellung untersucht und dabei die Stämme *A. succinogenes* und *Basfia succiniproducens* eingesetzt. In Fermentationen mit 5 g L⁻¹ Hefeextrakt als Stickstoffquelle und weiterer Nährstoffe wurde mit beiden Stämmen ein Ertrag von 0,57 g Bernsteinsäure pro g Zucker und eine finale Bernsteinsäurekonzentration von 23 g L⁻¹ erzielt. Die Performanz beider Stämme war deutlich verschlechtert, wenn keine Stickstoffquelle bereitgestellt wurde. Ladakis et al. (2018) untersuchten die gleichen Stämme für die Verwertung von „spent sulphur liquor“ in kontinuierlichen Kulturen und erreichten

bei einer Verdünnungsrate von 0,02 h⁻¹ einen Ertrag von 0,48 g g⁻¹ für *A. succinogenes* und 0,55 g g⁻¹ für *B. succiniproducens*. Kuenz et al. (2020) erreichten unter Nutzung von Rohglycerol (Reststoff aus der Biodieselherstellung) eine Bernsteinsäurekonzentration von 86,9 g L⁻¹ bei einem Ertrag von 0,9 g g⁻¹. In Gegenwart von purem Glycerol konnte gar ein Ertrag von 1,3 g g⁻¹ erreicht werden. Ein Ertrag über 1 g g⁻¹ ist auf die Fixierung von CO₂ während der Bernsteinsäurebildung zurückzuführen. Ein Aspekt, der durch eine entsprechende Verfahrensführung besonders berücksichtigt werden sollte. Weiter ist bekannt, dass Xylose aus Zuckerrohrbagasse eine vielversprechende Kohlenstoffquelle in der fermentativen Bernsteinsäureproduktion ist (Ong et al., 2019). Als Stickstoffquellen wurden in den genannten Studien Hefeextrakt und/oder Trypton sowie Pepton verwendet.

Biogene Ressourcen aus dem Lebensmittelsektor, welche für eine biotechnologische Produktion von Bernsteinsäure in Betracht kommen, sind z.B. Hafertrester und Molke. Hafertrester fällt z.B. während der Herstellung von „Haferdrinks“ an und wird gegenwärtig als Futtermittel eingesetzt. Die biochemische Zusammensetzung lässt grundsätzlich weitere spezialisierte Verwertungswege zu. Bezogen auf das Trockengewicht, besitzt Hafertrester einen hohen organischen Anteil von ca. 96% sowie einen Proteingehalt von 18%. Weiterhin wurden, bezogen auf das Trockengewicht, 25 – 32% Zucker, 12% Hemicellulose, 3% Cellulose sowie 2% Lignin gemessen. Im Vergleich zu Hafertrester hat Sauermolke eine geringe Trockenmasse von 5 – 6,5%. Der Rohproteinanteil liegt bei unter 1% und der Gehalt an Laktose zwischen 3,2 und 5,2%. Je nach Größe können pro Betrieb 1.000 t Molke wöchentlich anfallen und für biotechnologische Verfahren als Nährstoffquelle genutzt werden. Letzt-

endlich ist es möglich die produzierte Bernsteinsäure für die Konservierung von Lebensmitteln zu nutzen, was einer Schließung des Kreislaufs bedeutet.

Referenzen

- Gunnarsson IB, Alvarado-Morales M, Angelidaki I. 2014. Utilization of CO₂ fixing bacterium *Actinobacillus succinogenes* 130Z for simultaneous biogas upgrading and biosuccinic acid production. *Environmental Science and Technology*, 48, 12464-12468
- Kuenz A, Hoffmann L, Goy K, Bromann S, Prübe U. 2020. High-level production of succinic acid from crude glycerol by a wild type organism. *Catalysts*, <https://www.mdpi.com/2073-4344/10/5/470>
- Ladakis D, Michailidi K, Vlysidis A, Koutinas A, Kookos IK. 2018. Valorization of spent sulphite liquor for succinic acid production via continuous fermentation system. *Biochemical Engineering Journal*, 137, 262-272
- Ong KL, Li C, Li X, Zhang Y, Xu J, Lin CSK. 2019. Co-fermentation of glucose and xylose from sugarcane bagasse into succinic acid by *Yarrowia lipolytica*. *Biochemical Engineering Journal*, 148, 108-115
- Pleissner D, Dietz D, van Duuren JBJH, Wittmann C, Yang X, Lin CSK, Venus J. 2019. Biotechnological production of organic acids from renewable resources. *Advances in Biochemical Engineering/Biotechnology*, 166, 373-410
- Terboven C, Abendroth C, Laumer J, Herrmann C, Schneider R, Ramm P, Venus J, Plöchl M. 2021. Influence of the initial sugar concentration and supplementation with yeast extract on the succinic acid fermentation from lactose based medium, *Fermentation*, 7, <https://doi.org/10.3390/fermentation7040221>