

Im industriellen Maßstab: Wie sich die biotechnische Produktion von Proteinen und Vitaminen rentiert

Unter den Schlagworten Power-to-Protein und Power-to-Vitamin werden biotechnische Verfahren entwickelt, bei denen Mikroben unter Einsatz von Energie aus chemischen Grundzutaten wie Kohlendioxid, Wasser- und Sauerstoff Proteine und Vitamine für den menschlichen Verzehr herstellen – ganz ohne Viehhaltung und Landwirtschaft. Ein solches Verfahren, bei dem neben Proteinen auch Vitamin B9, die Folsäure, produziert wird, hat der Umweltbiotechnologe Professor Lars Angenent vom Exzellenzcluster „Kontrolle von Mikroorganismen zur Bekämpfung von Infektionen“ (CMFI) der Universität Tübingen bereits im Labor optimiert.

Nun hat sein Team geprüft, ob sich dieses Verfahren, das als Besonderheit zweistufig angelegt ist mit zwei verschiedenen nacheinander eingesetzten Mikroben, technisch und ökonomisch rentabel auf eine industrielle Herstellung hochskalieren lässt – mit positivem Ergebnis: Eine Produktionsanlage, die 5,6 Millionen Menschen zu marktüblichen Preisen mit der Tagesdosis Vitamin B9 versorgen und zur Proteinzufuhr beitragen könnte, würde sich bereits nach fünfjähriger Laufzeit amortisieren. Die Studie wurde in der Fachzeitschrift PNAS veröffentlicht.

Die wachsende Weltbevölkerung wie auch die Klimaerwärmung stellen die konventionelle Landwirtschaft vor große Herausforderungen. Vor allem die Viehhaltung benötigt viele Ressourcen und trägt stark zur Freisetzung umweltschädlicher Stoffe bei. Schon im Jahr 2023 litten nach Schätzungen der Vereinten Nationen 733 Millionen Menschen, gut neun Prozent der Weltbevölkerung, unter Unterernährung. „Es ist zu befürchten, dass die Zahl weiter steigt. Vor allem in ärmeren Ländern kann der Proteinbedarf nicht gedeckt werden“, sagt Lars Angenent. Der menschliche Körper kann nicht alle lebenswichtigen Stoffe selbst herstellen und ist auf die Zufuhr von bestimmten Proteinen und Vitaminen angewiesen.

Energie wird in den Power-to-Protein- und Power-to-Vitamin-Anlagen für den Betrieb der Bioreaktoren benötigt, Flüssigkeitsbehältern, in denen die Mikroben unter kontrollierten Bedingungen wie gleichbleibender Temperatur und gleichbleibendem Druck die zugeführten Ausgangsstoffe in die erwünschten Produkte umsetzen. Außerdem ist die Herstellung von freiem Wasserstoff aus Wasser mit Energieaufwand verbunden. In Angenents zweistufigem Bioreaktorsystem reduziert im ersten Produktionsschritt das Bakterium *Thermoanaerobacter kivui* Kohlendioxid mit Wasserstoff unter Luftabschluss zu Acetat. Das Bakterium ist genügsam und bildet die bei der Acetatherstellung benötigte Folsäure selbst. Anschließend setzt die Bäckerhefe, ein Pilz namens *Saccharomyces cerevisiae*, unter Luftzufuhr das Acetat zu Proteinen um. „Die Hefe selbst mit angereicherten Proteinen und Folsäure ist direkt essbar. Als Nahrungszusatz in kleiner täglicher Menge zur Deckung des Vitamin B9-Bedarfs ist sie ein sicheres Lebensmittel“, sagt Angenent. „Wenn der gesamte Proteinbedarf über mikrobiell produzierte Proteine gedeckt werden soll, muss die Hefe gereinigt werden, um etwa Stoffe zu entfernen, die Gicht auslösen können. Dann ist der Herstellungsprozess entsprechend aufwendiger.“

Die in der Beispielrechnung des biotechnologischen Forschungsteams konzipierte zweistufige Bioreaktoranlage mit einem Volumen von 1.750 Kubikmetern könnte jährlich 12,9 Kilotonnen Hefe erzeugen, darin enthalten 813 Kilogramm Folsäure und 5,6 Kilotonnen Proteine. Diese Menge reicht, um 5,6 Millionen Menschen mit der empfohlenen Tagesdosis Folsäure und fünf Prozent der Proteine zu versorgen. Bei einem Verkaufspreis von 20 US-Dollar für ein Kilo der angereicherten Hefe würde sich die Produktionsanlage in fünf Jahren amortisieren. „Nach unseren Berechnungen wird der Mindestverkaufspreis für eine wirtschaftlich rentable Produktion vor allem über den Strompreis bestimmt und den Energiebedarf für die Elektrolyse, über die der Wasserstoff bereitgestellt wird“, sagt Angenent. „Unter idealen Bedingungen ließe sich der Preis auf 4,53 US-Dollar pro Kilo reduzieren, wenn etwa für die Erzeugung des Kohlendioxids keine Kosten entstehen und die Produktionsrate der Hefe weiter erhöht werden kann.“ Wird das zweistufige Verfahren vorrangig genutzt, um Menschen vollständig mit Proteinen zu versorgen, muss die Hefe zur Reinigung mit Hitze behandelt werden. „Dies würde den Mindestverkaufspreis auf 14,24 US-Dollar pro Kilo Hefe steigern, bei einem Preis von 20 US-Dollar amortisiert sich die Anlage nach sieben Jahren.“

In beiden Produktionsmodellen hätten sich bei der Prüfung keinerlei technischen Probleme bei der Hochskalierung auf eine industrielle Anlage ergeben. „Die erzeugten Produkte lägen im gleichen Preisbereich wie andere Proteinerzeugnisse aus Hefe, Pflanzen, Molke oder Algen und könnten sich voraussichtlich in der Konkurrenz auf dem Lebensmittelmarkt behaupten“, sagt Angenent. Die Berechnungen zeigten jedoch auch, dass in den Power-to-Protein- und Power-to-Vitamin-Verfahren vor allem die elektrochemischen Prozesse für die Wasserstoffproduktion zu größerer Effizienz weiter-entwickelt werden müssten. „Doch

insgesamt haben die Verfahren auch wirtschaftlich großes Potenzial. So könnte bei der Herstellung von Proteinen und Vitaminen der CO₂-Fußabdruck im Vergleich zur Produktion aus Tieren und Pflanzen deutlich reduziert werden.“

Publikation:

Lisa Marie Schmitz, Juan E. Ramírez-Morales, Andrés E. Ortiz-Ardila, Shan He, Ievgen Duboriz, Joseph G. Usack, Dorian Leger, Milena Ivanisevic, Largus T. Angenent: Power-to-Vitamins or Power-to-Protein: An Evaluation of the Integrated System at Industrial Scale from Techno-Economic Perspectives. *Proceedings of the National Academy of Sciences*
DOI: 10.1073/pnas.2535684123

Pressemitteilung

12.08.2026

Quelle: Eberhard Karls Universität Tübingen

Weitere Informationen

Prof. Dr. Lars Angenent
Universität Tübingen
Fachbereich Geowissenschaften - Umweltbiotechnologie
Exzellenzcluster Kontrolle von Mikroorganismen zur Bekämpfung von Infektionen (CMFI)

Tel.: +49 (0) 7071 29 74729
E-Mail: l.angenent(at)uni-tuebingen.de

► [Universität Tübingen](#)