Frischer Wind in der Hefepropagation

MEMBRANVERFAHREN | Die richtige Menge Sauerstoff zur richtigen Zeit erhöht Fitness und Wachstum der Hefekulturen. Leichter gesagt als getan. Eine Membrananlage stellt hierzu Sauerstoffkonzentration und Volumenstrom bedarfsgerecht ein und passt sich automatisch an den Propagationsprozess an. Damit verringern sich Schaumbildung und Prozesszeit.

DIE KRINNER Druckluft GmbH mit Sitz in Hohenbrunn bei München plant und realisiert individuelle Druckluftlösungen für mittelständische Unternehmen ebenso wie für international tätige Konzerne. Zum Portfolio gehören unter anderem Kompressoren, Systeme zur Druckluftaufbereitung, Druckluftbehälter, Anlagen zur Erzeugung von Industriegasen und Atemluftsysteme. Gegründet wurde das Unternehmen 1995 von dem Maschinenbauer und Druckluftspezialisten August Krinner. Seine Leidenschaft sind Speziallösungen für besondere technische Anforderungen für Labore, Forschungseinrichtungen und die industrielle Fertigung. Daraus entstand 2012 unter anderem die KrinnAir Nitrox Membranlage, ein patentiertes System zur Aufbereitung von Atemluft für Taucher.

› Druckluft wird saubere Atemluft

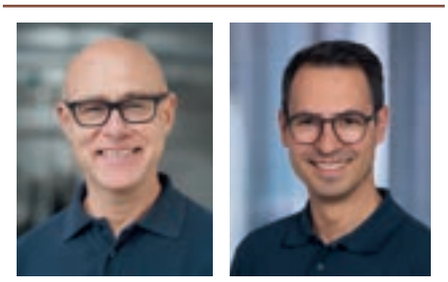
Das Atemgasgemisch Nitrox enthält mehr Sauerstoff und weniger Stickstoff als normale Luft. Der hohe Sauerstoffanteil erlaubt es Tauchern, länger in der Tiefe zu bleiben. Die Atemluftflaschen abgefüllt im herkömmlichen Membran-Verfahren wiesen häufig zu hohe CO_2 Konzentrationen auf. Damit den Tauchern CO_2-freie Luft zur Verfügung steht, entwickelte der Sporttaucher Krinner ein neues Modul und erweiterte die bestehende Anlage um einen CO_2-Reducer. Zunächst strömt Druckluft durch die Druckluftaufbereitung, wo sie getrocknet sowie Öl- und Feststoffpartikel entfernt werden. Anschließend wird das CO_2 in einem Molekularsieb adsorbiert. Danach folgt die Abscheidung eines Großteils des Stickstoffs über eine Hohlfasermembran. Der entscheidende Vorteil dieses Verfahrens ist, dass der abgesonderte Stickstoff genutzt wird, um den CO_2 Adsorber zu spülen, sodass keine zusätzliche Druckluft benötigt wird.

Nach sechs Monaten Entwicklungszeit wurde die KrinnAir Nitrox Membranlage zum Patent angemeldet. Bis heute ist die Technologie in Tauchschulen und Luxusjachten weltweit im Einsatz.

› Vom Tauchen zum Brauen

Überzeugt davon, dass seine Neuentwicklung auch andere technische Herausforderungen lösen kann, suchte Krinner gezielt nach neuen Einsatzfeldern. Und er wurde fündig: 2015 führte ihn eine Anfrage der UnternehmerTUM, dem An-Institut der TU München für Innovation und Gründung, direkt zum Lehrstuhl für Brau- und Getränketechnologie der Technischen Universität München (TUM).

Gegenstand eines Forschungsprojektes, das 2016 startete, war die optimierte Sauerstoffversorgung der Hefepropagation, denn bei gängiger Belüftung liegt zwischen Über- und Unterversorgung der Hefezellen nur ein schmaler Grat. Bisher konnte sich keine praxistaugliche Lösung für dieses Problem etablieren – obwohl darin erhebliches Potenzial liegt, Hefezellen mit hoher Vitalität und Viabilität zu produzieren. „Von Anfang an wusste ich, dass unsere bisherigen Verfahrens-Entwicklungen zur Sauerstoffanreicherung eine gute Basis für diese Herausforderung waren“, erinnert sich



Autoren: August Krinner (li.), Dr. Gregor Schumm, beide Krinner Druckluft GmbH, Hohenbrunn; Sabine Saldaña Bravo, freie Texterin, Erding

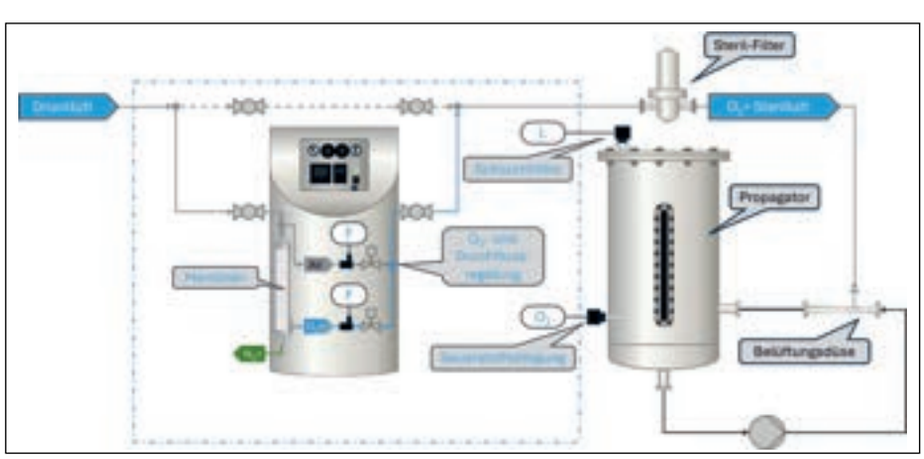


Abb. 1 Anlagenschema der Einbindung der Anlage in die Zuluft der Propagatorbelüftung

Krinner. Der Unterschied zur ursprünglich fürs Tauchen entwickelten Membrananlage lag in der kontinuierlichen Anpassung der Sauerstoffzufuhr an den Prozess.

› Sauerstoffversorgung

Das Wohlergehen der Hefe hängt neben anderen Parametern insbesondere von der Sauerstoffsättigung im Propagationsmedium ab. Wird zu wenig Sauerstoff zugeführt, sinkt die Ausbeute an lebenden Zellen (Viabilität) und deren Vitalität:

- Unter anaeroben Bedingungen (Unterversorgung mit Sauerstoff) werden nur etwa 7,5 Prozent der Zucker zu neuen kräftigen Hefezellen umgewandelt [1].
- Unter aeroben Bedingungen (ausreichende Sauerstoffversorgung) lassen sich bis zu 54 Prozent der vergärbaren Zucker in neue vitale Hefezellen umwandeln [1].

Im üblichen Puls-Pause-Verfahren wird die Hefesuspension mit steriler Druckluft belüftet – abwechselnd in Puls- und Pausephasen. Werden die Hefezellen dabei mit zu wenig Sauerstoff versorgt, begünstigt das den anaeroben Stoffwechsel. Ein Ausgleich der Unterversorgung mit zu hohem Volumenstrom oder zu langen Pulsphasen führt zu starker Schaumbildung. Die Folgen: Der Behälter darf nur so weit gefüllt werden, dass noch genug Platz für Schaum bleibt. Der hierdurch entstehende Hohlraum – das Kopfraumvolumen – vermindert den Produktausstoß. Neben Einbußen im Volumen beeinträchtigt der Schaum auch das Hefewachstum: Er verschlechtert die Sauerstoffversorgung der Zellen und verlängert dadurch die Propagationszeit.

Wird dagegen zu viel Sauerstoff zugeführt, gerät die Hefe unter oxidativen Stress. Ihre Vitalität sinkt ähnlich wie bei der Unterversorgung. Die Propagation wird ineffizienter, sodass am Ende weniger leistungsfähige Hefe zur Verfügung steht.

› Atemluft statt Druckluft

Die hohe Kunst des stressfreien Hefezüchtens liegt also darin, zur richtigen Zeit die richtige Belüftung einzustellen. Anders als bei der bislang üblichen Steuerung des Sauerstoffgehalts über den Volumenstrom bzw. dessen Pulsation geht die KrinnAir Nitrox Technologie einen anderen Weg: Bei der neuen Verfahrenstechnologie wird der Sauerstoffgehalt in der Prozessluft bedarfsgerecht eingestellt: Den Hefezellen wird in jedem Prozessschritt die richtige Menge an Luft mit der richtigen Menge an Sauerstoff geliefert.

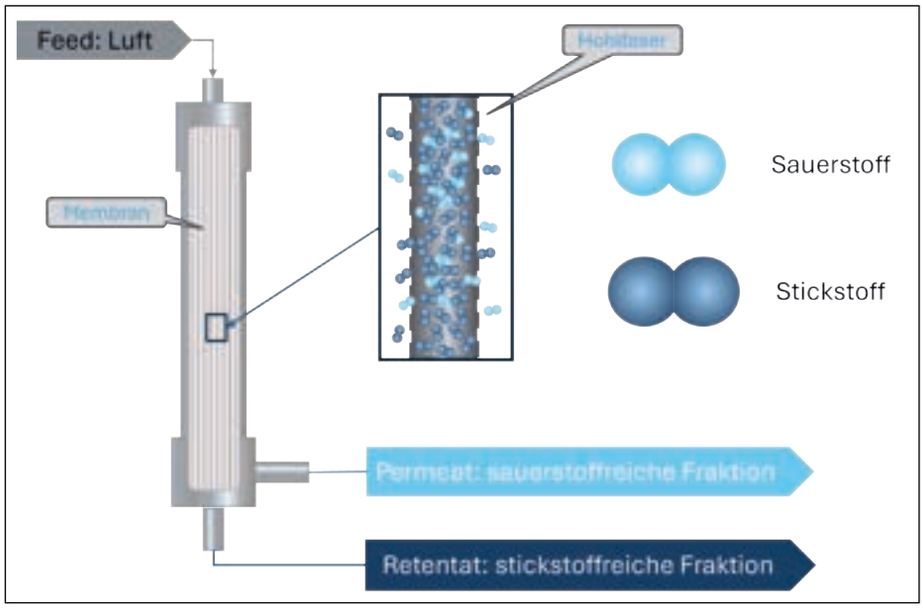


Abb. 2 Luft wird im Membranverfahren in eine sauerstoffreiche und eine stickstoffreiche Fraktion getrennt

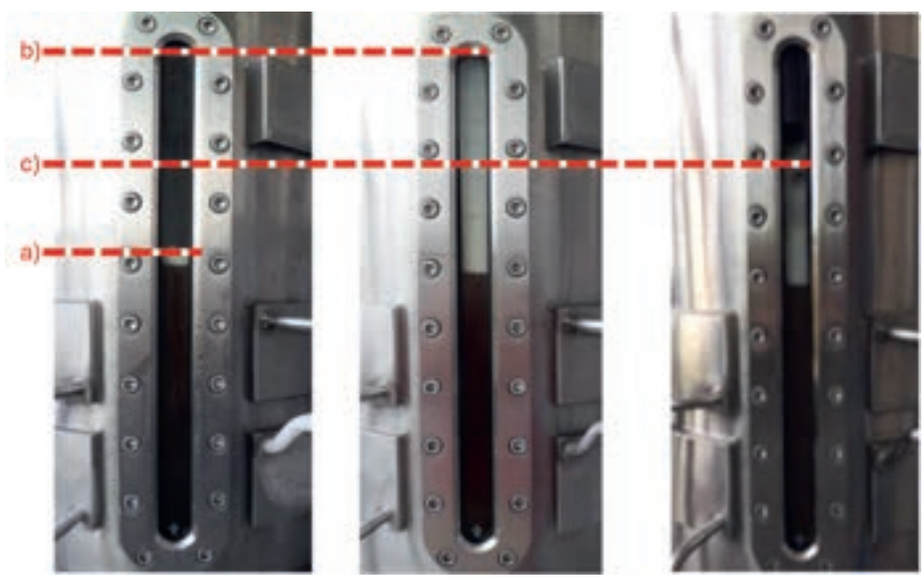


Abb. 3 Bereits nach zwölf Stunden zeigt sich, dass sauerstoffangereicherte Luft bei gleichem Volumenstrom und gleicher Pulsdauer die Schaumbildung deutlich reduziert [2]; a) Schaumhöhe zu Beginn des Prozesses, b) bei Verwendung von Druckluft, c) bei Verwendung von O_2-angereicherter Luft

Das Zusammenspiel aus Trenn-Membran und Durchflussregeleinheit, bestehend aus Ventilen und Durchflussmessungen, ermöglicht dabei die variable Regelung von Volumenstrom und Sauerstoffgehalt. Durch Rezeptvorgabe oder Rückkopplung über den Sauerstoffgehalt im Propagator stellt das neue System automatisch die passende Konzentration und Volumenstrom ein. Die Bedienung erfolgt manuell über ein einfaches Bedienpult (HMI) oder über eine BUS-Schnittstelle mit einer übergeordneten Steuerung. Die Anlage wird vor dem Steril-Filter eingebunden und greift nicht in den Propagationsprozess ein.

› Membranverfahren

Im KrinnAir Nitrox-Verfahren wird durch eine Hohlfasermembran auf Polymerbasis Sauerstoff angereichert.

Zur Anreicherung von Sauerstoff wird Luft zunächst ins Innere von tausenden Fasern gedrückt. Aus diesen Fasern „winden“ sich die Sauerstoffmoleküle leichter und schneller heraus als der Stickstoff. Im



Abb. 4 Seit 2024 steht der Prototyp in der Forschungsbrauerei Weihenstephan

Detail bedeutet das: Die höhere Diffusionsgeschwindigkeit und Löslichkeit des Sauerstoffs im Polymer führt in Summe zu einer höheren Durchlässigkeit für den Sauerstoff. Hierdurch reichert sich der Sauerstoff außerhalb der Fasern stärker an und es verbleibt mehr Stickstoff im Inneren der Fasern zurück. Außer zur Bereitstellung der Druckluft, ist keine weitere Energiezufuhr für den Trennprozess notwendig.

Sauerstoff als neuer Faktor

Für das Krinner Verfahren sind Volumenstrom, Pulsdauer der Belüftung und die Sauerstoffsättigung die maßgeblichen Parameter. Der benötigte Sauerstoffgehalt kann stufenlos zwischen 21 Vol.-% und bis zu 40 Vol.-% über die Rezeptur, das Bedienmodul oder im Regelungsverfahren über Prozessgrößen wie die Sauerstoffsättigung eingestellt werden.

Wird in einem bestimmten Prozessschritt nicht mehr als der normale Luft-Sauerstoffgehalt gefordert, wird keine sauerstoffreiche Luft zugemischt. Somit kann der Braumeister selbst entscheiden, wie viel Sauerstoff dem Propagator in unterschiedlichen Prozessschritten zugeführt wird – und wieviel Schaum sich letztendlich bildet. Genau diese bedarfsgerechte Anreicherung der Luft mit Sauerstoff führte bei Technikumsversuchen an der TUM zu einer bis zu 30 Prozent geringeren Schaumbildung – ohne Einsatz von Chemie.

Kompaktes Modul

Das einfache Anlagenkonzept kann modular an jede Standarddruckluftversorgung angeschlossen und an die jeweilige Größe des Propagators angepasst werden. Es ist jederzeit nachträglich einsetzbar und benötigt keine externe Sauerstoffversorgung. Auch die Einbindung und Erweiterung der Zuluftleitung zum Propagator an vorhandener Druckluft oder Prozessluft ist jederzeit möglich. Dank der kompakten Bauart ist der Platzbedarf in Relation zum gesamten Anlagenbestand minimal. Es herrschen keine besonderen Anforderungen an den Aufstellungsort. Die Anlage ist aufgrund ihrer geringen Anzahl an beweglichen Teilen und dem kontinuierlichen Verfahren ohne Lastwechselzyklen besonders wartungsarm.

Betrieb des Prototyps

Seit dem Jahr 2024 ist der Prototyp bereits in der Forschungsbrauerei Weihenstephan in Freising bei München im Einsatz. Die geringere Schaumbildung durch den Einsatz der Membranlösung erhöht den Stoffübergang vom gelösten Sauerstoff im Propagationsmedium in die Hefezellen. Höhere Konzentrationsgradienten dienen zusätzlich für schnellere Diffusion von der Sterilluft in das flüssige Propagationsmedium. Beide Effekte verkürzen die komplette Durchlaufzeit der Propagation um bis zu 40 Prozent. Diese Ergebnisse erlauben es, den Behälter häufiger neu zu befüllen. Darüber hinaus kann der Propagator durch die reduzierte Schaumbildung höher befüllt werden, da weniger Kopfraumvolumen vorzuhalten ist. In Summe sind Produktionssteigerungen über 70 Prozent theoretisch möglich.

Zusammenfassung

Anders als bei der bisherigen Regelung des Sauerstoffgehaltes über Volumenstrom und Pulsation arbeitet die KrinnAir Nitrox Technologie mit sauerstoffangereicherter Druckluft. Hierfür werden Sauerstoffkonzentration und Volumenstrom bedarfsgerecht eingestellt und automatisch an den Propagationsprozess angepasst. Erreicht wird dies durch das Zusammenspiel aus Trenn-Membran und Durchflussregeleinheit. Im Ergebnis können laut den Forschungsergebnissen der TUM eine bis zu 30 Prozent geringere Schaumbildung und eine bis zu 40 Prozent verkürzte Prozesszeit erzielt werden. Produktionssteigerungen über 70 Prozent sind möglich. Dort ist der Prototyp der KrinnAir Nitrox-Anlage seit 2024 im Einsatz. Weitere im Rahmen des Forschungsprojekts erzielte Ergebnisse sind in den Quellen [3] und [4] dargestellt.

Danksagung

Das Forschungsvorhaben ZF4025035SK9 wurde durch das zentrale Innovationsprogramms Mittelstand (ZIM) sowie vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie gefördert. Als weitere Unterstützer konnte die AiF Projekt GmbH als ZIM-Projektträger gewonnen werden. ■

Literatur

1. Reed, G.; Nagodawithana, T. W.: „Baker's Yeast Production", In: Yeast Technology, Reed, G.; Nagodawithana, T.W., Hrsg., Springer Netherlands, Dordrecht, S. 261–314. DOI:10.1007/978-94-011-9771-7_7.
2. Beugholt, A.; Whitehead, I.; Geier, D.; Becker, T.: „Prozessstrategien zur Optimierung der Hefepropagation", 53. Technologisches Seminar, 2020, Freising.
3. Beugholt, A.; Geier, D.U.; Becker, T.: „Improvement of *Saccharomyces* propagation performance through oxygen-enriched air and aeration parameter variation", Frontiers in Chemical Engineering, 2023, https://doi.org/10.3389/fceng.2023.1193230.
4. Beugholt, A.; Geier, D.U.; Krinner, A.,;Becker, T.: „Hefepropagation – Der Sauerstoffgehalt als Leitgröße zur Prozessführung", Weihenstephaner, 2021, S. 107–109.