

# Glucoamylase-Enzym für Würze und Maische: aggressive flüssige Verzuckerung von Stärke zu vergärbarem Zucker

Enzymes.bio Research-Team · Wellington, Neuseeland · June 18, 2026

Glucoamylase, auch Amyloglucosidase genannt, spaltet Stärkeabbauprodukte von den Kettenenden her und setzt vor allem Glucose frei. In Würze und Maische wird sie eingesetzt, wenn Dextrine möglichst weit zu vergärbarem Zucker abgebaut werden sollen — etwa für trockene Bierprofile, hochvergärbare Brennereimaischen oder stärkehaltige Fermentationen mit hoher Zuckerfreisetzung. Enzymes.bio bietet dieses flüssige Glucoamylase-Produkt als Lieferant in 1-kg-Einheiten online an; CoA und SDS werden bei der Bestellung mitgeliefert .

## Was dieses Glucoamylase-Produkt in der Praxis leisten soll

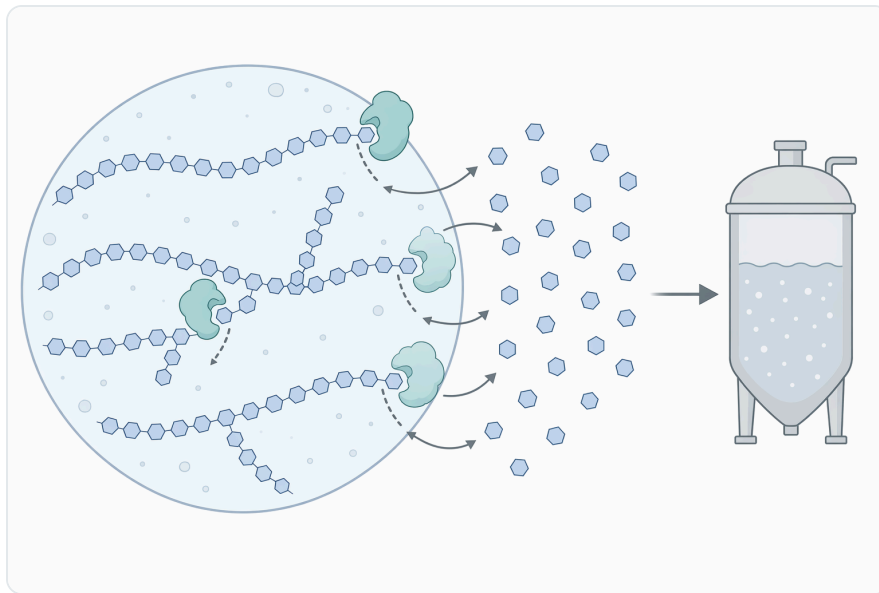
Das Produkt „**Glucoamylase Enzyme Aggressive Liquid Converts All Starch To Sugar In Wort And Mash**“ ist für stärkehaltige Prozessströme gedacht, in denen nach der Verflüssigung noch Dextrine, Oligosaccharide oder teilweise hydrolysierte Stärke vorliegen. Der technische Nutzen liegt nicht darin, eine Maische „enzymatisch aktiver“ im allgemeinen Sinn zu machen, sondern gezielt die Saccharifizierung zu vertiefen: Glucoamylase setzt aus den nicht oder nur begrenzt vergärbaren Restketten zusätzliche Glucose frei, die von Hefe oder anderen Produktionsmikroorganismen genutzt werden kann <sup>[1]</sup>.

In Brauerei und Brennerei ist diese Unterscheidung entscheidend. Alpha-Amylase reduziert primär die Kettenlänge großer Stärkemoleküle und senkt dadurch Viskosität; Glucoamylase greift anschließend die entstandenen Dextrine weiter an. Wer ein vollmundiges Bier mit bewusstem Restextrakt herstellen will, kann durch zu weitgehenden Dextrinabbau Körper verlieren. Wer dagegen Dry Beer, Light Beer, Spirituosenmaischen, hohe scheinbare Endvergärung oder technische Ethanolfermentationen anstrebt, nutzt genau diesen Effekt: weniger Restkohlenhydrate und mehr vergärbarer Zucker .

Enzymes.bio ist dabei als **Lieferant** zu verstehen, nicht als Hersteller und nicht als Labor. Das Produkt wird online in **1-kg-Einheiten** verkauft; die produktbegleitenden Dokumente wie CoA und SDS werden bei der Bestellung bereitgestellt .

## Biochemischer Mechanismus: warum Glucoamylase mehr Glucose liefert

Stärke besteht aus zwei Hauptfraktionen: Amylose, überwiegend linear, und Amylopektin, stark verzweigt. Beide bestehen aus Glucoseeinheiten, die überwiegend über  $\alpha$ -1,4-glycosidische Bindungen verbunden sind; Amylopektin enthält zusätzlich  $\alpha$ -1,6-Verzweigungspunkte. In einer Maische werden diese Strukturen durch Wärme, Wasseraufnahme und enzymatische Vorbehandlung zugänglich gemacht. Erst danach können stärkeabbauende Enzyme effizient an den Ketten arbeiten [2].



**Figure 1.** 글루코아밀라아제는 전분 덩스트린 말단의 알파-1,4 및 알파-1,6 결합을 가수분해하여 워트와 매시에서 발효 가능한 포도당을 방출합니다.

Glucoamylase ist ein exo-wirkendes Enzym. Das heißt: Sie schneidet nicht zufällig mitten in der Kette, sondern entfernt Glucoseeinheiten schrittweise von nicht-reduzierenden Enden. Dadurch verschiebt sie das Produktspektrum in Richtung Glucose, während endo-wirkende Amylasen zunächst ein Gemisch aus kürzeren Dextrinen bilden. Genau diese Kombination erklärt, warum Alpha-Amylase und Glucoamylase in vielen Stärkesystemen synergistisch eingesetzt werden: Die erste schafft mehr angreifbare Kettenenden, die zweite setzt daraus weiter Glucose frei [1].

Die häufig verwendete Formulierung „Stärke zu Zucker“ ist technisch verkürzt. In einem realen Maische- oder Würzestrom liegt Stärke nicht nur als freie, vollständig zugängliche Polymerkette vor. Sie kann in Kornfragmenten eingeschlossen sein, mit Lipiden oder Proteinen interagieren, in nicht vollständig verkleisterten Granula verbleiben oder durch hohe Feststoffgehalte massentransportlimitiert sein. Studien zu Stärke-Lipid-Komplexen zeigen beispielsweise, dass solche Komplexe die Verkleisterung von Sorghumstärke behindern können; das beeinflusst unmittelbar, wie gut Enzyme Zugang zum Substrat erhalten [3].

## Warum „aggressiv“ hier technisch als weitgehende Saccharifizierung zu verstehen ist

Im Produktnamen wird „aggressive“ nicht als unspezifische Stärke des Produkts verstanden, sondern als Prozessziel: eine möglichst weitgehende Verzuckerung von Stärkeabbauprodukten. Für Anwender bedeutet das vor allem: Dextrine, die nach einem üblichen Maisch- oder Verflüssigungsschritt übrig bleiben, sollen weiter in Glucose überführt werden. Die wissenschaftliche Grundlage dafür ist die gut belegte Zusammenarbeit von Amylase und Glucoamylase bei der vollständigen Stärkehydrolyse <sup>[1]</sup>.

Eine „aggressive“ Glucoamylase-Anwendung ist daher besonders sinnvoll, wenn Restdextrine technologisch stören. In einer Brennereimaische bedeuten nicht hydrolysierte Dextrine potenziell ungenutzte Rohstofffraktion. In einem trockenen Bier bedeuten sie mehr Körper und Restextrakt, als das Zielprofil vorsieht. In einer technischen Fermentation bedeuten sie weniger direkt nutzbaren Zucker. Der gewünschte Effekt ist also nicht „mehr Enzym um jeden Preis“, sondern eine stärkere Verschiebung des Kohlenhydratprofils in Richtung Glucose.



**Figure 2.** 양조 및 증류 공정에서는 액상 글루코아밀라아제를 매시나 워트에 투입해 전분 전환을 발효성이 높은 당 쪽으로 촉진합니다.

Für klassische Bierstile kann derselbe Mechanismus unerwünscht sein. Ein Stout, ein malzbetontes Lager oder ein vollmundiges Ale profitiert häufig von Restdextrinen. Wird Glucoamylase dort ohne klare Zielsetzung eingesetzt, kann das Ergebnis dünner, trockener und weniger ausgewogen wirken. Die Enzymwirkung ist somit wertvoll, aber nicht neutral: Sie verändert die Sensorik über die Kohlenhydratverteilung.

## Vergleich: Glucoamylase gegenüber anderen stärkeaktiven Enzymen

Enzymtyp	Hauptangriff auf Stärke	Typische Hauptprodukte	Prozessnutzen in Würze/Maische	Wichtige Grenze
Alpha-Amylase	Endo-Spaltung innerhalb von $\alpha$ -1,4-Ketten	Lösliche Dextrine, kürzere Oligosaccharide	Verflüssigung, Viskositätsabbau, Vorbereitung der Saccharifizierung	Liefert allein oft noch viele nicht vollständig vergärbare Dextrine
Beta-Amylase	Exo-Spaltung von Kettenenden, vor allem Maltosebildung	Maltose	Natürliche Malzenzymatik für vergärbare Zucker im klassischen Maischen	Stoppt an Verzweigungen und ist empfindlich gegenüber Prozessbedingungen [4]
Glucoamylase / Amyloglucosidase	Exo-Spaltung von nicht-reduzierenden Enden; kann Dextrine weiter abbauen	Vor allem Glucose	Tiefe Saccharifizierung, hohe Vergärbarkeit, trockene Profile	Kann Körper und Restextrakt stark reduzieren [1]
Maltogenic Amylase	Bevorzugte Bildung von Maltose aus Maltooligosacchariden und löslicher Stärke	Maltose	Gezielte Maltosebildung und Modifikation von Stärkeabbauprodukten	Nicht primär auf maximale Glucosefreisetzung ausgelegt [5]
Cyclodextrin-Glucanotransferase mit maltogener Amylase	Transglycosylierung und kombinierte Oligosaccharidbildung	Malto-Oligosaccharide	Herstellung spezifischer Oligosaccharidprofile	Ziel ist Produktprofil, nicht vollständige Vergärbarkeit [6]

Diese Tabelle zeigt, warum Glucoamylase in der Brau- und Brennereipraxis eine eigene Rolle hat. Sie ersetzt Alpha-Amylase nicht, sondern ergänzt sie. Besonders bei Rohfrucht, Mais, Reis, Sorghum, Weizen oder anderen stärkereichen Substraten ist die Verflüssigung durch endo-wirkende Enzyme oder vorhandene Malzenzyme oft der erste Schritt; Glucoamylase ist anschließend das Werkzeug für die tiefere Verzuckerung.

## Anwendung in Würze: trockene Bierprofile und reduzierte Restkohlenhydrate

In Würze ist Glucoamylase vor allem dann interessant, wenn die natürliche Malzenzymatik oder der gewählte Maischplan nicht das gewünschte Vergärbarkeitsniveau liefert. Bei üblichen Maischverfahren entsteht ein Gemisch aus Glucose, Maltose, Maltotriose und Dextrinen. Hefe kann einfache Zucker und einige Oligosaccharide verwerten, viele längere Dextrine bleiben jedoch im Bier und prägen Körper, Mundgefühl und Restextrakt. Glucoamylase verschiebt dieses Profil in Richtung Glucose und unterstützt dadurch eine höhere Vergärbarkeit.

Für Dry Beer oder Light Beer ist dieser Effekt zentral. Das Ziel ist nicht nur ein niedrigerer Kalorien- oder Kohlenhydratbeitrag, sondern auch ein spezifisches Mundgefühl: trockener, schlanker, weniger süß. Wird die Glucoamylase in einer Würze eingesetzt, die bereits gut verflüssigt ist, trifft sie auf mehr lösliche Dextrine und kann ihre exo-wirkende Hydrolyse besser entfalten. Eine schlecht aufgeschlossene Stärke hingegen bleibt auch für ein gutes Enzym teilweise unerreichbar.



Figure 3. 글루코아밀라아제는 고농도 양조, 증류, 에탄올 생산, 부원료 매시 전환, 드라이 맥주 및 전분당 생산에 사용됩니다.

Ein wichtiger Punkt ist die zeitliche Platzierung. Glucoamylase kann in Saccharifizierungsphasen oder — je nach Prozessdesign — auch in fermentationsnahen Ansätzen relevant sein. Wenn während der Fermentation fortlaufend Glucose entsteht und direkt von Hefe verbraucht wird, kann das Zuckerprofil dynamisch bleiben. Das ist technologisch attraktiv, verlangt aber eine klare Zieldefinition, weil die spätere Sensorik trockener ausfallen kann als bei einer reinen Malzmaische.

## Anwendung in Maische: Brennerei, Getreide, Knollen und technische Fermentation

In Brennereien und Bioethanolprozessen ist der sensorische Wert von Dextrinen meist geringer als ihre Bedeutung als ungenutzte Kohlenhydratreserve. Getreide- und Knollenrohmassen enthalten Stärke in Zellstrukturen, Proteinmatrices und variierenden Granulaformen. Die Prozessaufgabe lautet daher: Stärke zugänglich machen, verflüssigen, saccharifizieren und anschließend vergären.

Glucoamylase passt in diesen Ablauf, weil sie Dextrine weiter zu Glucose abbaut <sup>[7]</sup>.

Die industrielle Logik ist auch in Kaskadensystemen sichtbar. Mehrere Forschungsarbeiten nutzen Glucoamylase in Kombination mit nachgeschalteten Enzymen, um Stärke zunächst in Glucose und diese anschließend weiter umzusetzen, etwa zu Gluconsäure. Solche Systeme sind keine Brauanwendung, zeigen aber klar die Rolle der Glucoamylase als Glucosefreisetzungsstufe in einer Enzymkaskade <sup>[8]</sup>.

Auch bioelektrochemische Arbeiten verwenden sequenzielle Enzymsysteme, in denen Glucoamylase Stärke in Glucose überführt und ein zweites Enzym die Glucose weiter oxidiert. Der technische Kern ist derselbe wie in Fermentationen: Die Qualität der ersten Hydrolysestufe bestimmt, wie viel verwertbares Zwischenprodukt für den Folgeschritt verfügbar wird <sup>[9]</sup>.



**Figure 4.** 맥아 효소에만 의존하는 경우와 비교해, 글루코아밀라아제를 추가하면 전분이 풍부한 매시에서 포도당 방출, 발효도 및 최종 발효 가능 수율이 증가합니다.

## Substratzugänglichkeit: warum Stärke nicht automatisch hydrolysiert wird

---

Die Aussage „Glucoamylase wandelt Stärke in Zucker um“ gilt nur, wenn das Substrat enzymatisch erreichbar ist. In Rohgetreide sind Stärkekörner physikalisch geschützt. Beim Erhitzen nehmen sie Wasser auf, quellen und verlieren geordnete Strukturen; erst dadurch steigt die Angriffsfläche für Amylasen. Wenn dieser Aufschluss unvollständig bleibt, findet Glucoamylase weniger Kettenenden und kann trotz vorhandener Aktivität nicht die erwartete Zuckerfreisetzung erreichen.

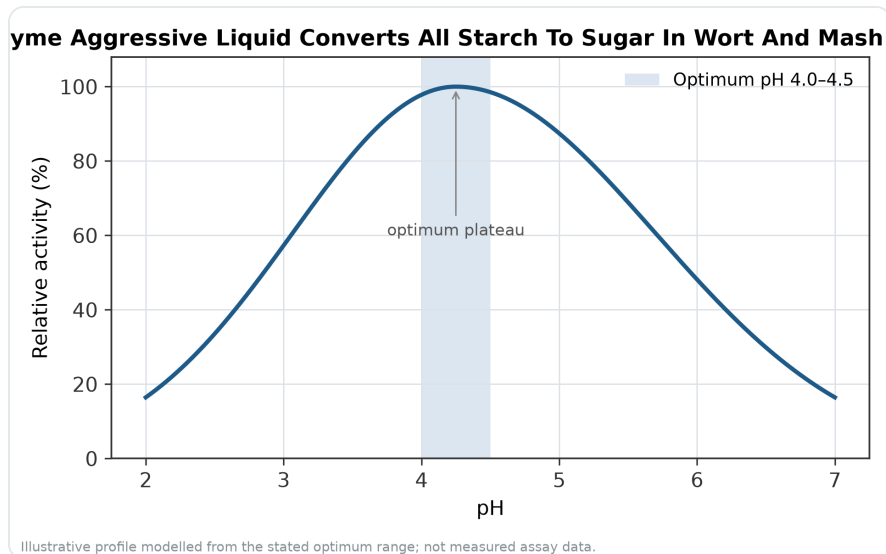
Rohstoffeffekte sind besonders bei Sorghum, Mais, Weizen und anderen Getreiden relevant. Stärke kann mit Lipiden Komplexe bilden; solche Komplexe können die Verkleisterung und damit die enzymatische Hydrolyse behindern. Für Maischeprozesse bedeutet das: Temperaturführung, Partikelgröße, Wasserverteilung und Vorbehandlung sind nicht Nebensachen, sondern bestimmen, wie viel Substrat das Enzym tatsächlich sieht <sup>[3]</sup>.

Auch die Polymerumgebung spielt eine Rolle. In Getreidematrices liegen Stärke, Proteine, Nicht-Stärke-Polysaccharide und Mineralstoffe nicht isoliert vor. Untersuchungen zur Verarbeitung von Weizen- und Maispolymeren zeigen, dass zusätzliche enzymatische Behandlungen — etwa proteolytisch oder phytolytisch — die Rohstoffmatrix verändern können. Daraus folgt nicht, dass jede Maische mehrere Enzyme benötigt; es zeigt aber, warum Glucoamylase allein keine schlechte Rohstoffaufbereitung kompensiert <sup>[10]</sup>.

## Prozessbedingungen ohne falsche Präzision

---

Glucoamylase ist ein Protein und damit empfindlich gegenüber Bedingungen, die Faltung, aktives Zentrum oder Substratbindung beeinflussen. Temperatur, pH-Wert, Kontaktzeit, Substratkonzentration, Feststoffgehalt und Vorverflüssigung wirken zusammen. Zu niedrige Reaktionsbedingungen verlangsamen die Hydrolyse, zu harte Bedingungen können Enzyme irreversibel schädigen. Allgemein werden industrielle Lebensmittel- und Fermentationsenzyme deshalb nicht isoliert bewertet, sondern im Kontext ihres Prozessfensters <sup>[11]</sup>.



**Figure 5.** pH에 따른 '워트와 매시의 모든 전분을 당으로 전환하는 강력한 액상 글루코아밀라아제 효소'의 상대 활성으로, pH 4.0~4.5에서 최적 활성 구간을 보입니다.

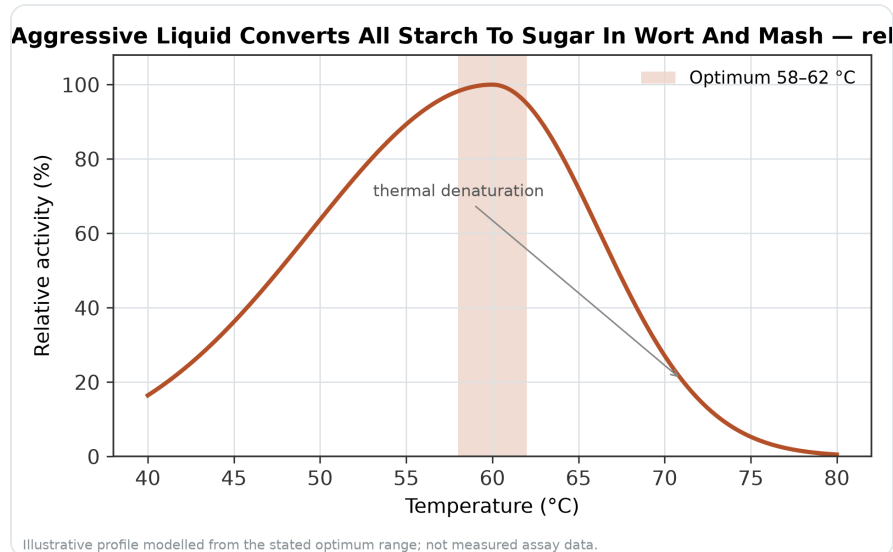
Für Brau- und Brennereianwender ist vor allem der Unterschied zwischen Verflüssigung und Saccharifizierung wichtig. Alpha-Amylase wird häufig dort priorisiert, wo große Stärkekettchen rasch gekürzt und Viskosität reduziert werden sollen. Glucoamylase benötigt dagegen viele zugängliche nicht-reduzierende Enden und arbeitet besonders sinnvoll, wenn bereits lösliche Dextrine vorliegen. Die Synergie ist wissenschaftlich gut belegt: Amylase erzeugt Angriffspunkte, Glucoamylase setzt daraus Glucose frei <sup>[1]</sup>.

Calciumionen werden in der Literatur im Zusammenhang mit Amylase-/Glucoamylase-Systemen diskutiert, weil Ionen Enzymstabilität und Systemleistung beeinflussen können. Für dieses Produkt sollten daraus jedoch keine pauschalen Prozessvorgaben abgeleitet werden. Entscheidend ist: Ionenmilieu, pH, Temperatur und Substratmatrix können die Hydrolyse beeinflussen; die praktische Umsetzung gehört in das jeweilige validierte Prozessregime <sup>[1]</sup>.

## Erwartbare Effekte auf Vergärung und Endprodukt

Der unmittelbarste Effekt ist ein höherer Anteil fermentierbarer Glucose. In einer aktiven Fermentation wird Glucose schnell aufgenommen und zu Ethanol, Biomasse, CO<sub>2</sub> und Nebenprodukten umgesetzt. Je nachdem, ob die Zuckerfreisetzung vor der Fermentation oder parallel dazu stattfindet, kann sich das zeitliche Zuckerprofil unterscheiden. Für Brennereien kann das die Ausnutzung stärkehaltiger Rohstoffe verbessern; für Bier kann es die Endvergärung erhöhen und den Restextrakt senken.

Sensorisch ist Glucoamylase ein starkes Steuerungswerkzeug. Weniger Dextrin bedeutet typischerweise weniger Körper und weniger Restsüße. Das ist bei trockenen, spritzigen oder kohlenhydratreduzierten Profilen erwünscht. Bei Bierstilen mit Malzsüße, cremigem Mundgefühl oder bewusstem Dextrinkörper kann der gleiche Effekt als Qualitätsverlust wahrgenommen werden. Die Enzymentscheidung sollte deshalb vom Zielprofil ausgehen, nicht nur von maximaler Umwandlung.



**Figure 6.** 온도에 따른 '워트와 매시의 모든 전분을 당으로 전환하는 강력한 액상 글루코아밀라아제 효소'의 상대 활성으로, 58~62°C에서 최적 활성을 보이며 최적 온도 이상에서는 열 변성으로 인한 특징적인 활성 저하가 나타납니다.

In technischen Stärkesystemen kann Glucoamylase auch als erste Stufe einer weiteren Umwandlung dienen. Kaskadenstudien zur Umwandlung von Stärke in Gluconsäure zeigen, dass Glucoamylase die Stärkehydrolyse mit nachfolgenden Oxidationsschritten koppeln kann. Für Brauerei und Brennerei ist nicht die Gluconsäureproduktion relevant, sondern das Prinzip: Eine effiziente Glucosefreisetzung kann die Folgereaktion limitieren oder ermöglichen <sup>[12]</sup>.

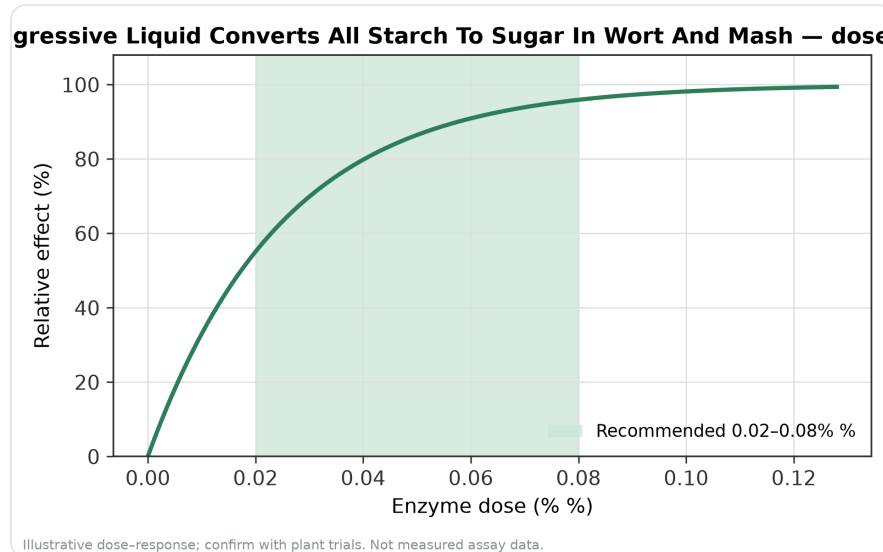
## Grenzen: was Glucoamylase nicht löst

Glucoamylase löst keine ungelösten Rohstoffprobleme automatisch. Wenn Stärke nicht verkleistert, nicht ausreichend zerkleinert oder durch Matrixeffekte blockiert ist, bleibt die Hydrolyse begrenzt. Ebenso ersetzt Glucoamylase keine gute Hefeführung: Nährstoffversorgung, Sauerstoffmanagement, Temperaturführung und Hefestamm entscheiden weiterhin darüber, wie die freigesetzte Glucose vergoren wird.

Sie ist auch kein Ersatz für Alpha-Amylase in hochviskosen Stärkeströmen. Ohne vorherige Kettenkürzung kann die Maische viskos bleiben, und die Zahl zugänglicher Kettenenden kann niedrig sein. In vielen Prozessen ist daher die Reihenfolge entscheidend: erst Struktur öffnen und Viskosität

senken, dann tief saccharifizieren. Die vollständige Stärkehydrolyse wird in der Forschung ausdrücklich als Zusammenspiel verschiedener amyolytischer Wirkweisen beschrieben [1].

Schließlich ist „mehr Glucose“ nicht immer gleichbedeutend mit „besser“. Bei Bier kann zu starke Verzuckerung zu sehr niedrigem Restextrakt führen. Bei Fermentationen kann eine sehr schnelle Zuckerfreisetzung osmotischen oder metabolischen Stress verstärken, während eine parallele Saccharifizierung einen gleichmäßigeren Zuckerfluss ermöglichen kann. Welche Variante sinnvoll ist, hängt vom jeweiligen Prozess ab.



**Figure 7.** 권장 사용 범위(0.02~0.08%)에서 '워트와 매시의 모든 전분을 당으로 전환하는 강력한 액상 글루코아밀라아제 효소'의 용량-반응 관계를 예시한 그래프입니다.

## Einordnung der Evidenz: was Forschung belegt und was produktbezogen bleibt

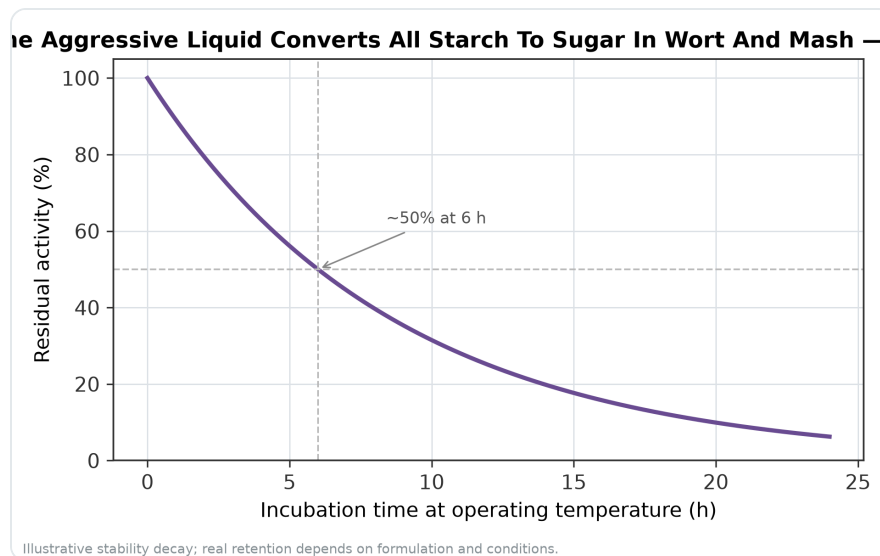
Die Forschung belegt sehr robust, dass Glucoamylase in stärkeabbauenden Systemen Glucose bereitstellt und mit anderen Amylasen synergisiert. Die Arbeit zur vollständigen Stärkehydrolyse durch Amylase und Glucoamylase ist dafür besonders relevant, weil sie genau den kombinierten Mechanismus adressiert, der in Maische- und Würzprozessen technisch genutzt wird [1].

Weitere Studien zu Enzymkaskaden bestätigen die Rolle von Glucoamylase als Glucoseerzeuger aus Stärke, selbst wenn die Zielprodukte außerhalb der Brau- oder Brennereiwelt liegen. In co-immobilisierten Systemen zur Umwandlung von Stärke in Gluconsäure ist die Glucoamylase-Stufe notwendig, weil nachfolgende Enzyme nicht Stärke, sondern Glucose als Substrat verarbeiten [8].

Begrenzt ist die direkte Übertragbarkeit einzelner Studien auf ein konkretes Handelsprodukt. Viele Publikationen untersuchen Enzymklassen, immobilisierte Systeme, Modellsubstrate oder kombinierte Reaktionssysteme, nicht exakt die online verkaufte Flüssigformulierung. Für technische Kunden ist daher die richtige Schlussfolgerung: Die Funktion der Enzymklasse ist gut belegt; die konkrete Prozesswirkung hängt von Rohstoff, Prozessführung und Zielprofil ab.

## Produktkontext bei Enzymes.bio

Enzymes.bio führt dieses Produkt als flüssige Glucoamylase für Würze und Maische und verkauft es direkt online in 1-kg-Einheiten. Das Angebot ist für Anwender relevant, die eine fertige Lieferoption für stärkehaltige Brau-, Brennerei- oder Fermentationsprozesse suchen und dabei eine weitgehende Saccharifizierung anstreben.



**Figure 8.** ‘워트와 매시의 모든 전분을 당으로 전환하는 강력한 액상 글루코아밀라아제 효소’의 열 안정성 감소를 예시한 그래프로, 작동 온도에서 시간이 지남에 따라 잔존 활성이 감소함을 보여줍니다.

Wichtig ist die korrekte Rolle: Enzymes.bio ist **Lieferant**, nicht Hersteller und nicht Prüflabor. Bei der Bestellung werden CoA und SDS mitgeliefert. Dieses Dokument beschreibt deshalb keine eigene Herstellung, keine laborseitige Prüfung und keine spezifischen Aktivitätsdefinitionen, sondern ordnet den Einsatzmechanismus und die Prozesslogik der Glucoamylase fachlich ein.

## Kurzfasit für technische Anwender

Glucoamylase ist das passende Enzym, wenn in Würze oder Maische nicht nur Stärke verflüssigt, sondern Dextrine weitgehend zu Glucose abgebaut werden sollen. Ihr Wert liegt besonders in Dry-Beer- und Light-Beer-Konzepten, Spirituosenmaischen, stärkehaltigen Fermentationen und Prozessen,

in denen niedriger Restextrakt oder hohe Vergärbarkeit gewünscht sind.

Die entscheidende technische Regel lautet: Glucoamylase wirkt am besten auf zugängliche, bereits aufgeschlossene Stärkeabbauprodukte. Alpha-Amylase, Rohstoffaufschluss, Maischeführung und Fermentation bleiben daher zentrale Prozessbausteine. Richtig eingesetzt, ist Glucoamylase kein allgemeiner Zusatz, sondern ein präzises Werkzeug zur Steuerung von Zuckerprofil, Vergärbarkeit und trockenem Endcharakter.

## Glucoamylase Enzyme Aggressive Liquid Converts All Starch To Sugar In Wort And Mash online bestellen

Verkauf in 1 kg-Einheiten, ab Lager und versandbereit. Bestellen Sie direkt in unserem Shop — bezahlen Sie online, wir bearbeiten Ihre Bestellung. Ein Analysenzertifikat und ein Sicherheitsdatenblatt liegen jeder Bestellung bei.

[Glucoamylase Enzyme Aggressive Liquid Converts All Starch To Sugar In Wort And Mash kaufen →](#)

## Referenzen

Nummeriert nach Reihenfolge der Erstzitation. Open-Access-Quellen, jeweils zum Veröffentlichungszeitpunkt auf Erreichbarkeit geprüft; die Zitationsnummern im Text verlinken hierher:

1. Presečki, A. V., Blažević, Z., & Vasić-Rački, Đ. (2013). [Complete starch hydrolysis by the synergistic action of amylase and glucoamylase: impact of calcium ions](#). *Bioprocess and biosystems engineering (Print)*, 36, 1555-1562.
2. Wang, T., Wang, F., Ma, R., & Tian, Y. (2022). [Enzymatically modified starch for paper surface sizing: Enzymes with different action modes and sites](#). *Carbohydrate Polymers*, 291, 119636 .
3. He, Z., Zhu, Z., Jiang, L., He, H., Cheng, Z., Wang, C., Chen, X., ... et al. (2025). [New insight into starch-lipid complexes inhibiting the starch gelatinization during sorghum grain steaming](#). *Food Research International*, 221 Pt 4, 117591 .
4. Vajravijayan, S., Pletnev, S., Mani, N., Pletneva, N., Nandhagopal, N., & Gunasekaran, K. (2018). [Structural insights on starch hydrolysis by plant  \$\beta\$ -amylase and its evolutionary relationship with bacterial enzymes](#). *International Journal of Biological Macromolecules*, 113, 329-337 .
5. Zhou, J., Li, Z., Zhang, H., Wu, J., Ye, X., Dong, W., Jiang, M., ... et al. (2018). [Novel Maltogenic Amylase CoMA from \*Corallocooccus\* sp. Strain EGB Catalyzes the Conversion of Maltooligosaccharides and Soluble Starch to Maltose](#). *Applied and Environmental Microbiology*, 84.
6. Jaafar, N. R., Ahmad, R., Nawawi, N. N., Rahman, N. H. A., Annuar, N. A. S., Rahman, R. A., & Illias, R. (2021). [Synergistic action of cyclodextrin glucoamylase and maltogenic amylase improves the bioconversion of starch to maltooligosaccharides](#). *Process Biochemistry*, 103, 9-17.

7. Thakur, H., Mankotia, S., & Rajput, R. (2024). Role of Enzymes in Food Processing. *European Journal of Nutrition & Food Safety*.
8. Han, J., Luo, P., Wang, L., Wu, J., Li, C., & Wang, Y. (2020). Construction of multi-enzymatic cascade reaction system of co-immobilized hybrid nanoflowers for efficient conversion of starch into gluconic acid. *ACS Applied Materials and Interfaces*.
9. Cai, Y., Wang, M., Xiao, X., Liang, B., Fan, S., Zheng, Z., Cosnier, S., ... et al. (2022). A membraneless starch/O<sub>2</sub> biofuel cell based on bacterial surface regulable displayed sequential enzymes of glucoamylase and glucose dehydrogenase. *Biosensors & bioelectronics*, 207, 114197 .
10. Rimareva, L. (2021). INFLUENCE OF PHYTOLYTIC AND PROTEOLYTIC ENZYMES ON CONVERSION OF WHEAT AND CORN GRAIN POLYMERS. *Sel'skokhozyaistvennaya Biologiya*.
11. Mao, S., Jiang, J., Xiong, K., Yi-Chen, Yao, Y., Liu, L., Liu, H., ... et al. (2024). Enzyme Engineering: Performance Optimization, Novel Sources, and Applications in the Food Industry. *Foods*, 13.
12. Rezaei, S., Landarani-Isfahani, A., Moghadam, M., Tangestaninejad, S., Mirkhani, V., & Mohammadpoor-Baltork, I. (2019). Development of a novel bi-enzymatic silver dendritic hierarchical nanostructure cascade catalytic system for efficient conversion of starch into gluconic acid. *Chemical Engineering Journal*.

## Enzymes.bio kontaktieren

Fragen zu einer Bestellung? Unser Team hilft Ihnen gerne weiter.

E-MAIL [wholesale@enzymes.bio](mailto:wholesale@enzymes.bio)

TELEFON (USA) **+1 (507) 428-6057**

[Kontakt aufnehmen →](#)



**400+** B2B-Kunden



**60+** universitäre Forschungspartner



**54** weltweit beliefert

© 2026 Enzymes.bio · Enzymlieferant für Industrie & Lebensmittelverarbeitung · Nicht zum menschlichen Verzehr oder für den Einzelverkauf.