



(12) Wirtschaftspatent

Erteilt gemäß § 18 Absatz 2 Patentgesetz

(19) **DD** (11) **238 305 A3**4(51) C 12 P 19/14  
C 13 K 1/06**AMT FÜR ERFINDUNGS- UND PATENTWESEN**


---

(21)	WP C 12 P / 262 161 5	(22)	23.04.84	(45)	20.08.86
------	-----------------------	------	----------	------	----------

---

(71)	VEB Maisan-Werke Barby, 3302 Barby (Elbe), Monplaisierstraße, DD
(72)	Hohaus, Wolfgang, Dipl.-Ing.; Schirner, Rolf, Dr.-Ing. oec.; Brix, Udo, Obering.; Kempa, Willi, Dipl.-Agr.-Ing. oec., DD

---

(54) **Verfahren zur Herstellung von D-Glucose und Stärkehydrolysaten**

---

(57) Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Gewinnung von D-Glucose und Stärkehydrolysaten aus einem gereinigten Partialhydrolysat, indem man das Partialhydrolysat sterilisiert, auf einen pH-Wert von 4,0–6,0 einstellt, ein freies Enzym aus der Gruppe der stärke- und/oder stärkeoligomerspaltenden Enzyme, z. B. Alpha-Amylasen, Beta-Amylasen, Gamma-Amylasen, die man mit Lipasen, Beta-Glucanasen oder Pentosanasen supplementieren kann, zudosiert, das enzymkatalysierte Substrat in ein oder mehrere Reaktionsbehälter überführt, in denen ein Träger/Enzym-Komplex in nicht diffusionsbehindernder Form angeordnet ist, einer kombinierten hydrolytischen Behandlung durch das freie Enzym und durch das trägerfixierte Enzym unterzieht, die hydrolytische Behandlung bei einer Temperatur von 326–338 K, vorzugsweise 331–335 K, sowie einen DE-Anfangswert von 35–80% durchführt, die chargenweise oder kontinuierliche Behandlung ein oder mehrstufig bis zum produktspezifischen Endpunkt der Hydrolyse führt, danach durch eine Temperaturbehandlung das Substrat enzyminaktiviert, reinigt und zu Stärkesirup, Stärkezucker oder Traubenzucker aufarbeitet.

**Erfindungsanspruch:**

1. Verfahren zur Herstellung von D-Glucose und Stärkehydrolysaten durch säure- und/oder enzymkatalysierte Hydrolyse von Stärke und stärkehaltigen Rohstoffen, **gekennzeichnet dadurch**, daß man einem auf bekannte Weise hergestellten und gereinigten Partialhydrolysat mit einem DE-Wert von 15–35% eine spezifische Aktivität an freien, löslichen, stärke- oder oligosaccharidspaltenden Enzym zudosiert, das enzymkatalysierte Substrat in einen oder mehreren Reaktionsbehältern (Rührreaktor, Wirbelbettreaktor) in denen sich Enzym-Träger-Komplexe in nicht diffusionsbehindernder Form befinden, einer kombinierten hydrolytischen Behandlung bei einer Temperatur von 326–338 K vorzugsweise bei 328–331 K zunächst bis zu einem DE-Wert von 35–80% durchführt und gegebenenfalls in einen oder mehreren weiteren Reaktoren bis zu einem DE-Wert von 95–99% weiterführt, den Enzym-Träger-Komplex zurückhält bzw. zurückgewinnt, danach durch einen Hitzeschritt das „freie“ Enzym inaktiviert, das Hydrolysat reinigt und in bekannter Weise aufarbeitet.
2. Verfahren gemäß Punkt 1, **gekennzeichnet dadurch**, daß man als stärke- oder oligosaccharidspaltendes Enzym eine Alpha-Amylase, eine Beta-Amylase oder Amyloglucosidase als freies Enzym oder als trägerfixiertes Enzym verwendet.
3. Verfahren gemäß Punkt 1 und 2, **gekennzeichnet dadurch**, daß man das stärke- oder oligomerspaltende Enzym mit Betaglucanasen, Pentasanasen, Lipasen oder Zellulasen supplementiert.
4. Verfahren gemäß Anspruch 1, 2 und 3, **gekennzeichnet dadurch**, daß man die Hydrolyse des Partialhydrolysats kontinuierlich oder quasi-kontinuierlich als ein- oder mehrstufigen Prozeß durchführt.
5. Verfahren gemäß Anspruch 1, **gekennzeichnet dadurch**, daß man bei der Totalhydrolyse des Partialhydrolysats zweckmäßig mehr als 6 Tanks für den kontinuierlichen Betrieb verwendet.
6. Verfahren gemäß Anspruch 1, **gekennzeichnet dadurch**, daß die mechanische Fest/Flüssig-Trennung des Partialhydrolysats mehrstufiger Prozesse bei DE-Werten von 35–80% erfolgt.
7. Verfahren gemäß Anspruch 1, 2, 3, 4, 5 und 6, **gekennzeichnet dadurch**, daß eine definierte Aktivitätszugabe mittels nativem Enzym, das im wesentlichen von den verarmten Überbeständen, der für die Immobilisierung benötigten Enzymmengen stammt erfolgt.
8. Verfahren nach Anspruch 1, 2, 3 bis 7, **gekennzeichnet dadurch**, daß bei mehrstufigen Prozessen an jeder dafür geeigneten Position Hydrolysats verschiedenartigster Zusammensetzung entnommen werden.
9. Verfahren nach Anspruch 1, 2 und 3, **gekennzeichnet dadurch**, daß Strömungsreaktoren mit Reaktionstemperaturen von 318–338 K in Kombination mit vorgeschalteten Rührwerksreaktoren verwendet werden.

**Anwendungsgebiet der Erfindung**

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Herstellung von D-Glucose und Stärkehydrolysaten aus Stärke und stärkehaltigen Rohstoffen durch säure- und/oder enzymkatalysierte Hydrolyse.

**Charakteristik der bekannten technischen Lösungen**

D-Glucose und Stärkehydrolysate sind traditionelle Veredelungsprodukte der Stärkeindustrie.

Das konventionelle Verfahren zur Herstellung von Hydrolysaten aus Stärke war das säurehydrolytische Verfahren.

Es ist jedoch seit langem bekannt, daß bei der Säurehydrolyse, vor allem bei der Totalhydrolyse von Stärke zu D-Glucose, insbesondere bei der Verarbeitung von Getreidestärken, durch die Bildung von Reversionsprodukten, huminartigen Stoffen sowie durch Reaktionsprodukte aus Glucose und Aminosäuren hohe Ausbeuteverluste entstehen. Die Filtration und Kristallisation der Säurehydrolysate erfordert einen hohen Aufwand, wobei als Abprodukt das sogenannte Hydrol anfällt. Einen bedeutsamen Fortschritt erzielte man durch die Einführung enzymatischer Verfahren, die heute den verfahrenstechnischen Standard bestimmen.

Der Nachteil der säureenzymatischen- bzw. doppelenzymatischen Verfahren besteht in dem Verlust der nativen Enzyme nach einmaliger Benutzung und in den langen Reaktionszeiten für die amyloglucosidische Phase der Totalhydrolyse mit den damit verbundenen notwendigen großen Abmessungen der Reaktoren.

Mit der Fixierung von stärke-spaltenden Enzymen an ein internes Trägermaterial sollte der wesentliche Nachteil der enzymatischen Verfahren überwunden und eine Mehrfachnutzung der Enzyme ermöglicht werden.

Obwohl an der Immobilisierung von Amylasen seit etwa 1970 gearbeitet wird, gibt es bisher weltweit keine industrielle Anwendung fixierter Amyloglucosidasen bzw. Alpha-Amylasen in der Stärkehydrolyseindustrie. Ausschlaggebend für die verzögerte industrielle Anwendung sind mehrere Gründe — Hartmeier, W. „Immobilisierte Enzyme für die Lebensmitteltechnologie“ in Gordian 77 (1977) Nr. 7–9 — führt neben einer mangelnden Thermostabilität vor allem ökonomische Gründe an.

Die geringe Thermostabilität der trägerfixierten Enzyme führte dazu, daß Reaktionstemperaturen von 308–318 K für die amyloglucosidische Phase der Totalhydrolyse mit trägerfixierter Glucoamylase bei Versuchsdurchführungen üblich sind. Bei solch niedrigen Reaktionstemperaturen sind die Stärkeoligomeren, abgesehen von der geringeren einwirkenden Enzymaktivität, außerordentlich anfällig gegen Fremdinfektionen.

Die verfahrensbedingt niedrigen Reaktionstemperaturen bewirken beim Einsatz von trägerfixierter-stärke-spaltender Enzyme in Schüttelschicht-, Wirbelschicht- und Rohrreaktoren verhältnismäßig niedrige Umsatzraten, so daß durch die Anwendung trägerfixierter Enzyme gegenüber dem konventionellen Verfahren der Stärkehydrolyse mit nativen Enzymen bisher keine wesentlichen Kostenvorteile entstehen.

## Ziel der Erfindung

Die Erfindung hat das Ziel, die industrielle Anwendung von trägerfixierten Enzymen unter Nutzung vorhandener technischer Anlagen zu ermöglichen, dadurch den spezifischen Enzymverbrauch sowie den spezifischen Stärkeverbrauch und den Reinigungsaufwand für die Herstellung und Aufarbeitung der Hydrolysate zu senken, durch Verkürzung der Reaktionszeiten und Gestaltung eines kontinuierlichen Produktionsablaufes die Raum-Zeit-Ausbeute der Hydrolyseeinrichtungen sowie durch höhere Kristallausbeuten bzw. direkte Sprüh- oder Wirbelschichtgranulaten die Selbstkosten wesentlich zu senken und notwendige Investitionskosten zu verringern.

## Darlegung des Wesens der Erfindung

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren zur Herstellung von D-Glucose und Stärkehydrolysaten so zu gestalten, daß die Gefahr der Kontamination bzw. Rekontamination der Vor- oder Zwischenprodukte der Totalhydrolyse erheblich reduziert wird, indem durch Gestaltung der Verfahrensbedingungen die Thermostabilität der Enzyme erhöht werden kann, und der gravierende Abfall der Anfangsaktivität der trägerfixierten Enzyme eliminiert wird.

Erfindungsgemäß wird die Aufgabe dadurch gelöst, indem man ein zuvor gereinigtes Partialhydrolysat mit einem DE von 15–35% durch eine Hochtemperatur-Kurzzeitbehandlung sterilisiert, dem Partialhydrolysat ein freies Enzym Alpha-Amylase, Beta-Amylase oder Amyloglucosidase in einer Menge von 2–8 U je Gramm Hydrolysat zufügt, das mit freiem Enzym aktivierte Substrat in einen Reaktionsbehälter einspeist, in dem im allgemeinen zusätzlich ein trägerfixierter Enzymkomplex in nicht diffusionsbehindernder Form angeordnet ist, die Hydrolyse des Partialhydrolysats in Gegenwart des freien und des trägerfixierten Enzyms bei einer Temperatur von 326–338 K bis zu einem DE von 35–80% führt, das Zwischenprodukt einschließlich des darin enthaltenden freien Enzyms aus dem ersten Reaktionsbehälter herausnimmt und in weiteren Behältern, in denen trägerfixierte Enzyme in einer nicht diffusionsbehindernden Anordnung vorhanden sind, die Totalhydrolyse bei einer Temperatur von 326–338 K, vorzugsweise 329–335 K, bis zu einem DE-Wert von 95–99% fortführt, danach das vorhandene freie Enzym außerhalb der Reaktionsbehälter durch einen Hitzeschritt inaktiviert, das inaktivierte Totalhydrolysat reinigt und durch Kühlungskristallisation oder Sprüh- bzw. Wirbelschichtgranulation aufarbeitet.

Eine spezielle Variante der erfindungsgemäßen Lösung besteht darin, daß man dem Partialhydrolysat mit einem DE-Wert von 15–35% ein freies Enzym (Alpha-Amylase, Amyloglucosidase) zufügt, das enzymaktivierte Partialhydrolysat in mehreren in Reihe geschalteten Reaktionsbehältern, in die ein Komplex mit trägerfixierten Enzymen in einer nicht diffusionsbehindernden Form angeordnet sind, behandelt, wobei bei stationärer Fahrweise die Einspeisung und Verweilzeit so gestaltet wird, daß sich bei der Reaktionstemperatur von 326–338 K im ersten Behälter ein DE-Wert von 40–80% einstellt, wonach in den folgenden Reaktionsbehältern die Totalhydrolyse mittels dem zugesetzten trägerfixierten Enzym bis zu einem DE-Wert von 95–99% weitergeführt wird, das freie Enzym anschließend durch einen Hitzeschritt inaktiviert und das inaktivierte Totalhydrolysat gereinigt und durch Kristallisation oder Sprüh- bzw. Wirbelschichtgranulation aufgearbeitet wird.

Eine weitere spezielle Variante des Verfahrens besteht darin, daß man dem Partialhydrolysat mit einem DE-Wert von 15–35% ein freies Enzym aus der Stärke- oder Stärkeoligomerspaltenden Gruppe zudosiert, das enzymaktivierte Partialhydrolysat in einen Reaktionsbehälter, in dem intern oder extern ein trägerfixierter Enzymkomplex angeordnet ist, bei einer Temperatur von 308–338 K die Hydrolyse bis zu einem DE-Wert von 35–80% führt und danach die Totalhydrolyse in einem Säulenreaktor bei einer Reaktionstemperatur von 318–338 K, vorzugsweise 326–329 K, bis zu einem DE-Wert von 50–96% führt.

Eine weitere spezielle Variante des Verfahrens besteht darin, daß man dem Partialhydrolysat mit einem DE-Wert von 15–35% ein freies Enzym (Alpha-Amylase, Amyloglucosidase) zufügt, das enzymaktivierte Partialhydrolysat kontinuierlich in einem oder mehrere in Reihe geschaltete Reaktionsbehälter, die intern oder extern einen trägerfixierten Enzymkomplex enthalten, einspeist, darin bei einer Temperatur von 326–338 K die Hydrolyse bis zu einem DE-Wert von 38–70% führt, anschließend das freie Enzym durch einen Hitzeschritt inaktiviert, das inaktivierte Hydrolysat reinigt und auf einen Trockensubstanzgehalt von ca. 80% durch Eindampfen einengt. Bei dieser Verfahrensvariante erzeugt man einen Stärkesirup mit einem hohen Glucoseanteil. Eine weitere spezielle Variante des Verfahrens besteht darin, daß man dem Partialhydrolysat mit einem DE-Wert von 15–35% als freies Enzym eine Beta-Amylase zufügt, das enzymaktivierte Partialhydrolysat kontinuierlich in einem oder mehrere in Reihe geschaltete Reaktionsbehälter, die intern oder extern einen trägerfixierten Enzymkomplex enthalten, einspeist, darin bei einer Temperatur von 328–343 K die Hydrolyse bis zu einem DE-Wert von 40–65% führt, danach durch einen Hitzeschritt das freie Enzym inaktiviert, das inaktivierte Hydrolysat reinigt und durch Eindampfen auf eine Trockenmasse von ca. 80% einengt. Bei dieser Verfahrensvariante erzeugt man einen maltoseangereicherten Sirup.

Bei dem erfindungsgemäßen Verfahren werden Rührwerksapparate verwendet, die in der chemischen und biochemischen Reaktionstechnik Standard sind und verbreitet für die Herstellung von Stärkehydrolysaten mit freien Enzymen verwendet werden.

Der trägerfixierte Enzymkomplex ist im Rührwerksapparat fest oder beweglich angeordnet. Man verwendet dafür perforierte Rohre oder Netzschläuche aus Siebgewebe, so daß die Diffusion nicht behindert wird. Die Rohre oder Netzschläuche werden im Bereich der größten Turbulenz postiert.

Bei einer externen Anordnung wird der einzelne Rührwerksapparat als Differentialkreislaufreaktor betrieben. Der trägerfixierte Enzymkomplex ist dann fest im Rohr der Umpumpleitung zwischen zwei Siebböden fixiert.

Ein Gegenstand des erfindungsgemäßen Verfahrens u. a. ist die Verminderung des Abfalls der Anfangsaktivität trägerfixierter Enzyme (Fischer, J. „Untersuchungen zum Einfluß synthetischer Träger auf heterogene Enzymreaktionen“, Dissertation B, mathe.-nat.-Fakultät, MLU Halle–Wittenberg, 1980). Mit der Zugabe einer vergleichsweise geringen Enzymmenge wird der bisherige Anwendungsnachteil trägerfixierter Enzyme überwunden. Als Enzymträger für das erfindungsgemäße Verfahren können makroporöse Gläser, Silicagele, vorbehandelte Zellulosen, makroporöses Polystyrol, Polyvinylchlorid u. a. verwendet werden. Vorzugsweise wird als Träger Wofatit Y 58 (Produkt des Chemischen Kombines Bitterfeld) verwendet. Bei dem erfindungsgemäßen Verfahren werden Standzeiten für das trägerfixierte Enzym, unter Nutzung der Bandbreite für die Dosierung des nativen Enzyms von 2–8 U/Gramm Hydrolysat, von 2 Monaten ohne wesentlichen Abfall der Anfangsaktivität erreicht. Ein weiterer Gegenstand der Erfindung ist eine im Vergleich zum Stand der Technik wirksamere Gestaltung der enzymatischen

Reaktionsbedingungen. Es wurde festgestellt, daß durch die hohe Anfangskonzentration an monomeren bzw. dimeren Substratbestandteilen die Thermostabilität des trägerfixierten Enzyms verbessert wird. Gleichzeitig bedingt ein höherer Anteil monomeres oder dimeres Substratbestandteile einen höheren osmotischen Druck, der in Verbindung mit den erfindungsgemäß hohen Reaktionstemperaturen die Bildung und Vermehrung von Mikroorganismen ausschließt. Dadurch ist eine kontinuierliche Fahrweise ohne besondere Vorkehrungen möglich.

Entsprechend der Anzahl und Größe der Tanks sowie der erforderlichen durchschnittlichen Verweilzeit wird in jedem Rührwerksapparat soviel gebundene Aktivität angeordnet, daß in Verbindung mit dem negativen Enzym eine optimale Hydrolyse gewährleistet wird. Die Regelung des Endwertes der Hydrolyse kann bei kontinuierlicher Fahrweise, durch die Einstellung der Einspeisung von Ausgangssubstrat, über die zugeführte freie und gebundene Enzymaktivität und durch Festlegung der Hydrolysetemperatur erfolgen. Der pH-Wert wird in erfindungsgemäßen Verfahren im Bereich von 4,0–4,7 gewählt, wenn mit Gamma-Amylasen gearbeitet wird. Unter Verwendung des erfindungsgemäßen Verfahrens kann man den Enzymverbrauch gegenüber der Hydrolyse mit einem freien Enzym um 75–80% reduzieren.

Es ist weiterhin möglich, daß für die Fixierung des freien Enzyms an einen Träger in der verarmten Enzymlösung verbleibende native Enzyme als freie Enzyme im erfindungsgemäßen Verfahren zu verwenden. Damit ist eine weitere Einsparung von Enzymen möglich. Erfindungsgemäß kann die Reinigung und Sterilisation des Partialhydrolysats, je nach vorhandener Filtrationstechnologie, auch nach Zugabe des nativen Enzyms bei DE-Werten von 35–80% durchgeführt werden, wenn die katalytische Wirkung des nativen Enzyms durch die Vorschaltung eines Röhrenapparates, in dem kein fixiertes Enzym angebracht ist, gewährleistet wird.

Besondere Bedeutung gewinnt der Umstand, daß man konventionelle Rührwerksapparate in das erfindungsgemäße Verfahren einbeziehen kann. Dadurch ist es möglich, die Leistung solcher Anlagen, die bisher chargenweise oder kontinuierlich mit freiem Enzym gearbeitet haben, erheblich zu steigern, so daß erforderliche Neuinvestitionen entfallen können.

### Ausführungsbeispiele

An Hand nachfolgender Ausführungsbeispiele wird die Durchführung des erfindungsgemäßen Verfahrens weiter verdeutlicht:

#### Beispiel 1

Herstellung von D-Glucosemonohydrat

Eine Stärkesuspension mit einer Trockenmasse von ca. 35% wird mit Salzsäure auf einen pH-Wert von 2,2 eingestellt und in einem kontinuierlichen Konverter bei einer Temperatur von 403K bis auf einen DE-Wert von 10% abgebaut. Die säureverflüssigte Stärke wird anschließend auf einen pH-Wert von 5,5–6,0 eingestellt und auf eine Temperatur von 358K abgekühlt. Durch Zugabe einer bakteriellen Alpha-Amylase wird der amylolytische Abbau eingeleitet und bis zu einem DE-Wert von 24% geführt. Es werden zwischen 1500–2500 SKB-Einheiten je kg Stärke zudosiert.

Das saure alpha-amylolytisch hergestellte Vorhydrolysat wird auf einen pH-Wert von 4,5 eingestellt und mit einer kontinuierlichen Schnecken zentrifuge, einem kontinuierlichen Schlammseparator und einem Anschwemmfilter gereinigt.

Das gewonnene und gereinigte säure/alpha-amylolytische Vorhydrolysat wird durch eine Behandlung in einem Plattenwärmeaustauscher und einem beheizbaren Rohrheizhalter sterilisiert. Die im sterilen Vorhydrolysat noch spurenweise enthaltenen Dextrin/Eiweiß/Lipid-Komplexe werden adsorptiv durch ein entsprechendes Adsorberharz abgetrennt.

Es wird nur der stationäre Ablauf des Verfahrens betrachtet. Die Totalhydrolyse des Partialhydrolysats wird durch Behandlung entsprechend der erfindungsgemäßen Lösung vollzogen.

Für die hydrolytische Behandlung ist eine zehnstufige Kaskade aus in Reihe geschalteten beheizbaren Rührwerksbehältern mit einem Fassungsvermögen von je 40m<sup>3</sup> vorgesehen. Die Hydrolyse erfolgt bei einer Temperatur von 333K, einem pH-Wert von 4,1–4,7 und einem Trockensubstanzgehalt des Substrats von ca. 35%. Zur Behandlung wird dem sterilen und gereinigten Partialhydrolysat 5–8 U je g TS Amyloglucosidase aus *Aspergillus niger* zudosiert. Das enzymaktivierte Partialhydrolysat wird in den 1. Behandlungsbehälter eingespeist. Im 1. Reaktionsbehälter ist ein trägerfixierter Enzymkomplex angeordnet. Der durchschnittliche DE-Wert des Substrats im 1. Reaktionsraum liegt bei 55–60%. Mit diesem durchschnittlichen DE-Wert tritt das Substrat in den 2. Rührwerksbehälter über. Im 2. Reaktionsraum sind 150 kg enzymaktiviertes Trägerharz angeordnet. Der durchschnittliche DE-Wert liegt im 2. Reaktionsbehälter im Bereich von 70–75%. Mit diesem DE-Wert tritt das Zwischenprodukt aus dem 2. Reaktionsraum in den 3. Reaktionsraum über. Im 3. bis 10. Reaktionsbehälter sind 300 kg bis 350 kg Trägerharz angeordnet. Das Trägerharz ist in den Rührwerksbehältern im Bereich der größten Turbulenz postiert.

Die wirksame Gesamtaktivität gewährleistet am Ausgang des 10. Rührwerksapparates einen DE-Wert von 97–98%. Die Durchsatzleistung der Kaskade liegt bei ca. 7,3m<sup>3</sup>/h, was einer Jahresproduktion von etwa 23000t Totalhydrolysat entspricht. Die Enzymsparung beläuft sich auf 65–70%.

Zur Weiterverarbeitung wird das Totalhydrolysat aus dem 10. Rührwerksapparat abgezogen, durch einen Hitzeschritt inaktiviert, gereinigt, thermisch aufkonzentriert und sprühgetrocknet.

Das Erzeugnis ist im Stärkezucker mit einem DE-Wert von 97–98%.

#### Beispiel 2

Herstellung von Stärkesirup

Das nach Beispiel 1 gewonnene, gereinigte und sterilisierte Partialhydrolysat wird erfindungsgemäß zu einem Stärkesirup mit konventionellem Saccharidspektrum verarbeitet.

Die Behandlung erfolgt in einem Rührwerksbehälter mit einem Fassungsvermögen von 32m<sup>3</sup>. Der beheizbare Rührwerksbehälter ist mit einem Impellerrührwerk ausgerüstet. Zur Durchführung des erfindungsgemäßen Verfahrens wird das Partialhydrolysat auf einen pH-Wert von 4,2 eingestellt und pro Gramm Hydrolysat 2U Glucoamylase zudosiert.

Das enzymaktivierte Partialhydrolysat wird danach in den Behandlungsreaktor eingeleitet. Im Behandlungsreaktor sind 150 kg Enzymträgerkomplex fest im Turbulenzbereich des Impellerrührers angebracht.

Durch die kombinierte Einwirkung von freien und trägerfixierten Enzymen wird das Partialhydrolysat weiter abgebaut und mit einem durchschnittlichen DE-Wert von 42% aus dem Rührwerksbehälter abgezogen. Der Durchsatz beträgt ca. 2t pro Stunde. Das Hydrolysat wird durch einen Hitzeschritt inaktiviert, gereinigt und thermisch bis auf eine Trockenmasse von ca. 80% aufkonzentriert.

### Beispiel 3

Herstellung von maltoseangereicherten Sirup

Das nach Beispiel 1 gewonnene Partialhydrolysat wird erfindungsgemäß zu einem Stärkesirup mit einem hohen Maltoseanteil aufgearbeitet. Das Partialhydrolysat wird dazu auf einen pH-Wert von 5,4–5,8 eingestellt und native Alpha-Amylase zudosiert. Das enzymaktivierte Partialhydrolysat wird kontinuierlich in einem beheizbaren Rührwerksbehälter mit einem Inhalt von 15cm<sup>3</sup> eingespeist. Im Behandlungsbehälter sind 350kg Trägerharz fest angeordnet. Als Trägerharz wird ein Wofatit Y 58 verwendet. Das Trägerharz wurde mit einer pilzlichen Alpha-Amylase aus *Aspergillus oryzae* aktiviert. Die Temperatur des Substrates wird auf 332K eingestellt.

Bei einem Massedurchsatz von 1t erzielt man einen maltoseangereicherten Sirup mit ca. 50% Maltose in der TS.

### Beispiel 4

Herstellung von Maltosesirup

Das nach Beispiel 1 gewonnene Partialhydrolysat, wobei auf eine Sterilisation und zusätzliche adsorptive Reinigung verzichtet werden kann, wird erfindungsgemäß zu einem Stärkesirup mit einem hohen Maltoseanteil aufgearbeitet.

Das Partialhydrolysat wird dazu auf einen pH-Wert von 5,2–5,5 eingestellt und native Alpha-Amylase zudosiert. Das enzymaktivierte Partialhydrolysat wird kontinuierlich in einen beheizbaren Rührwerksbehälter mit einem Inhalt von 40m<sup>3</sup> eingespeist.

Im Reaktionsbehälter befinden sich 200kg Trägerharz. Als Trägerharz wird Wofatit Y 58 verwendet. Das Trägerharz wurde mit einer Beta-Amylase aus *Bacillus subtilis* aktiviert. Die Temperatur des Substrates wird auf 333K eingestellt.

Bei einem Massedurchsatz von 5t/h erzielt man einen Maltosesirup mit ca. 65% Maltose in der TS.

### Beispiel 5

Herstellung von D-Glucosemonohydrat

Das nach Beispiel 1 gewonnene Partialhydrolysat, wobei auf eine Sterilisation und zusätzliche adsorptive Reinigung verzichtet werden kann, wird erfindungsgemäß zu einem Totalhydrolysat mit einem DE-Wert von 97–99% aufgearbeitet.

Für die hydrolytische Behandlung ist eine elfstufige Kaskade aus in Reihe geschalteten beheizbaren Rührwerksbehältern mit einem Fassungsvermögen von je 40m<sup>3</sup> vorgesehen. Die Hydrolyse erfolgt bei einer Temperatur von 328–333K, einem pH-Wert von 4,1–4,7 und einem Trockensubstanzgehalt des Substrates von ca. 35%.

Zur Behandlung wird dem gereinigten Partialhydrolysat 0,020PUN je g TS Pullulanase (Promozyme 200L) zudosiert.

Das enzymaktivierte Partialhydrolysat wird in die Rührwerkskaskade eingespeist, in der je Reaktionsbehälter ca. 150kg mit Amyloglucosidase aus *Aspergillus niger* aktiviertes Trägerharz aus Wofatit Y 58 in nicht diffusionsbehindernder Form angeordnet sind.

Die wirksame Gesamtaktivität gewährleistet am Ausgang des elften Rührwerksapparates einen DE-Wert von 79–99%. Die Durchsatzleistung der Kaskade liegt bei ca. 15m<sup>3</sup>/h. Die Enzymeinsparung beläuft sich auf 80%.

Die Weiterverarbeitung des Totalhydrolysates kann in üblicher Weise erfolgen.