



**Wirtschaftspatent**

Erteilt gemäß § 17 Absatz 1 Patentgesetz

ISSN 0433-6461

(11)

**211 124**

Int.Cl.<sup>3</sup>

3(51) C 12 N 1/00

C 12 Q 3/00

**AMT FÜR ERFINDUNGS- UND PATENTWESEN**

In der vom Anmelder eingereichten Fassung veröffentlicht

21) WP C 12 N/ 2445 463

(22) 04.11.82

(44) 04.07.84

71) AKADEMIE DER WISSENSCHAFTEN DER DDR; DD;  
72) KLAPPACH, GUENTHER, DR. RER. NAT. DIPL.-CHEM.; WEICHERT, DIETER, DR. RER. NAT. DIPL.-CHEM.;  
BRANDT, KARL-HEINZ, DIPL.-ING.; FROMMHOLZ, GERHARD, DIPL.-ING.; DD;  
HOERMANN, GERHARD, DIPL.-ING.; LEMKE, OTTO; DD;

**54) VERFAHREN ZUR KONTROLLE UND STEUERUNG MIKROBIELLER FERMENTATIONSPROZESSE**

57) Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Kontrolle und Steuerung mikrobieller Fermentationsprozesse und kann für biotechnologische Verfahren angewendet werden, bei denen das Wachstum von Mikroorganismen im Mittelpunkt der Prozeßkontrolle steht, unabhängig davon, ob die gebildete Zellmasse oder im Zusammenhang mit dem Wachstum gebildete Produkte bzw. abgebaute Substrate das Hauptziel der Stoffwandlung darstellen. Ziel der Erfindung ist eine optimale Ausnutzung von Rohstoffen und Energie, dadurch zu erreichen, daß die aktuelle Produktivität verzögerungsfrei, quantitativ und mit hoher Genauigkeit ermittelt wird. Hierzu wird die Stickstoffverbrauchsgeschwindigkeit herangezogen, die durch messende Verfolgung der über den pH-Regelkreis dem Fermentor zugeführten Ammoniakmenge und deren differenzierte Bewertung ermittelt wird. Die Erfindung kann z. B. bei der Herstellung von Back- und Futterhefen, bei der Enzym- und Antibioticumproduktion, bei der Abwasserreinigung angewendet werden.

Titel

Verfahren zur Kontrolle und Steuerung mikrobieller Fermentationsprozesse

Anwendungsgebiet der Erfindung

- 5 Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Kontrolle und Steuerung mikrobieller Fermentationsprozesse und kann in der mikrobiologischen Industrie zur Züchtung von Mikroorganismen, beispielsweise zur Erzeugung von Futterhefe angewendet werden.
- 10 Sie ist in die IPK C 12 N einzuordnen.

Charakteristik der bekannten technischen Lösungen

- Die Verfahren zur Züchtung von Mikroorganismen erfordern zur Prozeßbeurteilung die Anwendung einer oder mehrerer Methoden, um über den Prozeßverlauf, den Umsatz zu mikrobieller Biomasse, die Ausnutzung der Rohstoffe u.a. Informationen zu erhalten, die auch die Grundlage für die gezielte Beeinflussung des Prozeßverlaufes bilden.
- 15 Zur Prozeßbeurteilung wird vielfach die Bestimmung der gebildeten mikrobiellen Biomasse durch Zählung der Zellen, Ermittlung der optischen Dichte oder gravimetrische Analyse des Gehaltes an Biomassetrockensubstanz benutzt. (H. Schröter: Mikrobiolog. Praktikum; Verlag Volk und Wissen, Berlin 1977).
- 20 Die entscheidenden Nachteile dieser Methoden sind in ihrem Zeitaufwand und im verspäteten Vorliegen der Analysenergebnisse zu sehen.
- 25

Eine andere Möglichkeit wurde in der Analyse der während des Wachstums gebildeten  $\text{CO}_2$ -Menge gesehen. Da zwischen der  $\text{CO}_2$ -Bildung und dem Zellwachstum keine quantitativ determinierten Zusammenhänge bestehen, sind auf diesem Wege keine für die Bildung mikrobieller Biomasse relevanten Aussagen zu erhalten.

Auch durch Analyse des Verbrauches von an der Reaktion beteiligter Komponenten des Reaktionsgemisches, z. B. der Kohlenstoffquelle oder des Sauerstoffes bei aeroben Vermehrungsprozessen, wurde versucht, Informationen über den Prozeßverlauf, insbesondere seine Geschwindigkeit, zu erhalten. (CS - PS 142 889). Selbst sekundäre Erscheinungen, die nach dem Verbrauch der Kohlenstoffquelle beobachtet werden können, wie die Veränderung des pH-Wertes, (CS - PS 158 954) die Schaumbildung (US - PS 3 672 953) oder der Anstieg der Gelöst- $\text{O}_2$ -Konzentration (CS - PS 116 642, US - PS 3 384 553), wurden zur Prozeßbeurteilung herangezogen. Eine eindeutige Zuordnung des Verbrauches der Kohlenstoffquelle bzw. des Sauerstoffes zur Biomassebildung ist jedoch infolge der Bildung von Kohlendioxid, Wasser und ggf. extrazellulären Stoffwechselprodukten nicht gegeben.

Auch der Verbrauch anderer Komponenten der Nährlösung, z. B. der Stickstoffquelle, kann für die Ermittlung der Produktivität des Zellwachstums herangezogen werden. Dabei wird jedoch eine vollständige Massenbilanz dieser Komponente vorausgesetzt. Eine vollständige Massenbilanz erfordert die ständige analytische Erfassung der aktuellen Konzentration in den Stoffströmen und im Reaktor. Damit sind jedoch zahlreiche Nachteile verbunden, insbesondere hoher analytischer Aufwand und fehlerhafte Ergebnisse infolge Inhomogenität im Reaktor, Probleme bei der Probenahme u. a.

Es ist ein Verfahren zur Sicherung einer konstanten Wachstumsgeschwindigkeit bei der kontinuierlichen Züchtung von Hefen bekannt, wobei der dem Fermentationsprozeß als Ammoniak zugeführte Stickstoff nach einem vorgegebenen Wert konstant gehalten wird (DE-OS 2 418 755). Eine solche Fixierung der Stickstoffzufuhr kann zwar die Stabilität des kon-

tinuierlichen Zellvermehrungsprozesse unter Gewährleistung bestimmter Voraussetzungen sichern, läßt aber seine Steigerung nicht zu.

5 Auch dieses Verfahren setzt die ständige Ermittlung der aktuellen Ammoniumionenkonzentration im Fermentationsmedium voraus. Das Niveau der aktuellen Ammoniumionenkonzentration kann in Abhängigkeit von den Operationsbedingungen (z. B. bei Rückführung von  $\text{NH}_4$ -haltigen Prozeßwässern) sehr unterschiedlich sein. Deshalb ist eine auf der aktuellen Konzen-  
10 tration der  $\text{NH}_4$ -Ionen aufbauende Prozeßbeurteilung immer an die vollständige Bilanzierung aller Stoffströme gebunden und erfordert die analytische Bestimmung der Konzentration der  $\text{NH}_4$ -Ionen in den Stoffströmen und im Reaktor.  
Verfahren, die die ständige analytische Bestimmung der Kon-  
15 zentration der  $\text{NH}_4^+$ -Konzentration oder eines anderen mit der Biomassebildung korrelierenden Leittons erfordern, sind mit zahlreichen Nachteilen verbunden: Die Gestaltung, technische Ausstattung und der Betrieb des Reaktors muß nach sehr kurzen Mischzeiten den Ausgleich lokaler Konzentrationsunter-  
20 schiede gewährleisten und die Homogenität des Fermentorinhalts aufrechterhalten.

Bestehen lokale Konzentrationsunterschiede, so repräsentiert die  $\text{NH}_4$ -Konzentration in einer zeitlich und örtlich willkürlich entnommenen Probe nicht die realen Verhältnisse für den  
25 Gesamtreaktor.

Aus diesen Gründen werden nicht nur fehlerhafte, sondern irreführende Ergebnisse erhalten, die die Anwendung dieser  
Verfahrensweisen nicht erlauben. Dies haben die Erfinder offenbar auch erkannt, und deshalb zielt die Erfindung auf die  
30 Kontrolle der Konstanz der Biomassebildung.

Außerdem schränkt die nach dem vorgenannten Verfahren mögliche Zufuhr von Aminosäuren und anderen organischen Stickstoffquellen die Anwendung der Ammoniumzufuhr über die pH-Regelung zur Sicherung konstanter Wachstumsgeschwindigkeiten  
35 der Biomasse erheblich ein.

In einem für die diskontinuierliche Züchtung von Hefen beschriebenen Verfahren (DE - AS 2 217 909) wird die Kohlen-

stoffquelle gemeinsam mit dem zur pH-Konstanthaltung dem Fermentationsprozeß zugeführten Ammoniak zugegeben. Auch diese Maßnahme ist, wenn sie die definierte Zielstellung erfüllen soll, an die Erfüllung mehrerer Voraussetzungen gebunden. Die die pH-Regelung auslösende pH-Verschiebung setzt eine bestimmte Zusammensetzung der mineralischen Bestandteile des Nährmediums voraus und durch Kontrolle der aktuellen Ammoniumionenkonzentration muß der Umsatz des zugeführten Stickstoffes in mikrobielle Biomasse im definierten Verhältnis zum Kohlenstoff nachgewiesen sein. Ein entscheidender Nachteil der an die Ammoniakzufuhr gekoppelten Zufuhr der Kohlenstoffquelle ist in den damit ausgelösten Konzentrationsschwankungen im Fermentationsmedium zu sehen, die einerseits bei zu hohen Konzentrationen durch unerwünschte Nebenreaktionen zu Ausbeuteverlusten und/oder durch Inhibierung zum Rückgang der Wachstumsgeschwindigkeit oder andererseits bei zu geringen Konzentrationen zu Limitationserscheinungen führen können.

#### Ziel der Erfindung

Ziel der Erfindung ist es, die Effektivität von Fermentationsprozessen zur Gewinnung mikrobieller Biomasse durch optimale Ausnutzung der Rohstoffe und Energie zu erhöhen.

#### Darlegung des Wesens der Erfindung

Deshalb besteht die Aufgabe der Erfindung darin, ein Verfahren zu entwickeln, das die ständige schnelle und einfache Gewinnung von für die Zellvermehrung relevanten Informationen über den Prozeßverlauf ohne Störung des Fermentationsprozesses erlaubt.

Erfindungsgemäß wird die Aufgabe dadurch gelöst, daß die Produktivität auf der Grundlage quantitativer Zusammenhänge zwischen Zellvermehrung und Stickstoffverbrauchsgeschwindigkeit ermittelt wird, indem ohne eine totale Massenbilanz des Stickstoffs aufzustellen und ohne ständige analytische Ermittlung der Konzentration eines Leitions ( $\text{NH}_4^+$ ) der Ver-

brauch an wäßrigem Ammoniak während des Fermentations-  
 prozesses gemessen wird und eine weitere quantitative  
 Differenzierung dieses Verbrauches in den für die Bildung  
 mikrobieller Biomasse erforderlichen Ammoniumstickstoff  
 5 und den für die pH-Korrektur der Nährlösung erforderlichen  
 Ammoniak vorgenommen wird. Der gesamte während des Fermen-  
 tationsprozesses zur Bildung mikrobieller Biomasse und zur  
 pH-Korrektur bei Verwendung einer Nährlösung mit niedri-  
 gem pH-Wert als im Fermentationsgefäß erforderliche Ammo-  
 10 niak wird über den pH-Regelkreis bedarfsdeckend zugeführt.  
 Da der Stickstoffgehalt der mikrobiellen Biomasse  
 konstant ist, steht die Produktivität der Zellvermehrung  
 in direktem Zusammenhang mit der Stickstoffverbrauchsge-  
 schwindigkeit

$$15 \quad \dot{x} = r_N \cdot Y_N^x \quad /1/$$

$\dot{x}$  : Produktivität /g TS/kg . h/

$r_N$  : Stickstoffverbrauchs-  
 geschwindigkeit /g N/kg . h/

$Y_N^x$  : Ertragskoeffizient /g TS/g N/

20 Die in Gleichung /1/ verwendete Stickstoffverbrauchsge-  
 schwindigkeit kann bei bekannter Stickstoffkonzentration  
 der dem Fermentor über den pH-Regelkreis zugeführten Ammo-  
 niaklösung und nach einmaliger Ermittlung der zur pH-Kor-  
 rektur der dem Fermentor zugeführten sauren Nährlösung  
 25 auf den pH-Wert des Fermentationsmediums erforderlichen  
 Menge an Ammoniaklösung obiger Konzentration durch Messung  
 der in einem definierten Zeitintervall über den pH-Regel-  
 kreis dem Fermentor zugeführten Menge an Ammoniaklösung  
 sowie Messung der im gleichen Zeitintervall dem Fermentor  
 30 zugeführten Menge an Nährlösung nach folgender Gleichung  
 bestimmt werden:

$$r_N = \frac{C_N}{100 M_F} \left( \dot{v}_{NH_3} - \frac{\dot{v}_{NL} \cdot F_K}{100} \right) \quad /2/$$

$C_N$  : Stickstoffkonzentration des Ammoniaks  
für pH-Regelkreis /g N/100 ml/

$M_F$  : Fermentorfüllmasse /kg/

5  $\dot{v}_{NH_3}$  : Dosiergeschwindigkeit für  
Ammoniak /ml/h/

$\dot{v}_{NL}$  : Dosiergeschwindigkeit für  
Nährlösung /ml/h/

$F_K$  : Korrekturfaktor /ml  $NH_3$ /ml Nährlösung/

10 Zur Ermittlung des Korrekturfaktors  $F_K$  wird eine potentiometrische Titration der verwendeten mineralischen Nährlösung mit der verwendeten Ammoniaklösung durchgeführt. Als Endpunkt der Titration gilt der pH-Wert des Fermentorinhalts.

15 Bei der Rückführung von ammoniumhaltigen Prozeßwässern stellt sich nach Erreichen eines stationären Zustandes in Abhängigkeit vom Stickstoffgehalt des rückgeführten Prozeßwassers eine konstante Ammoniumionenkonzentration im Fermentationsmedium ein, so daß die Anwendung des erfindungsgemäßen Verfahrens auch bei Prozeßwasserrückführung gegeben ist.

20 Das erfindungsgemäße Verfahren besitzt gegenüber den bisher bekannten Verfahren zahlreiche Vorteile. Das Verfahren gestattet, die Produktivität der gesamten Population im Fermentor zu ermitteln und es werden eindeutige, genaue und  
25 aktuelle Informationen gewonnen, so daß Maßnahmen zur Prozeßführung an die maximale Leistungsfähigkeit angepaßt werden können.

30 Das Verfahren vermeidet auf diese Weise Fehlerquellen, die durch Probenahme aus einer willkürlich gewählten Zone des Fermentors infolge Inhomogenitäten, Mischeffekten und Entnahme- und Bearbeitungszeiten entstehen können.

Eine totale Massenbilanz des Stickstoffs in den Stoffströmen und im Fermentor ist nicht erforderlich. Das Verfahren arbeitet ohne Störung oder Unterbrechung des Fermentationsprozesses und bedarf auch nicht der Anwendung von einmaligen, periodischen oder ständigen Markierungen. Die zeitliche Aufeinanderfolge der Produktivitätsermittlungen kann beliebig gewählt werden, so daß ständig aktuelle Informationen über den Prozeßverlauf gewonnen werden. Die Anwendung des Verfahrens ist nicht an einen stationären Verlauf der Fermentation gebunden. Der besondere Vorteil des Verfahrens liegt sogar in der Anwendung bei instationären Prozeßzuständen, in denen Schwankungen, periodische oder aperiodische Veränderungen zu beobachten sind. Der Arbeitszeit- und Materialaufwand sind gering. Das Verfahren bildet die Grundlage für den Einsatz eines Prozeßrechners zur Kontrolle und Steuerung des Fermentationsprozesses. Anhand von Ausführungsbeispielen wird die Erfindung näher erläutert.

#### Beispiel 1

Von einer kontinuierlichen Fermentation mit dem Hefestamm *Candida utilis* zur Bildung von Hefeprotein aus Ethanol, die bei  $34^{\circ}\text{C}$ , 0,2 MPa Systemdruck, einem pH-Wert von 4,5 und einer Durchflußrate von  $D = 0,15 \text{ h}^{-1}$  durchgeführt wurde, erfolgte zur aktuellen Prozeßkontrolle und -steuerung die Bestimmung der Produktivität mit Hilfe der Messung der Stickstoffverbrauchsgeschwindigkeit. Der Korrekturfaktor  $F_K$  betrug 0,34 ml 7,5 %iger Ammoniak pro 100 ml Nährlösung. Es stellte sich eine aktuelle Ammoniumstickstoffkonzentration von 270 bis 300 mg/l im Fermentationsmedium ein. Zur Kontrolle und Bestimmung der Stickstoffverbrauchsgeschwindigkeit  $r_N$  bzw. der Produktivität  $\dot{x}$  wurde stündlich der Verbrauch an 7,5 %igem Ammoniak gemessen. In der folgenden Tabelle sind die erhaltenen Meßwerte für einen Zeitabschnitt dargestellt worden.

Der  $y_N^x$ -Wert ging in die Rechnung mit dem Wert 11,05 ein.

Tabelle 1

$r_N$  und  $\dot{x}$ -Werte als Kontrollgrößen einer kontinuierlichen Ethanolverhefung.

| 5  | Zeitpunkt | Ammoniak- | Dosierge-             | $r_N$                                     | $\dot{x}$                                   |
|----|-----------|-----------|-----------------------|-------------------------------------------|---------------------------------------------|
|    | u. Dauer  | verbrauch | schwindigkeit         |                                           |                                             |
|    | h         | ml/h      | d. Nährlösung<br>ml/h | g N.kg <sup>-1</sup><br>· h <sup>-1</sup> | g HTS.kg <sup>-1</sup><br>· h <sup>-1</sup> |
| 10 | 1         | 50,0      | 353                   | 1,410                                     | 15,6                                        |
|    | 2         | 48,0      | 359                   | 1,353                                     | 14,9                                        |
|    | 5         | 51,0      | 361                   | 1,439                                     | 15,9                                        |
|    | 6         | 51,0      | 355                   | 1,435                                     | 15,8                                        |
|    | 7         | 51,8      | 362                   | 1,448                                     | 16,0                                        |
|    | 8         | 50,8      | 362                   | 1,428                                     | 15,8                                        |
| 15 | 9         | 52,0      | 362                   | 1,463                                     | 16,0                                        |
|    | 10        | 51,0      | 362                   | 1,434                                     | 15,9                                        |

Die innerhalb eines bestimmten Zeitabschnittes ermittelten Meßwerte für  $r_N$  und  $\dot{x}$  sind typisch für die stabil verlaufende kontinuierliche Fermentation. Die Messungen ergaben  
 20 einen Durchschnittswert für  $\dot{x}$  von 15,8 g HTS · kg<sup>-1</sup> · h<sup>-1</sup>.  
 Aus der Biomassekonzentration  $x = 105,7$  g · kg<sup>-1</sup> und der Durchflußrate errechnete sich ein gut übereinstimmendes  $\dot{x}$  von 15,6 g HTS · kg<sup>-1</sup> · h<sup>-1</sup>.

Beispiel 2

25 In einem technischen Fermentor wurde die Gewinnung von mikrobiellem Futtereiweiß aus Saccharose mit Candida utilis unter folgenden Bedingungen durchgeführt:

Fermentorfüllmasse 39 t, Durchflußrate 0,25 h<sup>-1</sup>, Fermentationstemperatur 34°C, pH-Wert 4,2.

30 Die verwendete saure mineralische Nährlösung enthielt 65,5 kg Saccharose pro t und es mußten 0,018 t wäßriger Ammoniak (Konzentration 41,4 kg NH<sub>3</sub>/t) für die Einstellung von 1 t Nährlösung auf den pH-Wert des Fermentationsmediums

erforderlich waren, dadurch stellt sich eine konstante Ammoniumstickstoffkonzentration von 610 mg/l ein.

Der  $Y_N^X$ -Wert betrug 11,26 entsprechend dem Rohproteingehalt der Biomasse von 55,5 %.

- 5 Zur Kontrolle und Steuerung des Prozesses wurde stündlich die Produktivität nach dem erfindungsgemäß beanspruchten Verfahren mit Hilfe der Gleichung (1) ermittelt.

- Abb. 1 gibt den zeitlichen Verlauf der gemessenen Produktivität für eine Fermentationsdauer von 11 Stunden an. Der  
10 gefundene Mittelwert betrug 7,8, wobei die aktuellen Werte im Bereich von 7,95 bis 7,6 g HTS  $\cdot$  kg<sup>-1</sup>  $\cdot$  h<sup>-1</sup> lagen. Der Abfall der Produktivität in den folgenden 2 Stunden auf 7,0 muß durch Störungen des Prozesses hervorgerufen worden sein, da der Wert außerhalb der mittleren Schwankungsbreite lag. Als Ursache wurde ein Absinken der Dosierleistung der Nährlösungspumpe ermittelt und deren Sollwert  
15 neu eingeregelt, so daß die ursprüngliche Produktivität von 7,8 wieder erreicht wurde.

### Beispiel 3

- 20 In einem technischen Fermentor wurde die kontinuierliche Fermentation eines C<sub>11</sub> bis C<sub>20</sub> n-Alkangemisches mit der Hefe *Candida lipolytica* bei einer Durchflußrate  $D = 0,26$  h<sup>-1</sup>, einer Fermentorfüllmasse von 100 t, einer Fermentationstemperatur von 34°C und einem pH-Wert von 4,2 durchgeführt.
- 25 Die saure mineralische Nährlösung durchfloß vor der Dosierung in den Fermentor einen Mischbehälter, in dem der pH-Wert von 2,5 auf 4,2 durch Zugabe von wäßrigem Ammoniak mittels einer kontinuierlichen Regeleinrichtung korrigiert wurde.
- 30 Von der pH-Regeleinrichtung des Fermentors wurde nun anschließend nur der Verbrauch an wäßrigem Ammoniak noch angesteuert, der ausschließlich zur Proteinbildung in der Hefebiomasse dient, da der Korrekturfaktor  $F_K$  Null gesetzt werden konnte.
- 35 Der für die pH-Regelung im Fermentor verbrauchte wäßrige 12,1 %ige Ammoniak wurde mit einem geeigneten Meßgerät, z. B. einem Wälzkolbenzähler 355 l  $\cdot$  h<sup>-1</sup> ermittelt, er be-

trug durchschnittlich  $355 \text{ l} \cdot \text{h}^{-1}$ . 20 Stunden lang wurde mit Hilfe der ermittelten Daten und der Formel 1 die Produktivität gemessen, sie betrug bei  $34^{\circ}\text{C}$  Fermentations-temperatur 10,1 bis 10,5 g HTS  $\cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ .

5 Dann mußte der Prozeß für eine gewisse Zeit bei  $38^{\circ}$  bis  $39^{\circ}\text{C}$  durchgeführt werden. In diesem Zeitabschnitt von 6 Stunden gingen die Produktivitätswerte auf Werte von 9,3 bis 9,5 g HTS  $\cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$  zurück, obwohl die übrigen Fermentationsbedingungen sich nicht änderten.

10 Der Temperaturanstieg im Fermentor löste deutlich eine Verschlechterung des Ausbeutekoeffizienten  $Y_x^S$  aus, was durch die ständige Produktivitätsmessung sofort erkennbar wurde.

15 Deshalb wurde durch geeignete Maßnahmen die alte Kühlleistung wieder hergestellt und die Fermentation bei optimaler Ausbeute und  $34^{\circ}\text{C}$  fortgesetzt.

Erfindungsanspruch

- Verfahren zur Kontrolle und Steuerung mikrobieller Fermentationsprozesse zur Züchtung von mikrobieller Zellsubstanz, die bei definierter Temperatur, definiertem pH-Wert und definiertem Verhältnis der Komponenten des Nährmediums durchgeführt werden, gekennzeichnet dadurch, daß die aktuelle Produktivität der Zellsubstanzsynthese auf der Basis einer partiellen Massenbilanz aus der Stickstoffverbrauchsgeschwindigkeit durch messende Verfolgung des dem Fermentor über einen pH-Regelkreis zur pH-Konstanthaltung zugeführten Ammoniumstickstoffs zur bedarfsgerechten Versorgung der Mikroorganismenpopulation sowie unter Berücksichtigung des zur pH-Korrektur der zulaufenden Nährlösung auf den pH-Wert des Fermentationsmediums erforderlichen Anteils des zugeführten Ammoniumstickstoffs ermittelt wird und daß das Ergebnis als Kontroll- und Steuersignal für die Regelung des Fermentationsprozesses verwendet wird.

---

Hierzu 1 Seite Zeichnungen

---

Abbildung 1

