



(10) **DE 10 2018 124 378 A1** 2020.04.02

(12)

## Offenlegungsschrift

(21) Aktenzeichen: **10 2018 124 378.2**

(22) Anmeldetag: **02.10.2018**

(43) Offenlegungstag: **02.04.2020**

(51) Int Cl.: **A21C 13/00** (2006.01)

(71) Anmelder:

**BIBA - Bremer Institut für Produktion und Logistik GmbH, 28359 Bremen, DE; Verein zur Förderung des Technologietransfers an der Hochschule Bremerhaven e.V., 27572 Bremerhaven, DE**

(74) Vertreter:

**BOEHMERT & BOEHMERT Anwaltspartnerschaft mbB - Patentanwälte Rechtsanwälte, 28209 Bremen, DE**

(72) Erfinder:

**Lütjen, Michael, Dr.-Ing., 28357 Bremen, DE; Rohde, Ann-Kathrin, Dipl.-Ing., 28357 Bremen, DE; Barga, Markus van, 27572 Bremerhaven, DE; Stukenborg, Florian, 27572 Bremerhaven, DE; Fritzel, Tobias, 27572 Bremerhaven, DE; Giefer, Lino, 28357 Bremen, DE**

(56) Ermittelter Stand der Technik:

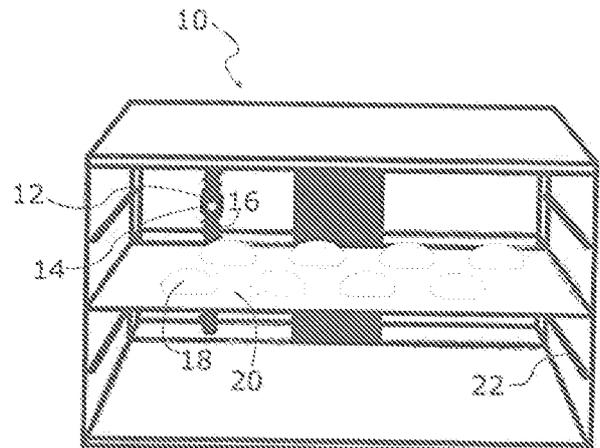
DE	10 2014 210 672	A1
DE	20 2012 002 303	U1

Prüfungsantrag gemäß § 44 PatG ist gestellt.

**Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen.**

(54) Bezeichnung: **Vorrichtung und Verfahren zur Prozessüberwachung mehrerer Teiglinge in einer Prozesskammer**

(57) Zusammenfassung: Vorrichtung zur Erfassung von Zuständen von Teiglingen in einer Prozesskammer wobei die Vorrichtung umfasst: a) ein optisches Modul, das dazu eingerichtet ist, Messdaten, die Entfernungsinformationen umfassen und einzelnen Teiglingen zuordenbar sind, zu ermitteln; b) ein Datenverarbeitungssystem, das dazu eingerichtet ist, Prozessparameter einzelner Teiglinge aus den Messdaten zu bestimmen und Parameterverläufe aus einem zeitlichen Verlauf der Prozessparameter zu ermitteln; und c) ein Steuerungssystem, das dazu eingerichtet ist, Betriebsparameter der Prozesskammer in Abhängigkeit der Parameterverläufe automatisch zu steuern.



## Beschreibung

**[0001]** Die vorliegende Erfindung betrifft eine Vorrichtung und ein Verfahren zur Prozessüberwachung mehrerer Teiglinge in einer Prozesskammer sowie eine Prozesskammer mit einer derartigen Vorrichtung.

**[0002]** Hauptbestandteil eines Teiglings ist in der Regel Mehl. Dieses weist als Naturprodukt schwankende Eigenschaften auf. Die spezifischen Mehleigenschaften beeinflussen den tatsächlichen Zeitpunkt der optimalen Prozessendpunkte bei Gär- und Backprozessen und führen somit bei generalisierten Prozessabläufen, die nicht von einem Fachmann gesteuert/begleitet werden, zu unvorhersehbaren qualitativen Unterschieden der fertigen Backware. Insbesondere in den zahlreichen Backshops erfolgt die Steuerung des Prozesses nicht durch einen Fachmann, sondern durch die voreingestellte/programmierte Prozesssteuerung. Die spezifischen Mehleigenschaften können grundsätzlich aus einer Analyse des Rohmaterials abgeleitet werden; da eine derartige Analyse kosten- und zeitaufwändig ist und die Maschinensteuerungen aktueller Prozesskammern nicht auf eine analysebasierte Anpassung der Betriebsparameter ausgelegt ist, ist die Nutzung von Analysewerten nicht praxistauglich. Neben den Einfluss nehmenden Rohstoffeigenschaften kann es während des Prozesses auch durch lokale Abweichungen von den eingestellten Betriebsparametern (Temperatur und Luftfeuchte), beispielsweise verursacht durch Strömungsänderungen, zu Abweichungen vom standardmäßigen Prozess kommen. Um eine hohe Qualität der Backergebnisse zu erreichen, muss der spezifische Prozess beobachtet und ggf. durch Parameternivellierung optimiert werden. Eine Erreichung des optimalen Zustandes ist aus den o.g. Gründen rein über die Prozesszeit und die Sicherstellung der Einhaltung der maschinenseitigen Betriebsparameter insbesondere im Filialbetrieb nach heutigem Entwicklungsstand nicht allgemein hin sicherzustellen. Die hier beschriebene Erfindung schließt diese Lücke. Ziel der angestrebten technischen Entwicklung ist die automatisierte Feststellung der Teiglingart und des spezifischen Zustandes mehrerer Teiglinge sowie die Feststellung des Prozessverlaufs über die Zeit und Anpassung der Betriebsparameter ohne Unterbrechung des Prozesses.

**[0003]** Aus dem Stand der Technik bekannte Vorrichtungen und Verfahren unterscheiden sich jeweils von der erfindungsgemäßen Lösung.

**[0004]** Das deutsche Patent DE 19831635 A1 offenbart eine Vorrichtung in der die Dicke eines Teiglings mit einem Ultraschall-Sensor detektiert und mit einem vorgegebenen Soll-Wert verglichen wird. Der Soll-Wert ist mit einem erwünschten Reifungsgrad der Teiglinge verknüpft. Wird der Soll-Wert erreicht, wird ein hierfür charakteristisches Ausgangssignal erzeugt. Der Ultraschall-Sensor fungiert als Abstandssensor und befindet sich an einem in die Prozesskammer einsetzbaren, auf einem Bodenblech der Kammer aufsetzbaren Dreibein-Gestell.

**[0005]** Das Dokument US6077552 A beschreibt ein Verfahren zur Überwachung der Garstufe eines Teiglings ohne invasiven Kontakt. Dazu wird ein Luftstoß gegen eine Seite des Teiglings gerichtet und der resultierende Biegeabstand aufgrund der Ausbreitung des Aufpralls durch den Teigling mittels Ultraschall gemessen. Die Biegeansprechzeit wird mit einer vorab gespeicherten Schwelle verglichen und wenn die Biegeansprechzeit kleiner als der Schwellwert ist, wird ein Signal erzeugt. Dieses Signal kann somit zur Beendigung des Prozesses auf Basis der automatischen Überwachung eines Teiglings im Prozess verwendet werden.

**[0006]** Die im vorgenannten Stand der Technik offenbarten Vorrichtungen bzw. Verfahren detektieren jedoch lediglich die Höhe eines Teiglings. Weiterhin ist im Stand der Technik keine zustandsbasierte und automatische Steuerung von Betriebsparametern der Prozesskammer vorgesehen.

**[0007]** Der vorliegenden Erfindung liegt somit die Aufgabe zugrunde, eine Vorrichtung zur Erfassung von Zuständen von Teiglingen in einer Prozesskammer bereitzustellen, die Nachteile des Stands der Technik überwindet und insbesondere geeignet ist, die Prozesssteuerung von Teiglingen in einer Prozesskammer zustandsbasiert zu automatisieren, um die Erreichung eines optimalen Produktzustands vor dem finalen Prozessschritt des Abbackens zu gewährleisten.

**[0008]** Erfindungsgemäß wird diese Aufgabe gelöst, durch eine Vorrichtung zur Erfassung von Zuständen von Teiglingen in einer Prozesskammer wobei die Vorrichtung umfasst:

- a) ein optisches Modul, das dazu eingerichtet ist, Messdaten, die Entfernungsinformationen umfassen und einzelnen Teiglingen zuordenbar sind, zu ermitteln;
- b) ein Datenverarbeitungssystem, das dazu eingerichtet ist, Prozessparameter einzelner Teiglinge aus den Messdaten zu bestimmen und Parameterverläufe aus einem zeitlichen Verlauf der Prozessparameter zu ermitteln; und
- c) ein Steuerungssystem, das dazu eingerichtet ist, Betriebsparameter der Prozesskammer in Abhängigkeit der Parameterverläufe automatisch zu steuern.

**[0009]** Optional kann die Vorrichtung ferner eine mechanische Verfahrenseinheit umfassen, die eine Beobachtung verschiedener Teiglinge in einer Ebene und/oder verschiedenen Ebenen ermöglicht.

**[0010]** Als Zustände sind insbesondere Gärzustände oder Backzustände zu verstehen, also Zustände von Teiglingen, die sich in einem Gärprozess oder in einem Backprozess befinden. Erfassung ist hierbei als automatisches, teilautomatisches oder manuelles Aufnehmen von Daten und/oder Informationen zu verstehen. Teigling bezeichnet ein bearbeitetes, geformtes Stück rohen Teiges. Der Teigling kann sowohl frisch als auch in gekühltem (gärunterbrochenem) oder tiefgefrorenem Zustand sein. Die Prozesskammer ist ein größtenteils oder vollständig abgeschlossener Hohlraum, beispielsweise in einer Maschine oder Apparatur die dazu ausgelegt sein kann, dass in ihr ein Prozess stattfinden kann. Als Prozess wird insbesondere ein Gärprozess oder ein Backprozess verstanden. In der Prozesskammer können seitlich Führungen angebracht sein, in die jeweils ein Gärgutträger eingeführt werden kann. Es können ein oder mehrere Gärgutträger übereinander oder ganze Gärgutträgerwagen in eine Prozesskammer eingebracht werden. Gärgutträger können Gärdielen, Backbleche, Roste oder Stikken sein. Die Prozesskammer kann sich in einem elektrisch oder brennstoffbeheizten Gärschrank, Ofen oder Backofen befinden. Alternativ ist ebenfalls möglich, dass sich die Prozesskammer in einer Gärstraße befindet.

**[0011]** Das optische Modul bezeichnet ein Bauelement, das mit anderen Bauelementen kombiniert werden kann und einen Lichtemitter und/oder Lichtdetektor aufweisen kann. Der Lichtemitter kann Licht mit Wellenlängen im sichtbaren Spektralbereich oder in einem anderen Spektralbereich, beispielsweise im infraroten, oder ultravioletten Spektralbereich emittieren.

Der Lichtdetektor kann Licht mit Wellenlängen im sichtbaren Spektralbereich oder in einem anderen Spektralbereich, beispielsweise im infraroten, oder ultravioletten Spektralbereich detektieren. Wenn das optische Modul sowohl einen Lichtemitter und einen Lichtdetektor aufweist, sind der Lichtemitter und der Lichtdetektor vorzugsweise im selben Spektralbereich operativ.

Als Messdaten oder Messwerte werden die durch die Systeme des optischen Moduls erfassten digitalen Daten verstanden. Diese können zusammengestellt oder auch ausgewertet, aufbereitet oder interpretiert zu Messergebnissen führen.

Entfernungsinformationen sind Informationen aus denen sich Abstände zwischen zwei oder mehr Punkten ableiten und/oder berechnen lassen. Die Abstände können beispielsweise relative Abstände zwischen Messpunkten und/oder absolute Abstände von Messpunkten zu physischen Objekten sein.

Eine Zuordnung von Messdaten zu einzelnen Teiglingen kann beispielsweise durch Instanz-Segmentierung der 3D-Messdaten oder eines daraus transformierten Tiefenbildes mittels neuronalen Netzen erfolgen. Die Zuordnung kann insbesondere automatisiert erfolgen.

Das Datenverarbeitungssystem ist eine Funktionseinheit zur Verarbeitung von Daten, wobei als Bearbeitung die Durchführung mathematischer, umformender, übertragender oder speichernder Operationen definiert ist. Das Datenverarbeitungssystem kann insbesondere mindestens einen Computer, eine Rechenanlage, ein Rechensystem und/oder eine Datenverarbeitungsanlage aufweisen.

Prozessparameter können beispielsweise Form, Volumen, Volumenentwicklung und Oberflächenbeschaffenheit der Teiglinge sein.

Parameterverläufe geben zeitliche Änderungen eines Messergebnisses oder eines Messwertes wieder. Parameterverläufe können nach der Zeit abgeleitet oder integriert werden, um weitere Informationen über den Prozessverlauf zu erhalten.

Als Steuerungssystem kann beispielsweise eine verbindungsprogrammierte Steuereinrichtung, eine speicherprogrammierbare Steuerung oder ein Cyber-Physikalisches System verwendet werden.

**[0012]** Betriebsparameter der Prozesskammer können beispielsweise aus Temperatur, relativer Luftfeuchte, Lüfterdrehzahl und Prozesszeit ausgewählt sein. Manche der Betriebsparameter können mittels Sensoren in der Prozesskammer gemessen werden, andere, beispielweise die Prozesszeit lassen sich auch außerhalb der Prozesskammer bestimmen.

Eine automatische Steuerung der Betriebsparameter der Prozesskammer bedeutet, dass die Betriebsparameter von einem Steuerungssystem angepasst werden können, ohne dass ein Mensch eingreifen muss. Die automatische Steuerung kann jedoch auch nicht-automatisierte Prozessschritte enthalten, die von einem Menschen durchgeführt werden müssen womit der gesamte Prozess teilautomatisiert wäre.

Die Positioniereinheit ist ein mechanisches System, an dem die optische Einheit montiert ist und welches derart ausgestaltet sein kann, dass die optische Einheit oder Teile der optischen Einheit durch rotatorische und/oder translatorische Bewegungen um bzw. in Richtung zumindest einer von drei Raumachsen in unterschiedliche Positionen gebracht werden kann.

**[0013]** Die zwei oder mehr in der Prozesskammer bereitgestellten Teiglinge können in einer Ebene, beispielsweise auf einem Gärgutträger, wie beispielsweise einem Rost, Backblech oder einem Stikken angeordnet sein, oder in Gehängesystemen/Körben liegen. Alternativ können die Teiglinge auch auf mehreren Ebenen bereitgestellt werden. Die Teiglinge in einer Ebene können in Spalten und/oder Reihen angeordnet sein. Es ist auch möglich, dass die Teiglinge in einer anderen geometrischen Anordnung in einer Ebene oder in einer zufälligen Anordnung bereitgestellt werden. Wenn die Teiglinge auf mehreren Ebenen bereitgestellt werden, können die Anordnungen der Teiglinge auf den mehreren Ebenen gleich oder unterschiedlich sein.

**[0014]** Typischerweise sind Teiglinge in einer Ebene parallel zur Erdoberfläche angeordnet.

**[0015]** Bei der Vorrichtung kann vorgesehen sein, dass eine Datenbank gespeicherte Parameterverläufe eines Soll-Prozesses umfasst und das Datenverarbeitungssystem weiterhin dazu eingerichtet ist, die aktuellen Parameterverläufe mit den Parameterverläufen in dem Soll-Prozess zu vergleichen.

**[0016]** Als Datenbank können verschiedene Systeme zur elektronischen Datenverwaltung genutzt werden, die es ermöglichen, Daten widerspruchsfrei und dauerhaft zu speichern und einen Zugriff auf die gespeicherten Daten ermöglichen.

Der Soll-Prozess kann ein zu einem früheren Zeitpunkt durchgeführter Prozess sein, bei dem beispielsweise ein erwünschtes Ergebnis des Prozesses und/oder ein erwünschter Verlauf des Prozesses erzielt wurden. Der Soll-Prozess ist vorzugsweise in der gleichen oder einer ähnlichen Prozesskammer durchgeführt worden. Alternativ ist auch möglich, dass der Soll-Prozess aus Daten von mehreren Prozessverläufen mittels mathematischer Operationen wie beispielsweise einer Durchschnittsbildung zusammengesetzt ist oder der Soll-Prozess aus Daten einer Simulation eines Prozesses oder manuell eingegebenen Daten besteht.

**[0017]** Gemäß einer weiteren besonderen Ausführungsform kann das Datenverarbeitungssystem weiterhin mindestens ein neuronales Netz umfassen, das dazu eingerichtet ist, eine Instanz-Segmentierung einzelner Teiglinge vorzunehmen.

**[0018]** Als neuronales Netz wird ein künstliches neuronales Netz verstanden. Künstliche neuronale Netze sind selbstständig lernende Computerprogramme. Sie basieren auf der Vernetzung vieler künstlicher Neuronen, beispielsweise McCulloch-Pitts Neuronen und sind in der Lage durch eine oder mehrere der folgenden Methoden zu lernen: Entwicklung neuer Verbindungen, löschen existierender Verbindungen, ändern der Gewichtung zwischen Neuronen, Anpassen der Schwellenwerte der Neuronen sofern diese Schwellenwerte besitzen, hinzufügen oder löschen von Neuronen, Modifikation von Aktivierungs-, Propagierungs-, oder Ausgabefunktion. Bevor das neuronale Netz eingesetzt wird, muss es zunächst trainiert werden.

Das neuronale Netz kann beispielsweise zur Instanz-Segmentierung einzelner Teiglinge eingesetzt werden. Das neuronale Netz wird hierfür mit Beispieldaten für alle möglichen Teigling-Sorten trainiert und erkennt aus der gesamten Punktwolke die Punkte, die einem jeweiligen Teigling zugeordnet sind. Der gesamte Prozess der Instanz-Segmentierung kann beispielsweise wie folgt ablaufen:

- Messung des Innenraums und Erstellung einer 3D-Punktwolke, die den eingestellten Messbereich des Innenraums darstellt
- Projektion der 3D-Punktwolke auf ein 2D-Tiefenbild
- Semantische Segmentierung des Tiefenbildes, um die einzelnen Teigling-Instanzen zu erkennen und die zugehörigen Pixel-Positionen innerhalb des Tiefenbildes gesondert abzulegen
- Rücktransformation der Pixel-Daten der detektierten Teiglinge in 3D
- Model-Fitting aller detektierten Teiglinge mittels Superquadriken
- Volumenberechnung der Teiglinge anhand der bestimmten Superquadrik-Parameter, Defekterkennung mittels Abweichungsanalyse der Messpunkte zur Superquadrik

- Wiederholung der beschriebenen Prozessschritte in bestimmten Intervallen und Bestimmung des Volumen-Gradienten
- Signalisieren des Erreichens eines gewünschten Gradienten (in der Regel ~o)

**[0019]** Optional kann dieses Verfahren statt der Projektion der 3D-Punktwolke auf ein 2D-Tiefenbild auch direkt eine semantische Segmentierung der 3D-Daten, um die einzelnen Teigling-Instanzen zu erkennen und die zugehörigen Pixel-Positionen innerhalb des Tiefenbildes gesondert abzulegen vorsehen.

**[0020]** Vorzugsweise ist das Steuerungssystem weiterhin dazu eingerichtet, die Betriebsparameter auf Basis des Vergleichs der aktuellen Parameterverläufe mit den Parameterverläufen in dem Soll-Prozess zu steuern.

**[0021]** Das System kann auch derart ausgestaltet sein, dass die Anpassung der Betriebsparameter rein auf Basis historischer Daten oder auf Basis von Algorithmen erfolgt, die die Annäherungsart des Zustands eines Teiglings an einen optimalen, finalen Zustand beschreiben.

**[0022]** Die Steuerung kann derart stattfinden, dass ein zeitlicher Verlauf der Betriebsparameter des Soll-Prozesses in der Datenbank oder einem anderen geeigneten System gespeichert ist und das Steuerungssystem auf diese Informationen Zugriff hat. Bei hinreichender Übereinstimmung der aktuellen Parameterverläufe mit den Parameterverläufen im Soll-Prozess kann das Steuerungssystem den zeitlichen Verlauf der Betriebsparameter des aktuellen Prozesses in gleicher Weise wie in dem Soll-Prozess steuern. Sollte keine hinreichende Übereinstimmung der aktuellen Parameterverläufe mit den Parameterverläufen im Soll-Prozess festgestellt werden, kann das Steuerungssystem den zeitlichen Verlauf eines oder mehrerer Betriebsparameter des aktuellen Prozesses abweichend vom zeitlichen Verlauf des oder der Betriebsparameter im Soll-Prozess automatisch einstellen.

**[0023]** Die aktuellen Parameterverläufe mehrerer Teiglinge können hierbei mittels mathematischer Operatoren zu einem Gesamtverlauf zusammengefasst oder einzeln ausgewertet werden. Die Einflussnahme stark vom Mittelwert der Gesamtheit der beobachteten Teiglinge abweichender Teiglinge kann bei der Auswertung berücksichtigt werden.

**[0024]** In einer weiteren besonderen Ausführungsform kann das Steuerungssystem weiterhin dazu eingerichtet ist, die Betriebsparameter auf Basis einer Maximalwertuntersuchung zu steuern.

**[0025]** Eine Maximalwertuntersuchung ist die Untersuchung eines Prozessparameters verschiedener Teiglinge auf einen Maximalwert. Dies kann beispielsweise die Ermittlung mehrerer oder aller Volumina der Teiglinge umfassen und eine anschließende Bestimmung eines maximalen Volumens eines der Teiglinge.

**[0026]** Bevorzugt kann vorgesehen sein, dass das optische Modul in einer Ebene, senkrecht zu einer Ebene, in der die Teiglinge angeordnet sind, bewegbar ist.

**[0027]** Alternativ kann das optische Modul aber auch in zwei oder drei Ebenen bewegbar sein. Insbesondere kann das optische Modul in mehreren Ebenen unabhängig voneinander bewegbar sein, wobei die Ebenen senkrecht aufeinander stehen. Die Position der optischen Einheit ist vorzugsweise zu jeder Zeit bekannt und kann zum Beispiel über die Längen und Winkel in Bezug zu einem Ursprungskoordinatensystem beschrieben und/oder sensorisch oder odometrisch erfasst werden.

**[0028]** Weiterhin kann vorgesehen sein, dass das optische Modul um mindestens eine Achse rotierbar ist.

**[0029]** Vorteilhafterweise umfasst das optische Modul mindestens einen Laser und/oder mindestens einen optischen Sensor.

**[0030]** Laser bezeichnet eine Vorrichtung zur Emission von monochromatischem Licht mit großer Kohärenzlänge. Die Wellenlänge des Lasers kann sowohl im sichtbaren Spektralbereich, also etwa zwischen 400 nm und 750 nm, als auch im nicht-sichtbaren Spektralbereich, insbesondere im infraroten oder im ultravioletten Spektralbereich liegen. Als Laser kann beispielsweise ein Halbleiterlaser, ein Festkörperlaser, ein Gaslaser ein Farbstofflaser oder ein anderer geeigneter Laser genutzt werden. Mit einem Laser ist es möglich, im Gegensatz zum menschlichen Auge, auch einen relativ dichten Aerosol-Nebel, der während eines Prozesses in der Prozesskammer auftreten kann, gut zu durchdringen und damit hinreichend genaue Messdaten zu liefern. Das optische Modul kann auch mit einem Lidar-System zur optischen Abstandsmessung ausgestattet sein.

Bei dem Lidar-System werden Laserimpulse ausgesendet und das emittierte Licht detektiert und anhand der Lichtlaufzeit die Länge des Entfernungsvektors bestimmt.

Als optischer Sensor kann beispielsweise ein CCD Sensor, ein Fototransistor ein lichtabhängiger Widerstand oder ein anderer geeigneter optischer Sensor genutzt werden.

**[0031]** Gemäß einer weiteren besonderen Ausführungsform ist der Laser ein Ein-Punkt-Laserscanner.

**[0032]** Als Ein-Punkt-Laserscanner wird eine Vorrichtung bezeichnet, die dazu eingerichtet ist, einen Laserpunkt zeilen- oder rasterartig Oberflächen oder Körper überstreichen zu lassen. Typischerweise detektieren ein oder mehrere Sensoren diesen Punkt. Alternativ kann auch ein streifenbasierter Laserscanner verwendet werden, bei dem ein Laserstreifen anstelle eines Laserpunkts verwendet wird.

**[0033]** Insbesondere kann dabei vorgesehen sein, dass das optische Modul ein Lasergitter umfasst.

**[0034]** Das Lasergitter ist ein Netz aus sich kreuzenden Laserstrahlen, die in einem Winkel, beispielsweise senkrecht aufeinander treffen. Die sich kreuzenden Laserstrahlen können aus einer Quelle stammen und mittels optischen Bauelementen wie beispielsweise Strahlteilern und Spiegeln erzeugt werden oder mittels mehrerer Laserquellen erzeugt werden.

**[0035]** Zudem kann vorgesehen sein, dass die Messdaten eine 3D-Punktwolke umfassen und eine Topologie der Teiglinge aus der 3D-Punktwolke ableitbar ist.

**[0036]** Die 3D-Punktwolke ist eine Menge von Punkten eines dreidimensionalen Vektorraums, die eine unorganisierte räumliche Struktur aufweist. Die Punktwolke ist durch die enthaltenen Punkte beschrieben, die jeweils durch ihre Raumkoordinaten erfasst sind. Zu den Punkten können zusätzlich Attribute, wie zum Beispiel geometrische Normalen, Farbwerte oder Messgenauigkeit, erfasst sein.

**[0037]** Vorteilhafterweise kann das Datenverarbeitungssystem weiterhin dazu eingerichtet sein, mindestens einen Prozessparameter mittels der Methode der Superquadriken aus der 3D-Punktwolke zu bestimmen.

**[0038]** Die Methode der Superquadriken wird dazu verwendet, beliebige planare Objekte durch geometrische Primitiva zu approximieren. Die Methode nutzt momentenbasierte Normalisierungsverfahren, welche gegenüber der verwendeten Transformationsgruppe eine invariante Anpassung der geometrischen Primitiva gewährleisten. Vorteile dieser Fitting-Methode sind beispielsweise die Invarianz, die drastische Reduktion des numerischen Aufwands gegenüber bekannten Fitting-Methoden und die Möglichkeit, auch nicht analytisch geschlossenen beschreibbare Objekte sehr einfach fitten zu können. Die Methode kann relativ einfach in ein Objekterkennungssystem integriert werden, indem Objekte mit in der Datenbasis abgelegten Primitiva verglichen werden.

**[0039]** Die einzelnen Teiglinge werden mittels eines neuronalen Netzes aus der Punktwolke segmentiert. Die Anpassung mittels Superquadriken dient zur Bestimmung des Teigling-Typs und zur Volumenberechnung des Teiglings. Die Methode der Superquadriken fittet iterativ die Parameter der Gleichung einer Superquadrik

$$(|x/A|^r) + (|y/B|^s) + (|z/C|^t) = 1$$

und die Translation- und Rotationsparameter  $X_0, Y_0, Z_0, \Omega, \Phi, \kappa$  an die vorher mittels Segmentierung einem einzelnen Objekt zugeordneten Punkte und minimiert so den Fehler des geometrischen Abstandes oder algebraischen Abstandes.

**[0040]** Weiterhin können die Entfernungsinformationen eine Genauigkeit von 1 mm oder weniger aufweisen.

**[0041]** Die Genauigkeit ergibt sich aus der Summe von zufälligen und systematischen Messfehlern. Die Entfernungsinformation eines gemessenen Wertes wird jeweils zu einem als exakt angenommenen Referenzwert ermittelt.

**[0042]** In einer weiteren besonderen Ausführungsform können die Prozessparameter mindestens einen Wert ausgewählt aus Volumen, Oberflächenbeschaffenheit und Form der Teiglinge umfassen.

**[0043]** Bei der Analyse der Oberflächenbeschaffenheit kann das Auftreten von Anomalien und Defekten detektiert werden. Das Volumen kann dabei entweder das Volumen eines einzelnen Teiglings, das Durchschnitts-

volumen mehrerer Teiglinge, das Gesamtvolumen aller Teiglinge oder besonders große Abweichungen spezifischer Volumina vom Durchschnittsvolumen bedeuten. Die Oberflächenbeschaffenheit umfasst die Beschreibung der physikalischen und chemischen Eigenschaften der Oberfläche eines Teiglings. Zu diesen gehören beispielsweise auch eine Oberflächenrauigkeit und/oder Absorptions- und Reflexionseigenschaften der Oberfläche. Die Datenverarbeitungseinheit kann dazu eingerichtet sein, anhand der spezifischen geometrischen Gestalt die Teiglingart und/oder mindestens einen Prozessparameter, vorzugsweise das Objektvolumen, aus den erfassten Messdaten abzuleiten.

**[0044]** Zweckmäßigerweise können die Betriebsparameter Temperatur, relative Luftfeuchte, Lüfterdrehzahl und Prozesszeit umfassen.

**[0045]** Die Betriebsparameter Temperatur, relative Luftfeuchte und Lüfterdrehzahl werden zweckmäßigerweise mittels in der Prozesskammer befindlichen Sensoren gemessen. Die Prozesszeit wird mit einer Uhr gemessen. Die Uhr kann beispielsweise in dem Datenverarbeitungssystem integriert sein.

**[0046]** Vorteilhafterweise kann die Vorrichtung als nachrüstbares System zum Einbau in eine Prozesskammer ausgestaltet sein.

**[0047]** Bevorzugt ist die Prozesskammer eine Gärkammer.

**[0048]** Weiterhin wird die Aufgabe gelöst durch ein Verfahren zur Erfassung von Zuständen von Teiglingen in einer Prozesskammer wobei das Verfahren die Schritte umfasst:

- a) Bereitstellen von zumindest zwei Teiglingen in der Prozesskammer;
- b) Auslösen eines Prozesses in den Teiglingen;
- c) Ermitteln von Messdaten, die Entfernungsinformationen umfassen und einzelnen Teiglingen zuordenbar sind;
- e) Bestimmen von Prozessparametern einzelner Teiglinge aus den Messdaten;
- f) Ermitteln von Parameterverläufen aus einem zeitlichen Verlauf der Prozessparameter;
- g) automatisiertes Steuern von Betriebsparametern der Prozesskammer in Abhängigkeit der Parameterverläufe.

**[0049]** Alternativ zum letzten Schritt, dem automatisierten Steuern von Betriebsparametern der Prozesskammer, kann auch vorgesehen sein, dass eine Anweisung zum manuellen Eingreifen gegeben wird. Diese kann sich beispielsweise auf eine Prozesszeitverkürzung durch Herausnehmen des betroffenen Blechs beziehen.

**[0050]** Bevorzugt ist der Prozess ein Gärprozess.

**[0051]** Bei dem Verfahren kann vorgesehen sein, dass das Verfahren weiterhin den Schritt umfasst: Vergleichen eines aktuellen Parameterverlaufs mit einem in einer Datenbank gespeicherten Parameterverlauf eines Soll-Prozesses.

**[0052]** Gemäß einer weiteren besonderen Ausführungsform kann bei dem Verfahren die Durchführung einer Maximalwertuntersuchung vorgesehen sein.

**[0053]** In einer weiteren besonderen Ausführungsform kann das Vergleichen des Parameterverlaufs mit dem in der Datenbank gespeicherten Parameterverlauf des Soll-Prozesses mittels neuronaler Netze erfolgen.

**[0054]** Ferner kann vorgesehen sein, dass das Verfahren weiterhin den Schritt umfasst:

Bewegen des optischen Moduls in einer Ebene senkrecht zu einer Ebene, in der die Teiglinge angeordnet sind.

**[0055]** Vorteilhafterweise kann außerdem vorgesehen sein, dass das Verfahren zusätzlich den Schritt umfasst:

Rotation des optischen Moduls um mindestens eine Achse.

**[0056]** Weiterhin kann vorgesehen sein, dass die Messdaten eine 3D-Punktwolke umfassen und das Verfahren weiterhin den Schritt umfasst:

Ableiten einer Topologie der Teiglinge aus der 3D-Punktwolke.

**[0057]** Gemäß einer weiteren besonderen Ausführungsform umfasst das Bestimmen von Prozessparametern einzelner Teiglinge aus den Messdaten den Schritt:

Bestimmen mindestens eines Prozessparameters aus der 3D-Punktwolke mittels der Methode der Superquadriken.

**[0058]** Außerdem liefert die Erfindung einen Gärschrank umfassend eine Vorrichtung gemäß einer der beschriebenen Ausführungsformen.

**[0059]** Schließlich liefert die Erfindung einen Backofen umfassend eine Vorrichtung gemäß einer der beschriebenen Ausführungsformen.

**[0060]** Der Erfindung liegt die überraschende Erkenntnis zu Grunde, dass durch die Observation des Prozesses mehrerer Teiglinge anhand des Volumens der Zeitpunkt der optimalen Stückgare bei relativ geringem Kostenaufwand automatisiert bestimmt und das durch die automatisierte Ableitung und einer entsprechenden automatischen Steuerung der Betriebsparameter der Prozesskammer der finale Zustand optimiert werden kann.

**[0061]** Weitere Merkmale und Vorteile der Erfindung ergeben sich aus den beigefügten Ansprüchen und der nachfolgenden Beschreibung, in der anhand der schematischen Zeichnungen mehrere Ausführungsbeispiele der vorliegenden Erfindung beschrieben werden. Dabei zeigt/zeigen:

**Fig. 1** eine perspektivische Ansicht einer Prozesskammer mit einer erfindungsgemäßen Vorrichtung zum Erfassen von Zuständen in der Prozesskammer;

**Fig. 2** eine perspektivische Ansicht einer Anordnung mehrerer Teiglinge in mehreren Ebenen in der Prozesskammer;

**Fig. 3** eine schematische Darstellung einer Ausführungsform der Vorrichtung zur Erfassung von Zuständen von Teiglingen;

**Fig. 4** eine schematische Darstellung der Vorrichtung zur Erfassung von Zuständen von Teiglingen während eines statischen Messprozesses.

**Fig. 5** eine Detailansicht der schematischen Darstellung der Vorrichtung zur Erfassung von Zuständen von Teiglingen von **Fig. 4**.

**[0062]** In der **Fig. 1** ist eine Prozesskammer **10** gezeigt. In der Prozesskammer **10** befindet sich eine Vorrichtung **12** zur Erfassung von Zuständen von Teiglingen **18** nach einer der beschriebenen Ausführungsformen. Die Vorrichtung **12** ist im Innenraum der Prozesskammer **10** befestigt und umfasst eine Positioniereinheit ( $x$ ) und ein optisches Modul **14**, das dazu eingerichtet ist, Messdaten aufzunehmen. Die Messdaten umfassen Entfernungsinformationen und werden ausgewertet, so dass sie einzelnen Teiglingen **18** zuordenbar sind. Das optische Modul **14** kann beispielsweise mindestens einen Laser und/oder mindestens einen optischen Sensor umfassen und ist bevorzugt als ein Laser-Abtastsystem basierend auf einem Ein-Punkt-Laserscanner, beispielsweise auf einem rotierenden Lidar-System, ausgestaltet. Das optische Modul **14** ist mit einer Halterung **16** an der Positioniereinheit ( $x$ ) montiert, die so ausgestaltet ist, dass sie das optische Modul **14** an verschiedene Positionen verbringen kann. Dabei ist die Position des optischen Moduls **14** bevorzugt statisch translatorisch in  $x$  und  $y$  sowie parallel zur Ebene **20**, auf der die Teiglinge **18** liegen (Rotation um  $y$ ) und in einem definierten Rotationswinkel um  $x$  sowie mit translatorischen sowie rotatorischen Freiheitsgraden in Bezug auf die  $z$ -Achse ausgestaltet. Die Teiglinge **18** sind auf einen Gärgutträger **20** in einer Ebene angeordnet. Die Position des Gärgutträgers **20** ist über Schienen **22** innerhalb der Prozesskammer wählbar. Es ist selbstverständlich auch möglich mehrere Gärgutträger **20** innerhalb der Prozesskammer bereitzustellen. Die Vorrichtung **12** umfasst weiterhin ein Datenverarbeitungssystem (nicht gezeigt), das dazu eingerichtet ist, Positions- und Prozessparameter einzelner Teiglinge **18** aus den Messdaten zu bestimmen und Parameterverläufe aus einem zeitlichen Verlauf der Prozessparameter zu ermitteln. Das Datenverarbeitungssystem kann sich innerhalb oder außerhalb der Prozesskammer **10** befinden. Die Übermittlung von Messdaten an das Datenverarbeitungssystem erfolgt vorzugsweise kabellos, beispielsweise durch eine Funkverbindung. Es ist auch möglich das Datenverarbeitungssystem innerhalb der Prozesskammer **10** bereitzustellen und/oder eine Kabelverbindung zwischen dem optischen Modul **14** und dem Datenverarbeitungssystem bereitzustellen.

**[0063]** Fig. 2 zeigt die Anordnung mehrerer Teiglinge **18** auf Gärgutträgern **20** in mehreren Ebenen in Zeilen **24a** bis **24f** und Spalten **26a** bis **26c**. Grundsätzlich kann das optische Modul **14** über die Translationslänge in z-Richtung an unterschiedliche Gärgutträger **20** herangeführt werden. Eine Translation in x-Richtung ermöglicht die Erfassung einzelner Linientopologien über die Teiglinge einer Reihe **26a** bis **26c**. Durch eine Translation in y-Richtung können einzelne Linientopologien über die Teiglinge einer Spalte **26a** bis **26c** erfasst werden. Wenn eine linienspezifische Auswertung nicht hinreichend ist, kann durch eine sinnvolle Überlagerung der translatorischen und rotatorischen Bewegungen komplexere Datenreihen aufgenommen werden und beispielsweise bei einer Rotation des optischen Moduls **14** um die x-Achse unter gleichzeitiger Änderung der z-Position nach jedem Rotationsumlauf bei gleichbleibendem Neigungswinkel um x die Messung von Abstandsinformationen für verschiedene in Zeilen **24a** bis **24f** und Spalten **26a** bis **26c** angeordneten Teiglingen erfolgen.

**[0064]** In Fig. 3 ist eine weitere Ausführungsform der Vorrichtung **12** zur Erfassung von Zuständen in einer Prozesskammer **10** gezeigt. Die Vorrichtung **12** ist an einer Linearführung **16** angeordnet. Die Linearführung **16** ermöglicht ein Verfahren der Vorrichtung **12** in z-Richtung sowie die Rotation der Vorrichtung **12** um die Linearführung **16**. Die Vorrichtung **12** umfasst einen Abstandssensor **14** und einem weiteren Distanzsensoren **34**. Der Abstandssensor **14** kann um die z-Achse rotieren und im Messbetrieb durch abrastern eine 2D-Punktwolke in der x-y-Ebene erzeugen. Diese wird durch die über den Distanzsensoren **34** gemessene Höhe (Z-Achse) um die dritte Dimension erweitert, womit eine Topologie des Innenraums der Prozesskammer **10** generiert werden kann. Der Messbereich des optischen Sensors kann auf einen relevanten Erfassungsbereich eingeschränkt werden, in dem sich die Teiglinge **18** befinden. Eine veränderbare Neigung des Abstandssensors **14** mittels einer Kippvorrichtung ermöglicht eine Erfassung mehrerer hintereinanderliegender Reihen von Teiglingen **18**.

**[0065]** Die Linearführung **16** kann zur Datenaufnahme mehrfach auf der z-Achse auf- und abgefahren werden. Die Fahrgeschwindigkeit wird so gewählt, dass die einzelnen Teiglinge ausreichend häufig erfasst werden um relevante Änderungen im Prozess früh genug zu detektieren, aber dennoch eine Punktwolke mit ausreichend hoher Punktdichte zu erzeugen.

**[0066]** In Fig. 4 ist eine experimentelle Umsetzung eines statischen Messprozesses schematisch dargestellt. Zur Verifikation der Funktionsweise des Verfahrens und der Vorrichtung **12** wurde zunächst eine experimentelle Umsetzung für einen statischen Prozess vorgenommen. Hierfür wurden Salzteiglinge **35** geformt und ausgebacken, die in ihrer Gestalt und Eigenschaften denen realer Teiglinge ähneln. Die Vorrichtung **12** wurde derart vereinfacht, dass ausschließlich das optische Modul **14** in einem definierten Abstand zum Salzteigling **35** an einer Halterung **36** installiert wurde und eine 2D-Punktwolke aufgenommen wurde. Auf Basis dieser Daten wurde die Auswertalgorithmik initial konzeptioniert und umgesetzt. Mit diesem System wurde eine Genauigkeit einer Abstandsmessung von  $\pm 1$  mm bei einem Abstand von 40 cm erreicht.

**[0067]** Fig. 5 zeigt eine experimentelle Umsetzung zur dynamischen Messwerterfassung in einem weiteren Versuchsaufbau. In diesem wird die dreidimensionale Topologie des Innenraums der Prozesskammer **10** mittels Laserstrahlen **38** erfasst. Hierzu wurde die Vorrichtung **12** auf einer in drei zueinander senkrecht stehenden Raumrichtungen X, Y und Z verfahrbaren Vorrichtung montiert und in Richtung der Z-Achse auf und ab bewegt. Die Auswertalgorithmik wurde hinsichtlich der hinzukommenden dritten Dimension erweitert und verifiziert.

**[0068]** Die jeweiligen Sensormesswerte wurden mittels eines Microcontrollers (nicht gezeigt) erfasst und jeder Messpunkt in Form einer dreidimensionalen verfahrbaren Koordinate an ein Datenverarbeitungssystem übertragen. Die zu einem Messschritt gehörenden Punkte wurden in einer Punktwolke gespeichert. Auf diese wurde eine Instanz-Segmentierung angewendet, um die einzelnen Instanzen, in diesem Fall Teiglinge **18**, zu segmentieren.

Es wurden „Standard-Teiglinge“ aus Weizenmehl verwendet. Deren Rezeptur und Herstellung ergibt sich aus der folgenden Tabelle.

Rohstoff	Einwaage [%]	2 Pressen [kg]
Weizenmehl Type 550	100	2,8
Brötchenbackmittel	3	0,084
Backhefe	3	0,084

Rohstoff	Einwaage [%]	2 Pressen [kg]
Salz	2	0,056
Wasser	56	1,568
Gesamt	164	4,592

Aufarbeitung	
Kneten (Spiralkneter)	2 + 6
Gewünschte Teigtemperatur	24°C
Teigruhe	10 Minuten
Abwiegen:	
Pressengewicht	2100 g
Gewicht für Zylinderstandversuch	100 g
Ballengare	10 Minuten

Aufarbeitung für runde Brötchen	
Einstellung Brötchenpresse	21
Runde Brötchen formen/ Brötchen auch eckig gemacht	
Teigeinlage	70 g
Gären	35°C 85% rel. Feuchte
Gären 45 Minuten	

**[0069]** Die segmentierten Instanzen wurden mittels Model-Fittings anhand von Superquadriken nachmodelliert, um eine mathematische Beschreibung dieser zu erhalten und diese zu klassifizieren.

Um den Prozess des Volumenwachstums der Teiglinge **18** zu überwachen und den Zeitpunkt des optimalen Zustandes zu bestimmen, wurden Topographie-Messungen des Prozesskammer-Innenraums und der Teiglinge **18** innerhalb bestimmter Intervalle mittels Laserstrahlen **38** durchgeführt. Die Entwicklung der einzelnen Instanzen wurde analysiert und der Prozessstatus anhand von Vergleichsdaten vorhergesagt.

Es konnte nachgewiesen werden, dass eine automatische Detektion der einzelnen Teiglinge aus den aufgenommenen Messdaten erfolgen kann und der optimale Zustand der Teiglinge anhand des per Laser aufgenommenen und durch Algorithmen ausgewerteten Gradienten des Teigling-Volumens detektierbar ist. Durch Veränderung einzelner Prozessparameter (beispielsweise Prozess mit und ohne Aerosol-Nebel) wurde das Gesamtsystem und die Funktionalität in unterschiedlichen Anwendungsszenarien getestet und die Gültigkeit für mehrere Anwendungsfälle verifiziert. Es konnte eine Messgenauigkeit der Position einzelner Messpunkte von  $\pm 1$  mm erreicht werden.

**[0070]** Die in der vorstehenden Beschreibung und den Ansprüchen offenbarten Merkmale der Erfindung können sowohl einzeln als auch in beliebiger Kombination für die Verwirklichung der Erfindung in ihren unterschiedlichsten Ausführungsformen wesentlich sein.

#### Bezugszeichenliste

- 10** Prozesskammer
- 12** Vorrichtung zur Erfassung von Zuständen von Teiglingen
- 14** optisches Modul
- 16** Linearführung
- 18** Teigling

- 20** Gärgutträger
- 22** Schienen
- 24** Zeile
- 26** Spalte
- 34** Distanzsensor
- 35** Salzteigling
- 36** Halterung
- 38** Laserstrahl

**ZITATE ENTHALTEN IN DER BESCHREIBUNG**

*Diese Liste der vom Anmelder aufgeführten Dokumente wurde automatisiert erzeugt und ist ausschließlich zur besseren Information des Lesers aufgenommen. Die Liste ist nicht Bestandteil der deutschen Patent- bzw. Gebrauchsmusteranmeldung. Das DPMA übernimmt keinerlei Haftung für etwaige Fehler oder Auslassungen.*

**Zitierte Patentliteratur**

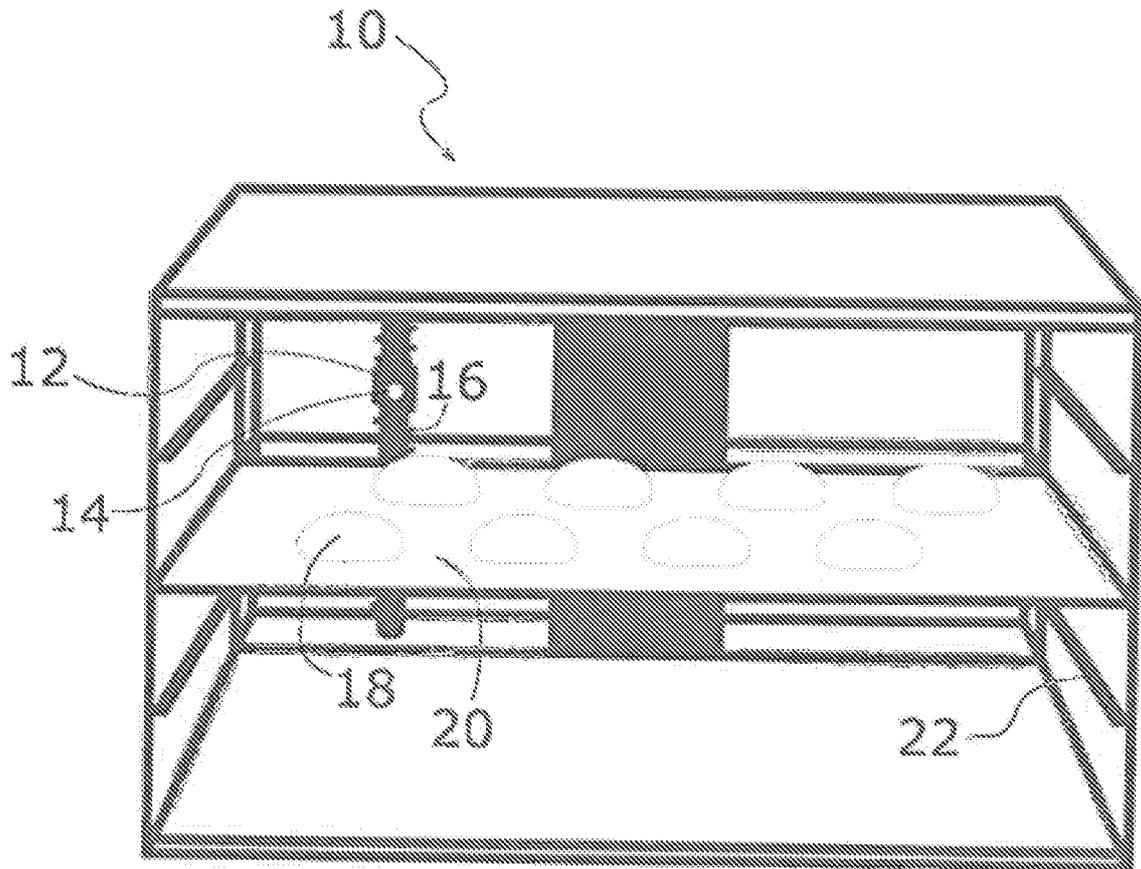
- DE 19831635 A1 [0004]
- US 6077552 A [0005]

### Patentansprüche

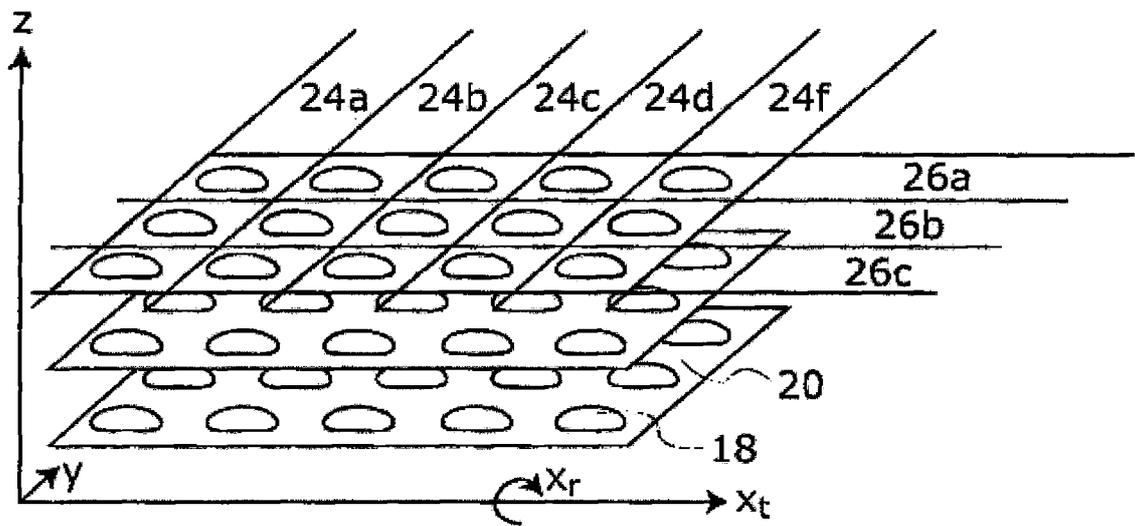
1. Vorrichtung (12) zur Erfassung von Zuständen von Teiglingen (18) in einer Prozesskammer (10) wobei die Vorrichtung (12) umfasst:
  - a) ein optisches Modul (14), das dazu eingerichtet ist, Messdaten, die Entfernungsinformationen umfassen und einzelnen Teiglingen (18) zuordenbar sind, zu ermitteln;
  - b) ein Datenverarbeitungssystem, das dazu eingerichtet ist, Prozessparameter einzelner Teiglinge (18) aus den Messdaten zu bestimmen und Parameterverläufe aus einem zeitlichen Verlauf der Parameter zu ermitteln; und
  - c) ein Steuerungssystem, das dazu eingerichtet ist, Betriebsparameter der Prozesskammer (10) in Abhängigkeit der Parameterverläufe automatisch zu steuern.
2. Vorrichtung (12) nach Anspruch 1, wobei die Vorrichtung (12) weiterhin eine Datenbank mit gespeicherten Parameterverläufen eines Soll-Prozesses umfasst und das Datenverarbeitungssystem weiterhin dazu eingerichtet ist, die aktuellen Parameterverläufe mit den Parameterverläufen in dem Soll-Prozess zu vergleichen.
3. Vorrichtung (12) nach Anspruch 1 oder 2, wobei das Datenverarbeitungssystem weiterhin mindestens ein neuronales Netz umfasst, das dazu eingerichtet ist, eine Instanz-Segmentierung einzelner Teiglinge vorzunehmen.
4. Vorrichtung (12) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei das Steuerungssystem weiterhin dazu eingerichtet ist, die Betriebsparameter auf Basis des Vergleichs der aktuellen Parameterverläufe mit den Parameterverläufen in dem Soll-Prozess zu steuern.
5. Vorrichtung (12) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die Vorrichtung (12) als nachrüstbares System zum Einbau in eine Prozesskammer (10) ausgestaltet ist.
6. Verfahren zur Erfassung von Zuständen von Teiglingen (18) in einer Prozesskammer (10) wobei das Verfahren die Schritte umfasst:
  - a) Bereitstellen von zumindest zwei Teiglingen (18) in der Prozesskammer (10);
  - b) Auslösen eines Prozesses in den Teiglingen (18);
  - c) Ermitteln von Messdaten, die Entfernungsinformationen umfassen und einzelnen Teiglingen (18) zuordenbar sind;
  - d) Bestimmen von Prozessparametern einzelner Teiglinge (18) aus den Messdaten;
  - e) Ermitteln von Parameterverläufen aus einem zeitlichen Verlauf der Prozessparameter;
  - f) automatisiertes Steuern von Betriebsparametern der Prozesskammer (10) in Abhängigkeit der Parameterverläufe.
7. Verfahren nach Anspruch 6, wobei das Verfahren weiterhin den Schritt umfasst:  
Vergleichen eines aktuellen Parameterverlaufs mit einem in einer Datenbank gespeicherten Parameterverlauf eines Soll-Prozesses.
8. Verfahren nach einem der Ansprüche 6 oder 7, wobei die Messdaten eine 3D-Punktwolke umfassen und das Verfahren weiterhin den Schritt umfasst:  
Ableiten einer Topologie der Teiglinge (18) aus der 3D-Punktwolke.
9. Gärschrank umfassend die Vorrichtung (12) nach einem der Ansprüche 1 bis 5.
10. Backofen umfassend die Vorrichtung (12) nach einem der Ansprüche 1 bis 5.

Es folgen 5 Seiten Zeichnungen

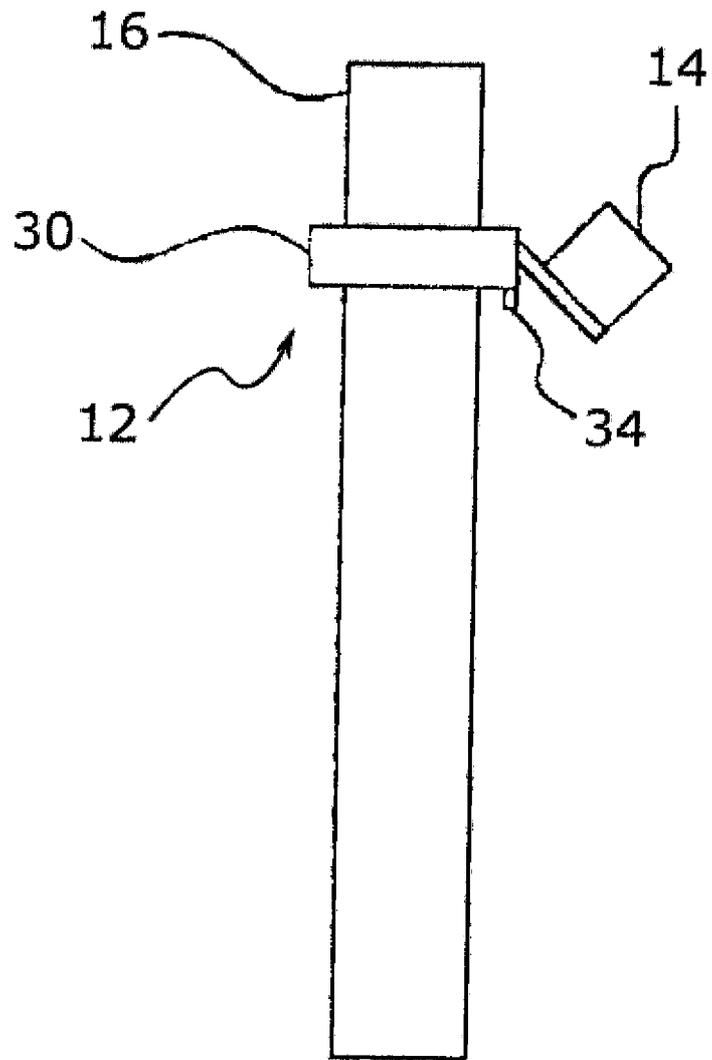
Anhängende Zeichnungen



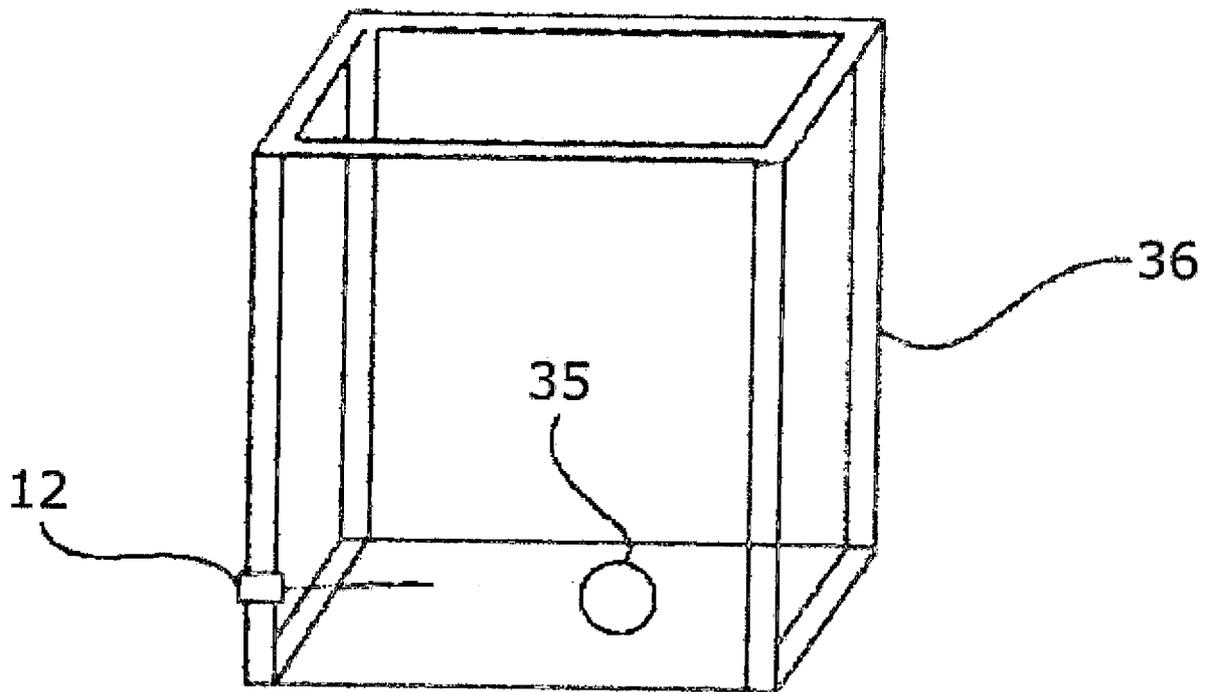
Figur 1



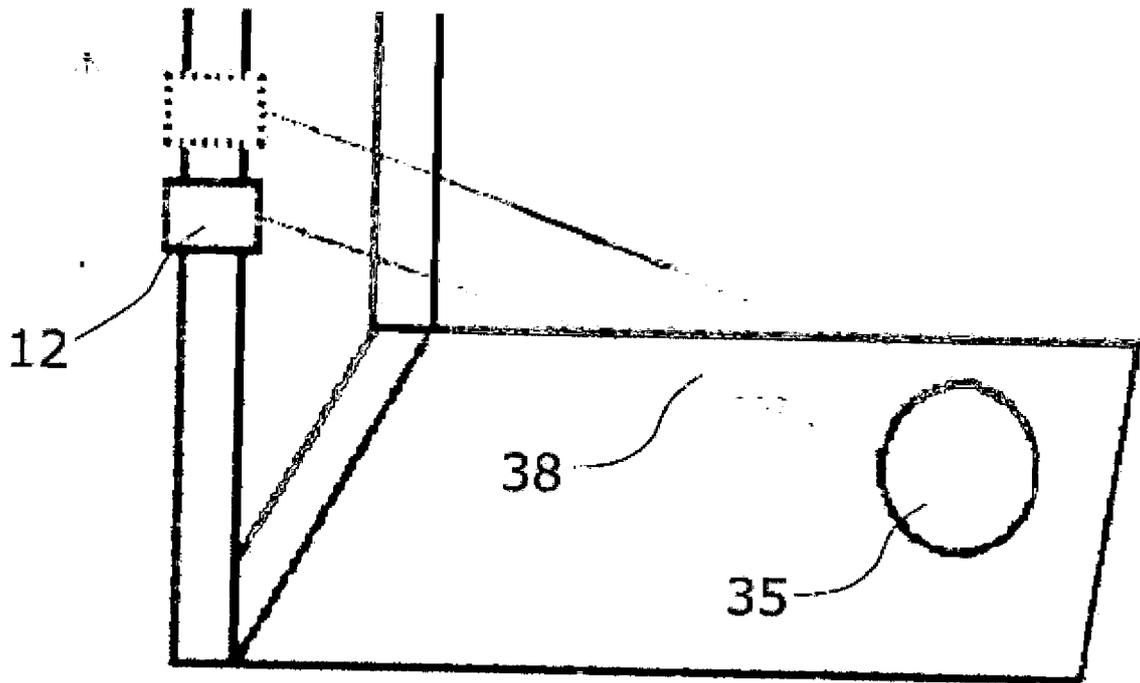
Figur 2



Figur 3



Figur 4



Figur 5