



Europäisches Patentamt
European Patent Office
Office européen des brevets

Veröffentlichungsnummer:

**0 400 329
A2**

EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG

Anmeldenummer: 90108010.1

Int. Cl.⁵: **B28B 1/50**

Anmeldetag: 27.04.90

Priorität: 27.05.89 DE 3917282

Veröffentlichungstag der Anmeldung:
05.12.90 Patentblatt 90/49

Benannte Vertragsstaaten:
AT ES FR GB IT

Anmelder: LORO HOLDING K.H. Vahlbrauk KG
Kriegerweg 1
D-3353 Bad Gandersheim(DE)

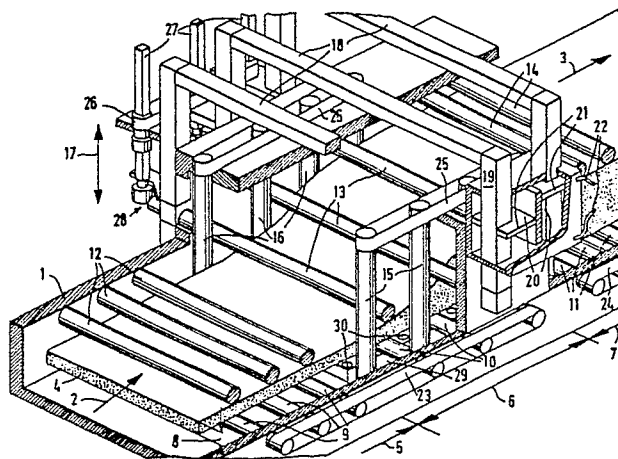
Erfinder: Vahlbrauk, Wolfgang
Kriegerweg 6
D-3353 Bad Gandersheim 1(DE)

Vertreter: Sobisch, Peter, Dipl.-Ing. et al
Patentanwälte Dipl.-Inge. Röse, Kosel &
Sobisch Odastrasse 4a Postfach 129
D-3353 Bad Gandersheim 1(DE)

Verfahren und Vorrichtung zur Herstellung von grossformatigen porösen Formkörpern geringer Dichte durch Blähen.

Zur Herstellung von großformatigen porösen grobkeramischen Formkörpern geringer Dichte wird eine tonmineralische Masse aus natürlich blähfähigen oder blähfähig gemachten Stoffen, wie Basalte, Perlite, Schiefer und Tonen mittels thermischer, chemischer und mechanischer Behandlung gleichmäßig gebläht. Es werden plattenförmige getrocknete und gegebenenfalls vorgewärmte dünne kompakte Tonmassen seitlich und nach unten geometrisch unachgiebig, nach oben gemäß dem Verlauf des Blähens geometrisch veränderlich nachgiebig formschlüssig aber nach allen Seiten gasdurchlässig durch Rollen abgestützt, sowie nach hinten durch die mittels Reibschluß gehaltene ungeblähte und nach vorn durch die mittels Reibschluß gehaltene fertig geblähte Tonmasse allseitig abgestützt, durch Wärmezufuhr von oben und unten zwischen den und über die Rollen und unter Zufuhr von oxidierenden Gasen an die Oberflächen der plattenförmigen Tonmassen solange erwärmt und gebläht, bis ein plattenförmiger Formkörper der gewünschten geringen Dichte gebildet ist. Erreicht werden auf diese Weise eine hohe Geschwindigkeit und Gleichmäßigkeit der Erwärmung beim Blähvorgang ohne Ansintern der blähenden Tonmasse an der Vorrichtung, eine hohe Formstabilität der Tonmasse während des Blähens bei geringem Kraftaufwand für die Formgebung und

den Transport der blähenden Tonmasse und damit großformatige Formkörper mit gleichmäßig geringer Dichte sowie gleichmäßiger und hoher Porosität, Festigkeit und Formgenauigkeit sowie eine wirtschaftliche Herstellbarkeit.



EP 0 400 329 A2

Verfahren und Vorrichtung zur Herstellung von großformatigen porösen Formkörpern geringer Dichte durch Blähen

Die Erfindung bezieht sich auf ein Verfahren gemäß dem Oberbegriff des Anspruchs 1.

Es geht hierbei um ein Verfahren zur thermischen, chemischen und mechanischen Behandlung einer tonmineralischen Masse, bei welchem eine Keramisierung und Verringerung der Dichte der Masse durch Blähen vollzogen wird, um großformatige zellkeramische Bauelemente, z.B. geschosshohe Wandelemente mit geringem Gewicht herzustellen. Als Massen kommen hauptsächlich Basalte, Perlite, Schiefer und Tone in Betracht.

Es wurde vorgeschlagen in die endgültigen äußeren Abmessungen des Formkörpers vorgeformte Tonmassen einzusetzen und ausschließlich mit Unterstützung durch eine Vorrichtung von unten ohne weitere äußere Abstützung durch eine Vorrichtung zu blähen, wobei die Tonmasse in die inneren Freiräume der Tonmasse blähen soll. So wird in der deutschen Patentschrift 22 16 463 vorgeschlagen, in Blockform vorgeformte Tonmassen auf Ofenwagen in einem Doppeltunnelofen zu blähen. In der DE-OS 36 35 672 und DE-OS 36 21 845 A1 wurde vorgeschlagen mit Kanälen durchgezogene Formkörper in einem Schnellbrand-Herdwagenofen zu brennen und die Kanäle des Formkörpers durch Blähen zu füllen. Wird eine entsprechend den Abmessungen des endgültigen Formkörpers vorgeformte Tonmasse eingesetzt, so dauert infolge der großen Abmessungen des Körpers die Erwärmung der Tonmasse auf die zum Blähen erforderliche Temperatur sehr lange, was einen großen Energie- und Vorrichtungsaufwand bedeutet. Zudem ist bei den genannten Verfahren infolge mangelnder Abstützung der blähenden Tonmasse durch die Vorrichtung nach oben und nach den Seiten eine hinreichende Formtreue der erweichenden Tonmasse nicht gewährleistet.

Daneben ist aus der DE-AS 1 942 524 ein Verfahren zur Herstellung thermisch geschäumter Formteile bekanntgeworden, bei dem das Material zunächst zu Formkörpern wie Platten, Stränge und dergleichen vorgeformt und dann mit Hilfe eines Luftkissens durch einen Durchlaufofen transportiert und gleichzeitig aufgeschäumt wird. Der Luftkissen-transport ist jedoch sehr energie- und vorrichtungsaufwendig, da ständig Gasströme mit hoher Temperatur, hohem Druck und bestimmter Zusammensetzung erzeugt werden müssen.

Es sind Verfahren bekannt, bei denen vorgeblähtes Granulat ohne gleichzeitige Erwärmung zu einem Formkörper geformt werden soll. So wurde ein Verfahren vorgeschlagen (DE-AS 11 81 611), Bausteine herzustellen, indem Ton in Teilchen gebracht, erhitzt wird und die auf diese Weise behan-

delten Teilchen zu Formkörpern verpresst werden. Gemäß US-PS 32 74 309 und DE-AS 1 151 460 erfolgt die Formgebung ebenfalls, indem hinreichend aufgeheiztes Granulat ohne weitere Wärmezufuhr durch einen Stempel in einer Einzelform verdichtet wird. In der DE-AS 23 14 297 wurde die Herstellung eines Stranges in einer Strangpressform vorgeschlagen. Auch ist bekannt, das Material am Fuße einer vertikalen Materialsäule durch das Eigengewicht der Schüttkörpersäule verpressen zu lassen (US-PS 18 92 583), und durch Presswalzen zu einem kontinuierlichen Strang auszuwalzen.

Bei allen genannten Verfahren ist die Formgebung bedingt durch den Pressvorgang und weil keine weitere Wärmezufuhr zum Gut erfolgt, mit unvermeidlicher Beeinträchtigung des inneren Gefüges und mit ungleichmäßiger Verdichtung des Formkörpers verbunden.

Es wurden Verfahren vorgeschlagen, bei denen der Formkörper gebildet wird, indem das Schüttgut schichtweise aufgetragen wird unter direkter Einwirkung von Wärme auf die jeweils obere Schicht schichtweise aufgesintert und gegebenenfalls gebläht wird. Dabei fallen die Teilchen (DE 21 24 146 C2) auf auf hintereinander aneinander gereihte Tunnelofenwagen oder ein Förderband und werden gesammelt, wobei sich die Dicke der entstehenden Schicht nach der Laugeschwindigkeit des Förderbandes richten kann. Da die Oberfläche der Teilchen klebrig ist, wenn sie auf das Förderband auftreffen, werden sie miteinander verklebt oder verschmoizen (DE-AS 14 71 408). Dadurch, daß die zuunterstliegende Schicht eine sehr viel längere Wärmebehandlungszeit erfährt als die oberste Schicht, ist bei diesem Verfahren mit starken Ungleichmäßigkeiten im Körper zu rechnen, insbesondere dann, wenn gleichzeitig mit der Formgebung das Blähen erfolgt und mit einer zu großen Vorrichtung infolge zu geringer Wärmeübertragungsfläche im Verhältnis zur Menge der zu behandelnden Tonmasse.

Es sind Verfahren bekannt, bei denen die Formgebung mit gleichzeitiger Erwärmung des Formlings erfolgt und bei denen ein Freischäumen von Schüttungen vorgenommen wird, also eine äußere Volumenvergrößerung der Schüttung, ein Schließen des Lückenvolumens in der Schüttung und Sintern der Teil-Massen, aus denen die Schüttung besteht, gleichzeitig vollzogen werden. So wurde vorgeschlagen, Granulate in Einzelformen gefüllt mittels Wärmezufuhr über die Formwandungen ohne gesteuertes Einbringen von Gasen aufzuheizen und zu einem Körper zu sintern (DE-PS 22 16 463, DE-OS 2 147 645). Bei der Aufheizung des

Haufwerks lediglich durch Wärmezufuhr von außen über die Begrenzungsflächen des Haufwerks, insbesondere ohne Einbringung von Heizgasen, sind nachteilig lange Behandlungszeiten des Gutes im Formbereich erforderlich. Da die Wärmezufuhr in diesem Fall nur sehr langsam erfolgen kann, ist, wenn die Formgebung durch Sintern und Blähen der Teilchen erfolgt, die Anzahl der verwertbaren natürlich blähfähigen Rohstoffe gering, da bei langsamer Aufheizung nur wenige Rohstoffe geeignet blähen. Den Verlust an Blähvermögen durch zu langsame Erwärmung der Tonmasse sucht man gemäß DE-AS 26 04 793 durch Zusatz bestimmter Schäumhilfsmittel zu bekämpfen, die bei Erwärmungszeiten von bis zu 180 Minuten und Erwärmungsgeschwindigkeiten von 2° C pro Minute einsetzbar sind. Der Energieaufwand bei diesem Verfahren ist infolge geringer Beschickungsdichte durch Gut geringer Dichte, großes Brennformvolumen und große erforderliche Abmessungen der Behandlungsvorrichtung, sowie durch Verschleiß und hohen Preis der mit dem Gut zu bewegenden Einzelformen sehr hoch. Eine Steigerung der Geschwindigkeit der Erwärmung hat eine erhebliche Temperaturdifferenz zwischen der Rand- und der Kerntemperatur der Schüttung zur Folge, woraus ein im Kernbereich der Schüttung stark verzögertes Blähen oder gar nicht einsetzendes Blähen und damit zusammenhängend eine inhomogene Porengrößenverteilung folgt. Eine wesentliche Ursache für die Ungleichmäßigkeit der Dichteverteilung in zellkeramischen Körpern, die bei Blähen und Sintern der Schüttungspartikel mit Zunahme der äußeren Abmessungen der Schüttung und Zublähen des Lückevolumens auftritt, ist die Tatsache, daß das Blähen bei Wärmezufuhr zur Schüttung über die äußeren Abmessungen der Schüttung ohne Durchströmung in den Randzonen und Eckzonen der Schüttung beginnt und das in den Rand- und Eckzonen geblähte Material sich in den Freiraum oberhalb der Schüttung ausdehnt. Da dorthin bereits Material mit geringer Dichte gebläht ist, kann dann das später blähende Material aus der Kernzone mit hoher Dichte sich nicht mehr ausdehnen, mit der Folge, daß ungleichmäßige Dichteverteilung im Block entsteht. Die Ungleichmäßigkeit des Blähens sucht man gemäß DE-PS 29 41 370 C2 zu kompensieren, indem das Haufwerk vor dem Brennen inhomogen verdichtet wird, wobei die Randbereiche stärker als der Kernbereich verdichtet werden und der durch die stärkere Verdichtung entstehende freie Raum mit einer weiteren Haufwerkschüttung ausgefüllt wird. In der DE-OS 34 17 851 A1 wird vorgeschlagen, hoch poröse keramische Formkörper mit gleichmäßigem Gefüge dadurch zu erzielen, daß die gekörnten und getrockneten Rohstoffe in gegen die Außenatmosphäre von Anfang an abgeschlossenen Kapselräumen mit gesteu-

tem Überdruck bis zum Aufschäumen gebrannt werden. Gemäß DE-OS 35 38 783 wird vorgeschlagen poröse keramische Formkörper mit im wesentlichen gleichmäßiger Porenverteilung infolge gleichmäßigen Aufblähens des getrockneten und vorgeformten Rohmaterials dadurch zu erreichen, das als vorgeformtes Rohmaterial ringförmige oder hohlzylindrische Presslinge verwendet werden, deren Materialvolumen 40 bis 60% des Innenraumes der Form vor dem Erhitzen einnimmt. Insbesondere die Stärke der erforderlichen Volumenvergrößerung, die bis zu einer Verfünffachung des Volumens der Tonmasse und somit beim Blähen von Schüttungen des Volumens der einzelnen Schüttungspartikel führen kann, um von der hohen Dichte des natürlichen Tones zu derjenigen des herzustellenden Blockes geringer Dichte zu gelangen, hat beim Freischäumen unvermeidbar ungleichmäßige Volumenvergrößerung durch gegenseitige Behinderung der Schüttungspartikel in thermischer, mechanischer und gegebenenfalls strömungsmechanischer Hinsicht zur Folge und damit eine ungleichmäßige Dichte und Formstruktur des herzustellenden Produktes.

Im EP 87 114 811.0 (0 291 572 A1) wird vorgeschlagen Pellets auf ein umlaufendes Förderband zu geben, mittels Wärmezufuhr ohne gesteuerte Einbringung von Gasen zu erwärmen und in festen äußeren Abmessungen durch ein oberes niederhaltendes Förderband unter Gegendruck zu schäumen.

Die Schwierigkeiten der Verfahren, bei denen das Sintern der Schüttungspartikel mit Erwärmung über die äußere Oberfläche der Schüttung ohne Gasdurchströmung und gleichzeitig mit dem Schließen des Lückenvolumens und der äußeren Volumenvergrößerung oder auch mit gleichbleibendem äußeren Volumen der Schüttung erfolgt, wie beim letztgenannten Verfahren, sind zusammenfassend insbesondere infolge der langen Wärmeübertragungswege so grundsätzlich, daß deren Überwindung auch mit den vorgeschlagenen zusätzlichen Maßnahmen nicht möglich ist. Obgleich im Labormaßstab kleine Blöcke durch gleichzeitiges Blähen und Sintern der Schüttungspartikel mit gleichzeitiger Volumenvergrößerung der Schüttung erfolgreich hergestellt wurden, wobei gegen Ende des Blähvorgangs die blähende Tonmasse auf einen allseitig unnachgiebigen Widerstand gegen das Blähen mit der Folge eines starken Druckaufbaus in der Tonmasse traf, ist daher das gleichzeitige Blähen und Sintern der Schüttungspartikel mit gleichzeitiger Volumenvergrößerung der Schüttung, das als freies Schäumen oder freies Blähen bezeichnet werden kann, als Verfahren im großtechnischen Maßstab ungeeignet.

Die Wärmezufuhr zur Erzielung des Blähens könnte gemäß DE-OS 25 48 387 auch im Wege

dielektrischer Erwärmung erfolgen. Insbesondere da keramische Prozesse mittels Zufuhr dielektrischer Energie technisches Neuland sind, ist das verfahrenstechnische und vorrichtungstechnische Risiko bei diesem Verfahren sehr hoch.

Bekannt sind Verfahren zur Herstellung von Formkörpern in einer Form mittels Aufheizung durch im Haufwerk erfolgende Verbrennung (DE-AS 19 51 460, DE 25 37 508). Diese Verfahren weisen jedoch den Nachteil auf, daß mit ihrer Hilfe keine Leichtbausteine hoher Porosität hergestellt werden können und daß die Qualität und damit die Verwendungsmöglichkeiten des so erzeugten Materials wegen der unvermeidlichen Einschlüsse von Verbrennungsrückständen und schwer steuerbarer Temperaturführung empfindlich beeinträchtigt werden. Um bei der Verbrennung im Haufwerk die Verbrennungstemperatur auf die erforderliche Bläh-temperatur zu senken, muß mit starkem Sauerstoff-überschuß verbrannt werden. Hoher Sauerstoffgehalt der Gase behindert jedoch den Sinterprozeß und das Blähen infolge Verkrustung in zu starkem Maße. Die Verbrennung im Haufwerk führt darüber hinaus zur allge meinen Störung der intergranula-ren Atmosphäre.

In der DE-PS 19 14 372 wird ein Verfahren beschrieben, bei dem aus blähfähigen Granulaten etwa einheitlicher Größe zunächst ein in seinen Abmessungen dem herzustellenden Formkörper angepaßter, allseitig unnachgiebig abgestützter Schüttkörper gebildet wird, der sodann abwechselnd von gegenüberliegenden Seiten kurzzeitig bis zum Erreichen eines plastisch bindefähigen Oberflächenzustandes aller Granulate mit hoch erhitztem Gas durchblasen wird. Nachteilig wirkt sich bei diesem Verfahren aus, daß hinreichende Gleichmäßigkeit der thermischen Behandlung und Aufheizgeschwindigkeit des Gutes bei der Durchströmaufheizung einer Schüttung nur mit unwirtschaftlich hoher Strömungsgeschwindigkeit erzielbar ist, insbesondere auch weil das durch das Blähen bedingte Schließen des Lückenvolumens der Schüttung erheblichen Druckanstieg zur Aufrechterhaltung der Strömung erforderlich macht. Weiterhin stören die die Schüttung durchströmenden Gase die Ausbildung einer in den Partikeln und zwischen den Partikeln gleichen Gaszusammensetzung und beeinflussen das Schüttgut thermisch und chemisch, insbesondere hinsichtlich Reduktion oder Oxidation der Partikelschalen, in dessen Randzonen anders als in dessen Kernzone, was zu ungleichmäßiger Produktqualität führt. Die heißen, von außen eingeführten Gase heizen zuerst die Vorrichtung auf, was zu Vorrichtungsüberhitzung und damit Ankleben des Gutes an den Vorrichtungen führen kann. Neben mangelnder gleichmäßiger Einbringbarkeit der Gase in das Haufwerk, verbunden mit der Kürze der erforderlichen Behandlungszeit, treten starke

thermische und chemische Zustandsänderungen des Gases längs seines Strömungsweges im Haufwerk auf. Die so bedingte Ungleichmäßigkeit von Temperatur und chemischer Zusammensetzung der Gase im Haufwerk verursacht von Überbrand bis zu mangelnder Bindung einzelner Schüttungspartikel reichende örtliche Qualitätsschwankungen im hergestellten Gut. Es hat sich gezeigt, daß die Einbringung von Gasen in das Haufwerk zum Zwecke der Wärmezufuhr zum Haufwerk während der Formgebung mittels Verbrennung im Haufwerk oder mittels Heißgasdurchströmung zwar die Aufheizgeschwindigkeit des Gutes erheblich zu erhöhen vermag, die Geschwindigkeit jedoch noch zu gering ist und insbesondere die Behandlung zu ungleichmäßig erfolgt.

Wesentliche Mängel weisen die Verfahren nach dem Stand der Technik hinsichtlich thermischer, chemischer und mechanischer Behandlung der Tonmasse auf, mit nachteiligen Folgen für Vorrichtungsaufwand, Energieaufwand, Produktqualität und Verfahrenssicherheit, insbesondere im Zusammenhang mit Erwärmung, Form, Abstützung, Anbacken und Bewegung der Tonmasse.

Hinsichtlich der Erwärmung der Tonmasse ist festzustellen, daß die Tonmasse nicht schnell genug erwärmt wird, weil der Wärmestrom einen zu großen Wärmetransportwiderstand auf dem Weg in die Tonmasse überwinden muß oder weil Wärme auf dem Weg dorthin in anderen Massen wie Brennformmassen gespeichert wird und sie in diesen nicht an die Tonmasse weitertransportiert wird und weil die Energiestromdichte oder auch Energieumsetzungsdichte in der Umgebung der Tonmasse oder auch Brennformmasse nicht hoch genug ist. Wärme wird in parallel mit der Tonmasse bewegten Vorrichtungsteilen gespeichert, z.B. in parallel mit der Tonmasse bewegten starren Brennformen oder in Raupenkettengliedern und Bändern, was zudem hinsichtlich des Energieaufwandes eine Erhöhung der Wärmeenergiekosten durch erhöhte Speicherwärmeverluste zur Folge hat. Der Wärmetransportwiderstand ist zu groß, wenn der Wärmetransportweg in der Tonmasse zu lang ist, z.B. weil die Tonmasse bereits vor der Erwärmung durch Kaltschäumen vergrößert wurde und sich der Wärmetransportweg nicht erst während der Erwärmung durch Blähen verlängert, oder wenn der Wärmetransportwiderstand um die Tonmasse herum zu hoch ist, weil sie von einer starren Brennform umgeben ist. Mangelhafte thermische Behandlung aufgrund zu langsamer Erwärmung mindert die Raum-Zeit-Ausbeute und hat zur Folge, daß die erforderliche Vorrichtung zu groß und folglich der Vorrichtungs- und der Energieaufwand zu hoch ist, infolge zu hoher Wärmeenergiekosten durch zu große Wandwärmeverluste. Die erwärmungsartbedingten Energiekosten sind zu hoch, aufgrund zu

hoher Wärmeenergiekosten infolge zu großer Gaswärmeverluste durch zu große Abgasmenge oder zu hohe Abgastemperatur oder durch zu große Elektroenergiekosten infolge Erwärmung mittels der kapazitiven Elektrowärme mit hohen Umwandlungsverlusten, wobei diese Erwärmungsart bei hohen Temperaturen zusätzlich mit hohem Innovationsrisiko verbunden ist, oder aufgrund einer Heißgasdurchströmung der Tonmasse mit großen Strömungswiderständen.

Hinsichtlich der Form der eingesetzten Tonmasse ist festzustellen, daß diese in der kalten Formgebung entweder als kompakte Tonmasse geformt wird oder unterteilt wird, z.B. in der Form mehrerer einzelner Teil-Tonmassen, die z.B. zu einem Schüttkörper vereinigt sind, oder in der Form einer mit Kanälen durchzogenen Tonmasse oder eine kaltgeschäumten porösen Tonmasse.

In der DE-OS 28 14 315 wird zur Herstellung eines silikatischen Werkstoffs ein Stoffgemisch vorgeschlagen, das durch Zusatz eines weiteren Stoffes bei Zimmertemperatur einen Schaum bildet, der dann gebrannt werden soll. Wird die Tonmasse bereits in der kalten Formgebung entsprechend den äußeren Abmessungen des endgültigen Formkörpers vorgeformt und wird der Tonmasse, z.B. indem sie durch Kaltschäumen entsteht oder durch Zumengen von während des Brennens ausbrennenden Stoffen Porosität verliehen, so ist die Grenze erreicht, an der das Brennen nicht mehr als Brennen mit Blähen zu bezeichnen ist, sondern als einfaches Brennen und ist damit nicht mehr Gegenstand des hiesigen Verbesserungsvorschlags.

Die Bildung eines gleichmäßigen Formkörpers durch Blähen einer kompakten Tonmasse wird nach dem Stand der Technik lediglich in der Form vorgeschlagen, daß entweder eine feste Unterlage oder ein Luftkissen als Unterstützung der blähenden Tonmasse benutzt wird - eine Abstützung in weiteren Richtungen wird nicht erwähnt.

Die Bildung eines gleichmäßigen Formkörpers durch Blähen einer unterteilten Tonmasse ist nach dem Stand der Technik als üblich aber nachteilig zu bezeichnen:

Wird die Masse vorgebläht, wird also im Fall der Unterteilung der Tonmasse in einzelne Teil-Tonmassen das Blähen teilweise oder ausschließlich vor dem notwendigen Sintern der Teil-Tonmassen zu ihrer Wiedervereinigung zu einer ganzen Tonmasse vorgenommen, also vor dem Sintern von Flächen der einzelnen oder zusammenhängenden Teiltonmassen durchgeführt, (so werden die Oberflächen der Teil-Tonmassen zu deren Stabilisierung, zur Bildung einer festeren Schale und um die Oberfläche unklebrig zu machen, oxidiert. Man versucht, die Teil-Tonmassen, die infolge der Oxidation ihrer Oberflächen eine verringerte Sinterfähigkeit aufweisen, ohne Druck, mit der Folge einer

sehr geringen Festigkeit des Produktes oder durch Blähdruk mittels weiterer Erwärmung in einer Brennform oder durch von außen aufgetragenen Pressdruck zu versintern, was geringe Gleichmäßigkeit durch innere Verformung während des Pressens, zu hohem Formgebungskraftaufwand und Formgebungsenergieaufwand und zu geringer Festigkeit des Produktes durch mangelhafte Sinterung zur Folge hat.

Die Abstützung der blähenden Tonmasse erfolgt sowohl beim Blähen einer nicht vorgeblähten als auch beim Blähen und Sintern einer vorgeblähten Tonmasse in nachteiliger Weise.

Wird die unterteilte Tonmasse so vorgebläht oder so kaltgeformt, daß sie bereits vor dem Blähen oder Fertigblähen die äußeren Abmessungen des Produkt-Formkörpers aufweist, so erfolgt insbesondere bei allseitiger Abstützung der Tonmasse, falls die Tonmasse in der Form einer Schüttung vorliegt, ausschließlich das zur Schließung des Lückenvolumens erforderliche Blähen mit gleichzeitigem Sintern und es erfolgt die Volumenvergrößerung gleichmäßig, da der größte Teil der Volumenvergrößerung der Schüttungspartikel vollzogen werden kann, während gezielt ihre gegenseitige Behinderung verhindert wird und die somit gleichmäßig geblähten Schüttungspartikel in vorgeordneter gleichmäßiger räumlicher Dichteverteilung in den Abmessungen des zu erstellenden Blockes zusammengeführt werden, wobei selbst eine etwaige ungleichmäßige Volumenvergrößerung beim Blähen zum Schließen des Lückenvolumens die vorgeordnete gleichmäßige räumliche Dichteverteilung nicht mehr wesentlich zu beeinträchtigen vermag. Während des Blähens baut sich jedoch infolge allseitig unnachgiebiger Abstützung starker Druck in der Tonmasse auf. Mit zunehmendem Druck nimmt insbesondere die Anbackneigung der blähenden Tonmasse an der Vorrichtung zu.

Wird die unterteilte Tonmasse nicht vorgebläht oder so kaltgeformt, daß sie vor dem Blähen oder Fertigblähen kleinere äußere Abmessungen als der Produkt-Formkörper aufweist, so bläht die Tonmasse frei nach außen, weil keine allseitige Abstützung der blähenden Tonmasse erfolgt. So erfolgt das Blähen zu ungleichmäßig, weil die warme Formbildung der Tonmasse zu unkontrolliert und mit zu geringem Druck erfolgt. Gegendruck erst am Ende des Blähens durch eine allseitig unnachgiebige starre Abstützung zur nachträglichen Vergleichmäßigung der Masseverteilung innerhalb des Formkörpervolumens ist nicht im erforderlichen Maße möglich und mit zu hohem Druck zwischen Tonmasse und Vorrichtung verbunden.

Das Blähen einer unterteilten also nicht kompakten Tonmasse erfolgt sowohl beim Blähen einer nicht vorgeblähten als auch beim Blähen und Sintern einer vorgeblähten Tonmasse zu einem groß-

formatigen Formkörper insbesondere bei unveränderlichen äußeren Abmessungen der Tonmasse zu schwach und insbesondere bei veränderlichen äußeren Abmessungen der Tonmasse zu ungleichmäßig, weil die Behandlung, insbesondere die Erwärmung einer nicht kompakten Tonmasse zu langsam oder zu ungleichmäßig erfolgt. Wird die Erwärmung einer nicht kompakten Tonmasse, insbesondere ohne Durchströmung, schneller vollzogen, so daß weniger Blähvermögen verlorengeht, so erfolgt sie zu ungleichmäßig, so daß bei nicht vorhandener oberer Wandung oder der Deckel der Brennform eine ungleichmäßige Dichteverteilung im Formkörper oder ungleichmäßige äußere Abmessungen des Formkörpers entstehen.

Das Anbacken der Tonmasse an der sie führenden Vorrichtung wird nicht oder mit zu hohem Aufwand verhindert. Man versucht das Anbacken der Tonmasse an der Vorrichtung infolge während des Blähens von innen reduzierter äußerer Oberfläche der Tonmasse bei hoher Temperatur durch Trennmittel zwischen Tonmasse und Vorrichtung, wie Graphit, Sand, Druckgase oder durch angeblich nicht anbackendes Vorrichtungsmaterial, wie Magnesium-Oxid, Magnesium-Chromit o.ä., oder durch Gasdüsenflächen zu verhindern oder durch Formgebung mittels verlörener Schalung unschädlich zu machen, was einen zu hohen Vorrichtungsmaterial-, Energieaufwand für Gasdüsenströmung oder Aufwand an Roh-, Hilfs- und Betriebsmitteln zur Folge hat oder durch Kalthalten der Vorrichtungsflächen die mit der blähenden Masse in Berührung kommen und Erwärmung von innerhalb der Tonmasse durch Erwärmung mittels induktiv, kapazitiv oder konduktiv in der Tonmasse erzeugter Elektrowärme, die zu erzeugen jedoch hohen Vorrichtungs- und Energiekostenaufwand bedeutet, zu verhindern.

Die warme Formgebung erfolgt mit zu großer Formgebungskraft, als Folge zu großer Haft- oder Reibungskraft durch zu hohen Druck auf die Berührungsfläche zwischen Tonmasse und Vorrichtung von innen oder außen und damit für die Bewegung der Tonmasse zu hoher erforderlicher Kraft- oder Energieaufwand.

Entscheidende Nachteile der bekannten Verfahren sind damit in der zu langsamen oder zu ungleichmäßigen Erwärmung und auch zu ungleichmäßigen chemischen Beeinflussung während des Blähprozesses mit der Folge hohen Blähgasverlustes und damit zu hoher Dichte und zu ungleichmäßiger Dichte des zellkeramischen Formkörpers und mangelhafte Festigkeit des Formkörpers infolge mangelhafter Versinterung bei zu versinternden Schüttungspartikeln einerseits zu sehen und andererseits in zu hohem Energieaufwand (durch unzureichenden Wärmenutzungsgrad als Folge verfahrenstechnisch und anlagentechnisch

unzulänglich geführter Wärmeströme, insbesondere Heißgasströme) sowie der Gefahr des Anbackens der blähenden Tonmasse an der Vorrichtung und der mangelnden Formstabilität der weichen Tonmasse während des Bläh- und ggf. Sintervorgangs.

Zusammenfassend kann gefolgert werden, daß sich die Herstellung von großformatigen porösen keramischen Formkörpern geringer Dichte mittels Erwärmung und Blähens der Tonmasse wegen der erforderlichen Geschwindigkeit und Gleichmäßigkeit der Erwärmung beim Blähvorgang, der Anbackgefahr und der mangelnden Formstabilität der Tonmasse während des Blähens nach dem Stand der Technik, insbesondere soweit er durch Bildung von Schüttungen und deren Blähens und die Notwendigkeit des Sinterns der Schüttungspartikel aneinander gekennzeichnet ist, als ein nicht lösbares Problem erwiesen hat, so daß großformatige Formkörper mit gleichmäßig geringer Dichte sowie gleichmäßiger und hoher Porosität, Festigkeit und Formgenauigkeit bisher nicht wirtschaftlich herstellbar waren.

Es ist die Aufgabe der Erfindung, ein Verfahren und eine Vorrichtung zur Herstellung von Formkörpern der eingangs genannten Art zu konzipieren, bei welchem unter Vermeidung der dem Stand der Technik anhaftenden Nachteile der Blähvorgang in kürzester möglicher Zeit durchgeführt werden kann und die eingesetzte tonmineralische Masse eine gleichmäßige und schnelle thermische, chemische und mechanische Behandlung mit geringstmöglichem Formgebungsaufwand und Transportaufwand ohne Sintern erfährt.

Gelöst wird diese Aufgabe im wesentlichen durch die Merkmale des Kennzeichnungsteils des Anspruchs 1.

Gegenüber allen bekannten Verfahren löst das erfindungsgemäße Verfahren das hochkomplexe Problem, den Blähvorgang während der Formgebung in prozeßnotwendig kürzestmöglicher Zeit mit definierter Qualität über dem gesamten Gutquerschnitt gleichmäßig durchzuführen, welches zugleich Voraussetzung für eine wirtschaftliche Massenproduktion hochwertiger zellkeramischer Formkörper ist und sich nach dem bekannten Stand der Technik als ein nicht lösbares Problem erwiesen hat.

Das erfindungsgemäße Verfahren erlaubt erstmalig die günstigen Blähergebnisse, die an kleinen Blähkörpern im Labor-Kammerofen unter den dort herrschenden für den Blähprozeß nahezu idealen stoff- und wärmetechnischen Bedingungen erzielt werden, nunmehr auch in dem vorgeschlagenen großtechnischen kontinuierlichen Strang-Herstellungsprozeß zu realisieren, indem die Tonmasse als kompakte Masse in Form einer dünnen Plattenform vorliegt, die durch kurze Wärmeleitwege und

große Wärmeübertragungsflächen und durch einfache Geometrie schnell und gleichmäßig erwärmbar ist und damit stark und gleichmäßig gebläht werden kann.

Da ein aus Ton hergestellter Formkörper nur dann die erforderliche Festigkeit und andere geforderte Eigenschaften aufweist, wenn die Tonmasse, aus der er hergestellt wird, gebrannt ist, muß die Tonmasse gebrannt werden. Beim Brennen erfolgt die Umwandlung einer geformten und getrockneten Tonmasse zum formbeständigen festen keramischen Formkörper einerseits durch die Abspaltung des in den Tonmineralen chemisch gebundenen Wassers und andererseits durch Sinterung als Folge von Schmelzvorgängen in der Tonmasse. Um den Block aus Ton zu brennen, muß der Ton erwärmt werden, wobei er eine beliebige geometrische Form aufweisen kann. Er muß in Blockform während einer bestimmten Zeit auf Brenntemperatur gehalten und auch als Block wieder abgekühlt werden.

Das Blähen einer Masse aus tonmineralischen Rohstoffen, wie es vorwiegend vom Brennen von Tonmassen zur Herstellung grobkeramischer Erzeugnisse her bekannt ist, ist ein Vorgang, der bei der Erwärmung von Tonmassen bis zur Erweichung auftreten kann und bei dem eine Ausdehnung der erweichenden Tonmasse zu einem porösen Körper erfolgt. Die Grundvoraussetzungen für das Blähen von Ton sind einerseits eine Gasbildung in der Tonmasse in genügendem Umfang und andererseits ein durch hohe Temperatur weicher formbarer Zustand der Tonmasse mit bestimmter Viskosität, so daß die Tonmasse in der Lage ist, das sich in ihr bildende Gas eingefangen zu halten und sich unter der Wirkung des Gasdrucks unter Porenbildung auszudehnen. Viskosität der Tonmasse und Gasbildung in der Tonmasse sind abhängig von der stofflichen Zusammensetzung der Tonmasse, der Art und Weise der Erwärmung der Tonmasse sowie der Brennatmosphäre und damit steuerbaren Einflüssen, die eine Steuerung des Blähens ermöglichen.

Während der Erwärmung kann die Form der Tonmasse unterschiedlich sein. Die Tonmasse kann in Form einer Tonmasse erwärmt werden als Schaum-Block, Hohl-Block, Voll-Block, Hohl-Platte, Voll-Platte oder in Form mehrerer Teil-Tonmassen als Zylinder-Schüttung, Hohl-Zylinder-Schüttung oder als mehrere Platten.

Oberstes Ziel eines Verfahrens und einer Vorrichtung zur Herstellung großformatiger poröser Formkörper geringer Dichte durch Blähen von Tonmassen mittels Wärmezufuhr ist, mittels Erwärmung von Tonmassen bis zur Erweichung eine Ausdehnung der erweichenden Tonmasse zu einem großformatigen porösen Körper zu erreichen und die Vorteile, die beim Brennen mit Blähen

gegenüber dem Brennen einer vor dem Brennen bereits großformatig eventuell sogar porös vorgeformten Tonmasse ohne Blähen vorhanden sind, zu nutzen. Folglich ist verständlich, daß der Vorteil des Brennens mit Blähen umso schwächer wird, je stärker die Tonmasse bereits vor dem Brennen vorgeformt ist, wobei die Nachteile des Blähens sogar verstärkt wirken, umgekehrt aber die Vorteile umso stärker zum Tragen kommen, je weniger die Tonmasse bereits großformatig vorgeformt ist, je kompakter sie also vor dem Brennen mit Blähen vorliegt. Weitere Ziele sind gleichmäßige großformatige Geometrie des Formkörpers aufgrund gleichmäßiger äußerer Form und gleichmäßiger Poren. Eine gleichmäßige geringe Dichte und hohe Festigkeit des Formkörpers infolge vieler Poren wird durch gleichmäßiges Blähen der Tonmasse als Folge gleichmäßiger Erwärmung der Tonmasse ausschließlich von oben und unten mit allseitiger und oben nachgiebiger Abstützung der blähenden Tonmasse während des gesamten Blähens und Einsatz einer Tonmasse, die keiner Sinterung von Teil Tonmassen bedarf, erreicht.

Die Tonmasse sollte weder nach innen noch nach außen frei blähen sondern zu Beginn des Blähens in Form einer kompakten Tonmasse vorliegen und die warme Formgebung sollte mittels allseitiger Abstützung und Nachgiebigkeit der Abstützung ausschließlich nach oben während des gesamten Blähens unter schwachem Druck erfolgen.

Vorteil gemäß Anspruch 1:

In einer kompakten Tonmasse, also nicht unterteilt und von Heizgasen durchströmten Tonmasse tritt, insbesondere auch bei Oxidation deren Oberfläche von außen, beim Blähprozeß ein ungestörter synergistischer Effekt von Blähgasbildung und Viskositätsänderung der Masse ein. Da die blähgasbildende Reaktion eine Eisenoxid-Reduktions-Reaktion durch den Kohlenstoff in der Masse ist, die einerseits, indem sie ein Gemisch von CO und CO₂ hervorbringt, das Blähgas liefert und andererseits, indem sie aus den Eisenoxiden Hämatit Fe₂O₃ und Magnetit Fe₃O₄ das als Flußmittel wirkende Ferriit FeO in der Tonmasse entstehen läßt, deren Zähigkeit senkt und die entstehenden und teilweise aus der Tonmasse hinausdrängenden Blähgase zudem selbst wieder reduzierende Gase sind, die auf die umgebende Masse reduzierend wirken, wirken die Bildung der Blähgase und das Eingefangenwerden der Gase durch die infolge der Reduktion erweichende pyroplastische Masse insbesondere durch die das Dichtwerden der Oberfläche der Tonmasse synergistisch und es eskaliert der Blähprozeß plötzlich im gesamten Vo-

lumen bzw. über den gesamten Strangquerschnitt.

Gleichmäßiges Blähen der Tonmasse wird durch gleichmäßige Erwärmung und gleichmäßigen Gegendruck zum Blähdruck während des gesamten Blähens an allen Seiten der blähenden Tonmasse gefördert.

Nach dem Stand der Technik der Herstellung großformatiger Formkörper mittels Blähen von Tonmassen stellt die Forderung nach allseitiger Abstützung, sofern sie überhaupt erfüllt wird, ein bisher mit vertretbarem Aufwand nicht gelöstes Problem dar, da die blähende Tonmasse zum Anbacken neigt und somit ein zentrales Problem darstellt, dem kostengünstig und betriebsstörungsfrei begegnet werden muß.

Zwecks Vermeidung des Anbackens der blähenden Tonmasse an der Vorrichtung mit geringem Aufwand werden im vorschlagsgemäßen Verfahren die an sich bekannten und insbesondere bei der Herstellung von Blähtonkugeln in Drehrohröfen genutzten beiden Tatsachen, daß zum einen die Oxidation der Oberflächen blähender Tonmassen und zum anderen deren ständige Bewegung an den sie abstützenden Vorrichtungsteilen, das Anbacken von blähenden Tonmassen untereinander und an den sie abstützenden Vorrichtungsteilen verhindert, erstmalig gezielt für die Vermeidung des Anbackens einer großformatigen blähenden Tonmasse an den sie abstützenden Vorrichtungsteilen genutzt, indem erfindungsgemäß die allseitige Abstützung der blähenden Tonmasse mit Zwischenräumen erfolgt, so daß zum einen durch die Zwischenräume Sauerstoff an die Oberflächen der blähenden Tonmasse zu deren Oxidation geführt werden kann und vorschlagsgemäß wird und zum anderen eine ständige gegenseitige Abrollbewegung von großformatiger blähender Tonmasse und den sie abstützenden Vorrichtungsteilen bewirkt, wodurch die Grenzflächenberührungen nur während einer kurzen Zeit als unschädlich anzusehenden Zeit bestehen.

Erfindungsgemäß wird somit trotz ständiger allseitiger direkter seitliche Ausformung der erweichenden Tonmasse verhinderter mechanischer Abstützung der blähenden Tonmasse während des gesamten Blähens ein Anbacken der blähenden Tonmasse an den sie hinreichend flächig abstützenden Vorrichtungsteilen verhindert, zum einen, indem die blähende Tonmasse an den sie abstützenden Vorrichtungsteilen ständig bewegt wird, und zum anderen, indem durch allseitige, ständige Sauerstoffzufuhr mittels Zufuhr von oxidierenden Gasen an die äußere Oberfläche der blähenden Tonmasse diese nachgiebig gegenüber der Ausdehnung durch das Blähen leicht verfestigt und unklebrig gemacht wird. Weiterhin können trotz ständiger allseitiger direkter Abstützung der blähenden Tonmasse die überschüssigen Blähgase

während des Blähens frei entgasen.

Durch gleichmäßige Behandlung mit Gasen oxidierender Zusammensetzung während des gesamten Blähens wird eine gleichmäßige hinreichend flächige Oxidation der äußeren Oberfläche der Tonmasse von außen während des Blähens bewirkt, durch welche eine nicht klebende, höher feste mitwachsende Haut der Tonmasse während des Blähens gebildet wird, die das Anbacken der Tonmasse an Vorrichtungsteilen, die während des Blähens mit der Vorrichtung in Berührung kommen, verhindert.

Versuche zeigen, daß sich die oxidierte Oberfläche einer blähenden Tonmasse in einer Umgebung mit oxidierender Gaszusammensetzung vergrößert, indem ständig bereits oxidierte Oberfläche aufgerissen wird und sich neue oxidierte Oberfläche bildet, so daß eine klüftige Oberfläche entsteht. Die oxidierte Oberfläche wird rissig und die Risse weiten sich. Die zwischen die Risse der oxidierten Oberfläche drängende weiche reduzierte Kernmasse wird durch das umgebende oxidierende Gas oxidiert und Bestandteil der erweiterten oxidierten Oberfläche. So oxidiert das nach außen getretene Innere des Blähkörpers ständig nach und ständig neue oxidierte Oberfläche wird gebildet.

Das neue Verfahren weist gegenüber bekannten Verfahren den beträchtlichen Vorteil auf, daß die Poren schnell und gleichmäßig im Körper gebildet werden, weil das Blähen einer kompakten Tonmasse im Zusammenwirken mit der abdichtenden Oxidation deren Oberfläche eine ungestörte Ausbreitung der für das Blähen günstigen Zusammensetzung innerhalb der Tonmasse entstehender reduzierender Gase gleichmäßig in der gesamten Tonmasse ermöglicht. Die gleichmäßige Zusammensetzung bewirkt auch in chemischer Hinsicht eine sehr gleichmäßige Behandlung und daraus folgend eine gleichmäßige Produktqualität. Die gleichmäßige Gasentwicklung in der Tonmasse bewirkt ein gleichzeitiges und gleichförmiges Blähen der Tonmasse, welches Voraussetzung auch zur Erzielung eines Produktes von gleichmäßiger Dichte und Porenstruktur ist.

Die Tonmasse wird in der kalten Formung nicht unterteilt, so daß während der warmen Formung keine, insbesondere nicht oxidierten inneren Teilflächen der Tonmasse gesintert werden müssen, sondern die Tonmasse wird als kompakte Masse, wie eine Kugel, als kompakter Körper gebläht, wie eine Kugel mit einer oxidierten äußeren Hülle und Reduktion im Innern.

Der Einsatz einer nicht unterteilten kompakten Tonmasse zusammen mit der Oxidation der Oberfläche bewirkt die Ausbildung einer durch organische Bestandteile hervorgerufenen reduzierenden gleichmäßigen Gaszusammensetzung innerhalb der Tonmasse, was zusammen mit dem leichten

gleichmäßigen Gegendruck von außen gegen den Druck der Blähgase von innen dazu führt, daß die Gasentwicklung gleichmäßig in kleinsten Teilbereichen der Tonmasse einsetzt und somit gleichmäßig viele Poren gebildet werden, was gleichmäßige Dichte und Festigkeit des porösen Formkörpers bewirkt.

Vorteil gemäß Anspruch 2:

Es hat sich bei erfolgreichen praktischen Versuchen gezeigt, daß der Gleichmäßigkeit und der Geschwindigkeit der Erwärmung entscheidende Bedeutung für die Fertigung zellkeramischer Körper zukommt.

Die schnelle Erwärmung der Tonmasse ist Voraussetzung für hinreichend starkes Blähen und damit für die Erzielung der gewünschten geringen Dichte des herauszustellenden Formkörpers.

Die gleichmäßige Erwärmung der Tonmasse ist Voraussetzung für gleichmäßiges Blähen im gesamten Körper, welches auch Voraussetzung für die Erzielung gleichmäßiger Porenstruktur des herzustellenden Formkörpers ist.

Hohe Geschwindigkeit des Blähens und damit maximale Dichteverringern der Tonmasse sowie hohe Raum-Zeit-Ausbeute des Verfahrens durch Verringerung der Dichte und Ausdehnung der Tonmasse mittels Blähen der Tonmasse während der Erwärmung der Tonmasse zum Brennen unter ständiger Wärmezufuhr, kein Vorblähen, Nachblähen oder Sintern oder Zusammenpressen.

Die Tonmasse bedarf infolge ihrer Erweichung während des Blähens einer abstützenden warmen Formung. Es hat sich gezeigt, daß der wärme-, stoffumwandlungs- und vorrichtungstechnische Aufwand am geringsten ist, wenn die Tonmasse so kurz wie möglich in der Formung verweilt. Die kurze Erwärmungszeit ermöglicht sehr kurze Bläh- und damit Formzeiten und damit bei kontinuierlicher Formung kurze Formstrecken und damit geringen Transportreibungswiderstand zur Bewegung der Tonmasse.

Die Wärme wird ausschließlich von oben und unten zugeführt, damit eindimensionale und dadurch gleichmäßige Wärmeströme entstehen und Blähen nur in eine Richtung und zwar nur nach oben erfolgt, damit maximale Dickenänderung der Tonmasse und somit minimaler mittlerer Wärmeleitweg erzielt wird.

Hohe Geschwindigkeit der Erwärmung der Tonmasse wird erzielt, indem zum einen die Tonmasse eine dünne und kompakte Form aufweist und sich zum anderen die Masse und damit die Wege für die Wärmeleitung erst während der Erwärmung zum Brennen vergrößern und sich die Dichte erst während der Erwärmung verringert. Die

Masse wird wie eine kugelförmige Masse sehr schnell in 5 bis 10 Minuten gebläht werden, da sie einen ähnlich geringen Wärmeleitweg im Innern der Tonmasse und eine in allen Punkten der Wärmezufuhr von außen zugängliche Oberfläche aufweist.

Hohe Gleichmäßigkeit der Erwärmung der Tonmasse wird erzielt, indem zum einen die Tonmasse eine gleichmäßige Form aufweist und zum anderen die Wärmezufuhr ausschließlich eindimensional von oben und unten erfolgt und gleichmäßig an die Tonmasse herangeführt wird.

Vorteil gemäß Anspruch 3:

Die das Blähen verungleichmäßigende Wirkung der etwaigen Ungleichmäßigkeit der Erwärmung kann zwar durch gleichmäßigen mechanischen Gegendruck teilweise ausgeglichen werden, zugunsten geringstmöglicher Anpreßdrücke der Tonmasse an die abstützende Vorrichtung zur Erzielung geringstmöglicher Anbackneigung wird jedoch erfindungsgemäß die Wärmezufuhrrichtung so gewählt, daß sie nicht in Abstützrichtung der starr abstützenden Vorrichtungsteile sondern in Abstützrichtung der nachgiebig abstützenden Vorrichtungsteile liegt.

Durch ausschließlich nach oben nachgiebige Abstützung wird die blähende Tonmasse unter leichtem formwährendem Gegendruck - die Wärmetransportwege gleichmäßig verlängernd - ausschließlich nach oben geführt, so daß sie sich in die vorbestimmte gleichmäßige größere äußere Form ausdehnt.

Vorteil gemäß Anspruch 4:

Zur Erzielung des Blähens ausschließlich in vertikaler Richtung und zur Vermeidung eines Blähens in horizontalen Richtungen erfolgt die nachgiebige Abstützung der blähenden Tonmasse ausschließlich nach oben und es wird die Wärme ausschließlich von oben und unten zugeführt, da die blähende Tonmasse sich dorthin ausdehnt, wo sie den geringsten mechanischen Widerstand erfährt und wohin die meiste Wärme fließt.

Die Tonmasse wird während des gesamten Blähens an allen Flächen geführt, der Transportreibungswiderstand zur Bewegung der Tonmasse und die von außen aufzubringende Formkraft zur vergleichmäßigenden warmen Formgebung und Abstützung der blähenden Tonmasse ist jedoch gering, da vergleichmäßigenden Widerstand einer oxidierten Hülle und den nachgebenden Widerstand der Vorrichtung von außen wirkt, deren Abmessung sich mit der Ausdehnung der Tonmasse vergrößert

und nur soviel Widerstand entgegengesetzt wie zur Erzielung hinreichender Gleichmäßigkeit des Blähens erforderlich ist, also nur soviel Widerstand aufbringt wie erforderlich ist, um entgegen der Neigung des Blähkörpers zur Bildung einer kugelartig gewölbten Form die Quaderform während des Blähens zu wahren.

Vorteil gemäß Anspruch 5:

Die kontinuierliche allseitige und nach oben nachgiebig abgestützte Bewegung der Tonmasse während des Blähens der Tonmasse wird zweckmäßig durch eine Regelung der vorderen und hinteren Stirnseite der blähenden Tonmasse ergänzt, die infolge der "hydrostatischen" Druckausbreitung in der blähenden Tonmasse bei fester Abstützung unten sowie rechts und links die gleichzeitige Regelung der Ausbreitung der Tonmasse nach oben und damit der Höhe des herzustellenden Formkörpers ermöglicht.

Vorteil gemäß Anspruch 6:

Geringer Kraftaufwand durch lediglich Rollreibungswiderstand für die für die Bewegung der Tonmasse durch Rollen-Transport und keinen Gleitreibungswiderstand wie in einer ruhenden Brennform oder Haftkraft-Entformungswiderstand in einer parallel mitbeweglichen Brennform und kein Anbacken.

Vorteil gemäß Anspruch 7:

Eine hohe Geschwindigkeit der Erwärmung verlangt, daß die Energiestromdichte oder Energieumsetzungsdichte von Wärmequellen in der Umgebung der Tonmasse außerhalb oder auch innerhalb des Formkörpervolumens hoch ist und Wärmesenken dort nicht vorhanden sind. Die Erwärmung der Tonmasse während des Blähens erfolgt zur Erzielung einer hohen Energiestromdichte in der Umgebung der Tonmasse ohne parallel mit der Tonmasse vorwärtsbewegte Vorrichtungsteile und die Wärme wird mit hoher Energieumsetzungsdichte mittels Erzeugung von Widerstandsheizelement-Elektrowärme in die Tonmasse umgebenden Vorrichtungsteilen erzeugt.

Die erforderliche hohe Gleichmäßigkeit der Ofentemperatur längs und quer oberhalb und unterhalb der blähenden Tonmasse sowie die erforderliche hohe Wärmestromdichte im Ofen in Richtung auf die blähende Tonmasse zur Erzielung sehr schneller und sehr gleichmäßiger Erwärmung der Tonmasse ist besonders vorteilhaft durch flächig verteilte Widerstandsheizelemente erzielbar,

die zusätzlich im Gegensatz zur Verwendung von Heizgasen als Wärmequellen zweckmäßig sind, da mit elektrischen Heizelementen die zugeführte Wärmemenge unabhängig von der Gaszusammensetzung des oxidierenden Gases eingestellt werden kann und damit optimal an die Verfahrenserfordernisse anpaßbar ist.

5

10 Vorteil gemäß Anspruch 8:

Geringe Formbildungskraft durch größenveränderliche Abstützung der Tonmasse, die sich mit der Zunahme der äußeren Abmessungen der Tonmasse vergrößert. Geringe Formbildungskraft mittels einer Vorrichtung, die mit einem von Null oder größer einstellbaren Widerstand dem zur Rundung seiner Formen neigenden Körper mit einem rechteckig vergleichmäßigenden Widerstand der Blähkraft entgegenwirkt, die rechteckige Form während des Blähens wahrt und dem Blähen mit gleichbleibender Kraft nur soviel Kraft entgegengesetzt wie zur Wahrung der rechteckigen Form erforderlich ist. Geringe Formbildungskraft mittels Nutzung der kugelartigen Eigenformbildungskraft durch Formbildung infolge oxidativer Verfestigung der äußeren Oberfläche der Tonmasse und Blähdruck der inneren Tonmasse. Inneres Gleichgewicht der Druckkräfte zwischen harter Schalenmasse und weicher Kernmasse.

15

20

25

30

Vorteil gemäß Anspruch 9:

Um die blähende Tonmasse auch stirnseitig vorn und hinten in dem Sinne abzustützen, daß sichergestellt wird, daß die Tonmasse ausschließlich nach oben bläht und sich weit genug nach oben ausdehnt, indem die Rollenbahngruppen in der Einschubzone und Blähzone zeitweise entsprechend schneller laufen können als die Rollenbahngruppe in der Abzugzone, um die blähende Tonmasse am Ende der Blähstrecke so stark zusammenzudrücken, daß sich die blähende Tonmasse nach oben in die gewünschte Höhe ausdehnt, sind die Drehgeschwindigkeiten der Rollen der Rollenbahngruppen von Einschubzone und Blähzone einerseits und Abzugzone andererseits getrennt voneinander regelbar.

35

40

45

50

Kontinuierliche Betriebsart:

Einfache Regelbarkeit und kein Haftkraft-Entformungswiderstand durch kontinuierliche Bewegung der blähenden Tonmasse.

55

Wirtschaftliche Bedeutung:

Damit wird es erstmalig möglich, bisher nur zu ungleichmäßig oder nur zu langsam erwärmbare und chemisch un gleichmäßig beeinflussbare großformatige Körper kontinuierlich gleichmäßig und schnell zu blähen und somit zellkeramische Körper wie geschoßhohe Wandelemente mit geringer Dichte herzustellen.

Durch den Verzicht auf Granulierung des Ton es nach der Aufbereitung können ganze Prozeßstufen entfallen, so insbesondere das aufwendige Vorblähen der Schüttungspartikel, Dosieren, Egalisieren, Chargieren der Schüttung, also Vorgänge, die insbesondere im Hochtemperaturbereich unver tretbar aufwendig sind. Auch der bisherige Aufwand beim inhomogenen Vorverdichten der Schüttung bei Tunnelofenverfahren entfällt.

Bei schnellerer Aufheizung, welches erfindungsgemäß gegeben ist, reagiert eine sehr viel größere Zahl von Rohstoffen durch Blähen als bei langsamer Aufheizung, wodurch sich die Zahl der einsetzbaren Rohstoffe und die Blähfähigkeit steuernder Zusatzstoffe erhöht wie z.B. Rotschlämme, die als Problemabfallstoffe der Aluminiumindustrie hier nutzbringend und umweltfreundlich eingesetzt werden können. Das gleiche gilt für das Verbrennen von Klärschlämmen mit organischen und metallischen Schadstoffen, die sonst unzureichend in hydraulisch gebundenen Stoffen deponiert werden. Auch erhöht sich bei der Lagerstättennutzung nach ökologisch optimalen Gesichtspunkten die Wahlmöglichkeit erheblich.

Die wirtschaftliche Bedeutung der Merkmale dieser Ansprüche ergibt sich daraus, daß in der Ziegelfachwelt seit langem die vielfach geäußerte Auffassung besteht, daß Bauelemente, z.B. in Plattenform aus zellkeramischem Material, sofern sie wirtschaftlich herstellbar wären, von höchstem wirtschaftlichen Nutzen wären.

Aus anwendungstechnischer und volkswirtschaftlicher Sicht ebenso wie unter dem Aspekt des Technologietransfers in Länder mit extremen Klimaten ergeben sich aus den Vorzügen der vorschlagsgemäß hergestellten Produkte beispielhaft folgende besonders vorteilhafte Einsatzgebiete.

Die annähernd gleiche Wärmedehnung von Bauelementen aus poröser Keramik und keramischen Fliesen ergibt eine hervorragende Einsatzmöglichkeit in vorgefertigten Raumtrennwänden mit besonderen hygienischen Ansprüchen wie in Bädern, Schwimmbädern, Lebensmittelbetrieben oder Badeanstalten. Für diesen Einsatz spricht zusätzlich die etwa dem Holz gleiche hohe Wärmedämmung infolge hoher Porosität bei zusätzlicher Nichtbrennbarkeit, Maßhaltigkeit bei gleichzeitiger guter Hafteigenschaft für die Aufbringung von Sperrschichten gegen Eindringen von Wasser und

Schall. Neben dem Neubau kommt der Verwendung bei Altbaumodernisierungen besondere Bedeutung zu, weil die geringe Dichte bei nachträglichem Einbringen in bestehende Räume der Forderung nach minimaler baustatischer Belastung gerecht wird und die Anbringung wandhängender Ausstattungsgegenstände begünstigt. Letzteres ergibt sich aus hoher Eigensteifigkeit und leichter Bearbeitungsmöglichkeit durch Sägen, Bohren und Dübeln. Hierbei kommt die Möglichkeit geschoßhoher, fugenloser Ausbildung der Wandplatte infolge der großformatigen Herstellungsmöglichkeit voll zum Tragen. Trotz dieser hohen Anforderung bleibt ein Transport nach der Baustellenregel "Vier Mann - vier Ecken" oder "Zwei Mann -zwei Kanten" leicht erfüllbar. Als Zusatzvorteil ergibt sich in allen Fällen eine Erhöhung des Brandschutzes von Wänden und/oder Decken. Dieser Vorteil greift besonders in Wandflächen der Treppenhäuser, wo der Personenschutz durch Nichtbrennbarkeit besonders bedeutsam ist.

Die Unempfindlichkeit gegen chemische Einflüsse aus der Umwelt oder von Reinigungsmitteln in Verbindung mit der hohen Wärmedämmung und geringer Wärmespeicherfähigkeit führt zu einem besonders bevorzugten Einsatz in Saunananlagen aber auch im Sportstättenbau, bei denen schnelles Aufheizen oder Kühlen für oft nur kurze Nutzungszeiten besonders zum Tragen kommen.

Dank der hohen Anteile an geschlossenen Poren und damit zusammenhängender dauernder Schwimmfähigkeit sowie hoher Frost-Tau-Wechselbeständigkeit und Resistenz gegen Pilze und Moosbelag ergibt sich ein vorteilhafter Einsatzbereich bei der Abdeckung von fließendem und stehendem Gewässer bis hin zu Sumpfgebieten oder Trinkwassertalsperren, und zwar mit dem Ziel der Minderung von Verdunstung knappen Wassers oder des Schutzes gegen Umwelteinflüsse, wie schwefelige Säuren oder Verbrennungsrückstände. Auch Umfassungswände von Gebäuden in Verbundbauweise mit mineralischen, metallischen oder polymeren Schäumen bieten sich zwecks Erhöhung der Feuerwiderstandsklasse der jeweiligen Werkstoffverbunde an.

Anwendungsbeispiel des Verfahrens:

Zusammensetzung der Tonmasse (Gew.-%) :

60,4 SiO₂
23,6 Al₂O₃
6,85 Fe₂O₃
0,65 FeO
1,75 CaO
1,50 MgO
3,20 K₂O
0,32 Na₂O

1,09 TiO₂

0,48 SO₃

+ 5,0 Konverterstaub-Zusatz

Dichte der getrockneten Masse 1740 Kg.m³

Ofentemperatur: Konstant 1170° C

Oxidierendes Gas: Luft

Blähzeit: 15 min

Strangbreite der Tonmasse: 50 cm

Stranghöhe der getrockneten Tonmasse: 1,2 cm

Abmessung des fertigen Formkörpers:

Höhe: 5,0 cm

Breite: 50 cm

Länge: 250 cm

Dichte des fertigen Formkörpers: 420 Kg.m³

Ein Ausführungsbeispiel der erfindungsgemäßen Vorrichtung ist in der beiliegenden Zeichnung wiedergegeben.

Mit 1 ist ein wärmeisoliert ausgebildetes Gehäuse bezeichnet, innerhalb welchem die thermische Behandlung der blähfähigen Tonmasse stattfindet, welche in Richtung des Pfeiles 2 als ungeblähte Masse in das Gehäuse 1 eintritt und dieses in Richtung des Pfeiles 3 als geblähte Masse verläßt.

Das Gehäuse 1 ist entsprechend der durch die Pfeile 2, 3 definierten Durchlaufrichtung der Masse 4 im wesentlichen in drei unterschiedliche, aufeinander folgende Zonen unterteilt, nämlich eine Einschubzone 5, eine Blähzone 6 und eine Abzugzone 7. Die Einschubzone 5 dient im wesentlichen lediglich der Förderung der strang- bzw. plattenförmigen ungeblähten Masse 4, die Blähzone 6 der thermischen Behandlung dieser Masse, insbesondere dem Blähen, wohingegen die Abzugzone 7 lediglich der Förderung bzw. dem Austrag des geblähten Produktes dient. In der Zeichnung ist der Blähfortschritt durch die, in der Blähzone 6 beginnende und in Durchlaufrichtung zunehmende Dicke B der Masse 4 angedeutet.

In der Einschubzone wird die Masse 4 unterseitig durch die Rollen 9, in der Blähzone durch die Rollen 10 und in der Abzugzone durch die Rollen 11 unterstützt, welche jeweils mit Abstand zueinander angeordnet sind. Eine oberseitige Führung der Masse 4 findet in der Einschubzone durch die Rollen 12, in der Blähzone durch die Rollen 13 und in der Abzugzone durch die Rollen 14 statt. Sämtliche Rollen 13 bis 15 sind wiederum mit Abstand zueinander angeordnet. Darüber hinaus findet zumindest in der Blähzone 6 eine seitliche Abstützung durch vertikal drehbare Rollen 15, 16 statt, die auch mit Abstand zueinander angeordnet sind und sich in den Zwischenräumen der Rollen 13 erstrecken.

Die Rollen 9, 12 der Einschubzone 5, die Rollen 15, 16 der Blähzone sowie die Rollen 11, 14 der Abzugzone sind in zeichnerisch nicht näher dargestellter Weise in den Wandungen des Gehäu-

ses 1 drehbar, ansonsten jedoch unverschiebbar gelagert. Die oberseitigen Rollen 13 in der Blähzone 6 hingegen sind in definierter Weise vertikal, d.h. in Richtung parallel zu den Pfeilen 17 verschiebbar gelagert und zu diesem Zweck in das Gehäuse 1 oberseitig übergreifenden U-förmigen Bügeln 10 aufgenommen, deren Vertikalabschnitte 19 mit seitlich angeordneten Kolben-Zylinder-Einheiten 20 in Wirkverbindung stehen, deren Kolben 21 schematisch angedeutet ist und die individuell mit Druckmittelversorgungsleitungen 22 versehen sind. Man erkennt, daß durch Druckmittelbeaufschlagung der einzelnen Kolben 21 auf die blähende Masse 4 eine individuell für jede Kolben-Zylinder-Einheit 20 einstellbare Druckkraft ausübbar ist, um im Sinne obiger Ausführungen den Blähvorgang mechanisch zu beeinflussen.

Mit 23 ist ein, die Rollen 9, 10 der Einschubzone 5 sowie der Blähzone 6 zusammenfassendes Druckmittel, z.B. eine Kette und mit 24 ein vergleichbares, die Rollen 11 der Abzugzone 7 antriebsmäßig zusammenfassendes Zugmittel bezeichnet. Es werden somit die Rollen 9, 10 der Einschubzone 5 sowie der Blähzone 6 einerseits und die Rollen 11 der Abzugzone 7 andererseits jeweils synchron angetrieben und stehen mit zeichnerisch nicht dargestellten, drehzahlregelbaren elektrischen Antrieben in Verbindung. Synchron angetrieben zu den unteren Rollen von Einschubzone 5 und Blähzone 6 werden auch die oberseitigen Rollen 12, 13. Schließlich werden die oberseitigen Rollen 14 der Abzugzone 7 synchron zu den unterseitigen Rollen 11 angetrieben. Synchron zu den Rollen 10 der Blähzone 6 werden auch die seitlichen Rollen 15, 16 angetrieben, die ebenfalls über ein Zugmittel 25 antriebstechnisch verknüpft sind.

Mit 26 ist ein ortsfest angeordneter Antrieb bezeichnet, der eine Drehbewegung auf die vertikal, d.h. parallel zur Richtung der Pfeile 17 verschiebbar gelagerte Welle 27 überträgt, an deren unterem Ende ein die Verknüpfung mit den Rollen 13 bewirkendes Kegelradpaar 28 angeordnet ist. Sämtliche Wellen 27 stehen über den Antrieb 26 untereinander in Verbindung. Mit 29 sind flächenhafte Widerstandsheizelemente bezeichnet, die innerhalb des Gehäuses 1 unterhalb und oberhalb der zu behandelnden Masse 4 befinden und mit Öffnungen 30 zum Einleiten und Abziehen oxidierender Gase versehen sind, welche somit ober- und unterseitig auf die zu behandelnde Masse einwirken können.

Man erkennt aus der vorangegangenen Darstellung, daß die thermisch zu behandelnde blähfähige Masse 4 innerhalb der Vorrichtung in der Einschubzone 5 durch linienhafte Berührung gestützt, durch synchronen Antrieb der ober- und unterseitig angeordneten Rollen geführt ist, in der Blähzone 6 seitlich und unterseitig wiederum durch linienhafte

Berührung unnachgiebig gestützt, jedoch zugleich gefördert wird, wohingegen oberseitig ebenfalls eine durch linienhafte Berührung charakterisierte Führung stattfindet, die jedoch unter einstellbarem Kraftaufwand zwecks Steuerung des Blähvorgangs nachgiebig ausgebildet ist und daß in der Abzugzone 7 wiederum eine, durch ober- und unterseitig unnachgiebig ausgebildete, durch linienhafte Berührung gekennzeichnete Führung und Förderung der geblähten Masse stattfindet. Die in der Blähzone 6 eingestellten Verfahrensbedingungen sind durch eine unter- und oberseitige steuerbare Beheizung, ein allseitiges Beaufschlagmittels oxidierender Gase und eine als Folge des Blähvorganges entgegen einer individuell einstellbaren Anpreßkraft der Rollen 13 erfolgenden Expansion der Masse 4 gekennzeichnet.

Ansprüche

1. Verfahren zur Herstellung großformatiger poröser Formkörper geringer Dichte durch Blähen von Tonmassen mittels Wärmezufuhr dadurch gekennzeichnet, daß eine plattenförmige, selbsttragende Tonmasse eingesetzt wird, die blähende Tonmasse allseitig durch unmittelbare mehrfache linienförmige Festkörperberührung abgestützt wird, dabei aber in ständiger Relativbewegung zur Abstützung gehalten und die Oberfläche der blähenden Tonmasse der ständigen Oxidation durch Zufuhr von oxidierenden Heißgasen an die Oberflächen der plattenförmigen bewegten Tonmassen ausgesetzt wird.

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die getrockneten Tonmassen in der Form eines dünnen, kompakten, selbsttragenden, plattenförmigen Stranges in den Ofen eintretend schlagartig durch Wärmezufuhr ausschließlich von oben und unten mit von Anfang bis Ende des Blähens gleichbleibend maximaler Ofentemperatur kontinuierlich schnell gebläht werden.

3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß die erweichende und blähende Tonmasse seitlich und nach unten geometrisch unnachgiebig und ausschließlich nach oben, der zunehmenden Höhe der Tonmasse, gemäß dem Kurvenverlauf des Blähens druckgeregelt mit einstellbarer strukturstabilisierender Gegenkraft gegen die Blähkraft geometrisch veränderlich nachgiebig formschlüssig und durch Rollen glättend, sowie nach hinten durch die mittels Reibschluß durch Rollen gehaltene ungeblähte und nach vorn durch die mittels Reibschluß durch Rollen gehaltene fertig geblähte Tonmasse allseitig abgestützt wird.

4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, daß bei erhöhten Ansprüchen an Gleichmäßigkeit der Poren und daraus

ableitbarer Gleichmäßigkeit der Qualität des Endproduktes das Verfahren so gesteuert wird, daß unter Vermeidung der Zellwände und damit das Gefüge zerstörender Preßkräfte ein isostatischer Druck so gesteuert wird, daß die Formgebung während des Blähvorgangs durch entsprechend angeordnete obere Rollen erfolgt und dadurch eine Feinstverteilung der Poren in die kleinsten Teilbereiche der Tonmasse bei gleichzeitiger Ausbildung eines hohen Anteils geschlossener Zellen gesichert wird, die durch die vorschlagsgemäße Wärmestromführung in einer Strömungsrichtung und dadurch ausgelöste maximale Dickenänderung der Tonmasse bewirkt wird, was gleichbedeutend mit einer Minimierung des mittleren Wärmeleitweges und damit Maximierung der Geschwindigkeit der Erwärmung ist.

5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, daß zur Regelung der Höhe der fertiggeblähten Tonmasse die Istwerte der Höhe über die letzte obere Rolle am Ende der Blähzone aufgenommen werden und die Tonmasse durch die sie bewegende und abstützende Vorrichtung in Einschub- und Blähzone so stark gegen die Tonmasse in der Abzugzone gedrückt wird, daß die stärksterweichte Tonmasse am Ende der Blähzone in horizontaler Richtung zusammengedrückt werdend nach oben ausweicht, und zwar so weit, bis sich der gewünschte Sollwert der Höhe einstellt.

6. Vorrichtung zur Durchführung des Verfahrens nach einem der vorangegangenen Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, daß in der Blähzone (6) zur Abstützung der blähenden Tonmasse reibungsmindernd synchronisiert drehende Rollen (10,13) mit gasdurchlässigen Zwischenräumen in der Form von vier synchronisiert angetriebenen Rollengängen angeordnet sind, waagerechte Rollengänge unterhalb und oberhalb und senkrechte und an den Seiten der blähenden Tonmasse angeordnet sind und sich Öffnungen (30) zum Einleiten und Abziehen von oxidierenden Gasen oberhalb und unterhalb der Tonmasse befinden.

7. Vorrichtung nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, daß zum Blähen mittels Wärmezufuhr der strangförmigen Tonmasse oberhalb und unterhalb des Stranges flächig verteilt strahlungswärmebildende Widerstandsheizelemente (29) angeordnet sind.

8. Vorrichtung nach Anspruch 6 und 7 dadurch gekennzeichnet, daß der obere Rollengang aus in der Höhe einzeln verschieblichen waagerechten Rollen (13) besteht, die jeweils durch miteinander in Verbindung stehende oberhalb und unterhalb mit demselben Druck beaufschlagte Kolben (21) druckgeregelt mit gleicher Kraft auf dem Strang aufliegen und synchronisiert über die Kette mit den übrigen Rollen (10) der Blähzone (6) angetrieben werden, wobei die waagerechten oberen Rollen

(13) jeweils durch Bügel (18) gehalten werden, die zur Auflagekraftregelung mit den Kolben (21) starr verbunden sind und zur Übertragung der synchronisierten Drehbewegung auf die von ihnen getragenen Rollen (13) mit jeweils einem Kegelradpaar (28), das die Drehbewegung von der waagerechten Drehachse der Rollen (13) auf die vierkantförmige Welle (27) mit senkrechter Drehachse überträgt starr verbunden ist und daß die vierkantförmige Welle (27) zur Übernahme der Drehbewegung von dem ortsfesten Antrieb (26) seitlich formschlüssig und in der Höhe verschieblich in einem ortsfest gelagerten Zahnrad gleitet.

9. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 6 bis 8, dadurch gekennzeichnet, daß sie in der Einschubzone (5) zum Einschub des Stranges in die Blähzone (6) eine Gruppe von synchronisiert angetriebenen waagerechten Einschubrollen, bestehend aus einem unteren Rollengang und oberem Rollengang, in der Abzugzone (7) zum Abzug des Stranges aus der Blähzone strangabwärts eine Gruppe von synchronisiert angetriebenen waagerechten Abzugrollen, bestehend aus einem unteren Rollengang und oberem Rollengang aufweist und die Rollen (9,12) der Einschubzone (5) und (10,13) Blähzone (6) einerseits und (11,14) Abzugzone (7) andererseits mit einem unabhängig drehgeschwindigkeitsregelbarem Antrieb versehen sind.

30

35

40

45

50

55

