

(19)



Europäisches  
Patentamt  
European  
Patent Office  
Office européen  
des brevets



(11)

EP 3 978 854 A1

(12)

## EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG

(43) Veröffentlichungstag:  
**06.04.2022 Patentblatt 2022/14**

(21) Anmeldenummer: **20199362.3**

(22) Anmeldetag: **30.09.2020**

(51) Internationale Patentklassifikation (IPC):

**F27B 9/04 (2006.01) F27B 9/06 (2006.01)**

**F27B 9/26 (2006.01)**

**F27B 9/30 (2006.01)**

**F27D 3/12 (2006.01)**

**F27D 11/02 (2006.01)**

(52) Gemeinsame Patentklassifikation (CPC):

**F27B 9/045; F27B 9/06; F27B 9/26; F27B 9/3005;**

**F27B 9/3011; F27D 3/12; F27D 11/02;**

**F27B 2009/3016; F27B 2009/3038; F27D 2003/128**

(84) Benannte Vertragsstaaten:

**AL AT BE BG CH CY CZ DE DK EE ES FI FR GB  
GR HR HU IE IS IT LI LT LU LV MC MK MT NL NO  
PL PT RO RS SE SI SK SM TR**

Benannte Erstreckungsstaaten:

**BA ME**

Benannte Validierungsstaaten:

**KH MA MD TN**

(71) Anmelder: **RIEDHAMMER GMBH  
90411 Nürnberg (DE)**

- Gundel, Rainer**

**91052 Erlangen (DE)**

- Overhoff, Andreas**

**91094 Langensendelbach (DE)**

- Uhl, Matthias**

**91484 Sugenheim/Ullstadt (DE)**

(74) Vertreter: **Berkenbrink, Kai-Oliver et al**

**Patentanwälte Becker & Müller**

**Turmstrasse 22**

**40878 Ratingen (DE)**

(72) Erfinder:

- Hajduk, Andreas**

**90451 Nürnberg (DE)**

(54) **TUNNELOFEN ZUR WÄRMEBEHANDLUNG VON PRODUKTEN, EIN VERFAHREN ZUM BETREIBEN EINES SOLCHEN TUNNELOFENS SOWIE DIE VERWENDUNG EINES SOLCHEN TUNNELOFENS**

(57) Die Erfindung betrifft einen Tunnelofen zur Wärmebehandlung von Produkten, ein Verfahren zum Betreiben eines solchen Tunnelofens sowie die Verwendung eines solchen Tunnelofens.

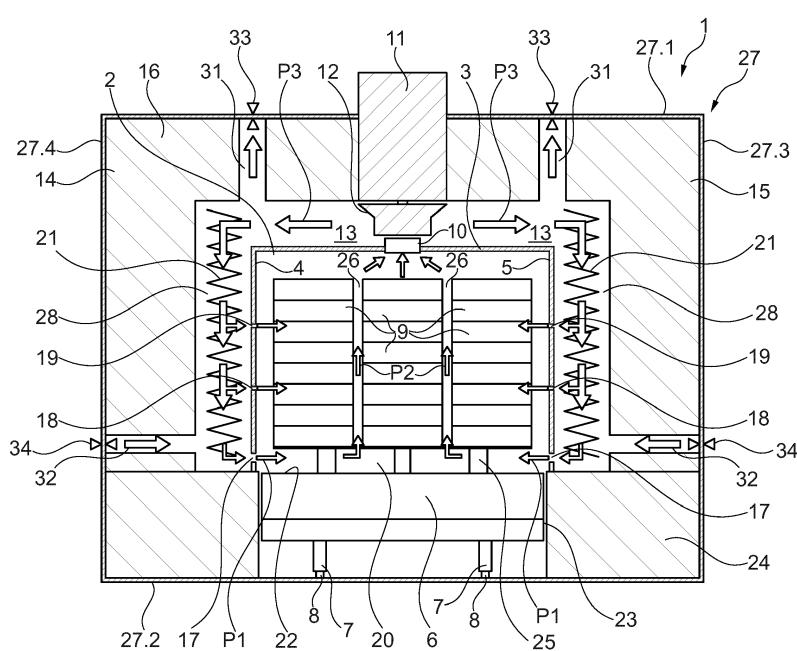


Fig. 1

## Beschreibung

**[0001]** Die Erfindung betrifft einen Tunnelofen zur Wärmebehandlung von Produkten, ein Verfahren zum Betreiben eines solchen Tunnelofens sowie die Verwendung eines solchen Tunnelofens.

**[0002]** Bei einem Tunnelofen, der auch als Durchlaufofen bezeichnet wird, handelt es sich um einen kontinuierlichen Ofentyp, also einen Industrieofen, der kontinuierlich mit im Ofen durch Wärme zu behandelnden Produkten chargiert wird. Hierzu weist ein Tunnelofen einen tunnelartigen Ofenraum auf, durch den die mit Wärme zu behandelnden Produkte kontinuierlich bewegt und dabei mit Wärme beaufschlagt werden. Der tunnelartige Ofenraum erstreckt sich von einem ersten Ende, an dem die Produkte in den Ofenraum eingeführt werden, bis zu einem gegenüberliegenden zweiten Ende, an dem die Produkte nach ihrer Wärmebehandlung im Ofenraum wieder aus dem Ofenraum ausgeführt werden. Tunnelöfen werden in der Regel nach dem Gegenstromprinzip betrieben. Dabei wird am zweiten Ende, das auch als Ofenauslass bezeichnet wird, Frischluft in den Ofenraum eingeleitet, anschließend durch den Ofenraum hindurchgeleitet und am ersten Ende, das auch als Ofeneinlass bezeichnet wird, wieder aus dem Ofenraum ausgeleitet. Im mittleren Bereich des Ofenraums, der auch als Brennzone bezeichnet wird, sind Mittel zum Beheizen des Ofenraums, üblicherweise in Form von Gasbrennern, angeordnet. Die in den Ofenraum am zweiten Ende eingeführte Frischluft ist daher zunächst verhältnismäßig kühl, wird in der Brennzone aufgeheizt, dieses heiße Brenngas anschließend weiter zum ersten Ende des Ofenraums geführt und dort aus dem Ofen ausgeleitet. Durch den Ofenraum transportierte Produkte werden daher zunächst durch die aufgeheizten Brenngase vorgeheizt, im Brennraum durch die heißen Gase thermisch behandelt und anschließend, vor Verlassen des Ofenraums, durch einen Wärmetauscher indirekt gekühlt. Diese drei Zonen des Ofenraums eines Tunnelofens werden daher auch als Aufheizzone, Haltezone und Kühlzone bezeichnet. Um Temperaturverluste am Ofeneinlass und Ofenauslass zu reduzieren, ist es bekannt, den Ofeneinlass und Ofenauslass durch Schließvorrichtungen, beispielsweise in Form von Schleusen, verschließbar zu gestalten.

**[0003]** Zum Transport der Produkte durch den Ofenraum sind schienengeführte Ofenwagen bekannt. Diese Ofenwagen werden üblicherweise durch Seilzüge oder sonstige mechanische Antriebsmittel bewegt.

**[0004]** Grundsätzlich haben sich solche Tunnelöfen zur Wärmebehandlung von Produkten bewährt. Eine Herausforderung stellt jedoch die Wärmebehandlung von Produkten in Pulverform in solchen Tunnelöfen dar. Denn aufgrund der in den bekannten Tunnelöfen auftretenden Gasströmungen der Brenngase im Ofenraum können unerwünschte Verwirbelungen der pulverförmigen Produkte auftreten.

**[0005]** Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, einen Tunnelofen zur Wärmebehandlung von Produkten

zur Verfügung zu stellen, der in vorteilhafter Weise insbesondere auch zur Wärmebehandlung von pulverförmigen Produkten Verwendung finden kann. Insbesondere liegt der Erfindung die Aufgabe zugrunde, einen Tunnelofen zur Wärmebehandlung von pulverförmigen Produkten zur Verfügung zu stellen, bei dem die Verwirbelung der pulverförmigen Produkte während der Wärmebehandlung im Tunnelofen vermieden werden kann.

**[0006]** Ferner liegt der Erfindung die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren zum Betreiben eines solchen Tunnelofens zur Verfügung zu stellen.

**[0007]** Zur Lösung der vorstehenden Aufgaben wird zur Verfügung gestellt ein Tunnelofen zur Wärmebehandlung von Produkten, umfassend die folgenden Merkmale:

Einen tunnelartigen Ofenraum, der sich von einem ersten Ende zu einem zweiten Ende des Ofenraums erstreckt, wobei der Ofenraum oberseitig durch eine Ofendecke und seitlich durch Ofenwände begrenzt ist;

Ofenwagen, die vom ersten Ende zum zweiten Ende entlang einer Transportrichtung durch den Ofenraum fahrbar sind und auf denen im Ofenraum mit Wärme zu behandelnde Produkte transportierbar sind;

Brennhilfsmitteln zur Aufnahme der Produkte, wobei die Brennhilfsmittel auf den Ofenwagen angeordnet sind;

Gasauslässe, über die im Ofenraum befindliches Gas aus dem Ofenraum ausleitbar ist;

Gaseinlässe, über die Gas in den Ofenraum einleitbar ist; und

Mittel zum Beheizen des Ofenraums; wobei über die Gasauslässe im Bereich der Ofendecke befindliches Gas aus dem Ofenraum ausleitbar ist; über die Gaseinlässe Gas im Bereich der Ofenwände in den Ofenraum einleitbar ist; und wobei die Brennhilfsmittel unter Ausbildung wenigstens eines vertikalen Spaltes zwischen den Brennhilfsmitteln auf den Ofenwagen angeordnet sind.

**[0008]** Die Zurverfügungstellung des erfindungsgemäßen Tunnelofens beruht insbesondere auf der erfindungsgemäßen Erkenntnis, dass Verwirbelungen pulverförmiger Produkte insbesondere durch horizontale Strömungen der im Ofenraum befindlichen Gase im Bereich der im Tunnelofen mit Wärme zu behandelnden Pulver verursacht werden. Erfindungsgemäß wurde ferner erkannt, dass diese horizontalen Gasströmungen insbesondere durch den Gasstrom entlang der Längsachse des Ofenraums, also entlang der Transportrichtung der Ofenwagen bei den gemäß dem Stand der Technik üblichen, nach dem Gegenstromprinzip betriebenen Tunnelöfen verursacht werden. Ein Grundgedanke der Erfindung besteht daher darin, horizontale Gasströmungen im Ofenraum insbesondere im Bereich der zu brennenden Produkte möglichst zu vermeiden. Insoweit be-

steht ein zentraler Gedanke der Erfindung darin, im Bereich der zu brennenden Produkte eine im Wesentlichen vertikal aufwärts gerichtete Gasströmung zu erzeugen. Dies bedeutet insbesondere auch eine Abkehr vom üblichen Gegenstromprinzip beim Betrieb des erfindungsgemäßen Tunnelofens. Um beim Betrieb des erfindungsgemäßen Tunnelofens eine vertikal aufwärts gerichtete Gasströmung zu ermöglichen, sind die Gasauslässe und Gaseinlässe des erfindungsgemäßen Tunnelofens vorgesehen. Diese erfindungsgemäß spezifisch angeordneten Gasauslässe oder Gaseinlässe ermöglichen eine im Wesentlichen vertikal aufwärts gerichtete Strömung der Brenngase im Ofenraum. Ferner werden diese Gasauslässe und Gaseinlässe synergistisch ergänzt um die spezifische Anordnung der Brennhilfsmittel, die unter Ausbildung eines vertikalen Spaltes zwischen den Brennhilfsmitteln auf den Ofenwagen angeordnet sind. Erfindungsgemäß wurde erkannt, dass durch die Ausbildung solch vertikaler Spalten zwischen den Brennhilfsmitteln eine vertikal aufwärts gerichtete Gasströmung im Ofenraum erzeugt beziehungsweise unterstützt werden kann.

**[0009]** Der erfindungsgemäße Tunnelofen dient insbesondere zur Wärmebehandlung von Produkten in Form von Pulver. Als besonders vorteilhaft hat sich der erfindungsgemäße Tunnelofen zur Wärmbehandlung von Produkten in Form von Kathodenmaterial herausgestellt, insbesondere ein solches Kathodenmaterial in Pulverform. Insbesondere hat sich der erfindungsgemäße Tunnelofen zur Synthese von solch pulverförmigem Kathodenmaterial herausgestellt.

**[0010]** Der Ofenraum des erfindungsgemäßen Tunnelofens kann im Wesentlichen gemäß dem Stand der Technik ausgebildet sein. Insoweit kann die Ofendecke, wie aus dem Stand der Technik bekannt ausgebildet sein, bevorzugt als Flachdecke oder Gewölbedecke, bevorzugt jedoch als Gewölbedecke. Bevorzugt kann die Ofendecke aus feuerfesten Steinen bestehen, insbesondere aus feuerfesten keramischen Steinen, besonders bevorzugt aus Steinen auf Basis  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , insbesondere aus Steinen mit einem Gehalt an  $\text{Al}_2\text{O}_3$  von wenigstens 97 Masse-%, noch bevorzugter von wenigstens 99 Masse-%, bezogen auf die Masse der Steine.

**[0011]** Die Gasauslässe in der Ofendecke können insbesondere in Form von Öffnungen in der Ofendecke vorgesehen sein. Bevorzugt sind mehrere Gasauslässe vorgesehen, bevorzugt über die Ofendecke verteilt, besonders bevorzugt gleichmäßig über die Ofendecke, insbesondere über die Ofenlänge verteilt. Hierdurch kann eine sehr gleichmäßige aufwärts gerichtete Vertikalströmung von Gasen im Ofenraum erreicht werden. Nach einer bevorzugten Ausführungsform sind die Gasauslässe in der Mitte der Ofendecke angeordnet. Sofern die Ofendecke als Gewölbe ausgebildet ist, sind die Auslässe bevorzugt am Scheitel des Gewölbes angeordnet, wobei der Scheitel des Gewölbes bevorzugt in der Mitte der Ofendecke verläuft.

**[0012]** Die Gasauslässe münden bevorzugt in Gaslei-

tungen, durch die das aus den Gasauslässen auslassbare Gas leitbar ist.

**[0013]** Bevorzugt sind ein oder mehrere Gebläse vorgesehen, durch die das aus den Gasauslässen auslassbare Gas abgezogen und, insbesondere über die Gasleitungen, weitergeleitet werden kann. Solche Gebläse sind bevorzugt vollständig oder teilweise außerhalb des Ofenraums vorgesehen. Soweit die Gebläse teilweise außerhalb des Ofenraums angeordnet sind, können die Gebläse einen Stutzen aufweisen, der beispielsweise auch bis in den Ofenraum reichen kann, in den die Gasauslässe münden. Bevorzugt führen die Gasleitungen zur Leitung des aus den Gasauslässen auslassbaren Gases zu jeweils wenigstens einem dieser Gebläse.

**[0014]** Die Ofenwände verlaufen bevorzugt vertikal und sind bevorzugt aus feuerfesten Steinen, insbesondere feuerfesten keramischen Steinen gemauert. Bevorzugt können die Ofenwände aus feuerfesten Steinen bestehen, insbesondere aus feuerfesten keramischen Steinen, besonders bevorzugt aus Steinen auf Basis  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , insbesondere aus Steinen mit einem Gehalt an  $\text{Al}_2\text{O}_3$  von wenigstens 97 Masse-%, noch bevorzugter von wenigstens 99 Masse-%, bezogen auf die Masse der Steine.

**[0015]** Die Gaseinlässe sind bevorzugt in Form von Öffnungen in den Ofenwänden vorgesehen. Bevorzugt sind mehrere Gaseinlässe, bevorzugt über die Ofenwände verteilt, besonders bevorzugt gleichmäßig über die Ofenwände verteilt vorgesehen. Hierdurch kann Gas sehr gleichmäßig über die Gaseinlässe in den Ofenraum eingeleitet werden, wodurch Verwirbelungen von im Ofenraum mit Wärme zu behandelnden pulverförmigen Produkten vermieden werden können. Bevorzugt sind die Gaseinlässe entlang der Transportrichtung beabstandet voneinander angeordnet, besonders bevorzugt gleichmäßig über die Ofenlänge verteilt. Hierdurch kann über die Ofenlänge Gas besonders gleichmäßig in den Ofenraum eingeleitet werden, wodurch wiederum Verwirbelungen von pulverförmigen Produkten im Ofenraum vermieden werden können.

**[0016]** Sofern sowohl die Gasauslässe als auch die Gaseinlässe über die Ofenlänge verteilt, insbesondere gleichmäßig über die Ofenlänge verteilt vorgesehen sind, kann eine besonders gleichmäßige vertikal aufwärts gerichtete Gasströmung im Ofenraum erzeugt werden.

**[0017]** Nach einer Ausführungsform ist der Strömungsquerschnitt der Gaseinlässe verstellbar. Dies hat insbesondere den Vorteil, dass das Strömungsvolumen und die Strömungsverteilung des über diese Gaseinlässe in den Ofenraum einleitbaren Gases einstellbar ist.

**[0018]** Nach einer bevorzugten Ausführungsform sind die Gaseinlässe derart angeordnet, dass über die Gaseinlässe Gas unterhalb der Brennhilfsmittel in den Ofenraum einleitbar ist. Dies hat insbesondere den Vorteil, dass das über diese Gaseinlässe in den Ofenraum eingeleitete Gas zu keiner Verwirbelung von pulverförmigen Produkten im Ofenraum führt. Um Gas unterhalb der

Brennhilfsmittel in den Ofenraum einleiten zu können, sind Gaseinlässe bevorzugt am unteren Ende der Ofenwände angeordnet, also an dem zum Ofenboden benachbarten Bereich der Ofenwände. Bevorzugt ist Gas über diese Gaseinlässe horizontal in den Ofenraum einleitbar, so dass eine direkte Beaufschlagung der pulverförmigen Produkte mit dem aus diesen Gaseinlässen in den Ofenraum eingeleiteten Gas verhindert und hierdurch eine Verwirbelung dieser Produkte verhindert werden kann.

**[0019]** Nach einer Ausführungsform kann vorgesehen sein, dass Gas über die Gaseinlässe ausschließlich unterhalb der Brennhilfsmittel in den Ofenraum einleitbar ist.

**[0020]** Nach einer Ausführungsform ist vorgesehen, dass über die Gaseinlässe Gas in unterschiedlichen Höhen in den Ofenraum einleitbar ist, also in unterschiedlichen (vertikalen) Höhen des Ofenraums. Um dies zu erreichen, können die Gaseinlässe in unterschiedlichen Höhen an den Ofenwänden angeordnet sein. Ein besonderer Vorteil dieser Ausführungsform liegt darin, dass Gas über die Höhe des Ofenraums verteilt in den Ofenraum eingeleitet werden kann, wodurch Gas sehr gleichmäßig in den Ofenraum eingeleitet und hierdurch eine Verwirbelung von pulverförmigen Produkten im Ofenraum verhindert werden kann. Bei dieser Ausführungsform kann Gas über die Gaseinlässe auch im Bereich beziehungsweise in Höhe der im Ofenraum zu behandelnden Produkte in den Ofenraum einleitbar sein. Um dennoch eine Verwirbelung von pulverförmigen Produkten im Ofenraum verhindern zu können, kann bei dieser Ausführungsform vorgesehen sein, dass auch bei dieser Ausführungsform über Gaseinlässe Gas unterhalb der Brennhilfsmittel in den Ofenraum einleitbar ist, wobei hinsichtlich dieser Gaseinlässe, durch die Gas unterhalb der Brennhilfsmittel in den Ofenraum einleitbar ist, Gas mit einer höheren Geschwindigkeit als durch die weiteren Gaseinlässe, insbesondere solche weiteren Gaseinlässe, durch die Gas in Höhe der im Ofenraum zu behandelnden Produkte in den Ofenraum einleitbar ist, in den Ofenraum einleitbar ist.

**[0021]** Soweit über die Gaseinlässe Gas unterhalb der Brennhilfsmittel in den Ofenraum einleitbar ist, kann dieses Gas anschließend vertikal aufwärts strömen und insbesondere auch durch die zwischen den Brennhilfsmitteln ausgebildeten, vertikalen Spalte aufwärts bis zur Ofendecke strömen, wo das Gas anschließend über die Gasauslässe aus dem Ofenraum ausgeleitet wird. Hierdurch werden die in den Brennhilfsmitteln befindlichen Produkte im Wesentlichen durch die vertikal aufwärts gerichteten Brenngase mit Wärme beaufschlagt. Insbesondere kann vorgesehen sein, dass über die Gaseinlässe Gas unterhalb sämtlicher Brennhilfsmittel in den Ofenraum einleitbar ist. Dies hat den besonderen Vorteil, dass sämtliche Brennhilfsmittel unterseitig mit Gas beaufschlagt werden können, das anschließend zwischen sämtlichen Brennhilfsmitteln vertikal aufwärts strömen kann, so dass sämtliche Brennhilfsmittel, also über die

gesamte Breite des Ofenraums, gleichmäßig mit Gas, insbesondere durch einen vertikal aufwärts gerichteten Gasstrom, beaufschlagt werden können.

**[0022]** Ein weiterer Vorteil von unterhalb der Brennhilfsmittel in den Ofenraum einleitbarem Gas besteht insbesondere auch darin, dass die in den Brennhilfsmitteln befindlichen Produkte sehr vorteilhaft thermisch behandelt werden können, da insbesondere auch Wärmeverluste der Produkte, die in den unteren Brennhilfsmittel angeordnet sind, kompensiert werden können.

**[0023]** Soweit, wie oben ausgeführt, weitere Gaseinlässe in Höhe der Brennhilfsmittel vorgesehen sind, können diese insbesondere zur Beaufschlagung der Brennhilfsmittel, die der Ofenwand benachbart sind, mit Gas vorgesehen sein.

**[0024]** Insgesamt können die Gaseinlässe und Gasauslässe demnach derart angeordnet sein, dass Gas unter Ausbildung einer aufwärts gerichteten Strömung, insbesondere einer vertikal aufwärts ausgerichteten Strömung durch den Ofenraum führbar ist.

**[0025]** Ferner können die Gaseinlässe und die Gasauslässe, wie vorstehend ausgeführt, derart angeordnet sein, dass Gas unter Vermeidung einer horizontalen gerichteten Strömung durch den Ofenraum führbar ist.

**[0026]** Insbesondere können, wie vorstehend ausgeführt, die Gaseinlässe und die Gasauslässe demnach derart angeordnet sein, dass Gas unter Vermeidung einer Gasströmung nach dem Gegenstromprinzip durch den Ofenraum führbar ist.

**[0027]** Insoweit können, wie vorstehend ausgeführt, die Gaseinlässe und die Gasauslässe derart angeordnet sein, dass Gas unter Vermeidung einer Gasströmung in Transportrichtung durch den Ofenraum führbar ist.

**[0028]** Die Gaseinlässe sind bevorzugt an Gasleitungen angeschlossen, die in die Gaseinlässe münden, und über die das durch die Gaseinlässe in den Ofenraum einleitbare Gas zu den Gaseinlässen leitbar ist. Nach einer besonders bevorzugten Ausführungsform ist vorgesehen, dass die Gasauslässe in die oben bezeichneten Gasleitungen münden, über die dieses Gas wiederum zu den Gaseinlässen leitbar ist. Gas ist insoweit im Kreislauf durch den Tunnelofen führbar. Diese Gasumwälzung kann dabei, wie vorstehend ausgeführt, mittels der Gebläse unterstützt werden. Ein besonderer Vorteil der Verwendung von Gebläsen besteht dabei auch darin, dass diese zu einer Vergleichmäßigung der aus dem Ofenraum abgezogenen Ofengase beitragen können.

**[0029]** Selbstverständlich müssen nicht sämtliche der über die Gasauslässe aus dem Ofenraum abgezogenen Gase wieder über die Gaseinlässe in den Ofenraum eingeleitet und entsprechend im Kreislauf umgewälzt werden. Vielmehr kann, wie aus dem Stand der Technik bekannt, kontinuierlich ein Teil der aus dem Ofenraum abgezogenen Gase als Abgas aus dem Ofen abgezogen und ferner kontinuierlich Frischgas in den Ofen eingeleitet werden. Hierfür können die aus dem Stand der Technik bekannten Gasleitungsmittel vorgesehen sein.

**[0030]** Zur Wärmebehandlung der Produkte im Ofen-

raum, also zur Beaufschlagung dieser Produkte mit Temperatur im Ofenraum, weist der erfindungsgemäße Tunnelofen Mittel zum Beheizen des Ofenraums auf. Bei diesen Mitteln kann es sich grundsätzlich um beliebige Vorrichtungen zum Beheizen des Ofenraums mit thermischer Energie handeln, die aus dem Stand der Technik zum Beheizen des Ofenraums eines Tunnelofens mit thermischer Energie bekannt sind. Beispielsweise kann es sich bei diesen Mitteln um elektrische Heizelemente oder um Brenner, insbesondere Gasbrenner, insbesondere Strahlrohrbrenner handeln. Besonders bevorzugt handelt es sich bei den Mittel zum Beheizen des Ofenraums jedoch um elektrische Heizelemente. Denn erfindungsgemäß wurde erkannt, dass die hier ungewünschten, horizontalen Gasströmungen in einem gewissen Umfang durch Gasbrenner verursacht werden können, wohingegen elektrische Heizelemente keine oder nur vernachlässigbare Gasströmungen in Horizontalrichtung im Ofenraum verursachen. Nach einer bevorzugten Ausführungsform weist der erfindungsgemäße Tunnelofen ausschließlich solch elektrische Heizelemente zum Beheizen des Ofenraums auf. Bekanntermaßen handelt es sich bei elektrischen Heizelementen um Widerstandsheizelemente, die sich aufgrund ihres elektrischen Widerstandes bei Durchleitung von elektrischem Strom aufheizen. Besonders bevorzugt sind elektrische Heizelemente in Form von keramischen Heizelementen vorgesehen, insbesondere nicht-oxidische keramische Heizelemente, insbesondere keramische Heizelemente aus SiC (Siliziumcarbid) oder SiN (Siliziumnitrid). Bevorzugt ist vorgesehen, dass der Ofenraum durch die elektrischen Heizelemente überwiegend mittels Konvektion und weniger mittels Strahlung mit Wärme beaufschlagbar ist. Der Vorteil der Beaufschlagung des Ofenraums mit Konvektionswärme liegt insbesondere auch darin, dass die im Ofenraum befindlichen Produkte hierdurch gleichmäßig mit Wärme beaufschlagbar sind, da insoweit im Wesentlichen keine Abschirmungseffekte auftreten. Insoweit ist bevorzugt vorgesehen, dass zum Beheizen des Ofenraums mittels der elektrischen Heizelemente das im Ofenraum befindliche Gas durch die Heizelemente erhitzbar ist. Besonders bevorzugt kann vorgesehen sein, dass das durch die Gaseinlässe in den Ofenraum einleitbare Gas durch die Heizelemente erhitzbar ist. Besonders bevorzugt kann insoweit vorgesehen sein, dass das durch die Gaseinlässe in den Ofenraum einleitbare Gas durch die Heizelemente erhitzbar ist. Hierzu kann vorgesehen sein, Gas zunächst an den Heizelementen derart vorbeizuleiten, dass das Gas erwärmt und anschließend durch die Gaseinlässe in den Ofenraum eingeleitet wird. Nach einer besonders bevorzugten Ausgestaltung kann vorgesehen sein, dass Gas zunächst mittels der vorbezeichneten Gasleitungen zunächst an den Heizelementen derart vorbeigeleitet wird, dass das Gas erwärmt

wird, und anschließend durch die Gaseinlässe in den Ofenraum eingeleitet wird. Nach einer Fortbildung dieses Erfindungsgedankens kann vorgesehen sein, dass Gas über die Gasauslässe aus dem Ofenraum ausgeleitet wird, anschließend an den Heizelementen derart vorbeigeleitet wird, dass das Gas durch diese erwärmt wird, und anschließend das Gas über die Gaseinlässe in den Ofenraum eingeleitet wird. Dabei kann das Gas, wie oben ausgeführt, über Gasleitungen von den Gasauslässen zu den Heizelementen und anschließend weiter zu den Gaseinlässen geleitet werden. Ferner kann die Gasströmung dabei, wie oben ausgeführt, durch Gebläse unterstützt werden.

**[0031]** Über das in den Ofenraum durch die Gaseinlässe eingeleitete, erwärmte Gas kann der Ofenraum auf eine gewünschte Temperatur erhitzt werden. Insbesondere wird der Ofenraum auf die gewünschte Temperatur zur Wärmebehandlung der in den Brennhilfsmitteln befindlichen Produkte erhitzt. Der erfindungsgemäße Tunnelofen eignet sich insbesondere auch zur Wärmebehandlung von Produkten bei hohen Temperaturen, insbesondere auch bei wenigstens 300°C oder wenigstens 700°C. Insbesondere kann der Ofenraum auf eine Temperatur im Bereich von 300 bis 1.200°C, im Bereich von 700 bis 1.200°C, im Bereich von 300 bis 1.000°C und besonders bevorzugt im Bereich von 700 bis 1.000°C erhitzt werden. Soweit der erfindungsgemäße Tunnelofen zur Wärmebehandlung von Produkten in Form von Kathodenmaterial, insbesondere zur Synthese von pulverförmigen Kathodenmaterial verwendet wird, kann vorgesehen sein, dass der Ofenraum auf eine Temperatur im Bereich von 1.000 bis 1.200°C erhitzt wird.

**[0032]** Nach einer besonders bevorzugten Ausführungsform ist vorgesehen, dass unterhalb der Brennhilfsmittel ein Gasverteilraum ausgebildet ist. Dieser Gasverteilraum dient insbesondere dazu, Brenngas unterhalb der Brennhilfsmittel gleichmäßig zu verteilen, so dass das vergleichmäßigte Gas vom Gasverteilraum anschließend vertikal zwischen den Brennhilfsmitteln aufsteigen kann. Hierdurch können die in den Brennhilfsmitteln befindlichen Produkte sehr gleichmäßig mit Brenngas und damit mit Wärme beaufschlagt werden. Um einen solchen Gasverteilraum unterhalb der Brennhilfsmittel auszubilden, können die Brennhilfsmittel bevorzugt auf voneinander beabstandeten Auflagen aufliegen, wobei die Auflagen bevorzugt auf den Ofenwagen aufliegen. Bei den Auflagen kann es sich bevorzugt um keramische, insbesondere feuerfeste keramische Steine handeln. Der Gasverteilraum ist bevorzugt zwischen der Oberseite der Ofenwagen und den Brennhilfsmitteln ausgebildet.

**[0033]** Besonders bevorzugt ist Gas über die Gaseinlässe in diesen Gasverteilraum einleitbar. Besonders bevorzugt ist Gas über die oben bezeichneten Gaseinlässe, über die Gas unterhalb der Brennhilfsmittel in den Ofenraum einleitbar ist, in den Gasverteilraum einleitbar.

**[0034]** Die Brennhilfsmittel sind unter Ausbildung wenigstens eines vertikalen Spaltes zwischen den Brennhilfsmitteln auf den Ofenwagen angeordnet. Durch diese,

zwischen den Brennhilfsmitteln verlaufenden, vertikalen Spalte können Gase zwischen den Brennhilfsmitteln vertikal aufwärts bis an die Ofendecke strömen. Besonders bevorzugt verläuft wenigstens einer der wenigstens einen vertikalen Spalte zwischen den Brennhilfsmitteln in Transportrichtung. Bevorzugt laufen mehrere der vertikalen Spalte in Transportrichtung. Erfindungsgemäß wurde erkannt, dass durch solche vertikal in Transportrichtung verlaufenden Spalte zwischen den Brennhilfsmitteln nicht nur eine vertikal aufwärts gerichtete Strömung der Gase im Ofenraum erzeugt, sondern gleichzeitig auch eine Gasströmung von Gasen im Ofenraum in Transportrichtung besonders wirksam unterdrückt werden kann.

**[0035]** Um vertikale Spalte zwischen den Brennhilfsmitteln auszubilden, können die Brennhilfsmittel horizontal beabstandet voneinander auf den Ofenwagen angeordnet sein. Besonders bevorzugt sind die Brennhilfsmittel quer zur Transportrichtung beabstandet voneinander unter Ausbildung wenigstens eines vertikalen Spaltes zwischen den Brennhilfsmitteln auf den Ofenwagen angeordnet, um hierdurch wenigstens einen Spalt zwischen den Brennhilfsmitteln in Transportrichtung auszubilden.

**[0036]** Kumulativ können ferner vertikale Spalte quer zur Transportrichtung zwischen den Brennhilfsmitteln ausgebildet sein, wozu die Brennhilfsmittel längs zur Transportrichtung beabstandet voneinander unter Ausbildung wenigstens eines vertikalen Spaltes zwischen den Brennhilfsmitteln auf den Ofenwagen angeordnet sein können.

**[0037]** Nach einer besonders bevorzugten Ausführungsform sind stapelbare Brennhilfsmittel, insbesondere übereinander stapelbare Brennhilfsmittel, besonders bevorzugt vertikal übereinander stapelbare Brennhilfsmittel vorgesehen. Nach einer besonders bevorzugten Ausführungsform sind Brennhilfsmittel in Form von Kassetten vorgesehen, also in Form von "Kisten", insbesondere mit einer (in Aufsicht) rechteckigen Außenkontur. Insbesondere, soweit die Brennhilfsmittel in Form von solchen Kassetten, insbesondere mit einer rechteckigen Außenkontur, vorliegen, lassen sich die Brennhilfsmittel besonders einfach und effektiv derart nebeneinander auf den Ofenwagen anordnen, dass zwischen den Brennhilfsmitteln vertikal verlaufende Spalte ausbildbar sind.

**[0038]** Zum Transport der Produkte durch den Ofenraum, sind die Produkte durch die Brennhilfsmittel aufgenommen. Soweit Produkte in Form von pulverförmigen Produkten vorliegen, sind die Pulver in die Brennhilfsmittel aufgenommen, also im Fall von Brennhilfsmitteln in Form von Kassetten oder Kisten in die Kassetten beziehungsweise Kisten aufgenommen.

**[0039]** Die Brennhilfsmittel bestehen bevorzugt aus Graphit oder Keramik, beispielsweise aus einer Oxidkeramik oder einer Nichtoxidkeramik, besonders bevorzugt aus einer Nichtoxidkeramik, insbesondere einer nitridischen oder carbidischen Nichtoxidkeramik, besonders bevorzugt aus SiC, insbesondere silikatisch beziehungs-

weise keramisch gebundenem SiC.

**[0040]** Um auch im Fall vertikal übereinander gestapelter Brennhilfsmittel eine Beaufschlagung der in den Brennhilfsmitteln aufgenommenen Produkte mit den heißen Ofengasen zu ermöglichen, kann bevorzugt vorgesehen sein, dass die Brennhilfsmittel derart vertikal übereinander gestapelt sind, dass ein durchströmbarer Durchlass zwischen vertikal benachbarten Brennhilfsmitteln ausgebildet ist. Soweit die Brennhilfsmittel in Form von Kassetten ausgebildet sind, kann beispielsweise vorgesehen sein, dass diese Kassetten in ihrem unteren Bereich jeweils geschlossenen Wände aufweisen, so dass pulverförmige Produkte sicher in den Kassetten aufgenommen werden können, und die Wände der Kassetten in ihrem oberen Bereich Durchbrechungen, Löcher oder sonstige Öffnungen aufweisen, durch die Brenngase zwischen vertikal benachbarten Kassetten hindurchströmen können.

**[0041]** Die Ofenwagen können gemäß dem Stand der Technik ausgebildet sein. Insoweit können die Ofenwagen beispielsweise auf Schienen durch den Ofenraum fahrbar sein. Zur Bewegung der Ofenwagen können diese beispielsweise mittels Seilzügen oder dergleichen mechanische Antriebsmittel bewegbar sein. Die Ofenwagen können (in Draufsicht) eine im Wesentlichen rechteckige Außenkontur aufweisen.

**[0042]** Die Ofenwagen weisen jeweils eine Oberseite auf, auf der die Brennhilfsmittel anordenbar sind. Bevorzugt sind die Brennhilfsmittel auf die Oberseite der Ofenwagen auflegbar. Bevorzugt ist die Oberseite der Ofenwagen als eine ebene Fläche ausgebildet, bevorzugt mit einer rechteckigen Außenkontur.

**[0043]** Bevorzugt begrenzen die Oberseiten der Ofenwagen den Ofenraum unterseitig, bildet also den Ofenboden.

**[0044]** Bevorzugt ist der Tunnelofen gasdicht abgedichtet. Bevorzugt kann hierzu vorgesehen sein, dass der Tunnelofen außenseitig von einem gasdichten Mantel gebildet ist, bevorzugt von einem gasdichten Stahlgehäuse. Besonders bevorzugt umschließt das gasdichte Stahlgehäuse auch die im Ofenraum befindlichen Ofenwagen. Damit umschließt das gasdichte Stahlgehäuse insbesondere auch die Ofendecke, die Ofenwände und die Ofenwagen. Bevorzugt verläuft das gasdichte Stahlgehäuse unterhalb der Ofenwagen, so dass auch die Ofenwagen gasdicht umschlossen sind.

**[0045]** Um den Tunnelofen am ersten Ende des Ofenraums, also am Ofeneinlass, und am zweiten Ende des Ofenraums, also am Ofenauslass, gasdicht abzudichten, können Verschlussmittel vorgesehen sein, durch die der Ofenraum gasdicht verschließbar ist, die jedoch ein Einfahren beziehungsweise Ausfahren von Ofenwagen in beziehungsweise aus dem Ofenraum ermöglichen. Bevorzugt können hierzu Schleusen am ersten Ende und zweiten Ende vorgesehen sein. Durch entsprechende Schleusen jeweils am ersten Ende und zweiten Ende des Ofenraums können Ofenwagen in den Ofenraum eingefahren beziehungsweise wieder aus diesem aus-

gefährden werden, und gleichzeitig der Ofenraum permanent gasdicht umschlossen bleiben.

**[0046]** Der besondere Vorteil eines solchen gasdichten Tunnelofens besteht insbesondere darin, dass eine gewünschte Ofenatmosphäre eingestellt werden kann.

**[0047]** Besonders bevorzugt herrscht im Ofenraum eine oxidische Ofenatmosphäre beziehungsweise wird der erfindungsgemäße Tunnelofen mit einer oxidischen Ofenatmosphäre betrieben. Es kann jedoch auch vorgesehen sein, den Tunnelofen mit einer reduzierenden Ofenatmosphäre zu betreiben, beispielsweise wenn Brennhilfsmittel aus Graphit vorgesehen sind.

**[0048]** Bevorzugt liegt der Anteil an Sauerstoffgas in der Ofenatmosphäre über 95 Volumen-%. Es kann jedoch auch vorgesehen sein, den Ofen mit Luftatmosphäre, also einem Anteil an Sauerstoffgas von etwa 21 Volumen-% zu betreiben. Soweit der Tunnelofen mit einer reduzierenden Ofenatmosphäre betrieben wird, kann der Ofen beispielsweise mit Stickstoff als Prozessgas betrieben werden und beispielsweise mit einem Anteil an Restsauerstoff unter 100ppm.

**[0049]** Ein besonderer Vorteil des erfindungsgemäßen Tunnelofens besteht insbesondere auch darin, dass dieser praktisch in einer beliebigen Länge (in Transportrichtung) zur Verfügung gestellt werden kann, insbesondere auch mit einer Länge über 50 m. Nach einer bevorzugten Ausführungsform ist vorgesehen, dass der Tunnelofen eine Länge von wenigstens 120 m, insbesondere von wenigstens 150 m aufweist. Insoweit kann der Tunnelofen beispielsweise in Länge im Bereich von 50 - 250 m aufweisen. Bevorzugt weist der Tunnelofen eine Länge im Bereich von 120 - 250 m, noch bevorzugter im Bereich von 150 - 250 m und noch bevorzugter im Bereich von 150 - 200 m auf.

**[0050]** Gegenstand der Erfindung ist auch ein Verfahren zum Betreiben eines Tunnelofens, welches die folgenden Schritte umfasst:

- Zur Verfügungstellung eines erfindungsgemäßen Tunnelofens;
- Fahren der Ofenwagen entlang der Transportrichtung durch den Ofenraum;
- Ausleiten von im Ofenraum befindlichem Gas über die Gasauslässe;
- Einleiten von Gas in den Ofenraum über die Gaseinlässe; und
- Beheizen des Ofenraums über die Heizelemente.

**[0051]** Im Übrigen kann das erfindungsgemäße Verfahren die hierin beschriebenen Maßgaben zum Betreiben des erfindungsgemäßen Tunnelofens umfassen.

**[0052]** Gegenstand der Erfindung ist auch die Verwendung eines erfindungsgemäßen Tunnelofens zur Wärmebehandlung von Produkten in Form von Pulver.

**[0053]** Bevorzugt erfolgt die Verwendung mit der Maßgabe, dass der Tunnelofen zur Wärmebehandlung von Produkten in Form von pulverförmigem Kathodenmaterial, insbesondere zur Synthese von pulverförmigem Kathodenmaterial erfolgt.

**[0054]** Im Übrigen kann die Verwendung mit den hierin beschriebenen Maßgaben zum Betreiben des erfindungsgemäßen Tunnelofens erfolgen.

**[0055]** Weitere Merkmale der Erfindung ergeben sich aus den Ansprüchen, den Figuren sowie der zugehörigen Figurenbeschreibung.

**[0056]** Sämtliche Merkmale der Erfindung können, einzeln oder in Kombination, beliebig miteinander kombiniert sein.

**[0057]** Ein Ausführungsbeispiel der Erfindung wird mittels der nachfolgenden Figurenbeschreibung näher erläutert.

**[0058]** Dabei zeigt,

Figur 1 eine Ansicht auf einen Querschnitt eines Ausführungsbeispiels eines erfindungsgemäßen Tunnelofens senkrecht zur Längsachse des Tunnelofens;

Figur 2 eine Ansicht auf einen Abschnitt eines Querschnitts des Tunnelofens nach Figur 1 parallel zur Längsachse; und

Figur 3 eine Ansicht auf einen Querschnitts des Tunnelofens nach Figur 1 parallel zur Längsachse.

**[0059]** Die Darstellungen in den Figuren sind hinsichtlich der Gestaltung und Dimensionierung des Tunnelofens stark schematisiert.

**[0060]** Figur 1 zeigt eine Ansicht auf einen Querschnitt des Tunnelofens senkrecht zur Transportrichtung beziehungsweise Längsachse des Tunnelofens, wobei der Tunnelofen in seiner Gesamtheit mit dem Bezugszeichen 1 gekennzeichnet ist. Die Transportrichtung und Längsachse des Tunnelofens 1 verlaufen in Figur 1 senkrecht zur Zeichenebene. Die Längsachse ist in den Figuren 2 und 3 mit L bezeichnet, wobei die Transportrichtung entlang der Längsachse L in den Figuren 2 und 3 nach rechts verläuft. Der Tunnelofen 1 umfasst einen tunnelartigen Ofenraum 2, der sich senkrecht zur Zeichenebene von einem ersten Ende (vor der Zeichenebene) zu einem zweiten Ende (hinter der Zeichenebene) des Ofenraums 2 erstreckt, wobei der Ofenraum 2 oberseitig durch eine Ofendecke 3 und seitlich durch eine erste, in Figur 1 linke, Ofenwand 4 und eine zweite, in Figur 1 rechte, Ofenwand 5 begrenzt ist. Der Tunnelofen 1 umfasst ferner Ofenwagen 6, die über Räder 7 auf Schienen 8 entlang der Transportrichtung, also in Figur 1 senkrecht zur Zeichenebene und in den Figuren 2 und 3 nach rechts, durch den Ofenraum 2 fahrbar sind. Auf den Ofenwagen 6 sind Brennhilfsmittel 9 zur Aufnahme von Produkten angeordnet.

**[0061]** Die Ofendecke 3 ist aus feuerfesten keramischen Steinen gemauert. Gleichmäßig voneinander abgestuft sind in der Mitte der Ofendecke 3 Gasauslässe 10 in Form von durch die Ofendecke 3 hindurchgehen-

den Öffnungen angeordnet, von denen in den Figuren ein solcher Gasauslass 10 zu erkennen ist. Die Gasauslässe 10 sind gleichmäßig voneinander beabstandet entlang der Transportrichtung an der Ofendecke 3 angeordnet. Die Gasauslässe 10 führen zu einem von einem Motor 11 angetriebenen Gebläse 12.

**[0062]** Die vertikal verlaufenden Ofenwände 4, 5 sind aus feuerfesten keramischen Steinen gemauert. In den Seitenwänden 4, 5 sind Gaseinlässe 17, 18, 19 in Form von durch die Ofenwände 4, 5 hindurchgehenden Öffnungen vorgesehen. Die Gaseinlässe 17, 18, 19 sind entlang der Transportrichtung gleichmäßig voneinander über die Ofenlänge beabstandet in verschiedenen Höhen an den Ofenwänden 4, 5 angeordnet. Dabei sind jeweils an den Seitenwänden 4, 5 gegenüberliegende untere Gaseinlässe 17, darüber angeordnete Gaseinlässe 18 und wiederum darüber angeordnete Gaseinlässe 19 an den Seitenwänden 4, 5 angeordnet. Die untersten Gaseinlässe 17 sind derart angeordnet, dass über dieses Gas unterhalb der Brennhilfsmittel 9 in den Ofenraum 2 einleitbar ist. Dabei ist, wie unten weiter im Detail ausgeführt, über diese untersten Gaseinlässe 17 Gas in einen unterhalb der Brennhilfsmittel 9 ausgebildeten Gasverteilraum 20 einleitbar, angedeutet durch die Pfeile P1. Über die Gaseinlässe 17, 18, 19 ist Gas jeweils horizontal in den Ofenraum 2 einleitbar, wobei über die unteren Gaseinlässe 17 Gas mit einer höheren Geschwindigkeit in den Ofenraum 2 einleitbar ist als durch die darüber angeordneten Gaseinlässe 18, 19.

**[0063]** Die feuerfesten keramischen Steine der Ofendecke 6 und der Ofenwände 4, 5 sind hochtonerdehaltige Steine mit einem Gehalt an  $\text{Al}_2\text{O}_3$  von über 99 Massen-%, bezogen auf die Masse der Steine.

**[0064]** Der Tunnelofen 1 ist außenseitig von einem Stahlgehäuse 27 gebildet, der den Tunnelofen 1 gasdicht nach außen abdichtet. Das Stahlgehäuse 27 weist eine im wesentlichen rechteckige Kontur mit einer horizontal verlaufenden Decke 27.1, einem horizontal verlaufenden Boden 27.2 und zwei jeweils vertikal verlaufenden Wänden 27.3, 27.4 auf. Unterhalb der Decke 27.1 des Stahlmantels 27 ist eine Hängedecke 16 aus feuerfesten keramischen Steinen an der Decke 27.1 aufgehängt, die oberhalb der Ofendecke 3 mit Abstand zu dieser verläuft. Hierdurch ist oberhalb der Ofendecke 3 ein Freiraum 13 zwischen der Ofendecke 3 und der Hängedecke 16 ausgebildet.

**[0065]** Die zwei Wände 27.3, 27.4 des Stahlmantels 27 sind innenseitig mit einer Verkleidung aus feuerfesten Steinen 14, 15 zugestellt, die auf Höhe der Seitenwände 4, 5 bis an die Seitenwände 4, 5 heranreicht. Die Verkleidung aus feuerfesten Steinen 14, 15 weist vertikal verlaufende Öffnungen 28 auf, die sich mit Abstand zueinander zwischen den Wänden 27.3, 27.4 und den Seitenwänden 4, 5 erstrecken. Die Gaseinlässe 17, 18, 19 erstrecken sich jeweils durch die Seitenwände 4, 5 vom Ofenraum 2 bis in diese Öffnungen 28.

**[0066]** Der Freiraum 13 und die Öffnungen 28 bilden zusammen Gasleitungen, durch die Gas leitbar ist.

**[0067]** Durch die Hängedecke 16 sind Abgasleitungen 31 geführt, die an ihrem einen Ende in den Freiraum 13 und an ihrem anderen Ende in Ventile 33 in der Decke 27.1 münden.

**[0068]** Ferner sind durch die Verkleidungen 14, 15 Frischgasleitungen 32 geführt, die an ihrem einen Ende in die Öffnungen 28 und an ihrem anderen Ende in Ventile 34 in den Wänden 27.3, 27.4 münden.

**[0069]** Vertikal angeordnete, elektrische Heizelemente 21 erstrecken sich von der Hängedecke 16 durch den Freiraum 13 und durch die Öffnungen 28. Bei den elektrischen Heizelementen 21 handelt es sich um keramische Heizelemente aus SiC.

**[0070]** Die Ofenwagen 6 sind im Wesentlichen gemäß dem Stand der Technik ausgebildet. Insoweit sind die Ofenwagen 6 über Räder 7 auf Schienen 8 entlang der Transportrichtung verfahrbar, wobei sie über (nicht dargestellte) Seilzüge bewegbar sind. Die Ofenwagen 6 weisen eine (in Aufsicht) im Wesentlichen rechteckige Außenkontur auf. Die Oberseite 22 der Ofenwagen 6 ist als ebene Fläche ausgebildet und begrenzt den Ofenraum 2 unterseitig. Zur Seite hin sind die Ofenwagen 6 jeweils über einen Labyrinthverschluss 23 gegenüber dem Fundament 24 der Verkleidungen 14, 15 des Tunnelofens 1 abgedichtet.

**[0071]** Die Oberseite 22 der Ofenwagen 6 dient als Auflage für die Brennhilfsmittel 9. Dabei sind die Brennhilfsmittel 9 über Auflagen 25 in Form von feuerfesten keramischen Steinen mit Abstand zur Oberseite 22 der Ofenwagen 6 auf diese aufgelegt. Hierdurch ist zwischen den Ofenwagen 6 und den Brennhilfsmitteln 9 der Gasverteilraum 20 ausgebildet.

**[0072]** Die Brennhilfsmittel 9 bestehen aus vertikal übereinander stapelbaren Kassetten aus keramisch gebundenem SiC. Die Brennhilfsmittel 9 weisen eine (in Aufsicht) rechteckige Außenkontur auf. In ihrem unteren Bereich weisen die Brennhilfsmittel 9 geschlossene Wände und in ihrem oberen Bereich Durchbrechungen auf, so dass zwischen vertikal benachbarten, übereinander gestapelten Brennhilfsmitteln 9 ein durchströmbarer Durchlass verbleibt.

**[0073]** Im Ausführungsbeispiel sind jeweils acht Brennhilfsmittel 9 übereinander gestapelt. Die Stapel sind jeweils in Reihen in Transportrichtung auf den Ofenwagen 6 angeordnet. Dabei sind drei dieser Reihen quer zur Transportrichtung derart nebeneinander angeordnet, dass zwischen benachbarten Reihen der übereinander gestapelten Brennhilfsmitteln 9 jeweils ein vertikaler Spalt 26 zwischen den Brennhilfsmitteln 9 verbleibt.

**[0074]** In den Brennhilfsmitteln 9 ist jeweils pulverförmiges Kathodenmaterial angeordnet.

**[0075]** Am ersten, in Figur 3 linken Ende des Ofenraum 2 weist der Tunnelofen 1 eine Einlaufschleuse 29 und am zweiten, in Figur 3 rechten Ende des Ofenraums 2 eine Auslaufschleuse 30 zur gasdichten Abdichtung des Ofenraums 2 nach dem Stand der Technik auf. Die Einlaufschleuse 29 und die Auslaufschleuse 30 ermöglichen ein Ein- und Ausfahren von Ofenwagen 6 in und aus dem

Ofenraum 2, wobei der Ofenraum 2 jedoch gleichzeitig gasdicht abgeschlossen werden kann.

[0076] Der Tunnelofen 1 weist in Transportrichtung eine Länge von etwa 150 m auf.

[0077] In der praktischen Anwendung wird der in den Figuren dargestellte Tunnelofen 1 wie folgt betrieben: Die Ofenwagen 6 werden durch die Einlaufschleuse 29 in den Ofenraum 2 eingeschoben, anschließend kontinuierlich in Transportrichtung entlang der Längsachse L durch den Ofenraum 2 bewegt und nach der Ofenreise durch die am zweiten Ende des Ofenraums 2 befindliche Auslaufschleuse 30 wieder aus dem Ofenraum 2 ausgefahren.

[0078] Das im Ofenraum 2 befindliche Gas wird über die Gasauslässe 10 aus dem Ofenraum 2 ausgeleitet. Dieses Ausleiten von Gas aus dem Ofenraum 2 über die Gasauslässe 10 wird durch das über den Motor 11 angetriebene Gebläse 12 unterstützt, das die Ofengase nach Ausleiten aus den Gasauslässen 10 zunächst in den Freiraum 13 (angedeutet durch die Pfeile P3), weiter zu den keramischen Heizelementen 21 und an diesen entlang, weiter durch die Öffnungen 28 und schließlich durch die Gaseinlässe 17, 18, 19 zurück in den Ofenraum 2 fördert. Während des Entlangeleitens an den keramischen Heizelementen 21 wird das Ofengas erhitzt, so dass das entsprechend erhitzte Gas über die Gaseinlässe 17, 18, 19 anschließend wieder in den Ofenraum 2 eingeleitet wird, angedeutet durch die Pfeile P1.

[0079] Dabei wird das erhitzte Gas über die unteren Gaseinlässe 17 in den Gasverteilraum 20 eingeleitet und über die darüber angeordneten Gaseinlässe 18, 19 in Richtung der jeweils äußeren Reihen von aufeinander-gestapelten Brennhilfsmitteln 9, die den Seitenwänden 4, 5 jeweils benachbart sind, geleitet. Im Gasverteilraum 20 verteilt sich das eingeleitete Gas und strömt anschließend durch die zwischen den Brennhilfsmitteln 9 ausgebildeten Spalte 26 vertikal aufwärts (angedeutet durch die Pfeile P2) bis in den Bereich der Ofendecke 3, wo es den Ofenraum 2 wiederum über die Gasauslässe 10 verlässt. Das über die Gaseinlässe 18, 19 in den Ofenraum 2 eingeleitete Gas strömt zwischen den äußeren Stapeln der Brennhilfsmitteln 9 und den Seitenwänden 4, 5 vertikal aufwärts bis in den Bereich der Ofendecke 3, wo es den Ofenraum 2 ebenfalls über die Gasauslässe 10 verlässt. Entsprechend wird Gas kontinuierlich im Kreislauf umgewälzt.

[0080] Dabei können die Brenngase im Ofenraum 2 im Wesentlichen vertikal aufwärts strömen. Eine Strömung der Brenngase in horizontaler und insbesondere auch in Transportrichtung kann praktisch vollständig vermieden werden.

[0081] Von den im Kreislauf umgewälzten Brenngas können Teile als Abgas abgezogen. Hierzu kann über die Abgasleitungen 31 Brenngas aus dem Freiraum 13 abgezogen, durch Öffnung der Ventile 33 aus dem Ofen 1 ausgeleitet und einer Abgasbehandlung zugeführt werden. Ferner kann dem Brenngas Frischgas zugeführt werden. Hierzu kann durch Öffnung der Ventile 34 über

die Frischgasleitungen 32 Frischgas, beispielsweise Luft oder Sauerstoff, im Bereich der Öffnungen 28 in den Kreislauf der Brenngase eingeleitet werden.

[0082] Der Tunnelofen 1 wird dabei mit einer oxidierenden Ofenatmosphäre betrieben, wobei die Sauerstoffkonzentration im Ofenraum 2 über 95 Volumen-% liegt.

[0083] Über die keramischen Heizelemente 21 wird der Ofenraum dabei derart beheizt, dass die Temperatur im Ofenraum 2 etwa 1.100 °C beträgt. Hierdurch kann das in den Brennhilfsmitteln 9 befindliche pulverförmige Kathodenmaterial synthetisiert werden.

[0084] Aufgrund der vorbeschriebenen Strömungsverhältnisse im Ofenraum 2 kommt es dabei zu keiner Verwirbelung des pulverförmigen Kathodenmaterials.

### Bezugszeichenliste

#### [0085]

20

1	Tunnelofen
2	Ofenraum
3	Ofendecke
4	Linke Seitenwand des Ofenraums
5	Rechte Seitenwand des Ofenraums
6	Ofenwagen
7	Räder
8	Schienen
9	Brennhilfsmittel
10	Gasausslass
11	Motor
12	Gebläse
13	Freiraum
14, 15	Seitenverkleidung des Stahlmantels
16	Deckenverkleidung des Stahlmantels
17, 18, 19	Gaseinlässe
20	Gasverteilraum
21	Keramische Heizelemente
22	Oberseite der Ofenwagen
23	Labyrinthverschluss
24	Fundament der Seitenverkleidungen
25	Auflagen
26	Spalte
27	Stahlmantel
27.1-4	Wandteile des Stahlmantels
28	Öffnungen
29	Einlaufschleuse
30	Auslaufschleuse
31	Abgasleitungen
32	Frischgasleitungen
33	Ventile der Abgasleitungen
34	Ventile der Frischgasleitungen
P1-P3	Gasströmungen

55

### Patentansprüche

1. Tunnelofen zur Wärmebehandlung von Produkten,

umfassend die folgenden Merkmale:

- 1.1 Einen tunnelartigen Ofenraum (2), der sich von einem ersten Ende zu einem zweiten Ende des Ofenraums (2) erstreckt, wobei der Ofenraum (2) oberseitig durch eine Ofendecke (3) und seitlich durch Ofenwände (4, 5) begrenzt ist; 5  
 1.2 Ofenwagen (6), die vom ersten Ende zum zweiten Ende entlang einer Transportrichtung durch den Ofenraum (2) fahrbar sind und auf denen im Ofenraum (2) mit Wärme zu behandelnde Produkte transportierbar sind;
- 1.3 Brennhilfsmitteln (9) zur Aufnahme der Produkte, wobei die Brennhilfsmittel (9) auf den Ofenwagen (6) angeordnet sind; 10  
 1.4 Gasauslässe (10), über die im Ofenraum (2) befindliches Gas aus dem Ofenraum (2) ausleitbar ist;
- 1.5 Gaseinlässe (17, 18, 19), über die Gas in den Ofenraum (2) einleitbar ist; und 15  
 1.6 Mittel (21) zum Beheizen des Ofenraums (2); wobei  
 1.7 über die Gasauslässe (10) im Bereich der Ofendecke (3) befindliches Gas aus dem Ofenraum (3) ausleitbar ist;
- 1.8 über die Gaseinlässe (17, 18, 19) Gas im Bereich der Ofenwände (4, 5) in den Ofenraum (4, 5) einleitbar ist; und wobei  
 1.9 die Brennhilfsmittel (9) unter Ausbildung wenigstens eines vertikalen Spaltes (26) zwischen den Brennhilfsmitteln (9) auf den Ofenwagen (6) angeordnet sind.
2. Tunnelofen nach Anspruch 1, bei dem über die Gaseinlässe (17, 18, 19) Gas unterhalb der Brennhilfsmittel (9) in den Ofenraum (2) einleitbar ist. 20  
 3. Tunnelofen nach wenigstens einem der vorhergehenden Ansprüche, bei dem über die Gaseinlässe (17, 18, 19) Gas in unterschiedlichen Höhen in den Ofenraum (2) einleitbar ist. 25  
 4. Tunnelofen nach wenigstens einem der vorhergehenden Ansprüche, bei dem die Gaseinlässe (17, 18, 19) und die Gasauslässe (10) derart angeordnet sind, dass Gas unter Ausbildung einer aufwärts gerichteten Gasströmung durch den durch Ofenraum (2) führbar ist. 30  
 5. Tunnelofen nach wenigstens einem der vorhergehenden Ansprüche, bei dem die Gaseinlässe (17, 18, 19) und die Gasauslässe (10) derart angeordnet sind, dass Gas unter Vermeidung einer horizontal gerichteten Gasströmung durch den durch Ofenraum (2) führbar ist. 35  
 6. Tunnelofen nach wenigstens einem der vorhergehenden Ansprüche, bei dem die Gaseinlässe (17, 18, 19) und die Gasauslässe (10) derart angeordnet sind, dass Gas unter Vermeidung einer Gasströmung nach dem Gegenstromprinzip durch den durch Ofenraum (2) führbar ist. 40  
 7. Tunnelofen nach wenigstens einem der vorhergehenden Ansprüche, bei dem die Gaseinlässe (17, 18, 19) und die Gasauslässe (10) derart angeordnet sind, dass Gas unter Vermeidung einer Gasströmung in Transportrichtung durch den Ofenraum (2) führbar ist. 45  
 8. Tunnelofen nach wenigstens einem der vorhergehenden Ansprüche, bei dem unterhalb der Brennhilfsmittel (9) ein Gasverteilraum (20) ausgebildet ist. 50  
 9. Tunnelofen nach Anspruch 8, bei dem über die Gaseinlässe (17, 18, 19) Gas in den Gasverteilraum (20) einleitbar ist. 55  
 10. Tunnelofen nach wenigstens einem der vorhergehenden Ansprüche, bei dem wenigstens einer der wenigstens einen Spalte (26) zwischen den Brennhilfsmitteln (9) in Transportrichtung verläuft. 60  
 11. Tunnelofen nach wenigstens einem der vorhergehenden Ansprüche, mit Brennhilfsmitteln (9) in Form von stapelbaren Brennhilfsmitteln. 65  
 12. Tunnelofen nach wenigstens einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die Mittel (21) zum Beheizen des Ofenraums (2) elektrische Heizelemente sind. 70  
 13. Tunnelofen nach wenigstens einem der vorhergehenden Ansprüche, der gasdicht abgedichtet ist. 75  
 14. Verfahren zum Betreiben eines Tunnelofens, umfassend die folgenden Schritte:  
     14.1 Zur Verfügungstellung eines Tunnelofens (1) nach wenigstens einem der vorhergehenden Ansprüche;  
     14.2 Fahren der Ofenwagen (6) entlang der Transportrichtung durch den Ofenraum (2);  
     14.3 Ausleiten von im Ofenraum (2) befindlichem Gas über die Gasauslässe (10);  
     14.4 Einleiten von Gas in den Ofenraum (2) über die Gaseinlässe (17, 18, 19); und  
     14.5 Beheizen des Ofenraums (2) über die Mittel (21) zum Beheizen des Ofenraums (2). 80  
 15. Verwendung eines Tunnelofens nach wenigstens einem der Ansprüche 1 bis 13 zur Wärmebehandlung von Produkten in Form von Pulver. 85

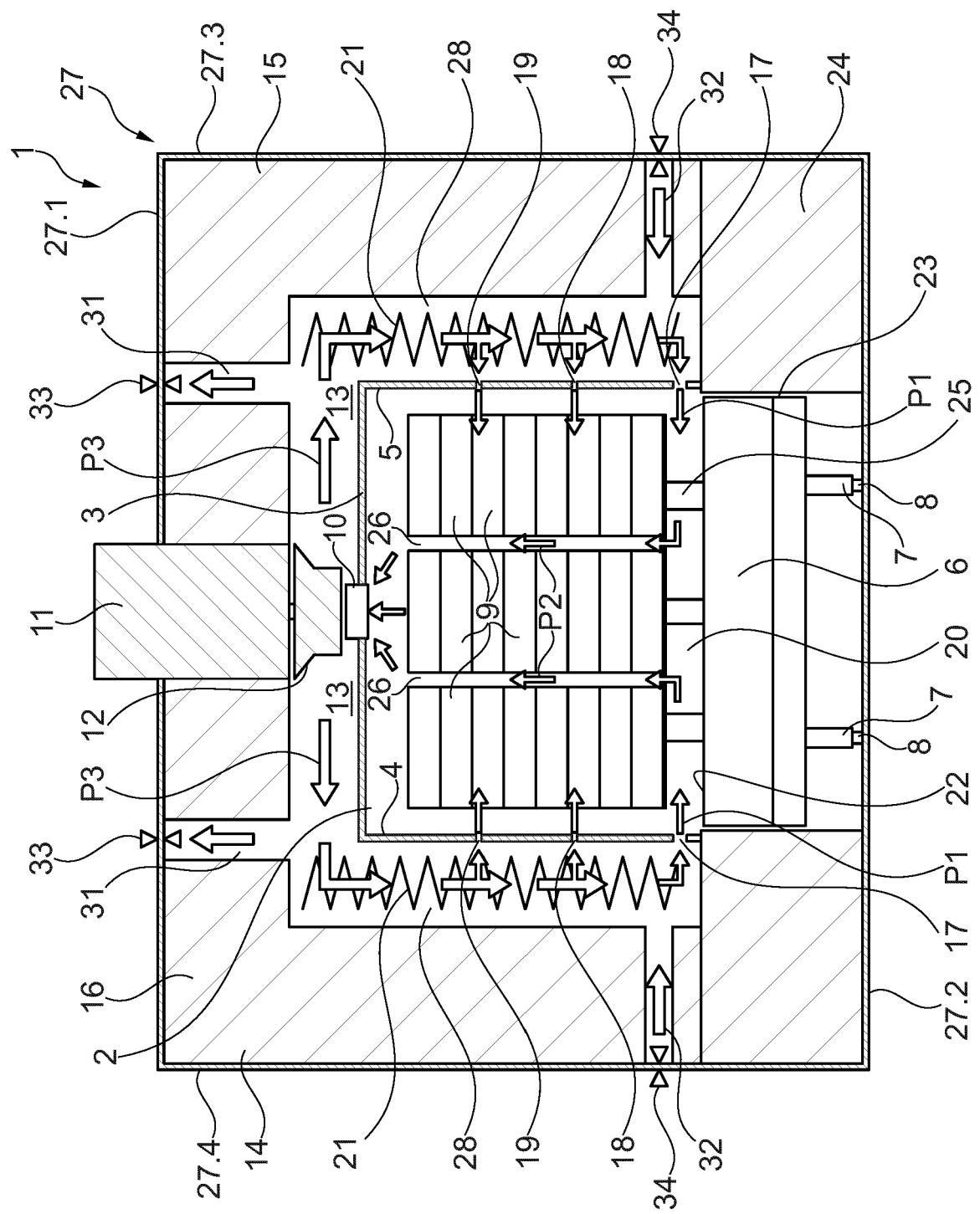


Fig.

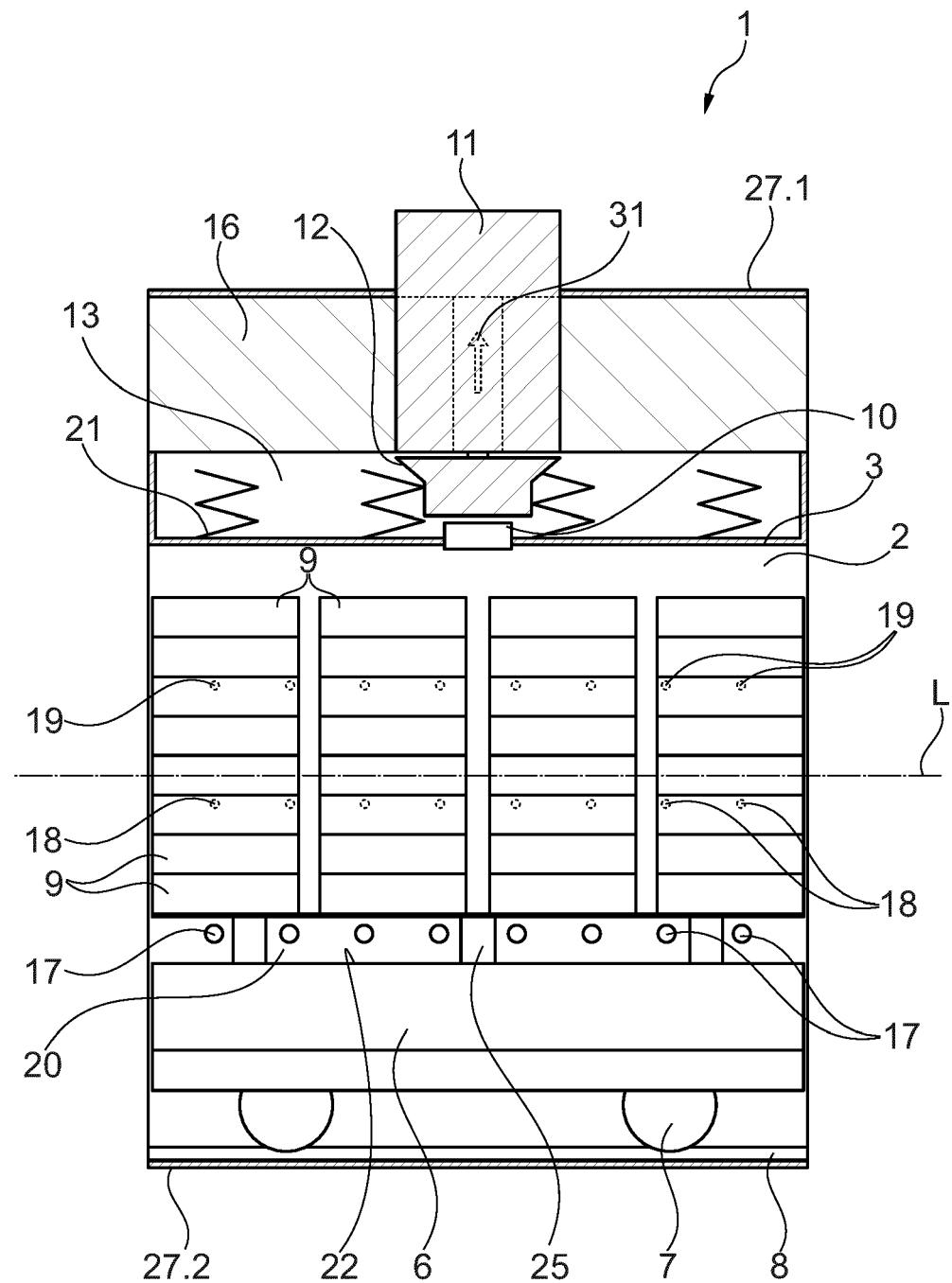


Fig. 2

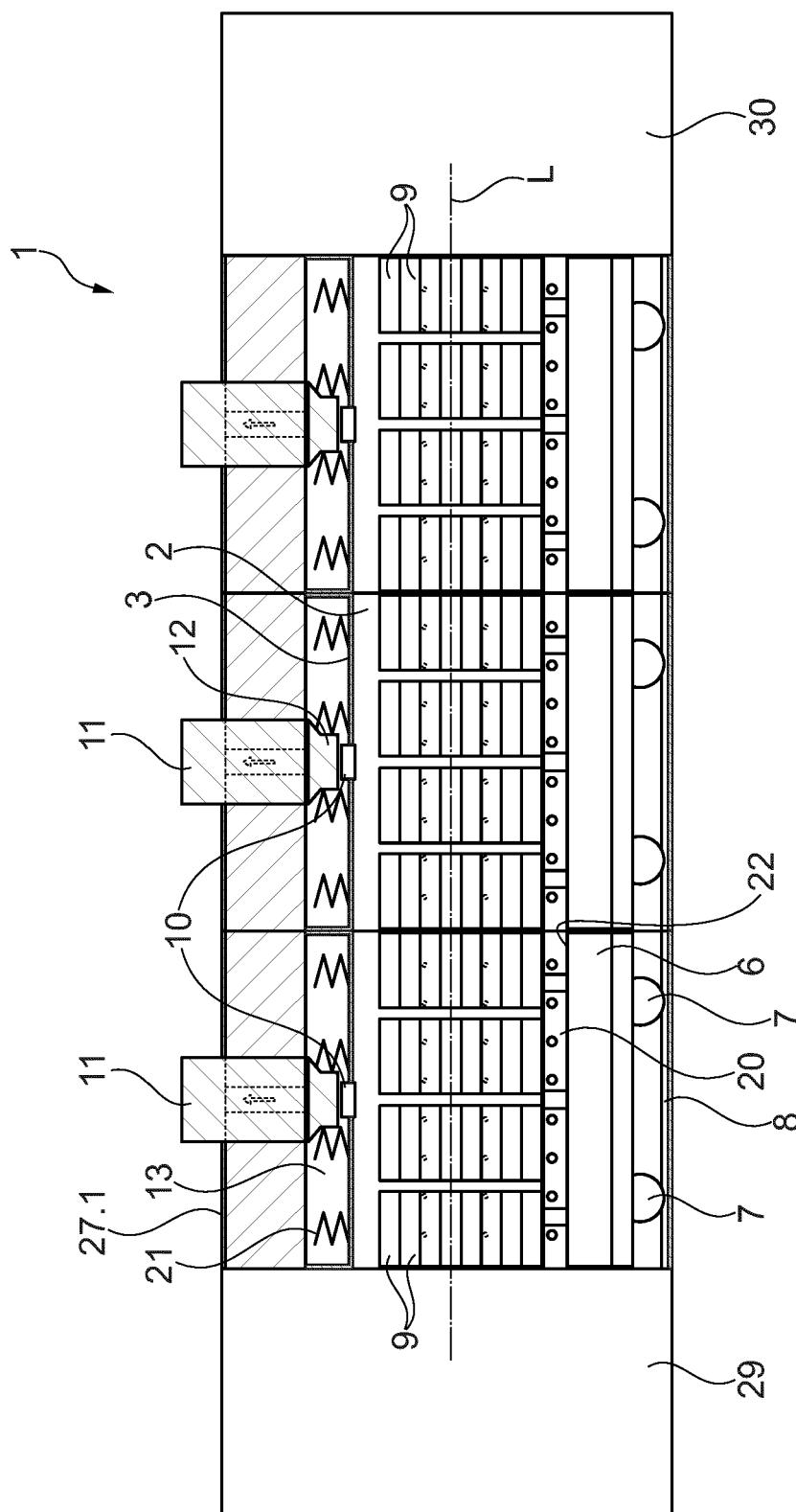


Fig. 3



## EUROPÄISCHER RECHERCHENBERICHT

Nummer der Anmeldung  
EP 20 19 9362

5

EINSCHLÄGIGE DOKUMENTE				
	Kategorie	Kennzeichnung des Dokuments mit Angabe, soweit erforderlich, der maßgeblichen Teile	Betrifft Anspruch	KLASSIFIKATION DER ANMELDUNG (IPC)
10	X	US 2008/116621 A1 (BRENNAN JOHN HAROLD [US] ET AL) 22. Mai 2008 (2008-05-22) * Abbildungen 1-4 * * Absatz [0002] * * Absatz [0006] - Absatz [0009] * * Absatz [0019] - Absatz [0031] * -----	1-15	INV. F27B9/04 F27B9/06 F27B9/26 F27B9/30 F27D3/12 F27D11/02
15	X	GB 886 524 A (ATON PLANUNGS & BAUGESELLSCHAFT FUER DIE KERAMISCHE INDUSTRIE MBH) 10. Januar 1962 (1962-01-10) * Abbildungen 1-7 * * Seite 1, Zeile 11 - Seite 2, Zeile 13 * * Seite 2, Zeile 46 - Zeile 126 * -----	1-15	
20	X	US 2010/127418 A1 (DAVIDSON RONALD ALAN [US] ET AL) 27. Mai 2010 (2010-05-27) * Abbildungen 1-7 * * Absatz [0002] - Absatz [0007] * * Absatz [0018] - Absatz [0060] *	1-15	
25	X	WO 2007/111045 A1 (HIRATA SPINNING [JP]; MATSUYOSHI TETSUNORI [JP] ET AL.) 4. Oktober 2007 (2007-10-04) * Absatz [0013] - Absatz [0042] * * Abbildung 6 * * Absatz [0149] - Absatz [0190] *	1-15	
30	X	JP 2005 097033 A (ASAHI GLASS CO LTD) 14. April 2005 (2005-04-14) * Ansprüche 1-7 * * Abbildungen 1-11 *	1-15	F27B F27D
35	A	-----	1-15	
40				
45				
50	1	Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt		
	Recherchenort	Abschlußdatum der Recherche	Prüfer	
	Den Haag	3. Februar 2021	Jung, Régis	
	KATEGORIE DER GENANNTEN DOKUMENTE			
	X : von besonderer Bedeutung allein betrachtet	T : der Erfindung zugrunde liegende Theorien oder Grundsätze		
	Y : von besonderer Bedeutung in Verbindung mit einer anderen Veröffentlichung derselben Kategorie	E : älteres Patentdokument, das jedoch erst am oder nach dem Anmelde datum veröffentlicht worden ist		
	A : technologischer Hintergrund	D : in der Anmeldung angeführtes Dokument		
	O : nichtschriftliche Offenbarung	L : aus anderen Gründen angeführtes Dokument		
	P : Zwischenliteratur	.....		
		& : Mitglied der gleichen Patentfamilie, übereinstimmendes Dokument		

**ANHANG ZUM EUROPÄISCHEN RECHERCHENBERICHT  
ÜBER DIE EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG NR.**

EP 20 19 9362

5 In diesem Anhang sind die Mitglieder der Patentfamilien der im obengenannten europäischen Recherchenbericht angeführten Patendifikumente angegeben.  
 Die Angaben über die Familienmitglieder entsprechen dem Stand der Datei des Europäischen Patentamts am  
 Diese Angaben dienen nur zur Unterrichtung und erfolgen ohne Gewähr.

03-02-2021

10	Im Recherchenbericht angeführtes Patendifikument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
	US 2008116621 A1	22-05-2008	US 2008116621 A1 WO 2008063538 A2	22-05-2008 29-05-2008
15	GB 886524 A	10-01-1962	KEINE	
	US 2010127418 A1	27-05-2010	US 2010127418 A1 WO 2010065370 A1	27-05-2010 10-06-2010
20	WO 2007111045 A1	04-10-2007	TW 200801424 A WO 2007111045 A1	01-01-2008 04-10-2007
	JP 2005097033 A	14-04-2005	JP 4400158 B2 JP 2005097033 A	20-01-2010 14-04-2005
25				
30				
35				
40				
45				
50				
55				

EPO FORM P0461

Für nähere Einzelheiten zu diesem Anhang : siehe Amtsblatt des Europäischen Patentamts, Nr.12/82