

(19)



(11)

**EP 2 679 943 A1**

(12)

**EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG**

(43) Veröffentlichungstag:  
**01.01.2014 Patentblatt 2014/01**

(51) Int Cl.:  
**F27D 1/16** (2006.01) **F27D 19/00** (2006.01)  
**F27D 21/00** (2006.01)

(21) Anmeldenummer: **12191548.2**

(22) Anmeldetag: **07.11.2012**

(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**

(72) Erfinder:  
• **Franke, Matthias**  
**01468 Moritzburg / OT Friedewald (DE)**  
• **Knietzsch, Philipp**  
**08340 Schwarzenberg (DE)**  
• **Pfitzner, Norbert**  
**01259 Dresden (DE)**

(30) Priorität: **28.06.2012 DE 102012211198**

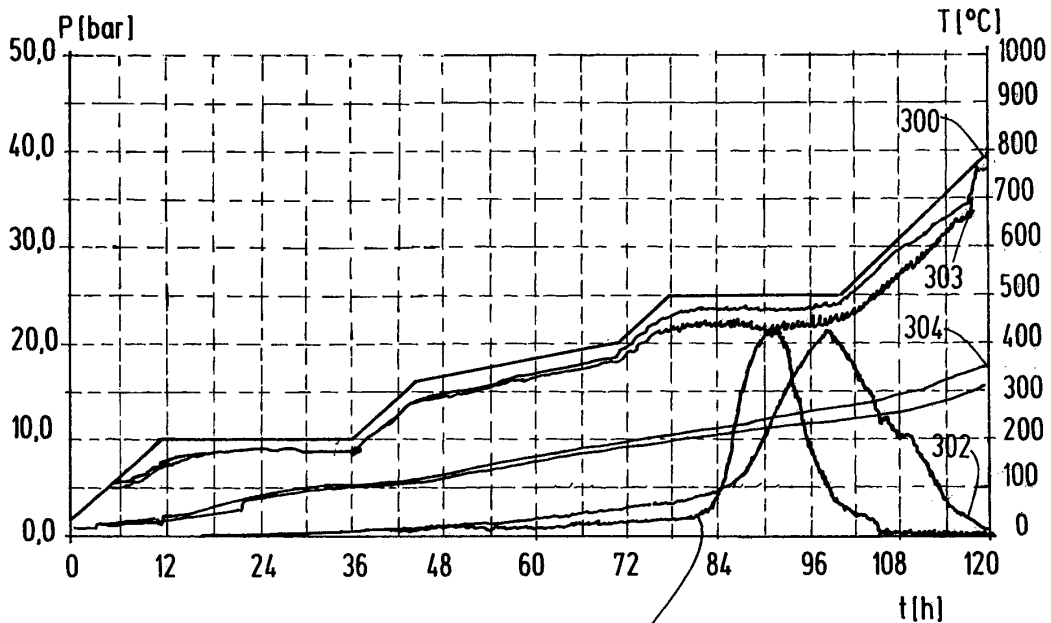
(71) Anmelder: **Ingenieurbüro Franke GlasTechnologie-Service**  
**01468 Moritzburg / OT Friedewald (DE)**

(74) Vertreter: **Gulde Hengelhaupt Ziebig & Schneider Patentanwälte - Rechtsanwälte**  
**Wallstrasse 58/59**  
**10179 Berlin (DE)**

(54) **Verfahren zur Trocknung von urgeformtem, Wasser enthaltendem Material, Trocknungseinrichtung, Hochtemperaturanlage und Verfahren zur Herstellung der Hochtemperaturanlage**

(57) Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Trocknung von urgeformtem, Wasser enthaltendem Material (20), insbesondere von Beton, mittels Aufheizung des Materials (20), wobei an zumindest einer Position im oder

am Material (20) der Dampfdruck (p) des verdampfenden Wassers als Führungsgröße gemessen wird und in Abhängigkeit vom Messergebnis die Aufheiztemperatur als Stellgröße eingestellt wird.



**Fig.6**

**EP 2 679 943 A1**

## Beschreibung

**[0001]** Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren zur Trocknung von urgeformtem, Wasser enthaltenden Material, insbesondere von Beton, eine Trocknungseinrichtung, eine Hochtemperaturanlage und ein Verfahren zur Herstellung der Hochtemperaturanlage.

**[0002]** Hochtemperaturanlagen, wie zum Beispiel Schmelzöfen und Gießöfen, werden mit einer feuerfesten Materialauskleidung zugestellt. Nach anwendungstypischen Kriterien wird auch Feuerbeton mit hoher Dichte ( $> 2,5 \text{ g/cm}^3$ ) verwendet, welcher als Frischbeton als Gieß- oder Stampfmasse verarbeitet wird. Der für die Verarbeitung und für die hydraulische Bindung erforderliche Wassergehalt beträgt ca. 2 - 10 % und muss bei der Inbetriebnahme der Anlage oder der externen Trocknung eines Bauteiles während des Aufheizens unbedingt beachtet werden.

**[0003]** Es sind verschiedene Trocknungsmethoden- und Einrichtungen bekannt. So offenbaren die DE 298 12 945 U1 sowie die JP 08170951 eine Messung der Feuchtigkeit und eine darauf basierende Aufheizung. Der JP 2003322467 ist ein Verfahren sowie eine Einrichtung entnehmbar, bei der bei Ausheizung die Temperatur sowie auch der Dampfdruck überwacht werden.

**[0004]** Diese Inbetriebnahmetechnologie wird als Trockenheizen bezeichnet und ist eine entscheidende Grundlage für die speziellen Eigenschaften der feuerfesten Auskleidung und der prognostizierten Laufzeit für die Produktionsanlage.

**[0005]** Ähnliche Prozesse sind bei anderen Verfahren zur Trocknung von urgeformtem, Wasser enthaltenden Material durchzuführen, wenn der Wassergehalt vor Nutzung des jeweiligen Materials zu reduzieren ist.

**[0006]** Die Aufheizung von Feuerfest(Ff)-Betonen als Zustellung von Hochtemperaturanlagen wird mit oftmals temperaturgesteuerter Befuerung durchgeführt. Die hierfür entwickelten Aufheizregime als Temperatur-Sollvorgaben (Temperatur-Zeit-Kurven) basieren auf praxisbezogenen und einigen wissenschaftlichen Erkenntnissen, mehr jedoch auf langjähriger Erfahrung der Materialhersteller, Anwender und des Personals der Aufheiztechnologie.

**[0007]** Die Temperatursollkurven dienen dem Zweck, das verarbeitete Auskleidungsmaterial schadensfrei und schonend aufzuheizen, dem Beton seine Eigenschaften für den Betriebszustand zu verleihen und die Anlagen auf die erforderliche Arbeitstemperatur zu bringen.

**[0008]** Nachdem es in der Vergangenheit oft zu Auskleidungsschäden, Schäden im Sinne von Rissen und Abplatzungen bis hin zu Dampfexplosionen kam, besteht ein gesteigertes Interesse, diese Nachteile zu beseitigen.

**[0009]** Bei den mit Feuerbetonmassen zugestellten Anlagen wird das Material zubereitet und verarbeitet, das heißt ohne Vorbrand in den Ofen eingebracht. Somit enthält der Beton nach der Verarbeitung einen Anteil ungebundenes Porenwasser und einen Teil chemisch gebun-

denes Wasser. Bei der Aufheizung dieser Ff-Betone kommt es zur temperaturgesteuerten gezielten Erwärmung des Ofeninnenraumes mit stationärer oder externer Brennertechnik. Während des Energieeintrages in das Ff-Material soll das Porenwasser und auch das chemisch gebundene Wasser aus dem Beton vollständig entfernt werden, damit für den Hochtemperaturzustand eine spontane Dampfbildung in den Materialschichten ausgeschlossen werden kann.

**[0010]** Dem gezielten Trocknungsvorgang steht der Widerstand durch materialbedingte, geringe Diffusionsfähigkeit des dichten Betons entgegen. Dadurch kann es bei Überschreitung seiner temperaturabhängigen Festigkeit zu Rissbildung bis hin zur vollständigen Zerstörung kommen.

**[0011]** Der Erfindung liegt daher die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren zur Trocknung von urgeformtem, Wasser enthaltenden Material, insbesondere von Beton und ganz besonders von Feuerfest-Beton, sowie eine dieses Verfahren realisierende Trocknungseinrichtung bzw. eine mittels des Verfahrens hergestellte Hochtemperaturanlage zu Verfügung zu stellen, wobei eine wirtschaftliche, effiziente und dabei qualitätssichernde Herstellung der Hochtemperaturanlage zu gewährleisten ist.

**[0012]** Die Aufgabe wird gelöst durch ein Verfahren zur Trocknung von urgeformtem, Wasser enthaltenden Material, insbesondere von Beton, nach Anspruch 1, durch eine Trocknungseinrichtung nach Anspruch 11, durch eine Hochtemperaturanlage nach Anspruch 14 und durch ein Verfahren zur Herstellung der Hochtemperaturanlage nach Anspruch 17. Vorteilhaftere Ausgestaltungen sind in den Unteransprüchen angegeben.

**[0013]** Erfindungsgemäß wird ein Verfahren zur Trocknung von urgeformtem, Wasser enthaltenden Material, insbesondere von Beton, mittels Aufheizung des Materials zur Verfügung gestellt, wobei an zumindest einer Position im oder am Material der Dampfdruck des verdampfenden Wassers als Führungsgröße gemessen wird und in Abhängigkeit vom Messergebnis die Aufheiztemperatur als Stellgröße eingestellt wird.

**[0014]** Dieses Verfahren dient insbesondere zur Trocknung von Feuerfest(Ff)-Beton, welcher monolithisch vorliegt.

**[0015]** Dabei ist die Temperatur nur eine Stellgröße und ausdrücklich keine Führungsgröße.

**[0016]** Die im Labor oder Technikum ermittelte temperaturabhängige Zugfestigkeit des ungebrannten Ff-Betons dient als Grenzwert für die maximale Dampfspannung im Wandaufbau, abzüglich eines prozentualen Sicherheitsbetrages von ca. 5 - 50 %, vorzugsweise 25 % unter dem Maximalwert.

**[0017]** Günstig ist der Einsatz eines Sensorsystems zur Messung des instationären Dampfdruckes im Wandaufbau über die Zustellungsfläche und dessen Querschnitt als Matrix. Der Dampfdruck wird bevorzugt über einen Messkopf im Beton und einer Druckkapillare zu einem Messwertgeber nach außen geführt und elektronisch aufgezeichnet.

**[0018]** Vorzugsweise ist vorgesehen, dass der Dampfdruck an unterschiedlichen Positionen im oder am Material gemessen wird und der höchste, in den unterschiedlichen Positionen gemessene Dampfdruck als Führungsgröße zur Beeinflussung der Aufheiztemperatur als Stellgröße genutzt wird.

**[0019]** Das heißt, dass hier eine Regelung stattfindet mit dem Dampfdruck als Führungsgröße und der Temperatur als Stellgröße.

**[0020]** Insbesondere bei der Trocknung von Feuerfest-Anlagen erfolgt die Festlegung der Aufheizgeschwindigkeit nach dem aktuell höchsten Dampfdruck in den Wandbauteilen der Hochtemperaturanlage während des Trockenheizens unter Beachtung der maximalen Grenzbelastung der Wand entsprechend der vorher bestimmten mechanischen Festigkeit, vorzugsweise der Warmzugfestigkeit.

**[0021]** Je nach Trocknungsphase kann die Position mit dem höchsten Dampfdruck zwischen unterschiedlichen Ebenen im Material wechseln.

**[0022]** Vorteilhafterweise wird basierend auf dem gemessenen Dampfdruck als Führungsgröße die Aufheizgeschwindigkeit definiert.

**[0023]** Das heißt, dass eine Steigerung der Temperatur der Aufheizung je Zeiteinheit festgelegt wird.

**[0024]** Weiterhin ist bevorzugt vorgesehen, dass die Messung des Dampfdruckes kontinuierlich durchgeführt wird und die Aufheizgeschwindigkeit kontinuierlich nachgeregelt wird.

**[0025]** Das heißt, es erfolgt eine Aktualisierung der maximal möglichen Aufheizgeschwindigkeit der Thermoprozessanlage im Online-Verfahren nach dem Dampfdruck als Führungsgröße in einem iterativ durchgeführten Verfahren.

**[0026]** Vorzugsweise ist ein Programm vorgesehen, das eine Aufheizgeschwindigkeit des Materials in Abhängigkeit des gemessenen Dampfdruckes beeinflusst.

**[0027]** Außerdem lässt sich die optimale Aufheizgeschwindigkeit unter Berücksichtigung der maximal zulässigen Dampfspannung für die unterschiedlichen Wandbauteile berechnen.

**[0028]** Zusätzlich kann vorgesehen sein, dass an zumindest einer Position im oder am Material die Temperatur des Materials gemessen wird und der gemessene Temperaturwert als Kontrollgröße für die Aufheizung verwendet wird.

**[0029]** Vorzugsweise erfolgt die Temperaturmessung im Wandaufbau am Dampfdrucksensor.

**[0030]** Dabei kann die Kontrolle der Temperaturfelder in der Thermoprozessanlage zur Gewährleistung einer gleichmäßigen Temperaturverteilung an der Oberfläche der Wandbauteile in den Grenzen  $< 50$  K, vorzugsweise  $< 20$  K Temperaturdifferenz zwischen den Wandflächen erfolgen.

**[0031]** Außerdem kann vorgesehen sein, dass an zumindest einer Position im oder am Material die Feuchte des Materials gemessen wird und der gemessene Feuchtwert als Kontrollgröße für die Aufheizung ver-

wendet wird.

**[0032]** Dampfdruck, Temperatur und/oder Feuchte wird vorzugsweise in sensiblen und kritischen Bereichen der örtlichen Feuchtekonzentration im Wandaufbau in der Hochtemperaturanlage gemessen, vorzugsweise im Boden, in der Rampe oder Schwellen und in Ecken.

**[0033]** Es hat sich bewährt, dass die Feuchtemessung mittels der Messung des elektrischen Widerstandes des Materials zwischen zwei Elektroden durchgeführt wird.

**[0034]** Das heißt, dass für die Feuchtemessung während der Aufheizung vorzugsweise das Widerstandsverfahren zum Einsatz kommt. Zwei Elektroden messen den veränderlichen Strom- bzw. Spannungsabfall durch das Material. Der daraus resultierende Widerstand wird anhand einer Kalibrierungstabelle der Materialfeuchte zugeordnet.

**[0035]** Die Temperatur und die Feuchte stehen dabei in einem thermodynamischen Zusammenhang mit der Dampfbildung. Günstig ist der Einsatz eines Sensorsystems zur Messung der instationären Temperatur und/oder der Feuchte über die Zustellungsfläche als punktweise Matrix.

**[0036]** Vor und nach Aufheizung sollte eine Bestimmung der temperaturabhängigen, thermomechanischen Feuerfest(Ff)-Betoneigenschaften an Proben, vorzugsweise der Dichte, Porosität, Diffusionswiderstand, E-Modul, Warmzugfestigkeit, Warmbiegezugfestigkeit, Spaltzugfestigkeit und Wärmeleitfähigkeit und ähnliche thermomechanische und thermodynamische Eigenschaften erfolgen. Dabei sollte eine Kalibrierung der Dampfdrucksensoren nach der Ausgangstemperatur vor Trocknungsbeginn im Messbereich 0 - 100 bar, vorzugsweise 0 - 50 bar erfolgen, sowie eine Kalibrierung des elektrischen Widerstandes der Feuchtesensoren in der Wand nach der Ausgangstemperatur vor Trocknungsbeginn im Messbereich 0 - 100 Skalenteile bezogen auf die Ausgangsfeuchte in der Wand, vorzugsweise in Gewichtsprozent, erfolgen.

**[0037]** In günstiger Weise erfolgt eine Messung der Ausgangsfeuchte im Wandaufbau der Thermoprozessanlage vor dem Trockenheizen. Danach kann ein Vergleich der Ausgangsfeuchte mit der gemessenen Feuchte erfolgen.

**[0038]** Außerdem kann der temperaturabhängige Dampfdruck im Wandaufbau der Thermoprozessanlage nach der Feuchtekonzentration im Kaltzustand als thermodynamisches Berechnungsmodell berechnet werden.

**[0039]** Dieses thermodynamische Berechnungsmodell kann zur strategischen Festlegung der möglichen Aufheizgeschwindigkeit für die Planung der Trockenheizung dienen.

**[0040]** Zur Lösung der Aufgabe wird des Weiteren eine Trocknungseinrichtung zur Trocknung von urgeformtem, Wasser enthaltenden Material, insbesondere von Beton, zur Verfügung gestellt, wobei diese Trocknungseinrichtung eine Heizeinrichtung zur Aufheizung des Materials und eine Temperaturregelungseinrichtung sowie eine

Dampfdruck-Messeinrichtung zur Messung des Drucks des verdampfenden Wassers umfasst.

**[0041]** Dabei kann die Temperaturregelungseinrichtung auch eine Steuerungseinrichtung sein.

**[0042]** Weiterhin weist die Trocknungseinrichtung eine Temperaturmesseinrichtung- und/oder eine Feuchtemesseinrichtung auf.

**[0043]** Vorzugsweise umfasst die Dampfdruck-Messeinrichtung einen Dampfdrucksensor, der einen Messkopf mit Filterplatte und ein Kapillarrohr aufweist. Das Kapillarrohr ist hochtemperaturbeständig vorzugsweise Stahl, beständig gegenüber Temperaturen von 500 - 1100 °C.

**[0044]** Außerdem kann die Trocknungseinrichtung eine Infrarot-Thermografieeinrichtung zur Temperaturfeldkontrolle in der Thermoprozessanlage, vorzugsweise im Temperaturbereich bis 500 °C, aufweisen.

**[0045]** Weiterhin wird erfindungsgemäß eine Hochtemperaturanlage zur Verfügung gestellt, die einen Ofen mit einer Betonauskleidung sowie eine erfindungsgemäße Trocknungseinrichtung aufweist. Diese Hochtemperaturanlage wird auch Hochtemperatur-Thermoprozessanlage genannt.

**[0046]** Das zu trocknende Material ist somit Beton, insbesondere Feuerfest(Ff)-Beton oder keramische Massen.

**[0047]** Die Leitungen der Sensoren sind derart zu verlegen, dass diese während der Aufheizung bzw. Trocknung nicht durch die Wärmeausdehnung des Materials abgeschert bzw. beschädigt werden. Eine mäanderförmige Verlegung der Sensorleitungen kann das Abreißen bei wärmebedingter Ausdehnung des Betons verhindern.

**[0048]** Wenn der Beton eine Dicke von mehr als 100 mm aufweist, sind vorzugsweise im Ofenquerschnitt wenigstens zwei übereinander angeordnete Dampfdruck-Sensoren installiert.

**[0049]** Das heißt, dass in der Wand ein erster Sensor im ersten Drittel und ein zweiter Sensor im zweiten Drittel, ausgehend vom Ofeninnenraum, im Ofen- bzw. Betonquerschnitt angeordnet ist. Dabei müssen beide Sensoren nicht zwingend in derselben, durch die Wand verlaufenden Schnittebene angeordnet sein.

**[0050]** Vorzugsweise ist vorgesehen, dass im Beton mindestens zwei Thermosensoren integriert sind, wobei der Abstand der Sensoren zueinander 100 mm bis 500 mm beträgt.

**[0051]** Bei der Zustellung der Ofenwand mit Beton werden mindestens zwei separate Thermoelementleitungen (zweiadrig) für eine örtliche Messstelle verlegt. Die Thermoelemente übernehmen jeweils die Temperaturmessung, die Thermoelementspitzen übernehmen die Messung des elektrischen Widerstandes zwischen den Messspitzen zur Feuchtemessung. Der elektrische Widerstand wird nach den Materialeigenschaften auf den Feuchtegehalt vorher im Labor kalibriert. Dabei ist ein Abstand der Messspitzen von 10 mm bis 50 mm möglich, er sollte vorzugsweise 15 mm - 20 mm betragen. Somit

ist eine Vergleichbarkeit der einzelnen Messstellen untereinander gegeben und einem möglichen Kurzschluss zwischen den Drähten wird vorgebeugt.

**[0052]** Die Thermosensoren sind vorzugsweise derart ausgeführt, dass sie auch als Feuchtesensoren einsetzbar sind.

**[0053]** Mit den Thermoelementen bzw. -sensoren wird die Temperatur, z. B. bis 1200 °C, im Wandaufbau erfasst.

**[0054]** Die Positionen der Messung der Temperatur, des Dampfdruckes und der Feuchte während einer Aufheizung sollten folgende Bedingungen erfüllen:

- Im Wandquerschnitt der Messposition muss mindestens eine Schicht der Zustellung aus Ff-Beton bestehen (z. B. Verschleißschicht),

- Die Position ist repräsentativ für sensible und kritische Gebiete in der Hochtemperaturanlage, das heißt, das Austreiben der Feuchtigkeit dauert in diesen Gebieten am längsten, z. B. Bodenbereich, Ecken oder Rampenbereich,

- Die Verschiebung der "Feuchtefront" parallel zu Ausrichtung der Wandzustellung muss durch mehrere, vorzugsweise mindestens zwei Sensor-Messstellen, über den Querschnitt der Schichten gemessen werden,

- Mechanismen des Fluidtransports während der Aufheizung müssen beachtet werden (Verdampfung - Strömung - Kondensation - Konzentration von Wasser in unteren Kanten- und Eckbereichen),

- Ausschluss von Störgrößen in unmittelbarer Umgebung der Messstellen (metallische Einbauten, Anker, Quellen von elektromagnetischen Feldern, Ionenlösung im Material).

**[0055]** Die erfindungsgemäße Hochtemperaturanlage wird vorzugsweise unter Nutzung des erfindungsgemäßen Verfahrens zur Trocknung von urgeformtem, Wasser enthaltenden Material hergestellt.

**[0056]** Bei der Herstellung der Hochtemperaturanlage ist bevorzugt vorgesehen, dass zumindest ein Sensor bei der Urformung des zu trocknenden Materials in das Material eingegossen oder in diesem positioniert wird.

**[0057]** Da es sich bei neuer Wandzustellung in der Regel um einen vor Ort hergestellten und verarbeiteten Beton handelt, sollen alle Sensoren vorzugsweise direkt in das Material eingegossen werden.

**[0058]** Es ist auch möglich, vorgefertigte Betonteile herzustellen und diese in einem externen Trocknungsprozess zu trocknen, bevor diese in die Ofenanlage als Wand- oder Bodenzustellung eingebaut werden.

**[0059]** Die Erfindung wird im Folgenden anhand der in den beiliegenden Zeichnungen dargestellten Ausführungsbeispiele erläutert. Es zeigen:

- Figur 1 ein Diagramm mit einer Temperatur-Zeit-Sollkurve;
- Figur 2 schematisch die Belastung von Material bei der Aufheizung;
- Figur 3 die Anordnung von Sensoren im zu trocknenden Material,
- Figur 4 die Darstellung von Materialschichten mit darin angeordneten Sensoren;
- Figur 5 ein Diagramm, welches eine Solltemperaturkurve sowie Feuchte-Kurven darstellt; und
- Figur 6 ein Diagramm, welches Dampfdruck- und Temperaturkurven darstellt.

**[0060]** Die Erfindung wird dabei anhand einer Hochtemperatur-Schmelzanlage, deren zu trocknendes Material Ff-Beton ist, erläutert.

**[0061]** Üblicherweise liefert der Hersteller des Betons die Werte hinsichtlich des Temperaturverlaufs über die Zeit bei der Aufheizung. Dies kann eine Temperatur-Zeit-Sollkurve 10 gemäß Figur 1 sein.

**[0062]** Eine höhere Aufheizgeschwindigkeit, wie sie durch die Temperatur-Zeit-Sollkurve 10 vorgegeben ist, sollte nicht realisiert werden. Der Grund dafür ist, dass im zu trocknenden Material 20, wie in Figur 2 dargestellt und welches im urgeformten Zustand noch Wasser enthält, bei Aufheizung ein derart hoher Dampfdruck  $p$  entstehen kann, dass die diesem Dampfdruck entgegengesetzten Kräfte  $F$ , die aus der Zugfestigkeit des zu trocknenden Materials resultieren, nicht ausreichen, um die Bildung eines Risses 30 durch das zu trocknende Material 20 zu verhindern. Derartige Risse 30 gilt es jedoch zu vermeiden.

**[0063]** Zu diesem Zweck wird erfindungsgemäß zumindest ein Dampfsensor 60 im zu trocknenden Material 20 angeordnet, der an der jeweiligen Position den Dampfdruck  $p$  im Material 20 misst. Der Dampfdrucksensor 60 kann dabei eine Impulskapillare 61 aufweisen, die mit einem Messgerät 70, welches vorzugsweise außerhalb des zu trocknenden Materials 20 und somit hinter der Wandoberfläche 100 angeordnet ist, verbunden ist. Dadurch lässt sich messen, welcher aktuelle instationäre Dampfdruck an der Position des Dampfdrucksensors 60 gegeben ist, so dass sich Rückschlüsse ziehen lassen über die mögliche weitere Steigerung der Aufheizgeschwindigkeit. Die Impulskapillare 61 soll den nachteiligen Temperaturabfall über die Länge berücksichtigen und vor Auskühlung geschützt werden.

**[0064]** Figur 3 zeigt eine Ergänzung der Einrichtung durch ein erstes Thermoelement 40 sowie durch ein zweites Thermoelement 50, welche beabstandet zueinander angeordnet sind und jeweils ein erstes Messleitungspaar 41 sowie ein zweites Messleitungspaar 51 aufweisen, die ebenfalls jeweils mit dem Messgerät 70 ver-

bunden sind. Somit lässt sich auch die Temperatur im zu trocknenden Material 20 an verschiedenen Positionen messen. Nicht dargestellt ist dabei eine mögliche Ausführungsform, bei der wenigstens eines der Thermoelemente 40, 50 in unmittelbarer Nähe des Dampfdrucksensors 60 angeordnet ist, um an der Stelle der Messung des Dampfdrucks  $p$  ebenfalls die Temperatur messen zu können.

**[0065]** In vorteilhafter Weise sind die Thermoelemente 40, 50 als Sensoren ausgeführt, mit denen abwechselnd die Temperatur und die Feuchte gemessen werden kann. Von dem Messgerät 70 können die Messergebnisse gespeichert und/oder angezeigt werden. Ebenfalls kann das Messgerät 70 zur kontinuierlichen Speicherung der Messergebnisse des Dampfdrucksensors 60 dienen. Die konstruktive Zusammenfassung des Dampfdrucksensors mit den Sensoren zur Temperatur- und Feuchtemessung in einem messtechnischen Funktionssystem ist sinnvoll. Die erfindungsgemäße Hochtemperaturanlage ist üblicherweise aus mehreren Schichten aufgebaut, die Figur 4 entnehmbar sind. Von außen nach innen sind dies der Stahlmantel 110, die Isoliermatte 120, der Feuerleichtstein 130, eine erste Betonschicht 140 sowie eine zweite Betonschicht 150. Die zweite Betonschicht 150 grenzt an den Ofeninnenraum 160. Es gibt aber bevorzugte Bereiche zur Anordnung der einzelnen Sensoren, wie zum Beispiel den Bereich für den ersten Sensor 170, so dass der erste Sensor 171 zwischen dem Feuerleichtstein und der ersten Betonschicht 140 angeordnet ist, sowie den Bereich für den zweiten Sensor 180, so dass der zweite Sensor 181 zwischen der ersten Betonschicht 140 und der zweiten Betonschicht 150 angeordnet ist. Die genannten Sensoren 171, 181 können dabei sowohl Dampfdrucksensoren als auch Temperatur- und/oder Feuchtesensoren sein. Somit realisiert das dargestellte Messprinzip eine Kombination aus Temperatur-, Dampfdruck- und Feuchtemessung an einer örtlichen Messstelle bzw. in einem Bereich im Wandaufbau. Die Messstellen werden vorzugsweise in Form einer oder mehrerer Matrizen in Schichten und/oder Ebenen montiert. Die jeweilige Matrix wird in Abhängigkeit von der Geometrie und der Materialzustellung der Wand festgelegt.

**[0066]** Während der Aufheizung wird die Temperatur im Ofenraum 160 und/oder an der Oberfläche der inneren Betonschicht 150 gemessen und als Stellgröße nach einer Temperatur-Zeitkurve gesteigert. Bei Verwendung von Beton als zu trocknendes Material 20 wird die Feuchte im Beton im Wandaufbau verdampfen und von der Warmfront zur kalten Außenseite der Wandschichten wandern. Dadurch entwickeln sich in den Wandschichten unterschiedliche Dampfdrücke, deren Differenz 10 bar bis 25 bar betragen kann und exponentiell sogar über 50 bar steigen kann. Dabei kann die Betonfestigkeit von ca. 30 kp/cm<sup>2</sup> bis 40 kp/cm<sup>2</sup> bereits überschritten werden, so dass es zur Betonschädigung kommt.

**[0067]** Mit der erläuterten Messung des Dampfdrucks im Wandaufbau in verschiedenen Schichten und Posi-

tionen, vorzugsweise in Matrixanordnung, kann die aktuelle Belastung der betreffenden Wand und/oder Bodens und/oder Decke betrachtet werden und durch Steuerung der Temperatursteigerung die Überschreitung der Sicherheitsgrenze als Maximalbelastung verhindert werden. Im Fall der Feststellung, dass der Dampfdruck in bestimmten Positionen in der Wand die Belastungsgrenze noch nicht erreicht hat, kann die Aufheizgeschwindigkeit beibehalten oder gesteigert werden und somit partiell Einfluss genommen werden sowie die Aufheizzeit verkürzt werden. Dadurch lassen sich im Online-Verfahren optimale Aufheizzeiten realisieren, ohne das Risiko der Wandschädigung einzugehen.

**[0068]** Die Temperatur und die Feuchte werden als Kontrollgrößen vorzugsweise am Dampfdrucksensor 60 gemessen. Sie stehen in thermodynamischen Zusammenhang mit der Dampfbildung. Die Temperatur zeigt dabei die zu erwartende Entwicklung der Dampfbildung am Sensor 171, 181 an, vorzugsweise im Bereich der Dehydratation zwischen 200 °C und 350 °C. Die Feuchtemessung zeigt den aktuellen Zustand der Trocknung an und lässt Schlussfolgerungen auf einen weiteren möglichen Anstieg des Dampfdruckes  $p$  oder des permanenten Abfalls zu.

**[0069]** In Figur 5 ist ein Feuchte-Temperatur-Zeit-Diagramm dargestellt, in welchem die Kurve der Solltemperatur 200 eingetragen ist sowie Feuchte-Kurven für die Rampe unten 201 bzw. für die Rampe oben 202. Es ist ersichtlich, dass mit zunehmender Zeit der Aufheizung und damit einhergehender Erhöhung der Temperatur die Feuchte im Wesentlichen abnimmt.

**[0070]** Figur 6 zeigt ein Dampfdruck-Temperatur-Zeit-Diagramm, in dem eine Kurve für die Soll-Temperatur des Ofenraums 300, eine Kurve für den Dampfdruck  $p$  der Brücke in der Mitte 301, eine Kurve für den Dampfdruck  $p$  der Brücke am Rand 302, eine Kurve für die Temperatur der Rampe am Rand 303 sowie eine Kurve für die Temperatur der Rampe in der Mitte 304 dargestellt sind.

**[0071]** Bei Trocknung des zu trocknenden Materials, insbesondere bei Trocknung von Feuerfestbeton, ist die Wahl der Aufheizgeschwindigkeit einem iterativen Prozess unterworfen, das heißt, dass ein ständiger Abgleich der gemessenen Feuchte mit dem Ausgangswert bei Beginn der Aufheizung und die daraus resultierende Anpassung der Aufheizgeschwindigkeit nach dem anstehenden Druck erfolgen sollte. Zu diesem Zweck stellt der Hersteller eine Temperatur-Zeit-Funktion zur Verfügung, wie sie in Figur 1 gezeigt und diesbezüglich erläutert wurde. Es ist ersichtlich, dass keine negative Aufheizgeschwindigkeit realisiert werden soll, aus praktischen Gründen jedoch nicht vollständig auszuschließen ist. Die maximale Aufheizgeschwindigkeit ist materialspezifisch festzulegen und liegt üblicherweise zwischen 1 K/h und 50 K/h, vorzugsweise zwischen 3 K/h bis 30 K/h.

**[0072]** In Figur 6 sind Dampfdruck- und Temperaturkurven dargestellt.

**[0073]** Die Temperatur im Ofenraum wird nach Vorga-

be 300 mit Brennern gesteigert. Die Oberflächentemperatur vorzugsweise auf der Brücke (Wandtemperatur) 303 folgt der Ofenraumtemperatur 300 mit 10 - 50 K Nachlauf. Eine Kontrolle wird speziell über thermografische Temperatur-Feldmessungen im Ofenraum vorgenommen und zur Vergleichmäßigung der Temperaturen der Brennerbetrieb (Brennrichtung, Flammenausbrand und Ofendruck) angepasst. Die Innentemperatur in der Wand am Sensor (304) folgt der Ofenraumtemperatur stetig mit einem unterschiedlichen Gradienten von ca. 100 - 300 K.

**[0074]** Ab ca. 80 °C Beton-Temperatur am Sensor baut sich durch Wasserverdampfung bzw. folgende Dampfüberhitzung im Betongefüge stetig ein steigender Dampfdruck auf, welcher im Bereich der Dehydratation des Betons um ca. 220 - 250 °C exponentiell ansteigt. Diese Drucksteigerung beginnt in der Mitte der Brücke (Wand) 301, der Randbereich 302 folgt temperatur- bzw. zeitversetzt nach gleichem Prinzip.

**[0075]** Nachdem der Dampf durch weitere Temperatursteigerung über die Permeabilität in die kälteren Betonschichten zur Außenseite transportiert wird und dort über Entdampfungsöffnungen oder Fugen austritt, fällt der Dampfdruck  $p$  am Sensor 301 und 302 wieder stetig ab. Die maximale Höhe des Dampfdruckes  $p$  wird von der vorher eingetragenen Wärmeenergie (Aufheizgeschwindigkeit) 300 bestimmt.

**[0076]** Der Trocknungsvorgang kann als abgeschlossen betrachtet werden, wenn sich der Dampfdruck  $p$  nach Erreichen des Maximums dem gemessenen Wert wieder unter 1 bar nähert und die Feuchte 201 oder 202 am Sensor einen dauerhaften Abfall unter 50 % des Ausgangswertes erreicht.

**[0077]** Auf Grundlage der typischen temperaturabhängigen Materialeigenschaften des zu trocknenden Materials (z. B. Dichte, Wärmeleitfähigkeit, Porosität, Permeabilität, E-Modul, thermische Dehnung u. a.), seiner Geometrie und des Schichtaufbaus sowie der thermodynamischen Randbedingungen werden an unterschiedlichen Positionen und zu verschiedenen Zeiten die jeweiligen Dampfdrücke gemessen, um sie in einem thermodynamischen Berechnungsmodell zu verarbeiten. Dabei dient eine im Labor ermittelte temperaturabhängige Zugfestigkeit des ungetrockneten Materials bzw. ungebrannten Feuerfest-Materials als Grenzwert für die maximale Dampfspannung im Wandaufbau, abzüglich eines prozentualen Sicherheitsbetrages von ca. 5 bis 50 %, vorzugsweise 20 bis 30 % unter dem Maximalwert.

**[0078]** Die maximale Betonzugfestigkeit sollte zu diesem Zweck vor dem Trockenheizen an Probekörpern im ungebrannten, jedoch feuchten und temperaturbeaufschlagten Prüfzustand bis 800 °C, vorzugsweise im Bereich von 20 °C bis 500 °C durchgeführt werden.

**[0079]** Es wird somit ein Verfahren zur Verfügung gestellt, bei dem die Messung des instationären Dampfdrucks in den Materialschichten des Wandaufbaus genutzt wird, um die Aufheizgeschwindigkeit des Materials einzustellen. Dabei bestimmt der thermodynamische Zu-

sammenhang zwischen der Temperatur, dem Dampfdruck und der Feuchte im Wandaufbau die mögliche Aufheizgeschwindigkeit.

[0080] Dem entsprechend sind die Positionen der Sensoren zur Messung der Temperatur, des Dampfdruckes und der Feuchte im Wandaufbau festzulegen, wie zum Beispiel in einer Hochtemperaturanlage in deren Decke, Seitenwand, Boden, Brenner und Abzugsöffnungen sowie in der Brücke und/oder in Sonderbauteilen.

[0081] Konfrontiert mit der Aufgabe, effizienz- sowie qualitätssichernd die Trocknung von Material zur Herstellung einer Hochtemperaturanlage zur realisieren, wurde in herkömmlicher Weise darauf zurückgegriffen, die Temperatur und/oder die Feuchte des Materials an bestimmten Stellen zu messen oder auch den Temperatur-Gradienten durch das Material und/oder den Feuchte-Gradienten durch das Material festzustellen. Die der vorliegenden Erfindung zugrunde liegenden Untersuchungen haben jedoch ergeben, dass das temperaturgeführte Trockenheizen nur indirekt bzw. unzureichend die verursachte Dampfdruckentwicklung durch Wasserverdampfung im Material berücksichtigen kann. Deshalb wird erfindungsgemäß die Steuerung der Temperatur nach dem Dampfdruck als Führungsgröße durchgeführt. Der mit der vorliegenden Erfindung erzielte Effekt ist die Verkürzung der Aufheizzeit, ohne Gefährdung der Wandauskleidung durch Risse oder Abplatzungen infolge örtlich zu hohen Dampfdrucks im Wandaufbau.

#### Bezugszeichenliste

#### [0082]

10	Temperatur-Zeit-Sollkurve
20	zu trocknendes Material
30	Riss
p	Dampfdruck
F	Kraft
T	Temperatur
t	Zeit
40	erstes Thermoelement
41	erstes Messleitungspaar
50	zweites Thermoelement
51	zweites Messleitungspaar
60	Dampfdrucksensor
61	Impulskapillare
70	Messgerät
100	Wandoberfläche
110	Stahlmantel
120	Isoliermatte
130	Feuerleichtstein
140	erste Betonschicht
150	zweite Betonschicht

160	Ofeninnenraum
170	Bereich für ersten Sensor
171	erster Sensor
180	Bereich für zweiten Sensor
5 181	zweiter Sensor
200	Solltemperatur
201	Rampe unten Feuchte
202	Rampe oben Feuchte
10 300	Soll-Temperatur Ofenraum
301	Dampfdruck Brücke Mitte
302	Dampfdruck Brücke rechts
15 303	Temperatur Rampe rechts
304	Temperatur Rampe Mitte

#### Patentansprüche

1. Verfahren zur Trocknung von urgeformtem, Wasser enthaltenden Material (20), insbesondere von Beton, mittels Aufheizung des Materials (20), wobei an zumindest einer Position im oder am Material (20) der Dampfdruck (p) des verdampfenden Wassers als Führungsgröße gemessen wird und in Abhängigkeit vom Messergebnis die Aufheiztemperatur als Stellgröße eingestellt wird.
2. Verfahren zur Trocknung nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Dampfdruck (p) an unterschiedlichen Positionen im oder am Material (20) gemessen wird und der höchste in den unterschiedlichen Positionen gemessene Dampfdruck als Führungsgröße zur Beeinflussung der Aufheiztemperatur als Stellgröße genutzt wird.
3. Verfahren zur Trocknung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** basierend auf dem gemessenen Dampfdruck als Führungsgröße die Temperaturänderung über der Zeit (Aufheizgeschwindigkeit) definiert wird.
4. Verfahren zur Trocknung nach Anspruch 3, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Messung des Dampfdruckes kontinuierlich durchgeführt wird und die Temperaturänderung über der Zeit (Aufheizgeschwindigkeit) kontinuierlich nachgeregelt wird.
5. Verfahren zur Trocknung nach wenigstens einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** an zumindest einer Position im oder am Material (20) die Temperatur des Materials (20) gemessen wird und der gemessene Temperaturwert als Kontrollgröße für die Aufheizung verwendet wird.
6. Verfahren zur Trocknung nach wenigstens einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekenn-**

- zeichnet, dass** die Materialoberflächentemperatur im Ofenraum entsprechend der aktuellen Vorgabe der Solltemperatur (200) mit thermografischer Kontrollmessung als Temperaturfeld gemessen wird und der Aufheizbetrieb zur Vergleichmäßigung des Temperaturfeldes angepasst wird.
7. Verfahren zur Trocknung nach wenigstens einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** an zumindest einer Position im oder am Material (20) die Feuchte des Materials (20) gemessen wird und der gemessene Feuchtwert als Kontrollgröße für die Aufheizung verwendet wird.
8. Verfahren zur Trocknung nach Anspruch 7, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Feuchtemessung mittels der Messung des elektrischen Widerstandes des Materials zwischen zwei Elektroden durchgeführt wird.
9. Verfahren zur Trocknung nach wenigstens einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** jeweils die Messung der Temperatur, der Feuchte und des Dampfdruckes (p) im Wandmaterial in einem Sensor-Messsystem integriert sind.
10. Verfahren zur Trocknung nach wenigstens einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** ein thermodynamisches Berechnungsmodell auf der Grundlage der typischen, temperaturabhängigen Materialeigenschaften benutzt wird, um die Aufheizstrategie zur Trocknung der Thermoprozessanlage im Voraus zu entwerfen und damit besonders kritische Zustände auszuschließen und damit eine optimal kurze Aufheizzeit ohne Schadensrisiko zu realisieren.
11. Trocknungseinrichtung zur Trocknung von urgeformtem, Wasser enthaltenden Material (20), insbesondere von Beton, umfassend eine Heizeinrichtung zur Aufheizung des Materials (20) und eine Temperaturregelungseinrichtung, sowie eine Dampfdruck-Messeinrichtung zur Messung des Drucks des verdampfenden Wassers.
12. Trocknungseinrichtung nach Anspruch 11, **dadurch gekennzeichnet, dass** sie eine Temperatur- und/oder eine Feuchtemesseinrichtung aufweist.
13. Trocknungseinrichtung nach einem der Ansprüche 11 und 12, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Dampfdruck-Messeinrichtung einen Dampfdrucksensor (60) umfasst, der einen Messkopf mit Filterplatte und ein Kapillarrohr aufweist.
14. Hochtemperaturanlage, umfassend einen Ofen mit einer Betonauskleidung sowie eine Trocknungseinrichtung nach einem der Ansprüche 11 bis 13.
15. Hochtemperaturanlage nach Anspruch 14, **dadurch gekennzeichnet, dass** im Beton mit einer Dicke von mehr als 100 mm radial im Ofenquerschnitt wenigstens zwei hintereinander angeordnete Dampfdruck-Sensoren angeordnet sind.
16. Hochtemperaturanlage nach Anspruch 14, **dadurch gekennzeichnet, dass** im Beton mindestens zwei Thermosensoren integriert sind, wobei der Abstand der Sensoren zueinander 100 mm bis 500 mm beträgt.
17. Verfahren zur Herstellung der Hochtemperaturanlage gemäß einem der Ansprüche 14 bis 16 unter Anwendung des Verfahrens zur Trocknung von urgeformtem, Wasser enthaltenden Material (20) gemäß einem der Ansprüche 1 bis 10.
18. Verfahren zur Herstellung der Hochtemperaturanlage nach Anspruch 17, **dadurch gekennzeichnet, dass** zumindest ein Sensor bei der Urformung des zu trocknenden Materials (20) in das Material (20) eingegossen oder in diesem positioniert wird.

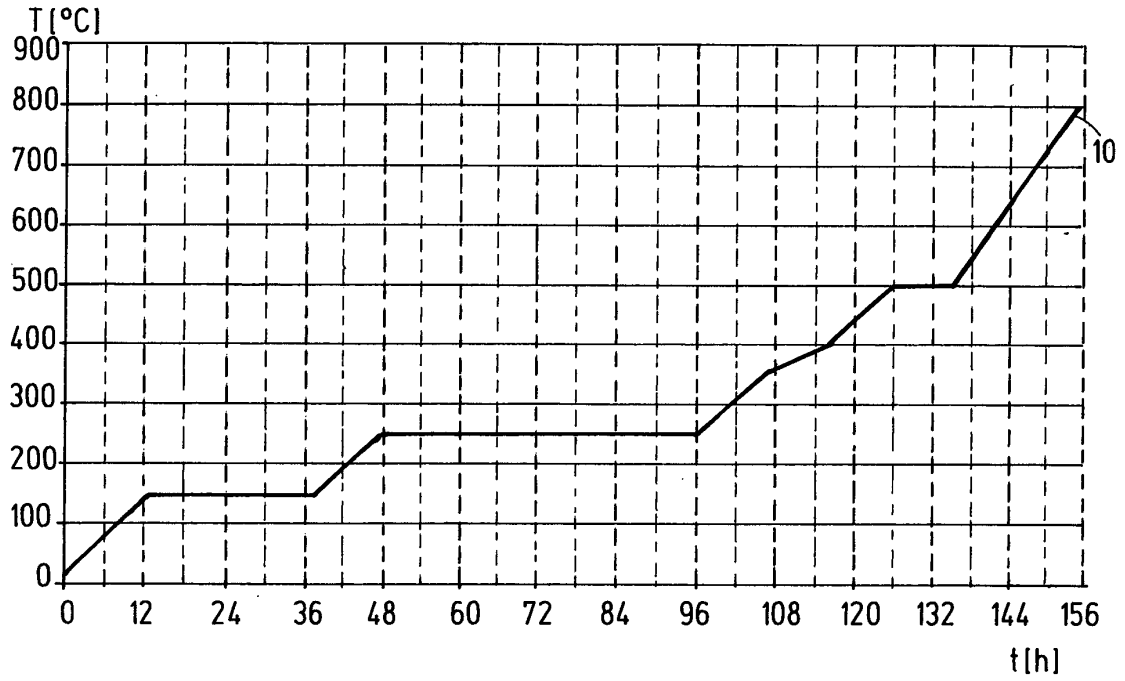


Fig.1

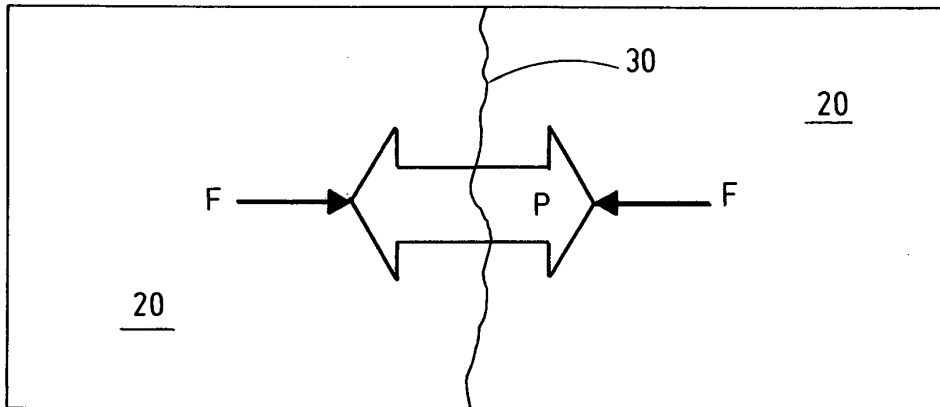


Fig.2

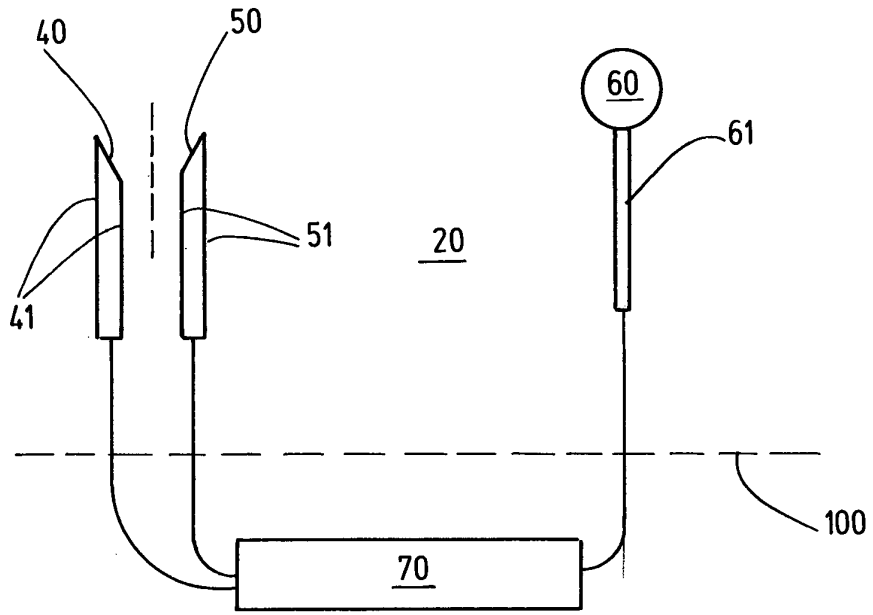


Fig.3

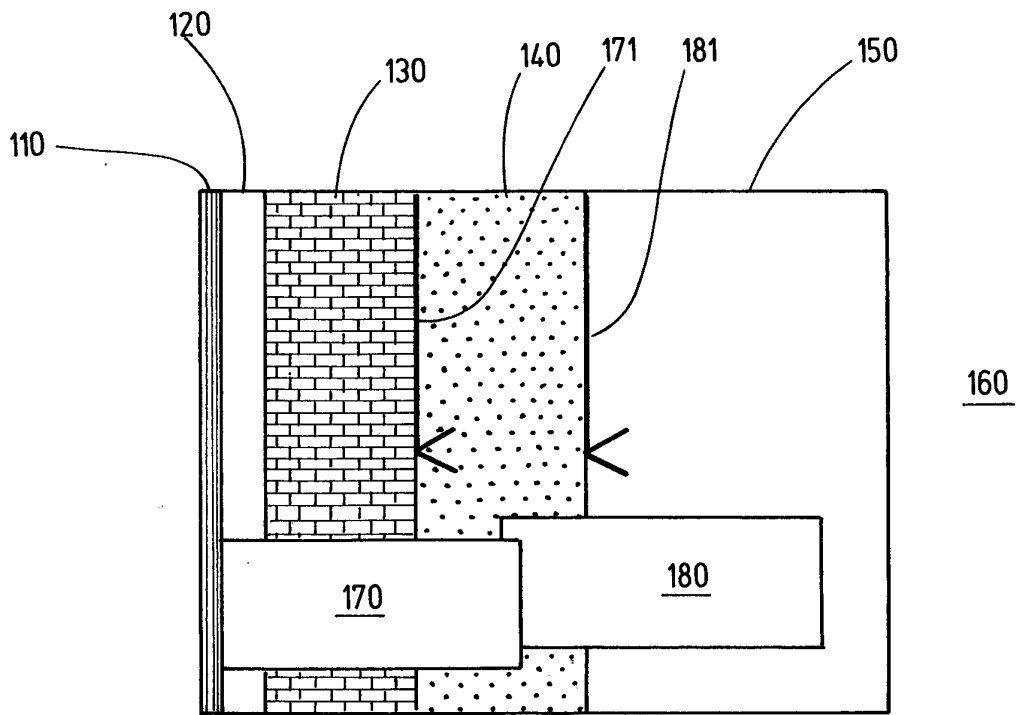


Fig.4

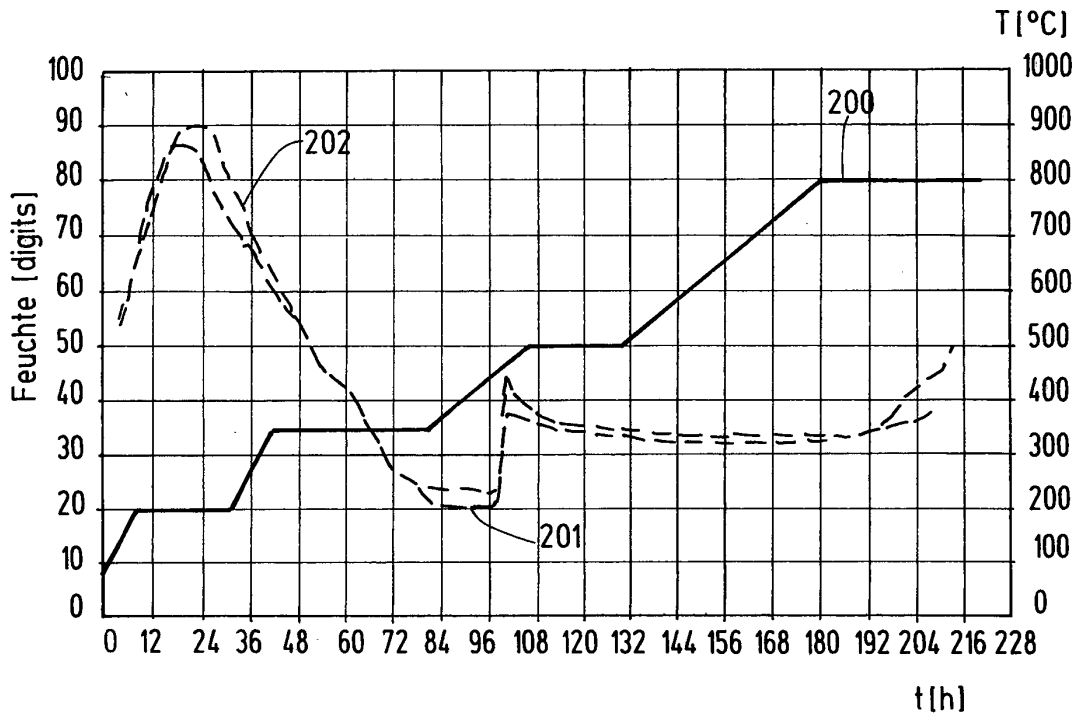


Fig.5

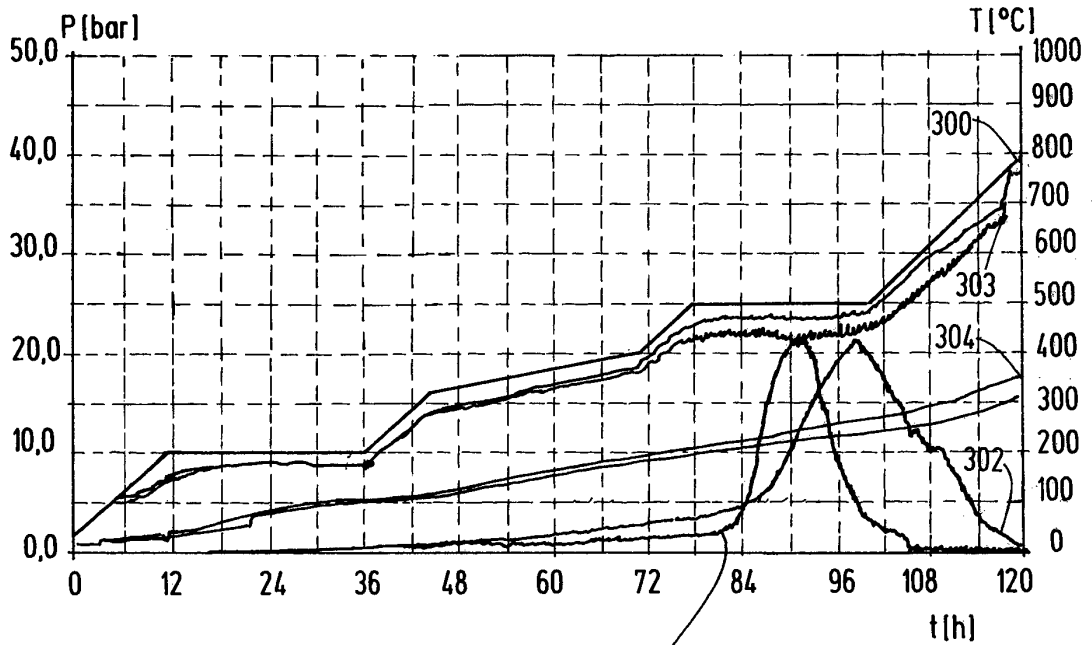


Fig.6



EUROPÄISCHER RECHERCHENBERICHT

Nummer der Anmeldung  
EP 12 19 1548

EINSCHLÄGIGE DOKUMENTE			
Kategorie	Kennzeichnung des Dokuments mit Angabe, soweit erforderlich, der maßgeblichen Teile	Betrifft Anspruch	KLASSIFIKATION DER ANMELDUNG (IPC)
X	JP 2007 292450 A (NIPPON STEEL CORP) 8. November 2007 (2007-11-08) * Abbildung 1 * * Zusammenfassung * * Absatz [0002] * * Absatz [0020] - Absatz [0021] * -----	1-18	INV. F27D1/16 F27D19/00 F27D21/00
X,D	JP 2003 322467 A (NIPPON STEEL CORP) 14. November 2003 (2003-11-14) * Abbildung 1 * * Zusammenfassung * * Absatz [0024] - Absatz [0025] * * Absatz [0034] * -----	1-18	
A,D	JP 8 170951 A (NIPPON STEEL) 2. Juli 1996 (1996-07-02) * Abbildung 1 * * Zusammenfassung * -----	1-18	
			RECHERCHIERTER SACHGEBIETE (IPC)
			F27D F26B G01N
Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt			
Recherchenort Den Haag		Abschlußdatum der Recherche 24. Oktober 2013	Prüfer Peis, Stefano
KATEGORIE DER GENANNTEN DOKUMENTE X : von besonderer Bedeutung allein betrachtet Y : von besonderer Bedeutung in Verbindung mit einer anderen Veröffentlichung derselben Kategorie A : technologischer Hintergrund O : mündliche Offenbarung P : Zwischenliteratur		T : der Erfindung zugrunde liegende Theorien oder Grundsätze E : älteres Patentdokument, das jedoch erst am oder nach dem Anmeldedatum veröffentlicht worden ist D : in der Anmeldung angeführtes Dokument L : aus anderen Gründen angeführtes Dokument & : Mitglied der gleichen Patentfamilie, übereinstimmendes Dokument	

1  
EPO FORM 1503 08.82 (P04C03)

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

EP 12 19 1548

In diesem Anhang sind die Mitglieder der Patentfamilien der im obengenannten europäischen Recherchenbericht angeführten Patentdokumente 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.

24-10-2013

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
JP 2007292450 A	08-11-2007	KEINE	
JP 2003322467 A	14-11-2003	KEINE	
JP 8170951 A	02-07-1996		

EPO FORM P0461

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

**IN DER BESCHREIBUNG AUFGEFÜHRTE DOKUMENTE**

*Diese Liste der vom Anmelder aufgeführten Dokumente wurde ausschließlich zur Information des Lesers aufgenommen und ist nicht Bestandteil des europäischen Patentdokumentes. Sie wurde mit größter Sorgfalt zusammengestellt; das EPA übernimmt jedoch keinerlei Haftung für etwaige Fehler oder Auslassungen.*

**In der Beschreibung aufgeführte Patentdokumente**

- DE 29812945 U1 [0003]
- JP 08170951 B [0003]
- JP 2003322467 B [0003]