



REPUBLIK  
ÖSTERREICH  
Patentamt

(10) Nummer: **AT 412 741 B**

(12)

# PATENTCHRIFT

(21) Anmeldenummer: A 1931/2001  
(22) Anmeldetag: 10.12.2001  
(42) Beginn der Patentdauer: 15.11.2004  
(45) Ausgabetag: 27.06.2005

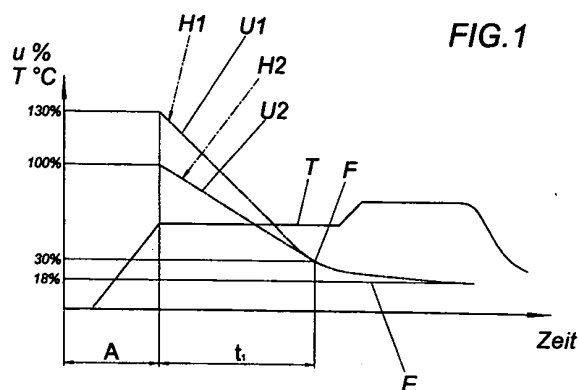
(51) Int. Cl.<sup>7</sup>: **F26B 21/06**  
F26B 25/22, 9/06

(56) Entgegenhaltungen:  
DE 29723003U1 DE 3738806A1  
DE 19522028A1

(73) Patentinhaber:  
MÜHLBÖCK KURT  
A-4906 EBERSCHWANG,  
OBERÖSTERREICH (AT).

## (54) VERFAHREN ZUM TROCKNEN VON GESTAPELTEM HOLZ

(57) Es wird ein Verfahren und eine Vorrichtung zum Trocknen von gestapeltem Holz mit Hilfe eines in einer Umlaufströmung geführten Trocknungsgases vorgeschlagen. Die Holzstapel (H1, H2) werden zonenweise in Abhängigkeit von der durchschnittlichen Holzfeuchtigkeit ( $u$ ) in der jeweiligen Zone mit hinsichtlich ihrer Trocknungsleistung unterschiedlichen Teilströmen des Trocknungsgases beaufschlagt. Um eine möglichst gleichmäßige Endfeuchte (E) der einzelnen Holzstapel (H 1, H 2) zu erreichen, wird vorgeschlagen, daß die Holzstapel in der Zone mit der durchschnittlich größten Holzfeuchtigkeit ( $u$ ) mit einer zulässigen größten Geschwindigkeit bis zum Fasersättigungspunkt (F) und die übrigen Zonen im Sinne einer Erreichung des Fasersättigungspunktes (F) in der durch die feuchteste Zone vorgegebenen Zeitspanne mit unterschiedlicher Geschwindigkeit getrocknet werden, bevor die Holzstapel (H 1, H 2) in einer einheitlichen Umlaufströmung auf die vorgegebene Endfeuchtigkeit (E) getrocknet werden und daß die zur Bestimmung der Trocknungsgeschwindigkeiten herangezogene mittlere Feuchtigkeit des Holzes in einer Aufheizphase (A) aus der dem Holz zugeführten Wärmemenge ermittelt wird.



Die Erfindung bezieht sich auf ein Verfahren zum Trocknen von gestapeltem Holz mit Hilfe eines in einer Umlaufströmung geführten Trocknungsgases, wobei die Holzstapel zonenweise in Abhängigkeit von der durchschnittlichen Holzfeuchtigkeit in der jeweiligen Zone mit hinsichtlich ihrer Trocknungsleistung unterschiedlichen Teilströmen des Trocknungsgases beaufschlagt werden und auf eine Vorrichtung zur Durchführung des Verfahrens.

Schnittholz wird zu einem großen Anteil in Holz Trocknungsanlagen auf eine gewünschte Endfeuchte getrocknet, wobei es stets das Ziel ist, nach Ablauf des Trocknungsprozesses eine möglichst einheitliche Endfeuchte einer Holzladung zu erhalten. Zum Trocknen wird eine Holzladung Schnittholz in einen Behandlungsraum eingebracht und anschließend bei vorgegebenen Trocknungstemperaturen und bei hohen Luftfeuchten getrocknet. Im Inneren des Behandlungsraumes wird mit Ventilatoren ein Umluftstrom für ein beheiztes Trocknungsgas durch das Schnittholz erzeugt. Zur Sicherstellung einer gleichmäßigen Temperaturverteilung im Behandlungsraum ist es notwendig, eventuell in den Behandlungsraum eingebrachte Außenluft möglichst gleichmäßig über den Behandlungsraumquerschnitt verteilt einzubringen, was überdies eine notwendige Voraussetzung für eine gleichmäßige Luftfeuchteverteilung innerhalb der Kammer ist. Da Temperaturunterschiede in der Behandlungskammer zu ungleichmäßigen Endfeuchten führen, ist es bekannt, Behandlungsräume in mehrere Zonen aufzuteilen um in diesen Zonen die Kammertemperatur jeweils getrennt für sich auf den für den gesamten Behandlungsraum geltenden gemeinsamen Sollwert zu regeln. Jede Zone besitzt ihre eigenen Temperatursensoren und verfügt über eigene Stellorgane für zugehörige Heizregister bzw. Heizregistergruppen über welche die Temperatur des Trocknungsgases je Zone geregelt wird. Üblicherweise erfolgt die Regelung der Heizregistertemperatur derart, daß das im Behandlungsraum umgewälzte und aus dem Stapel austretende Trocknungsgas auf einer konstanten Temperatur gehalten wird, wodurch es zu einer Vergleichmäßigung der übertragenen Wärmeleistung zwischen den einzelnen Zonen kommt. Die Verdunstung der vom Holz gelieferten Feuchtigkeit hat in jeder Zone einen zu der umgewälzten Luftmenge umgekehrt proportionalen Temperaturabfall zur Folge. Mit dieser Art der Regelung kann es aber vorkommen, daß die Eintrittstemperatur eine zulässige Grenztemperatur übersteigt und es damit zu einer Schädigung des Holzes (Rißbildung od. dgl.) kommt.

Bekannte Vorrichtungen zum Trocknen von gestapelten Schnittholz in einem Trocknungsgas (DE 297 23 003 U1, DE 37 38 806 A1) umfassen unter anderem eine Trockenkammer, Ventilatoren zur Trocknungsgasumwälzung und Heizregistern zur Trocknungsgaserwärmung. Zum Austausch des Trocknungsgases in der Trockenkammer, ist diese mit je einer Zu- und Ableitung für das Trocknungsgas versehen, wobei in den Zu- und Ableitungen Ventile zur Regulierung der Austauschwege vorgesehen sind. Diese bekannten Vorrichtungen besitzen allerdings lediglich eine Zone, so daß mit ihnen kaum gleichmäßige Holzfeuchten nach einem Trocknungsvorgang erzielt werden können, wenn der Behandlungsraum mit Holzchargen unterschiedlicher Feuchtigkeit beladen wird.

Ziel bei den bekannten Trocknungsverfahren ist stets die Trocknungsleistung in einer Behandlungskammer über den gesamten Querschnitt so gleichmäßig wie möglich zu gestalten. Wegen der gleichen Trocknungsleistung in den einzelnen Zonen wird stets festgestellt, daß die Endfeuchte nicht in einem gewünschten engen Rahmen liegt. Besonders deutlich zeigen sich diese Endfeuchteunterschiede, wenn das Holz auf relativ hohe Endfeuchtwerte getrocknet wird. Dies hat zur Folge, daß in einer Holzcharge gleichzeitig nennenswerte Anteile an untertrocknetem Holz und an zu feuchtem Holz vorliegen, was einen erheblichen Ausschußanteil bedingt.

Bei einer gleichmäßigen Verteilung der mittleren Anfangsfeuchte je Zone wird mit dem bekannten Verfahren eine gute, gleichmäßige Endfeuchte der Holzladung erreicht. Wenn allerdings die Anfangsfeuchteverteilung der einzelnen Zonen unterschiedlich ist, dann zeichnet sich diese Verteilung wegen der angestrebten gleichmäßigen Trocknungsleistung auf das Endergebnis unmittelbar durch. Besonders deutlich schlagen sich in Kammerlängsrichtung vorliegende Anfangsfeuchteunterschiede durch, da quer zur Strömungsrichtung des umgewälzten Trocknungsgases im Behandlungsraum kein nennenswerter Luftaustausch erfolgt.

Aus der DE 19522028 A1 ist es bekannt, die Abtrocknung mittels einzelner Holzfeuchtemeßstellen in jeder Zone zu kontrollieren. Dies erfordert jedoch eine Vielzahl an Meßstellen, die in der betrieblichen Praxis einerseits einen hohen Investitions- und Erhaltungsaufwand bedingen, andererseits einen hohen Zeitaufwand bei der Anbringung verursachen und schließlich mit einem

nicht unbeträchtlichen Risiko hinsichtlich der korrekten Zuordnung der Meßstellen zu den einzelnen Zonen behaftet sind. Aus diesen Gründen und da die bekannten Holzfeuchtefühler im Bereich hoher Holzfeuchten besonders ungenaue Meßergebnisse liefern, werden diese Verfahren in der Praxis kaum genutzt.

5 Bei Holz, insbesondere bei Nadelhölzern, ergibt sich erst unterhalb des Fasersättigungspunktes ein mathematisch formulierbarer Zusammenhang zwischen dem jeweiligen Feuchtegehalt und der Abtrocknungsrate. Der Fasersättigungspunkt stellt ja jenen Feuchtegehalt dar, unterhalb dem kein freies Wasser mehr im Holz enthalten ist. Da oberhalb des Fasersättigungspunktes die Abtrocknungsrate im wesentlichen nur von der zugeführten Wärmemenge, nicht aber vom Feuchtegehalt abhängig ist, kann ein Feuchtigkeitsausgleich nur in einem Feuchtigkeitsbereich zwischen dem Fasersättigungspunkt und der angestrebten Endfeuchte nach einem mathematisch formulierbaren Zusammenhang vorgenommen werden, also in einem vergleichsweise geringen Feuchtebereich von 12 bis 25%, wenn von einem durchschnittlichen Fasersättigungspunkt von 30 bis 35% und einer Endfeuchte von 10 bis 18% ausgegangen wird. Übliche Holzfeuchten zu Beginn des Trocknungsvorganges liegen im Bereich zwischen 50 % und 150 %. Die nach dem Trocknen oberhalb des Fasersättigungspunktes bestehenden Unterschiede im Feuchtegehalt müßten somit in diesem verhältnismäßig kurzen Intervall ausgeglichen werden, was extrem kleine Trocknungsraten und folglich kleine zeitliche Temperaturdifferenzen mit dem Nachteil vergleichsweise hoher Meßfehler ergibt.

20 Der Erfindung liegt daher die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren der eingangs geschilderten Art so auszubilden, daß ein weitgehender Feuchteausgleich in vergleichsweise kurzen Zeitspannen sichergestellt werden kann, und zwar unter Einhaltung einer vorgegebenen Endfeuchte. Außerdem soll eine Vorrichtung geschaffen werden, mit der es möglich ist, Hölzer unterschiedlicher Anfangsfeuchte ohne Vorsortierung in einen Behandlungsraum einzustapeln und trotzdem eine gleichmäßige mittlere Endfeuchte der Holzladung zu erzielen.

25 Die Erfindung löst diese Aufgabe dadurch, daß die Holzstapel in der Zone mit der durchschnittlich größten Holzfeuchtigkeit mit einer zulässigen größten Geschwindigkeit bis zum Fasersättigungspunkt und die übrigen Zonen im Sinne einer Erreichung des Fasersättigungspunktes in der durch die feuchteste Zone vorgegebenen Zeitspanne mit unterschiedlicher Geschwindigkeit getrocknet werden, bevor die Holzstapel in einer einheitlichen Umlaufströmung auf die vorgegebene Endfeuchtigkeit getrocknet werden und daß die zur Bestimmung der Trocknungsgeschwindigkeiten herangezogene mittlere Feuchtigkeit des Holzes in einer Aufheizphase aus der dem Holz zugeführten Wärmemenge ermittelt wird.

30 Mit der Erfindung wird ein einfaches Verfahren geschaffen, das es gestattet mittlere Feuchteunterschiede in den einzelnen Zonen oberhalb des Fasersättigungspunktes auszugleichen, also zu einem zu dem noch ein zumindest annähernd lineares Abtrocknungsverhalten des Holzes vorliegt. Jene Zone in der die durchschnittlich größte Holzfeuchtigkeit vorliegt wird beispielsweise mit einer gerade noch zulässigen Geschwindigkeit bis zum Fasersättigungspunkt getrocknet, bei welcher Geschwindigkeit noch keine Schädigung des Holzes auftritt. Die Trocknungsgeschwindigkeit in den übrigen Zonen wird dem gegenüber derart verringert, daß jede Zone zu annähernd gleichem Zeitpunkt den Fasersättigungspunkt erreicht. Nach der Erfindung ist es wesentlich, daß die mittleren Feuchteunterschiede in den einzelnen Zonen spätestens bei Erreichung des Fasersättigungspunktes ausgeglichen sind. Unterhalb des Fasersättigungspunktes werden die Holzstapel aller Zonen in einer einheitlichen Umlaufströmung auf die vorgegebene Endfeuchtigkeit abgetrocknet.

35 Um die Unterschiede der mittleren Holzfeuchten zwischen den einzelnen Zonen möglichst genau bestimmen zu können, wird die mittlere Feuchtigkeit des Holzes in einer Aufheizphase aus der dem Holz zugeführten Wärmemenge ermittelt. Diese Wärmemenge setzt sich in bekannter Weise aus der der Darrmasse (Holz bei 0% Feuchtigkeit) und der dem im Holz enthaltenen Wasser zugeführten Wärmemenge zusammen. Bei Kenntnis der in den Behandlungsraum eingebrachten Menge an Holz und der dem Holz zugeführten Wärmemenge läßt sich der Feuchtigkeitsgehalt des Holzes bestimmen. Besonders vorteilhaft ist es dabei, wenn die mittlere Feuchtigkeit des Holzes zonenweise während der Aufheizphase des im Umlauf geführten Trocknungsgases aus der dem Holz während einer Beobachtungszeit zugeführten Wärmemenge ermittelt wird.

55 Die Ermittlung der dem Holz zugeführten Wärmemenge erfolgt beispielsweise aus dem

Produkt der Temperaturdifferenz zwischen Stapeleintritt und Stapelaustritt des Trocknungsgases mit der Masse des umgewälzten Trocknungsgases und einer Stoffkonstanten des Trocknungsgases. Es muß somit lediglich die Temperaturdifferenz zwischen Stapeleintritt und Stapelaustritt mit wenigstens je einem Temperaturfühler aufgenommen werden, womit sich eine wenig aufwendige, genaue Methode zur Bestimmung der zugeführten Wärmemenge ergibt. Um die dem Holz zugeführte Wärmemenge noch genauer zu bestimmen, wird zudem die an das Trocknungsgas von einem Wärmetauscher abgegebene und dem Holz zugeführte Wärmemenge aus dem Produkt der Temperaturdifferenz zwischen Vorlauftemperatur und Rücklauftemperatur des Wärmetauschers mit der Masse des pro Zeiteinheit im Wärmetauscher umgewälzten Heizmediums und einer Stoffkonstanten des Heizmediums ermittelt. Zur Berechnung der dem Holz zugeführten Wärmemenge kann entweder die eine oder die andere Methode verwendet werden. Zweckmäßig ist es aber stets den Mittelwert der beiden Methoden zur Berechnung der Holzfeuchtigkeit heranzuziehen. Zusätzlich kann die Holztemperatur bzw. die Stapelaustrittstemperatur des Trocknungsgases während der Aufheizphase an wenigstens einer Stelle pro Zone gemessen und einer Speichereinheit zugeführt werden. Die Masse des im Holz enthaltenen Wassers läßt sich dann aus der während der Beobachtungszeit dem Holz zugeführten Wärmemenge und der Holztemperaturdifferenz und/oder der Trocknungsgastemperaturdifferenz zwischen Beobachtungszeitbeginn und -ende bei Kenntnis des zu trocknenden Holzvolumens ermitteln. Ist eine besonders genaue Ermittlung der Holzfeuchte gefordert, werden die Temperatur des Trocknungsgases bei Stapeleintritt und Stapelaustritt, die Temperaturdifferenz zwischen Vorlauftemperatur und Rücklauftemperatur des Wärmetauschers und die Holztemperaturdifferenz zwischen einem Beobachtungszeitbeginn und Beobachtungszeitende zur Berechnung der dem Holz zugeführten Wärmemenge berücksichtigt.

Mit dem neuen Verfahren ist es möglich, ohne zusätzliche Holzfeuchtemeßstellen die Anfangsfeuchteverteilung zwischen den einzelnen Zonen eines Behandlungsraumes zu bestimmen. Der Anfangsfeuchtegehalt läßt sich gemäß dem neuen Verfahren aus der während der Aufheizphase dem Holz zugeführten Wärmemenge und der zugehörigen Temperaturänderung des Holzes ermitteln. Wesentlich für das erfindungsgemäße Verfahren ist es, daß für ein genaues Endergebnis des Trocknungsprozesses nicht die Ermittlung eines exakten absoluten Feuchtegehaltes des Holzes der einzelnen Zonen maßgeblich ist, sondern lediglich die relativen Unterschiede zwischen den einzelnen Zonen bestimmt werden müssen. Ein zusätzlicher Vorteil ist, daß die Ermittlung der Unterschiede zwischen den einzelnen Zonen im Zustand maximaler Temperaturdifferenzen zwischen Stapeleintritt und -austritt erfolgt, wodurch die bestmögliche Meßgenauigkeit gegeben ist. Nach der Erfindung wird nach Beendigung der Aufheizphase die Trocknung gestartet und der Trocknungsverlauf nach Maßgabe der feuchtesten Zone nach einem vom Betreiber gewählten Trocknungsfahrplan geführt. Dazu werden vorzugsweise in allen Zonen die zugeordneten Heizungseinrichtungen auf eine vorgegebene Stapelaustrittstemperatur des Trocknungsgases geregelt. Um die je Zone an das Trocknungsgas abgegebene Dampfmenge möglichst rasch und einfach aus der Zone bzw dem Behandlungsraum abführen zu können bzw. um die vorgegebene Trocknungsgeschwindigkeit einhalten zu können, wird gemäß der Erfindung vorgeschlagen, daß die je Zone während der Trockenphase einzuhaltende Trocknungsgeschwindigkeit über die durch ein Frischgas ersetzte Menge an Trocknungsgas gesteuert wird. Im Sinne der gewünschten gleichmäßigen Endfeuchte in allen Zonen wird in jeder Zone eine den ermittelten Anfangsfeuchteunterschieden entsprechende unterschiedliche Trocknungsgasmenge ausgetauscht. Dabei wird die Stapelaustrittstemperatur des Trocknungsgases in allen Zonen entweder auf einen einheitlichen Wert geregelt, oder aber es wird in jeder Zone je Zeiteinheit die gleiche Menge an Trocknungsgas ausgetauscht und die Stapelaustrittstemperatur des Trocknungsgases in allen Zonen in Abhängigkeit der abzuführenden Dampfmenge gesteuert.

Um innerhalb der einzelnen Zonen eine geringere Streuung der mittleren Endfeuchte zu erhalten wird vorgeschlagen, daß einzelne Zonen in Unterzonen unterteilt werden, in denen die Stapelaustrittstemperatur des Trocknungsgases in Abhängigkeit der einzuhaltenden Trocknungsgeschwindigkeit gesteuert wird.

Vorrichtungen zum Trocknen von gestapeltem Holz in einem Trockengas weisen beispielsweise einen in wenigstens zwei Zonen zur Holzaufnahme unterteilten Behandlungsraum und eine Steuereinheit auf, wobei das Trocknungsgas je Zone von wenigstens einem Ventilator über wenigstens einen Wärmetauscher sowie einen Temperatursensor umgewälzt wird. Um zu erreichen,

daß die Holzstapel einer Zone mit der größten durchschnittlichen Holzfeuchtigkeit mit einer maximalen Geschwindigkeit bis zum Fasersättigungspunkt und die übrigen Zonen in derselben Zeitspanne mit entsprechend geringerer Geschwindigkeit auf den Fasersättigungspunkt hin getrocknet werden können, ist je Zone wenigstens eine Zu- und eine Ableitung zum Austausch von Trocknungsgas vorgesehen. Über diese Zu- und Ableitungen kann der Austausch von mit Dampf angereicherter Luft einfach erfolgen, ohne benachbarte Zonen zu beeinflussen. Um die Menge des ausgetauschten Trocknungsgases regulieren zu können, ist in der Zu- und/oder der Ableitung ein Stellventil und/oder ein Gebläse angeordnet. Die Steuerung der Ventile bzw. der Leistung der Gebläse erfolgt derart, daß in Abhängigkeit von den Meßwerten einer Luftfeuchtemeßeinrichtung eine gewisse Grundstellung vorgegeben wird. Diese Grundstellung kann für alle Ventile oder Gebläse einer Zone gültig sein und wird von aus der Anfangsfeuchte ermittelten Korrekturwerten überlagert. Damit trocknet beispielsweise eine Zone mit niedriger Anfangsfeuchte um genau jenes Maß langsamer, das notwendig ist, um zur gleichen Zeit den Fasersättigungspunkt wie die Zone mit einem feuchten Holz zu erreichen. Da die ausgetauschte Luftmenge in den einzelnen Zonen genau im Verhältnis zur jeweiligen geforderten Trocknungsleistung steht, stellen sich physikalisch bedingt in allen Zonen die nahezu gleichen absoluten Trocknungsgasfeuchtegehalte ein. Damit ist ein einziger Sensor zur Erfassung der absoluten Luftfeuchte je Behandlungsraum ausreichend.

Alternativ und insbesondere in zusätzlich definierten Unterzonen kann die Abtrocknungsgeschwindigkeit (=Abtrocknungsrate) auch derart variiert werden, daß die Heizleistung über den Umweg einer gezielt auf einen unterschiedlich festgelegten Wert für die Austrittstemperatur der Luft variiert wird. Dabei wird die Tatsache genutzt, daß bei gegebenen Bedingungen und Frischgasaustauschraten die Geschwindigkeiten in den einzelnen Zonen in mathematisch formulierbarer Art und Weise vom Unterschied der Austrittstemperaturen abhängen, wobei sinkende Austrittstemperaturen zu sinkenden Abtrocknungsraten führen.

Zur Regelung der je Zone zugeführten Wärmemenge weist jeder Wärmetauscher wenigstens ein Ventil zur Drosselung oder Sperrung seines Heizmediums auf. Um ein gegenseitiges Beeinflussen der in den einzelnen Zonen umgewälzten Teilströme des Trocknungsgases zu vermeiden, bilden der Ventilator bzw. die Ventilatoren und der oder die Wärmetauscher je Zone eine Heizeinrichtung, die vorzugsweise mittels Leiteinrichtungen für das Trocknungsgas von Heizeinrichtungen anderer Zonen und zumindest teilweise mittels einer Zwischendecke und/oder einer Trennwand vom Behandlungsraum getrennt sind. Somit wird ein einerseits von anderen Zonen und andererseits vom Behandlungsraum abgeschotteter Bereich geschaffen, in dem der Austausch des Trocknungsgases erfolgt, in dem dem Trocknungsgas Wärme zugeführt sowie das Trocknungsgas durch die Zone umgewälzt wird. Um die Beeinflussung der einzelnen Zonen untereinander noch weiter zu verringern, kann der Behandlungsraum zwischen den einzelnen Zonen Trenneinrichtungen aufweisen. Diese können beispielsweise einschiebbare Trennwände, Rolltore, Jalousien od. dgl. darstellen.

Sollen die Feuchteunterschiede des Holzes innerhalb der einzelnen Zonen noch besser ausgeglichen werden, sind die einzelnen Zonen in Unterzonen unterteilt, für welche Unterzonen eigene Trocknungsgaskanäle angeordnet sind. Somit muß zu Beginn des Trockenprozesses der Feuchtigkeitsgehalt des Holzes in jeder einzelnen Unterzone ermittelt und anschließend jede Unterzone für sich mit einer entsprechenden Geschwindigkeit abgetrocknet werden. Zu diesem Zweck sind den Unterzonen zugeordnete, getrennt von einander ansteuerbare bzw. regelbare Heizregister vorgesehen, welche die Trocknungsgeschwindigkeiten in den einzelnen Unterzonen über die Trocknungsgastemperatur regeln.

Die Erfindung ist in der Zeichnung beispielsweise schematisch dargestellt. Es zeigen

Fig. 1 ein Schema für den Ablauf eines erfindungsgemäßen Verfahrens,

Fig. 2 eine Vorrichtung zur Durchführung des Verfahrens gemäß Fig. 1 zum Trocknen von gestapeltem Holz in einer teilgeschnittenen Seitenansicht,

Fig. 3 die Vorrichtung aus Fig. 2 in einer teilgeschnittenen Stirnansicht und

Fig. 4 eine Ausgestaltungsvariante der Vorrichtung aus Fig. 3.

Nach der Erfindung wird die mittlere, zonenweise den Hölzern bzw. Holzstapeln zugeführte Wärmemenge in einer Aufheizphase A ermittelt. Die dem Holz zugeführte Wärmemenge kann entweder aus dem über einen Zeitraum ermittelten Temperaturunterschied des Trocknungsgases zwischen Stapel- und -austritt oder beispielsweise aus gemessenen Unterschieden der Vorlauf-

und Rücklauftemperaturen einzelner Heizstränge ermittelt werden.

Vom Trocknungsgas auf das Holz übertragene thermische Leistung  $\dot{Q}_{zu}$  [kJ/s]:

$$\dot{Q}_{zu} = c p_{Umluft} * \dot{m}_{Umluft} * \Delta T_{Luft} \quad \text{mit}$$

$\dot{m}_{Umluft}$  pro Zeiteinheit umgewälzte Trocknungsgasmasse [kg/s]

5  $\Delta T_{Luft}$  Trockentemperaturunterschied zwischen Stapeleintritt und -Austritt [K]

$c p_{Umluft}$  mittlere spezifische Wärmekapazität des Trocknungsgases [kJ/kg K].

Dazu kann die dem Trocknungsgas über Wärmetauscher zugeführte Wärmeleistung ermittelt werden:

$$\dot{Q}_{zu} = c p_{H_2O} * \dot{m}_{H_2O} * (T_{Vorlauf} - T_{Rücklauf}) \quad \text{mit}$$

10  $\dot{Q}_{zu}$  eingebrachte Leistung über die Wärmetauscher [kJ/s]

$\dot{m}_{H_2O}$  Durchflußmenge eines Heizmediums durch die Wärmetauscher [kg/sec]

$\Delta T$  Temperaturunterschied zwischen Vorlauf und Rücklauf [K]

Die vom Holz aufgenommenen relativen Wärmemengen ergeben sich in einem Beobachtungszeitraum  $t$  zu

$$15 \quad Q_{auf} = \dot{Q}_{zu} * t \quad [\text{kJ}]$$

Die für die Ermittlung der relativen Abtrocknungsraten (Geschwindigkeit) relevante Holzfeuchte jeder Zone ist näherungsweise proportional zur aufgenommenen jeweiligen Wärmemenge  $Q_{auf}$ . Zusätzlich kann über die vom Holz aufgenommene Energie das Wärmespeichervermögen des Holzes während des Beobachtungsintervalles  $t$  direkt ermittelt werden und daraus auf die unterschiedlichen abzutrocknenden Wassermengen geschlossen werden.

$$Q_{auf} = (m_{HolzDarr} * c p_{HolzDarr} + m_{H_2OHolz} * c p_{H_2O}) * \Delta T_{Holz}$$

$$25 \quad m_{H_2OHolz} = \left( \frac{Q_{auf}}{\Delta T_{Holz}} - m_{HolzDarr} * c p_{HolzDarr} \right) * \frac{1}{c p_{H_2O}}$$

$$30 \quad m_{H_2OHolz} = \left( \frac{\dot{Q}_{zu} * t_{beobacht}}{\Delta T_{Holz}} - m_{HolzDarr} * c p_{HolzDarr} \right) * \frac{1}{c p_{H_2O}}$$

mit

$m_{HolzDarr}$  Darrmasse des eingeräumten Holzes [kg]

$m_{H_2O}$  die im eingestapelten Holz gespeicherte Wassermenge [kg] und

35  $\Delta T_{Holz}$  Temperaturzunahme im Holz über den Beobachtungszeitraum  $t$ .

Für die Ermittlung der relativen Unterschiede reicht es in der Praxis aus, mit einer für die jeweilige Kammer typischen mittleren Darrmasse des Holzes zu rechnen. Besonders genau wird die Ermittlung aber, wenn dem Verfahren der tatsächlich aktuelle Wert zugrunde gelegt wird.

Gemäß dem erfindungsgemäßen Verfahren wird nach Ende der Aufheizphase A die Trocknung gestartet und der Trocknungsverlauf nach Maßgabe der feuchtesten Zone sowie dem vom Betreiber gewählten Trocknungsfahrplan geführt. Nach dem Ausführungsbeispiel wird die Austrittstemperatur  $T$  aus einem Holzstapel in allen Zonen auf den gleichen Sollwert geregelt, womit die Abtrocknungsrate direkt proportional der je Zone laufend ausgetauschten Trocknungsgasmenge ist. Wird als Trocknungsgas Luft verwendet, so muß lediglich mit Dampf angereicherte Luft aus der Zone abgeführt und frische Außenluft der Zone zugeführt werden. Die Holzstapel jener Zone mit der durchschnittlich größten Holzfeuchtigkeit werden mit einer zulässigen größten Geschwindigkeit  $U1$  bis zum Fasersättigungspunkt F des Holzes H1 und die übrigen Zonen im Sinne einer Erreichung des Fasersättigungspunktes F in dem durch die feuchteste Zone vorgegebenen Trocknungsintervall  $t_1$  mit einer unterschiedlichen Geschwindigkeit  $U2$  getrocknet, bevor die Holzstapel in einer einheitlichen Umlaufströmung auf eine vorgegebene Endfeuchtigkeit E getrocknet werden. Gemäß dem Ausführungsbeispiel besitzt das in der Zone 1 gelagerte Holz H1 eine mittlere Anfangsfeuchte von 130 % und das in der Zone 2 gelagerte Holz H2 eine mittlere Anfangsfeuchte von 100 %. Die Hölzer H1 und H2 der beiden Zonen werden im selben Trocknungsintervall  $t_1$  bis auf den Fasersättigungspunkt F, also auf etwa 30 % Feuchte herabgetrocknet. Zu diesem Zweck muß das Holz H1 schneller getrocknet werden als das Holz H2.

Mit dem erfindungsgemäßen Verfahren lassen sich gegenüber dem Stand der Technik gleichmäßigere Endfeuchtwerte mit viel höherer Sicherheit erzielen. Das Verfahren ist grundsätzlich auf alle Trocknungsgüter und Holzarten ohne Kenntnis besonderer Stoffdaten und Trocknungseigenschaften universell anwendbar. Es ist möglich, gegenüber den bekannten Anlagen Trocknungszeit, Energie und Zusatzaufwand, wie Rüstzeit od. dgl. zu sparen, da keine Verlängerungen der Trocknungszeit zum Ausgleich der ungleichmäßigen Feuchteverteilung oder gar Nachtrocknungen nötig sind, wodurch der Nutzungsgrad einer Trocknungsanlage ansteigt. Aber nicht nur die Gleichmäßigkeit des Trocknungsergebnisses nimmt zu, sondern es nimmt auch die Gefahr einer Untertrocknung und somit von Rißbildungen und Verformungen ab, wodurch der Ausschuß reduziert wird. Durch die gleiche Verweilzeit des Holzes bei gleichen Trocknungsbedingungen über sowie unter Fasersättigung wird das Farbergebnis der Charge gleichmäßiger.

Ist der Fasersättigungspunkt F erreicht, wird die Trocknung bei gleicher Temperatur und bei gleichem Trocknungsgasaustausch je Zone fortgesetzt, um auf die vorgegebene Endfeuchtigkeit zu trocknen.

Die Vorrichtung zum Trocknen von gestapeltem Holz 1 besteht aus einem in mehrere Zonen 2 unterteilten Behandlungsraum 3 und einer Steuereinheit 4. Im Behandlungsraum 3 wird ein Trocknungsgas, vorzugsweise Luft von wenigstens einem Ventilator 5 je Zone 2 über Wärmetauscher 6 quer zur Längsrichtung des Behandlungsraumes 3 umgewälzt. Das Trocknungsgas wird in Richtung des Pfeiles 7 vom Ventilator 5 gefördert und es sind mehrere Temperatursensoren 8 am Stapelaustritt angeordnet, welche Temperatursensoren 8 die Stapelaustrittstemperatur des Trocknungsgases messen. Grundsätzlich würde ein Temperatursensor 8 pro Zone ausreichen, es hat sich aber als vorteilhaft erwiesen, mehrere Temperatursensoren 8 vorzusehen und eine mittlere Austrittstemperatur zu ermitteln. Gemäß der Ausgestaltungsvariante nach Fig. 3 kann die Förderrichtung des Ventilators 5 während des Trocknungsvorganges mehrfach umgekehrt werden.

Um bewerkstelligen zu können, daß jede Zone 2 mit unterschiedlicher Geschwindigkeit auf seinen Fasersättigungspunkt F getrocknet werden kann, ist jeder Zone 2 wenigstens eine Zu- und eine Ableitung 10 zum Austausch von Trocknungsgas zugeordnet. In der Zu- und der Ableitung 10 ist je ein Steuerventil 11 und ev. ein Gebläse vorgesehen, mit dem die Menge des ausgetauschten Trocknungsgases eingestellt werden kann. Die Steuerventile 11, die Wärmetauscher 6 und die Ventilatoren 5 sind mit der Steuereinheit über Leitungen 12 verbunden. Bei Umkehr der Förderrichtung des Trocknungsgases im Behandlungsraum 3 kehren sich die Strömungsrichtungen in den Zu- und Ableitungen 10 um.

Der Ventilator 5 bzw. die Ventilatoren 5 und der oder die Wärmetauscher 6 bilden je Zone 2 eine Heizeinrichtung, die mittels Leiteinrichtungen 13 für das Trocknungsgas von den Heizeinrichtungen anderer Zonen 2 und zumindest teilweise mittels einer Zwischendecke 14 vom Behandlungsraum 3 getrennt ist, um das Strömungsverhalten des Trocknungsgases im Behandlungsraum 3 zu verbessern und ein gegenseitiges Beeinflussen des Trocknungsgases der einzelnen Zonen 2 zu verhindern. Zwischen den einzelnen Zonen 2 weist der Behandlungsraum 3 Trenneinrichtungen 15 in Form von Vorhängen bzw. Jalousien od. dgl. auf.

Um auch Feuchtigkeitsdifferenzen innerhalb der einzelnen Zonen 2 ausgleichen zu können, sind sie in Unterzonen 16 unterteilt (Fig. 4), wobei für jede Unterzone 16 zusätzlich eigene Trocknungsgaskanäle 17 angeordnet sind. Den einzelnen Unterzonen 16 sind getrennt von einander ansteuerbare bzw. regelbare Wärmetauscher 6 zugeordnet, um die den einzelnen Unterzonen 16 zugeführte Heizleistung gesondert regeln zu können.

#### PATENTANSPRÜCHE:

1. Verfahren zum Trocknen von gestapeltem Holz mit Hilfe eines in einer Umlaufströmung geführten Trocknungsgases, wobei die Holzstapel zonenweise in Abhängigkeit von der durchschnittlichen Holzfeuchtigkeit in der jeweiligen Zone mit hinsichtlich ihrer Trocknungsleistung unterschiedlichen Teilströmen des Trocknungsgases beaufschlagt werden, **dadurch gekennzeichnet**, daß die Holzstapel (H 1, H 2) in der Zone mit der durchschnittlich größten Holzfeuchtigkeit (u) mit einer zulässigen größten Geschwindigkeit bis zum Fasersättigungspunkt (F) und die übrigen Zonen (2) im Sinne einer Erreichung des Fasersätti-

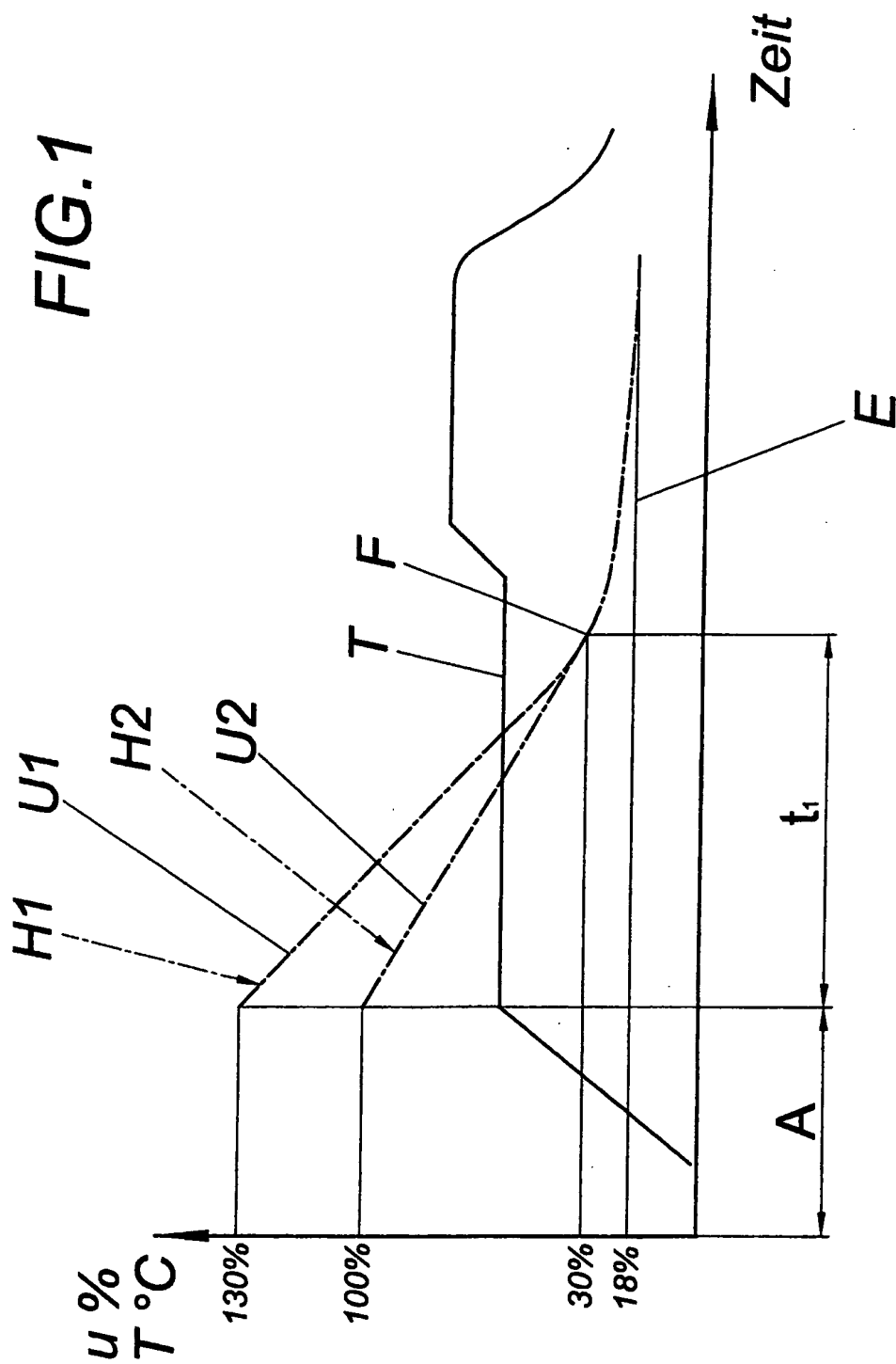
- gungspunktes in der durch die feuchteste Zone vorgegebenen Zeitspanne mit unterschiedlicher Geschwindigkeit getrocknet werden, bevor die Holzstapel (H 1, H 2) in einer einheitlichen Umlaufströmung auf die vorgegebene Endfeuchtigkeit (E) getrocknet werden und daß die zur Bestimmung der Trocknungsgeschwindigkeiten herangezogene mittlere Feuchtigkeit des Holzes in einer Aufheizphase (A) aus der dem Holz zugeführten Wärmemenge ermittelt wird.
2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, daß die mittlere Feuchtigkeit des Holzes zonenweise während der Aufheizphase (A) des im Umlauf geführten Trocknungsgases aus der dem Holz während einer Beobachtungszeit zugeführten Wärmemenge ermittelt wird.
  3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet**, daß die dem Holz zugeführte Wärmemenge aus dem Produkt der Temperaturdifferenz zwischen Stapeleintritt und Stapelaustritt des Trocknungsgases mit der Masse des pro Zeiteinheit umgewälzten Trocknungsgases und einer Stoffkonstanten des Trocknungsgases ermittelt wird.
  4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, **dadurch gekennzeichnet**, daß die an das Trocknungsgas von einem Wärmetauscher (6) abgegebene, dem Holz zugeführte Wärmemenge aus dem Produkt der Temperaturdifferenz zwischen Vorlauftemperatur und Rücklauftemperatur des Wärmetauschers mit der Masse des pro Zeiteinheit im Wärmetauscher (6) umgewälzten Heizmediums und einer Stoffkonstanten des Heizmediums ermittelt wird.
  5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4, **dadurch gekennzeichnet**, daß die Holztemperatur während der Aufheizphase (A) an wenigstens einer Stelle pro Zone gemessen und einer Recheneinheit (4) zugeführt wird, welche die Masse des im Holz enthaltenen Wassers aus der während der Beobachtungszeit dem Holz zugeführten Wärmemenge und der Holztemperaturdifferenz zwischen Beobachtungszeitbeginn und -ende bei Kenntnis des zu trocknenden Holzvolumens ermittelt.
  6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5, **dadurch gekennzeichnet**, daß die je Zone während der Trockenphase einzuhaltende Trocknungsgeschwindigkeit über die durch ein Frischgas ersetzte Menge an Trocknungsgas gesteuert wird.
  7. Verfahren nach einem der vorigen Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, daß die Stapelaustrittstemperatur des Trocknungsgases in allen Zonen (2) auf einen einheitlichen Wert geregelt wird.
  8. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5, **dadurch gekennzeichnet**, daß in jeder Zone (2) je Zeiteinheit die gleiche Menge Trocknungsgas ausgetauscht und die Stapelaustrittstemperatur des Trocknungsgases in allen Zonen (2) in Abhängigkeit der einzuhaltenden Trocknungsgeschwindigkeit gesteuert wird.
  9. Verfahren nach einem der vorigen Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, daß einzelne Zonen (2) in Unterzonen (16) unterteilt werden, in denen die Stapelaustrittstemperatur des Trocknungsgases in Abhängigkeit der einzuhaltenden Trocknungsgeschwindigkeit gesteuert wird.
  10. Vorrichtung zur Durchführung eines Verfahrens zum Trocknen von gestapeltem Holz in einem Trocknungsgas mit einem in wenigstens zwei Zonen zur Holzaufnahme unterteilten Behandlungsraum und einer Steuereinheit, mit wenigstens einem das Trocknungsgas umwälzenden Ventilator je Zone, einem der Zone zugeordneten Wärmetauscher sowie mindestens einem Temperatursensor, **dadurch gekennzeichnet**, daß je Zone (2) wenigstens eine Zu- und eine Ableitung (10) zum Austausch von Trocknungsgas vorgesehen ist, wobei in der Zu- und/oder der Ableitung (10) in an sich bekannter Weise ein Regel- bzw. Steuerventil (11) angeordnet ist, und die Zu- und/oder die Ableitungen (10) an wenigstens ein Gebläse angeschlossen sind.
  11. Vorrichtung nach Anspruch 10, **dadurch gekennzeichnet**, daß jeder Wärmetauscher (6) wenigstens ein Ventil zur Drosselung oder Sperrung seines Heizmediums aufweist.
  12. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 10 oder 11, **dadurch gekennzeichnet**, daß der Ventilator (5) bzw. die Ventilatoren (5) und der oder die Wärmetauscher (6) je Zone eine Heizeinrichtung bilden, die mittels Leiteinrichtungen (13) für das Trocknungsgas von Heizeinrichtungen anderer Zonen (2) und zumindest teilweise mittels einer Zwischendecke (14)

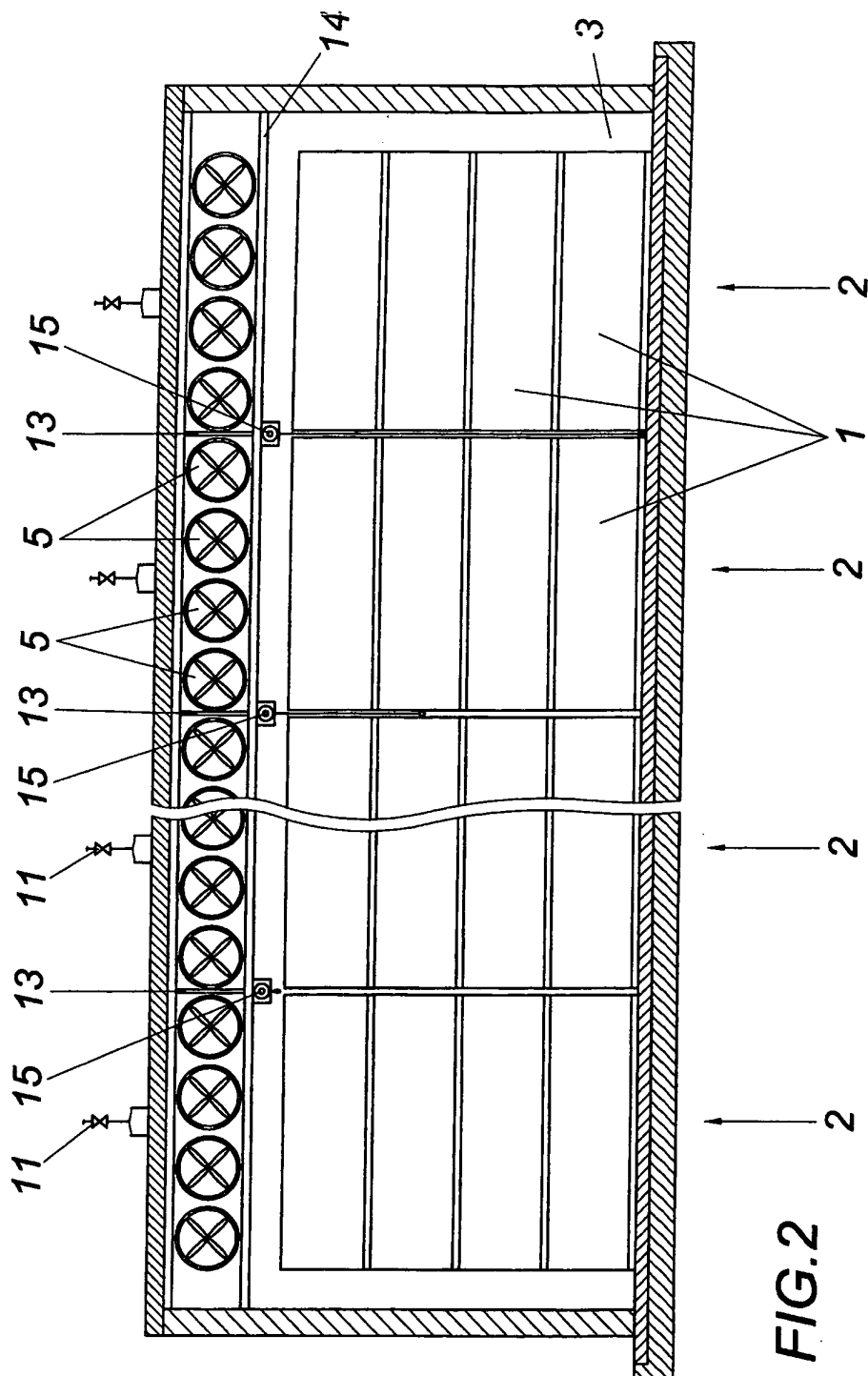


bzw. einer Trennwand vom Behandlungsraum (3) getrennt sind.

13. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 10 bis 12, **dadurch gekennzeichnet**, daß der Behandlungsraum (3) zwischen den einzelnen Zonen (2) Trenneinrichtungen (15) aufweist.
14. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 10 bis 13, **dadurch gekennzeichnet**, daß die einzelnen Zonen (2) in Unterzonen (16) unterteilt sind, für die eigene Trocknungsgaskanäle (17) angeordnet sind.

#### HIEZU 4 BLATT ZEICHNUNGEN





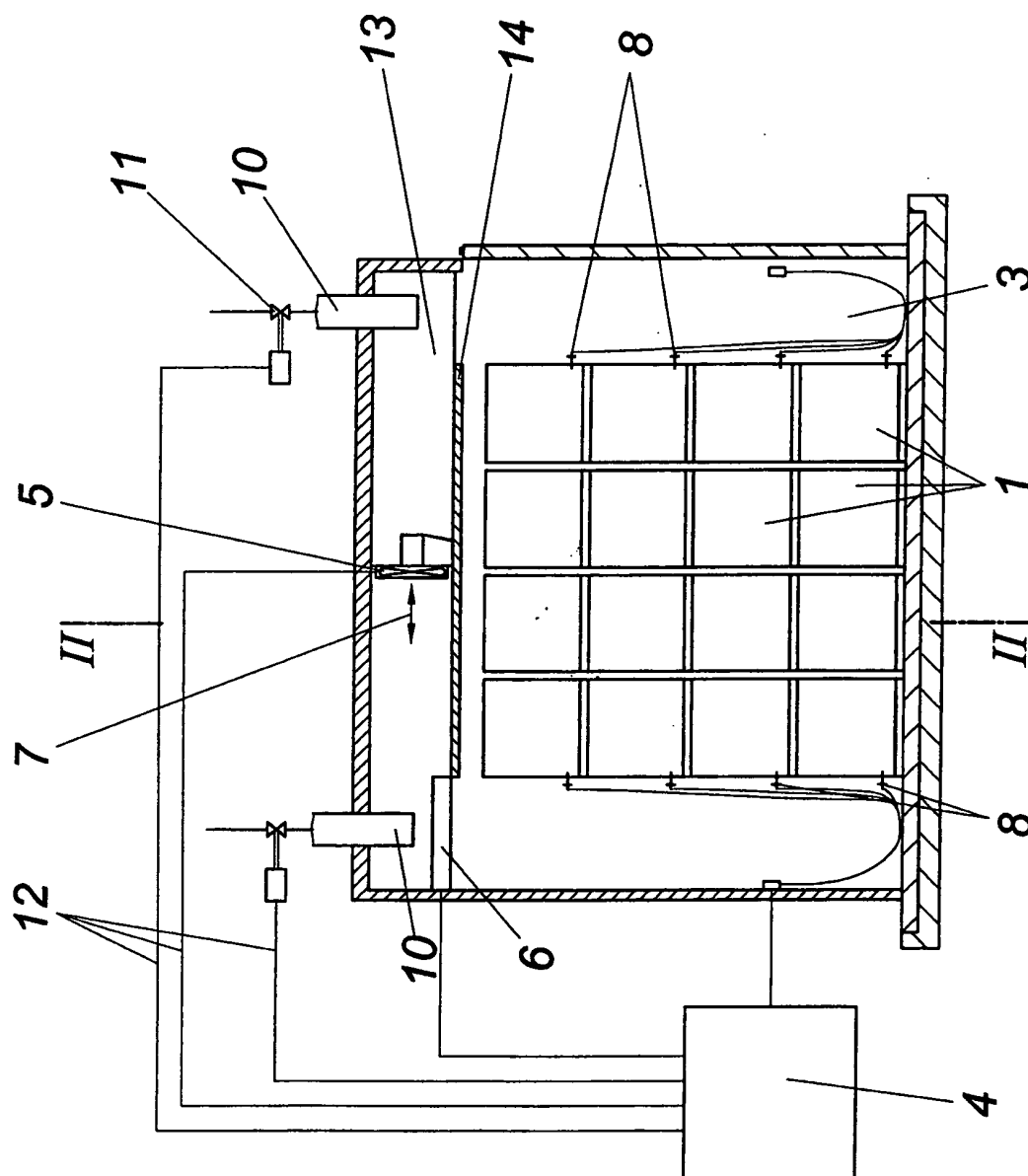


FIG.3

