

(19)



(11)

EP 3 788 313 B1

(12)

EUROPÄISCHE PATENTSCHRIFT

(45) Veröffentlichungstag und Bekanntmachung des Hinweises auf die Patenterteilung:

24.01.2024 Patentblatt 2024/04

(51) Internationale Patentklassifikation (IPC):

**F26B 21/00^(2006.01) F26B 3/28^(2006.01)
F26B 13/20^(2006.01)**

(21) Anmeldenummer: **19720116.3**

(52) Gemeinsame Patentklassifikation (CPC):

F26B 3/283; F26B 13/104; F26B 21/004

(22) Anmeldetag: **25.04.2019**

(86) Internationale Anmeldenummer:

PCT/EP2019/060582

(87) Internationale Veröffentlichungsnummer:

WO 2019/211155 (07.11.2019 Gazette 2019/45)

(54) **VERFAHREN ZUM TROCKNEN EINES SUBSTRATS SOWIE LUFTTROCKNERMODUL SOWIE TROCKNERSYSTEM**

PROCESS FOR DRYING A SUBSTRATE, AIR DRYING MODULE AND DRYING SYSTEM

PROCÉDÉ DE SÉCHAGE D'UN SUBSTRAT, MODULE DE SÉCHAGE À AIR ET SYSTÈME DE SÉCHAGE

(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**

• **BÜNGENER, Jens**

63450 Hanau (DE)

• **KRAFFT, Vincent**

63450 Hanau (DE)

• **VON RIEWEL, Larisa**

63450 Hanau (DE)

(30) Priorität: **04.05.2018 DE 102018110824**

(43) Veröffentlichungstag der Anmeldung:

10.03.2021 Patentblatt 2021/10

(74) Vertreter: **Staudt, Armin Walter**

Sandeldamm 24a

63450 Hanau (DE)

(73) Patentinhaber: **Heraeus Noblelight GmbH**

63450 Hanau (DE)

(56) Entgegenhaltungen:

EP-A1- 1 030 149

WO-A1-00/58551

WO-A2-2004/072552

DE-A1- 2 203 621

DE-A1-102016 112 122

US-A- 5 606 805

(72) Erfinder:

• **GRAZIEL, Bernhard**

63450 Hanau (DE)

• **TITTMANN, Michael**

63450 Hanau (DE)

EP 3 788 313 B1

Anmerkung: Innerhalb von neun Monaten nach Bekanntmachung des Hinweises auf die Erteilung des europäischen Patents im Europäischen Patentblatt kann jedermann nach Maßgabe der Ausführungsordnung beim Europäischen Patentamt gegen dieses Patent Einspruch einlegen. Der Einspruch gilt erst als eingelegt, wenn die Einspruchsgebühr entrichtet worden ist. (Art. 99(1) Europäisches Patentübereinkommen).

Beschreibung

Technischer Hintergrund

[0001] Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum mindestens teilweisen Trocknen eines Substrats, umfassend die Verfahrensschritte:

(a) Erzeugung einer auf das Substrat gerichteten Zuluftströmung, die eine Zuluftströmungsrichtung aufweist, die eine Richtungs-Komponente in Transportrichtung oder in Gegenrichtung dazu hat, und

(b) Erzeugen einer vom Substrat wegführenden Abluftströmung.

[0002] Außerdem betrifft die Erfindung ein Lufttrocknermodul zum Trocknen eines in einer Transportrichtung durch einen Trocknungsraum bewegten Substrats, umfassend

(a) eine Zuluftseinheit, umfassend eine Zuluft-Düse zur Erzeugung einer auf das Substrat gerichteten Zuluftströmung, die eine Hauptausbreitungsrichtung hat, die mit der Oberfläche des Substrats einen Winkel zwischen 10 und 85 Grad einschließt, und

(b) eine Ablufteinheit zum Erzeugen einer vom Substrat aus dem Trocknungsraum wegführenden Abluftströmung.

[0003] Darüber hinaus geht es bei der Erfindung um ein Infrarot-Trocknersystem zum Trocknen eines in einer Transportrichtung durch einen Prozessraum bewegten Substrats, umfassend ein Infrarot-Trocknermodul, das in Substrat-Transportrichtung gesehen eine Sequenz folgender Komponenten aufweist: eine vordere Lufttauschereinheit, einen mit mehreren parallel zueinander angeordneten Infrarotstrahlern bestückten Bestrahlungsraum, und eine hintere Lufttauschereinheit.

[0004] Derartige Lufttrocknermodule und Trocknungsverfahren werden beispielsweise für die Trocknung von wasserbasierten Dispersionen, Tinten, Farben, Lacken, Klebern oder anderen lösungsmittelhaltigen Schichten auf Substraten oder zur Trocknung feuchter Materialbahnen aus Flies und anderen textilen Stoffen eingesetzt. Infrarot-Trocknersysteme finden insbesondere Anwendung zur Trocknung von Druckerzeugnissen wie Papier und Pappe und Produkten hieraus.

Stand der Technik

[0005] Zum Bedrucken bogenförmiger oder bahnförmiger Bedruckstoffe aus Papier, Pappe, Folie oder Karton mit Druckfarben sind Offset-Druckmaschinen, lithographische Druckmaschinen, Rotationsdruckmaschinen oder Flexo-Druckmaschinen gebräuchlich. Typische Inhaltsstoffe von Druckfarben und -tinten sind Öle, Harze,

Wasser und Bindemittel. Bei lösungsmittelhaltigen und vor allem wasserhaltigen Druckfarben und Lacken ist ein Trocknen erforderlich, das sowohl auf physikalischen als auch auf chemischen Trocknungsprozessen beruhen kann. Physikalische Trocknungsprozesse umfassen das Verdunsten von Lösungsmitteln (insbesondere von Wasser) und deren Diffusion in den Bedruckstoff. Unter chemischer Trocknung wird die Oxidation beziehungsweise Polymerisation von Druckfarben-Inhaltsstoffen verstanden.

[0006] Übliche Infrarot-Trocknersysteme weisen neben Infrarotstrahlern weitere Funktionsbausteine wie Kühlung, Zuluft und Abluft auf, die in einem Luftmanagement-System in unterschiedlicher Ausprägung miteinander verknüpft und geregelt werden. So beschreibt beispielsweise die DE 10 2010 046 756 A1 ein Trocknermodul und ein aus mehreren Trocknermodulen zusammengesetztes Trocknersystem für Druckmaschinen zum Bedrucken von Bogen- oder Rollenmaterial.

[0007] Das Trocknersystem besteht aus mehreren quer zur Transportrichtung angeordneten Infrarot-Trocknermodulen, von denen jedes einen auf den zu trocknenden Bedruckstoff ausgerichteten langgestreckten Infrarotstrahler aufweist, dessen Längsachse senkrecht zur Transportrichtung des Bedruckstoffs verläuft. Mittels eines regelbaren Lüftungssystems wird eine Luftströmung erzeugt, die auf den Infrarotstrahler und auf den Bedruckstoff einwirkt. Der Infrarotstrahler ist innerhalb eines Prozessraums für den Bedruckstoff angeordnet. Die Zuluft wird einem Zuluftsammelraum zugeführt und darin mittels einer Heizeinrichtung erwärmt. Außerdem wird mittels eines Ventilators die vom Infrarotstrahler erwärmte Luft abgeführt, der erwärmten Zuluft hinzugefügt und der Infrarotstrahler dadurch gekühlt.

[0008] Aus dem Zuluftsammelraum gelangt die erwärmte Zuluft über Gasaustrittsdüsen in Form von Schlitzdüsen in den Prozessraum. Die Gasaustrittsdüsen sind beidseitig des Infrarotstrahlers angeordnet, wobei die in Transportrichtung für den Bedruckstoff vordere Schlitzdüse schräg zur Bedruckstoffebene mit einer Orientierung entgegen der Transportrichtung, und die in Transportrichtung hintere Schlitzdüse ebenfalls schräg zur Bedruckstoffebene mit einer Orientierung in Transportrichtung verlaufen. Der Grad der Schrägstellung der Schlitzdüsen ist motorisch veränderbar.

[0009] Aus dem Prozessraum wird die mit Feuchtigkeit beladene Zuluft als Abluft über einen Ansaugkanal abgeführt und teilweise einem Wärmetauscher zugeführt, und ein anderer Teil dem Zuluftsammelraum hinzugefügt.

[0010] Bei dem bekannten Infrarot-Trocknermodul wird das Prozessgas mittels einer eigens dafür vorgesehenen Heizeinrichtung erwärmt. Das erwärmte Prozessgas tritt über die Schlitzdüsen in Richtung auf den Bedruckstoff als erwärmte Luftströmung aus und wirkt dabei auf den zu trocknenden Bedruckstoff lokal und ansonsten mehr oder weniger undefiniert solange ein, bis sie als mit Feuchtigkeit beladene Luft an anderer Stelle wie-

der abgesaugt wird. Die Effektivität der Trocknungsluft hinsichtlich des Feuchteabtransports von der Substrat-Oberfläche ist daher nicht exakt reproduzierbar.

[0011] Die CA 2 748 263 C beschreibt ein Verfahren und eine Vorrichtung zum Trocknen mittels erwärmtem Luftstrom und Ultraschall. Die dafür eingesetzten Ultraschallwandler erzeugen an der Grenzfläche des zu trocknenden Materials Ultraschallwellen mit einem Leistungspegel im Bereich von 120 bis 190 dB und tragen so zum Abbau einer Diffusionsgrenzschicht bei. In einer Ausführungsform sind die Ultraschallwandler mit Druckluftunterstützung ausgeführt, wobei ein Gehäuse mit einem zentralen Luftauslass eingesetzt wird, der beidseitig von je einem schräg gestellten Druckluftauslass mit zusätzlichem Ultraschallwandler und zwei Rücklufteinlässen umgeben ist.

[0012] Aus der WO 01/02643 A1 ist eine Düsenanordnung in einer luftgestützten Bahntrocknungsvorrichtung zum Trocknen einer beschichteten Papierbahn bekannt, bei der eine Überdruckdüse so angeordnet ist, dass sie Trocknungsluft sowohl in Laufrichtung der Bahn als auch entgegen der Laufrichtung der Bahn bläst. Die Düsenanordnung umfasst außerdem eine Pralldüse, die mit der Überdruckdüse kombiniert ist, wobei in der Pralldüse eine Vielzahl von Düsenöffnungen ausgebildet sind, um Trocknungsluft weitgehend senkrecht zur Bahn zu blasen. Bei Einsatz mehrerer, in Transportrichtung der Papierbahn hintereinander angeordneter Düsenanordnungen ist zwischen benachbarten Düsenanordnungen jeweils ein gemeinsamer Absaugkanal für die Absaugung der Abluft angeordnet.

[0013] Die DE 10 2016 112 122 A1 beschreibt eine LED-Aushärtungseinrichtung für UV-Druckfarben, die einen LED-Lampenträger mit einer Kühlvorrichtung und ein Gehäuse umfasst. Von der Oberseite der Kühlvorrichtung des LED-Lampenträgers zu einer Gehäuse-Oberwand erstreckt sich eine Trennplatte, die den Innenraum des Gehäuses beidseitig zum LED-Lampenträger in eine Gasansaugkammer mit mehreren Gasansaugöffnungen und in eine Gasausblaskammer mit mehreren Gasausblasöffnungen aufteilt. Sowohl die Gasansaugöffnung als auch die Gasausblasöffnung sind so schräg gestellt, dass sie mit der vertikalen Mittellinie des LED-Lampenträgers einen Winkel von 45° einschließen.

[0014] Die DE 10 2016 112 122 A1 zeigt eine Trocknungsvorrichtung für eine in Transportrichtung bewegten Materialbahn, mit einer Druckkammer, die nach unten von einer Platte abgeschlossen ist, wobei in der Platte mehrere Öffnungen für die Zufuhr von Heißluft auf die Materialbahn vorgesehen sind. Eine Besonderheit der Heißluftzufuhr liegt darin, dass die Achsen der Zuluftöffnungen gegen die Bewegungsrichtung der Materialbahn geneigt sind. Vor und hinter den Zuluftöffnungen sind mehrere Absaugkanäle angeordnet.

[0015] DE 2203621 A1 und US 5606805 A offenbaren verschiedene Verfahren zum Trocknen eines Substrats,

Technische Aufgabenstellung

[0016] Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, ein Trocknungsverfahren anzugeben, das reproduzierbar und effektiv ist und insbesondere hinsichtlich Homogenität und Schnelligkeit der Trocknung des Substrats zu einem verbesserten Ergebnis führt. Außerdem liegt der Erfindung die Aufgabe zugrunde, ein energieeffizientes Lufttrocknermodul und ein Infrarot-Trocknersystem bereitzustellen, die insbesondere für die Trocknung lösungsmittelhaltiger und insbesondere wasserbasierter Dispersionen hinsichtlich Homogenität und Schnelligkeit der Trocknung verbessert sind.

15 Zusammenfassung der Erfindung

[0017] Hinsichtlich des Verfahrens wird diese Aufgabe ausgehend von einem Verfahren der eingangs genannten Gattung erfindungsgemäß dadurch gelöst, dass die Abluftströmung in mehrere Teilströme aufgeteilt wird, indem jeder der Teilströme einem individuellen Ansaugkanal zugeführt wird, und dass im Fall einer Zuluftströmung mit einer Richtungs-Komponente in Richtung der Fortbewegung des Substrats die Zuluftströmung der Abluftströmung räumlich vorgeordnet ist, und im Fall einer Zuluftströmung mit einer Richtungs-Komponente in Gegenrichtung der Fortbewegung des Substrates die Zuluftströmung der Abluftströmung räumlich nachgeordnet ist, und wobei die Ansaugkanäle jeweils eine einem Trocknungsraum zugewandte Ansaugkanal-Einsaugöffnung haben, wobei sich benachbarte Einsaugöffnungen in ihrer Position und Orientierung im Trocknungsraum unterscheiden.

[0018] Die Zuluftströmung ist nicht diffus, sondern sie hat eine Hauptausbreitungsrichtung, in der sie je nach Luftdurchsatz und Strömungsgeschwindigkeit auf die Substrat-Oberfläche vordringt und darauf in einem voreingestellten Winkel auftrifft und dort trocknend auf das beschichtete Substrat einwirkt. Einwirken bedeutet hier, dass die Zuluftströmung das Substrat trocknet, beispielsweise indem Lösungsmittel aus der Oberflächenschicht in die Gasphase aufgenommen werden. Vorzugsweise schließt die Hauptausbreitungsrichtung der Zuluftströmung mit der Oberfläche des Substrats einen Winkel zwischen 10 und 85 Grad ein.

[0019] Jeder auf das Substrat gerichteten Zuluftströmung ist eine vom Substrat wegführende und in mehrere Teilströme unterteilte Abluftströmung räumlich zugeordnet, über die das mit Feuchtigkeit beladene Prozessgas und andere aus dem Substrat austretende gasförmige Komponenten als Abluft aus einem Trocknungsraum abgeführt werden. Die Strömung der Abluft wird durch das Absaugen über einen Ansaugkanal erzeugt.

[0020] Das erfindungsgemäße Trocknungsverfahren zeichnet sich insbesondere durch die Kombination folgender Aspekte aus:

- (i) Mittels der auf die Substrat-Oberfläche gerichteten

ten Zuluftströmung werden die am bewegten Substrat mitgezogenen und hängenden Strömungsgrenzschichten durchbrochen. Insbesondere wird dabei in einem vorgelagerten Heizprozess verdampftes Wasser mit der Zuluftströmung mitgerissen und vom Substrat entfernt. Das Durchbrechen der Strömungsgrenzschichten gelingt am besten, wenn die Zuluftströmungsrichtung eine Hauptausbreitungsrichtung mit einer Richtungs-Komponente in Richtung der Fortbewegung des Substrates oder in Gegenrichtung dazu hat, also schräg zur Substrat-Oberfläche verläuft. Vorzugsweise liegt der zwischen der Hauptausbreitungsrichtung der Zuluftströmung und der Substrat-Oberfläche eingeschlossene Neigungswinkel zwischen 10 und 85 Grad. Dadurch wird eine Störung, Verkleinerung oder sogar Ablösung der fluiddynamischen laminaren Strömungsgrenzschicht und damit einhergehend eine Verbesserung des Stofftransports und insbesondere der Abführung von Feuchtigkeit aus dem Substrat bewirkt.

Im Fall einer schräg in Transportrichtung austretenden Zuluftströmung trifft diese mit einer Auftreffgeschwindigkeit auf das Substrat auf, die um die Bewegungsgeschwindigkeit des Substrats vermindert ist. Im anderen Fall addieren sich die in Transportrichtung weisenden Geschwindigkeitsvektoren von Zuluftströmung und Substrat-Bewegung in der Auftreffgeschwindigkeit.

(ii) Derschräg zur Substrat-Oberfläche verlaufenden Zuluftströmung ist eine Absaugung zugeordnet, die je nach Transportrichtung des Substrats entweder räumlich vor oder nach dem Ort der Zuluftströmung liegt. Die schräg zur Substrat-Oberfläche verlaufende Zuluftströmung weist somit stets in Richtung auf die Abluftströmung. Die räumliche Zuordnung von Zuluftströmung und Abluftströmung bewirkt auf der Substrat-Oberfläche eine Interaktion der jeweiligen Gasströmungen miteinander und gewährleistet, dass die Luft der von der Zuluftströmung aufgerissenen Strömungsgrenzschicht unmittelbar abgesaugt werden kann.

Im Fall einer Zuluftströmung mit einer Richtungs-Komponente in Gegenrichtung der Fortbewegung des Substrates ist die Zuluftströmung der Abluftströmung räumlich nachgeordnet. Dadurch und infolge der schräg zur Substrat-Oberfläche verlaufenden Zuluftströmungsrichtung besteht jedoch die Gefahr einer Wirbelbildung. Der Drehsinn des sich dabei bildenden Luftwirbels wird durch die schräge Orientierung der Zuluftströmungsrichtung bestimmt und verläuft im gegebenen Fall im Uhrzeigersinn.

Im anderen Fall mit einer Zuluftströmung mit einer Richtungs-Komponente in Richtung der

Fortbewegung des Substrates ist die Zuluftströmung der Abluftströmung räumlich vorgeordnet und es besteht die Gefahr einer Wirbelbildung in der Abluftströmung mit einer Drehrichtung entgegen dem Uhrzeigersinn.

(iii) Eine ausgeprägte Wirbelbildung führt zu einer örtlichen Stabilisierung und Bindung der verwirbelten Luft, einhergehend mit austauscharmen, sogenannten toten Zonen, was ein effektives Absaugen erschwert. Die Erfindung sieht daher vor, dass die Abluftströmung in mehrere Teilströme aufgeteilt wird, indem jeder der Teilströme einem individuellen Ansaugkanal zugeführt wird. Jedem Teilstrom ist genau ein Ansaugkanal zugeordnet; jeder Teilstrom wird über genau einen Ansaugkanal abgesaugt.

Es hat sich gezeigt, dass die Wirbelbildung durch eine Aufteilung der Abluftströmung in mehrere Teilströme vermindert werden kann. Ein sich bildender Luftwirbel wird in den Ansaugkanälen kanalisiert und dadurch mindestens teilweise aufgelöst. Dadurch wird ein effektives und energiesparendes Absaugen ermöglicht und der Luftverbrauch sinkt.

[0021] Beim erfindungsgemäßen Verfahren wird aufgrund dieser Maßnahmen eine schnelle und effektive Trocknung des Substrats bei gleichzeitig geringem Energieverbrauch erreicht. Zudem ist durch Steuerung der Volumina an Zuluft und Abluft der Grad der Gasverwirbelung beherrschbar und damit auch die Effektivität der Trocknung reproduzierbar einzustellen.

[0022] Durch die Aufteilung der Abluftströmung wird der Ausbildung austauscharmer Zonen in einem ausgeprägten Abluftströmungs-Wirbels entgegengewirkt. Es hat sich als vorteilhaft erwiesen, wenn die Abluftströmung in mindestens drei Teilströme aufgeteilt wird.

[0023] An den örtlichen Positionen im Trocknungsraum, an denen die Aufteilung der Abluftströmung geschieht, werden Teilströme aus dem "Abluftströmungs-Wirbel" abgezweigt. Diese Positionen liegen im bevorzugten Fall dort, wo sich ansonsten der besagte Abluftströmungs-Wirbel in ausgeprägter Weise ausbilden würde.

[0024] Im Hinblick darauf haben die Ansaugkanäle jeweils eine einem Trocknungsraum zugewandte Ansaugkanal-Einsaugöffnung, wobei sich benachbarte Einsaugöffnungen in ihrer Position und Orientierung im Trocknungsraum unterscheiden. Dadurch werden aus dem "Abluftströmungs-Wirbel" an unterschiedlichen Positionen und Richtungen Teilströme abgegriffen.

[0025] Konstruktiv wird dies bevorzugt dadurch bewerkstelligt, dass die Einsaugöffnungen durch in den Trocknungsraum ragende Luftleitbleche begrenzt und definiert werden. Durch die Position und Orientierung der Luftleitbleche werden Ansaugöffnungen definiert und aus dem Abluftströmungs-Wirbel Teilströme abgezweigt und denen eine neue Strömungsrichtung aufgeprägt, die im Folgenden als "Einströmrichtung" des jeweiligen Teil-

stroms bezeichnet wird.

[0026] Jede der Einsaugöffnungen definiert ihre eigene Einströmrichtung, wobei die Einsaugöffnungen vorzugsweise so orientiert sind, dass sich ihre jeweiligen Ansaugrichtungen voneinander unterscheiden. Im Hinblick auf eine effektive Trocknung hat es sich als vorteilhaft erwiesen, wenn mehrere Einsaugöffnungen, besonders bevorzugt alle Einsaugöffnungen, so orientiert sind, dass ihre individuelle Einströmrichtung und die Hauptausbreitungsrichtung der Zuluftströmung nahezu entgegengesetzt verlaufen, also beispielsweise einen Winkel zwischen 0 und 45 Grad einschließen.

[0027] Bei einer besonders bevorzugten Verfahrensvariante ist vorgesehen, dass die Zuluftströmung aus einer längsschlitzförmigen Düsenöffnung ausströmt und streifenförmig auf das zu trocknende Substrat einwirkt, und dass die Abluftströmung über mehrere schlitzförmige Ansaugkanäle abgeführt wird.

[0028] Die Trocknungsluft tritt hierbei aus einer schlitzförmigen Einlassöffnung in den Trocknungsraum in Richtung auf die Substrat-Oberfläche aus. Die schlitzförmige Einlassöffnung ist beispielsweise als durchgehender Spalt ausgeführt oder als Aneinanderreihung einer Vielzahl von Einzelöffnungen. Sie wirkt in einem streifenförmigen Oberflächenbereich auf das zu trocknende Substrat ein. Gegebenenfalls sind auch die Ansaugkanäle schlitzförmig und damit auch die Abluft-Teilströme jeweils bevorzugt streifenförmig ausgebildet und werden durch eine entsprechende Anzahl von schlitzförmigen Ansaugkanälen abgeführt. Somit sind der streifenförmigen Zuluftströmung bevorzugt jeweils mehrere, parallel verlaufende streifenförmige Abluft-Teilströmungen räumlich zugeordnet.

[0029] Der Trocknungsraum ist zur Substratlaufrichtung hin quer angeordnet und erstreckt sich über die gesamte Breite des darunter bewegten Substrats. So kann die gesamte Breite des Substrates mittels der dynamisch einwirkenden Luft homogen behandelt und getrocknet werden.

[0030] Eine besonders vorteilhafte Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verfahren zeichnet sich dadurch aus, dass mittels einer Prozessgasmengensteuerung das in den Trocknungsraum eingeleitete Gasvolumen V_{in} kleiner eingestellt wird als das aus dem Trocknungsraum abgesaugte Gasvolumen V_{out} , wobei vorzugsweise gilt: $1,2 \times V_{in} < V_{out} < 1,5 \times V_{in}$.

[0031] Anhand von Simulationen konnte gezeigt werden, dass in einem ausgeprägten Luftwirbel innerhalb des Trocknungsraums hohe Strömungsgeschwindigkeiten der Abluftströmung erzeugt würden, die dazu führen können, dass Abluft in nennenswerter Menge über die Eintritts- und Austrittsseite des Substrats austritt, was zu Störungen in der vorgelagerten Prozessstufe beziehungsweise zu Kontaminationen der Umgebung führen kann.

[0032] Infolge der Aufteilung der Abluftströmung in Teilströme wird die Ausbildung eines ausgeprägten Luftwirbels innerhalb des Trocknungsraums vermieden, wie

oben erläutert. Anstatt die Trocknungsluft aus dem Trocknungsraum austreten zu lassen, wird sie bevorzugt in den Trocknungsraum in leichter Tendenz eingesaugt. Die Luftbalance zwischen der Abluftströmung einerseits und den über die Zuluftströmung und an den Substrat-Eintritts- und Austrittsseite in den im Trocknungsraum einströmenden Luftmengen wird vorzugsweise so eingestellt, dass sich ein Volumenverhältnis zwischen 1,2 und 1,5 ergibt. Im Idealfall wird dadurch verhindert, dass keine Trocknungsluft nach Außen aus dem Trocknungsraum entweicht. Das Trocknungsmodul wirkt lufttechnisch nach Außen neutral das heißt, die Umgebung wird durch austretende heiße und mit Feuchte angereicherte Luft nicht kontaminiert; das Modul ist pneumatisch dicht.

[0033] Hinsichtlich des Lufttrocknermoduls wird die oben angegebene Aufgabe ausgehend von einem Luftmodul der eingangs genannten Gattung erfindungsgemäß dadurch gelöst, dass die Ablufteinheit mehrere Ansaugkanäle umfasst, so dass die Abluftströmung in mehrere Teilströme aufgeteilt wird, und dass die Zuluft-Düse eine Düsenöffnung aufweist, die der Ablufteinheit zugewandt ist, und wobei die Ansaugkanäle jeweils eine einem Trocknungsraum zugewandte Ansaugkanal-Einsaugöffnung haben, wobei sich benachbarte Einsaugöffnungen in ihrer Position und Orientierung im Trocknungsraum unterscheiden.

[0034] Durch die Zuluft-Düse tritt die Zuluftströmung schräg in Richtung auf die Substrat-Oberfläche aus. Die Düsenöffnung der Zuluft-Düse weist somit in Richtung auf die Substrat-Oberfläche und gleichzeitig weist sie in Richtung der Ablufteinheit.

[0035] Im Trocknungsraum finden das teilweise Trocknen des Substrats und der Luftaustausch zwischen Zuluft und Abluft statt. Ziel ist es, den Trocknungsraum möglichst klein zu halten und ein Austreten von Luft aus dem Trocknungsraum möglichst zu vermeiden.

[0036] Das erfindungsgemäße Trocknungsmodul zeichnet sich insbesondere durch die Kombination folgender Aspekte aus:

(i) Mittels der auf die Substrat-Oberfläche gerichteten Zuluftströmung werden die am bewegten Substrat mitgezogenen und hängenden Strömungsgrenzschichten durchbrochen. Das Durchbrechen der Strömungsgrenzschichten gelingt am besten, wenn die aus der Düse austretende Zuluftströmung eine Hauptausbreitungsrichtung hat, die mit der Substrat-Oberfläche einen Winkel zwischen 10 und 85 Grad einschließt. Durch das effektive Durchbrechen der Strömungsgrenzschichten kann der Trocknungsraum kompakt gehalten werden. So schließt beispielsweise bei einer schlitzförmigen Zuluft-Düse mit einer in Richtung der Zuluftströmung verlaufenden Düsen-Längsachse, die Längsachse mit der Oberfläche des Substrats einen Winkel zwischen 30 und 90 Grad ein.

(ii) Der Zuluftströmung ist eine Ablufteinheit zuge-

ordnet, die je nach Transportrichtung des Substrats entweder räumlich vor oder nach dem Ort der Zuluftströmung liegt. In jedem Fall weist die Düsenöffnung der Zuluft-Düse in Richtung auf die Ablufteinheit (und nicht von der Ablufteinheit weg). Die schräg zur Substrat-Oberfläche ausströmende Zuluftströmung hat somit stets eine Richtungs-Komponente in Richtung der Ablufteinheit.

Im Fall einer Zuluftströmung mit einer Richtungs-Komponente in Gegenrichtung der Fortbewegung des Substrates ist das Trocknungsmodul so orientiert, dass die Zuluftseinheit der Ablufteinheit räumlich nachgeordnet. Im anderen Fall mit einer Zuluftströmung mit einer Richtungs-Komponente in Richtung der Fortbewegung des Substrates ist das Trocknungsmodul so orientiert, dass die Zuluftseinheit der Ablufteinheit räumlich vorgeordnet.

(iii) Um eine ausgeprägte Wirbelbildung und damit eine örtliche Stabilisierung und Bindung der verwirbelten Luft im Trocknungsraum zu erschweren, sieht die Erfindung vor, dass die Ablufteinheit mehrere Ansaugkanäle umfasst, mittels denen die Abluftströmung in mehrere Teilströme, vorzugsweise in mindestens drei Teilströme, aufgeteilt wird, indem jeder der Teilströme einem individuellen Ansaugkanal zugeführt wird. Jedem Teilstrom ist genau ein Ansaugkanal zugeordnet; jeder Teilstrom wird über genau einen Ansaugkanal abgesaugt.

[0037] Es hat sich gezeigt, dass die Wirbelbildung durch eine Aufteilung der Abluftströmung in mehrere Teilströme vermindert werden kann. Dadurch wird ein effektives und energiesparendes Absaugen innerhalb eines kleinen Trocknungsraum-Volumen ermöglicht, und der Luftverbrauch sinkt. Das erfindungsgemäße Lufttrocknermodul ist daher für den Einsatz im erfindungsgemäßen Verfahren geeignet.

[0038] Die Unterteilung der Ablufteinheit in Ansaugkanäle wird konstruktiv bevorzugt dadurch bewerkstelligt, dass in den Trocknungsraum Luftleitbleche ragen, die mindestens einen Teil der Einsaugöffnungen der Absaugkanäle begrenzen und definieren.

[0039] Durch die Position und Orientierung der Luftleitbleche werden die Teilstrom an unterschiedlichen Stellen im Trocknungsraum abgezweigt. Jede der Ansaugöffnungen ist durch eine individuelle Flächennormale definiert, wobei sich die Richtungen der Flächennormalen voneinander unterscheiden können. Es hat sich bewährt, wenn die jeweilige individuelle Flächennormale mit der Zuluftströmungsrichtung einen Winkel zwischen 90 und 200 Grad einschließt.

[0040] Das bedeutet, dass die jeweilige Einsaugöffnung so orientiert ist, dass die Einströmrichtung des jeweiligen Teilstroms der Abluftströmung und die Zuluftströmungsrichtung nahezu entgegengesetzt verlaufen.

[0041] Bei einer besonders bevorzugten Ausführungsform des erfindungsgemäßen Lufttrocknermoduls um-

fasst dieses einen Luftversorgungskasten, in dem die Zuluftseinheit und die Ablufteinheit integriert sind.

[0042] Im Luftversorgungskasten in diesem Sinne sind beispielsweise die Zuluftseinheit, umfassend eine Zuluftkammer mit Zuluftanschluss und die Zuluftdüse, sowie die Ablufteinheit, umfassend eine Absaugkammer mit Abluftanschluss und den Ansaugkanälen so zusammengefasst, dass sie ein eigenständiges Bauelement bilden, das in Anlagen zur Substrat-Prozessierung als Trocknungsmodul einfügbar ist, ohne dass es dafür einer konstruktiven Umgestaltung anderer Anlagenbereiche bedarf. Der Luftversorgungskasten kann außerdem ein Gebläse enthalten, das der Zuluftseinheit oder Ablufteinheit zuzuordnen ist. Die seitliche Abmessung des Luftversorgungskastens - in Transportrichtung des Substrats gesehen - beträgt bei bevorzugten Ausführungsformen weniger als 100 mm.

[0043] Bei einer weiteren vorteilhaften Ausführungsform des erfindungsgemäßen Lufttrocknermoduls ist der Trocknungsraum begrenzt von einer ersten Fläche, in der die Zuluftdüse ausgebildet ist, von einer zweiten Fläche, in der die Ansaugkanäle ausgebildet sind, und von dem Substrat.

[0044] Der Trocknungsraum ist dabei im Wesentlichen von drei Flächen begrenzt und hat in einem Querschnitt entlang der Substrat-Transportrichtung gesehen in etwa Dreiecksform. Er erleichtert eine Luftzirkulation, bei der die aus der Zuluftdüse ausströmende Zuluft nach dem Kontakt am Substrat unter anfänglicher Ausbildung eines Teil-Wirbels wieder hochsteigen kann, wo sie von den Ansaugkanälen effizient erfasst und abgesaugt werden kann. Beim erfindungsgemäßen Trocknermodul wird aufgrund dieser Maßnahme eine schnelle und effektive Trocknung des Substrats bei gleichzeitig geringem Energieverbrauch erreicht. Angesichts des effizienten Luftmanagements stellt das Luftmodul eine kompakte und in der Maschine platzsparende Trocknereinheit dar. Der Abstand zwischen der Zuluft-Düse und der Oberfläche des Substrats ist vorzugsweise auf weniger als 10 mm einstellbar.

[0045] Das erfindungsgemäße Trocknermodul kann Bestandteil eines Trocknersystems sein, in dem mehrere gleiche oder unterschiedliche Trocknermodule zusammengefasst sind.

[0046] Hinsichtlich des Trocknersystems zum Trocknen eines in einer Transportrichtung durch einen Prozessraum bewegten Substrats wird die oben genannte technische Aufgabe erfindungsgemäß dadurch gelöst, dass die vordere und/oder die hintere Lufttauschereinheit mindestens jeweils ein Lufttrocknermodul gemäß der Erfindung enthalten.

[0047] Das Trocknersystem gemäß der Erfindung ist beispielsweise als Infrarot-Trocknermodul ausgeführt, bei dem der eigentliche Prozessraum eine Bestrahlungskammer umfasst, die mit einem oder mit mehreren Infrarotstrahlern bestückt ist. Der eigentliche Prozessraum, beispielsweise die Bestrahlungskammer, ist von mindestens einem erfindungsgemäßen Lufttrocknermodul be-

grenzt. Bei einer besonders bevorzugten Ausführungsform ist der eigentliche Prozessraum von mehreren Lufttrocknermodulen gemäß der Erfindung begrenzt, die dabei in Transportrichtung nebeneinander und/oder hintereinander angeordnet sein können. Bevorzugt sind in Transportrichtung drei Lufttrocknermodule hintereinander angeordnet.

[0048] Bei jedem in Transportrichtung der Prozesskammer nachgeordneten, hinteren Trocknungsmodul ist die Richtung der Luftströmung aus der Düse entgegen der Transportrichtung des Substrates gerichtet. Beim jedem in Transportrichtung der Prozesskammer vorgeordneten, vorderen Trocknungsmodul stimmt die Richtung der Luftströmung aus der Düse mit der Transportrichtung des Substrates überein.

[0049] Das vordere und das hintere Lufttrocknermodul übernehmen am Eingang und am Ausgang des Trocknersystems zusätzlich zu den Funktionen der Ablösung der Strömungsgrenzschicht und der Trocknung des Substrats die Funktion von Luftvorhängen und dichten somit das Trocknersystem pneumatisch nach außen ab. Das Zusammenwirken der Bestrahlungskammer mit den Lufttrocknermodulen vermindert die Gefahr, dass Verunreinigungen, und insbesondere Wasser, in den Prozessraum eingetragen und aus dem Trocknersystem ausgasen. Dies ermöglicht einen besonders wasserarmen Prozessraum und verbessert und optimiert den Trocknungseffekt.

Definitionen

[0050] "Zuluft" ist im einfachsten Fall die aus der Atmosphäre entnommene Luft. Sie kann auch synthetisch erzeugte Gase und Gasgemische umfassen, die zur physikalischen Aufnahme von Wasser geeignet sind. Sie kann auch reaktive Substanzen zur chemischen Trocknung des Substrats enthalten. Zur Verbesserung der Trocknungseffizienz ist die Zuluft vorzugsweise auf eine Temperatur im Bereich zwischen 70 und 90 °C vorgewärmt.

[0051] Über die "Ansaugkanäle" fließt die Abluft aus dem Trocknungsraum ab. Als "Einsaugöffnung" eines Ansaugkanals wird diejenige von einem Kanalrand begrenzte Fläche verstanden, durch die hindurch die angesaugte Abluft in den Ansaugkanal eintritt. Die Ansaugkanäle können in eine gemeinsame Absaugkammer münden.

[0052] Die Begriffe "räumlich nachgeordnet" beziehungsweise "räumlich vorgeordnet" beziehen sich auf die Anordnung in Transport-Richtung des Substrats gesehen.

[0053] Eine Zuluftströmung mit einer Richtungs-Komponente in Substrat-Transportrichtung hat eine Hauptausbreitungsrichtung mit einer Richtungs-Komponente in Substrat-Transportrichtung. Dementsprechend ist eine Zuluftströmung mit einer Richtungs-Komponente größer Null entgegen der Substrat-Transportrichtung eine solche, deren Hauptausbreitungsrichtung eine Rich-

tungs-Komponente größer Null entgegen der Substrat-Transportrichtung hat. Die Hauptausbreitungsrichtung ist diejenige Strömungsrichtung der Zuluftströmung (noch unbeeinflusst von den Strömungsverhältnissen im Trocknungsraum) unmittelbar nach dem Eintritt in den Trocknungsraum aufgeprägt wird. Bei der in Figur 2 schematisch gezeigten Ausführungsform ist die Richtung durch die Längsachse 25a der Zuluft-Düse 25 vorgegeben.

Ausführungsbeispiele

[0054] Nachfolgend wird die Erfindung anhand von Ausführungsbeispielen und einer Patentzeichnung näher erläutert. In der Zeichnung zeigt in schematischer Darstellung im Einzelnen:

Figur 1 eine Ausführungsform des erfindungsgemäßen Lufttrocknermoduls in einem Querschnitt entlang der Transportrichtung eines zu behandelnden Substrats,

Figur 2 einen Ausschnitt des Lufttrocknermoduls mit Einzelheiten zum Strömungsverhalten innerhalb des Trocknungsraums,

Figur 3 eine weitere Ausführungsform des erfindungsgemäßen Lufttrocknermoduls in einem Querschnitt entlang der Transportrichtung eines zu behandelnden Substrats, und

Figur 4 ein Infrarot-Trocknersystem, ausgerüstet mit Lufttrocknermodulen gemäß der Erfindung in einem Längsschnitt in Bedruckstoff-Transportrichtung.

[0055] Bei der in **Figur 4** schematisch gezeigten Ausführungsform eines Infrarot-Trocknermoduls 1 umschließt ein Gehäuse 2 einen Behandlungsraum (=Prozessraum) für einen Bedruckstoff 3 (=Substrat) mit folgenden Komponenten (in Transportrichtung 5 gesehen): eine vordere Lufttauschereinheit 6 mit einem eigenen Gehäuse 10 und einem zusätzlichen Luftleitblech 6a, eine mit achtzehn Infrarotstrahlern 8 bestückte Infrarot-Bestrahlungskammer 9, deren Längsachsen 8a etwa in Transportrichtung 5 verlaufen und die parallel zueinander angeordnet sind, und eine hintere Lufttauschereinheit 7 mit einem eigenen Gehäuse 10. Die in die Bestrahlungskammer 9 eingezeichneten Richtungspfeile 20 deuten eine auf die Oberfläche des Bedruckstoffs 3 gerichtete Luftströmung, und die Richtungspfeile 21 eine vom Bedruckstoff 3 wegführende Luftströmung, sowie eine Wechselwirkung 22 dieser Luftströmungen miteinander an.

[0056] In einem Trocknersystem sind beispielsweise mehrere der Trocknermodule 1 in Transportrichtung 5 gesehen paarweise neben- und hintereinander angeordnet. Das jeweils nebeneinander angeordnete Paar der

Trocknermodule 1 deckt die maximale Formatbreite einer Druckmaschine ab. Entsprechend der Abmessungen und Farbbelegung des Bedruckstoffs sind die Trocknermodule 1 und die einzelnen Infrarotstrahler getrennt voneinander elektrisch ansteuerbar.

[0057] Die Lufttauschereinheiten 6; 7 sind mit ihrem jeweils eigenen Gehäuse 10 ausgestattet und in das Gehäuse des Trocknermoduls 1 lösbar eingesetzt. Die Lufttauschereinheiten 6; 7 sind baugleich, jedoch liegt bei der Lufttauschereinheit 6 die Zuluftseite vor der Abluftseite, und bei der Lufttauschereinheit 7 ist es umgekehrt. Am Ausgang des Trocknermoduls 1 sind drei Lufttauschereinheiten 7 zu einer Gruppe zusammengefasst, und die letzte Lufttauschereinheit 7 ist mit einem abschließenden Luftleitblech 7a versehen. Die Lufttauschereinheit 6; 7 bilden gleichzeitig Lufttrocknermodule im Sinne der Erfindung. Sie werden nachfolgend anhand der Figuren 1 bis 3 näher erläutert. Sofern in diesen Figuren dieselben Bezugsziffern wie in Figur 4 verwendet sind, so sind damit baugleiche oder äquivalente Bauteile und Bestandteile bezeichnet, wie sie oben anhand der Beschreibung des Infrarot-Trocknermodul 1 erläutert sind.

[0058] Der in **Figur 1** gezeigte Querschnitt eines einzelnen Lufttrocknermoduls 6 umfasst ein zweigeteiltes, kastenförmiges Gehäuse 1010, das auf einem Zuluft-Strang (Zuluftkanal) eine obere Zuluftkammer 13, eine mittlere Zuluftkammer 14 und eine untere Zuluftkammer 15, sowie auf einem Abluft-Strang (Ansaugkanal) eine untere Abluftkammer 16, eine mittlere Abluftkammer 17 und eine obere Abluftkammer 18 umschließt.

[0059] Die obere Zuluftkammer 13 ist mit einem Gebläse 19 verbunden, mittels dem trockene Zuluft geregelt mit dem Volumen V_{in} in den Zuluft-Strang eingeleitet wird. Ebenso ist die obere Abluftkammer 18 mit einem (in der Figur nicht dargestellten) Gebläse verbunden, mittels dem die feuchte Abluft mit dem Volumen V_{out} geregelt aus dem Abluftstrang entfernt wird. Die Prozessgas-mengensteuerung für das Trocknungsmodul 6; 7 ist dabei so ausgelegt, dass gilt: $1,2 \times V_{in} < V_{out} < 1,5 \times V_{in}$. Das bedeutet, das Trocknungsmodul 6; 7 ist pneumatisch neutral in dem Sinn, dass es außer über die Absaugung nominal kein anderes Gasvolumen an die Umgebung abgibt. Im Gegenteil, aus der Umgebung wird ein gewisses Volumen an Fremdluft (etwa 20 bis 50% bezogen auf das Zuluft-Volumen) in das Trocknungsmodul eingesaugt. Der Effekt der einströmenden Fremdluft ist in Figur 2 anhand der Strömungspfeile 37 angedeutet.

[0060] Zwischen oberer und mittlerer Zuluftkammer (13; 14) befindet sich eine vordere Lochplatte 23, und zwischen mittlerer und unterer Zuluftkammer (23; 24) eine hintere Lochplatte 24, wobei die vordere Lochplatte 23 eine erste Anzahl $N1$ von Zuluft-Durchlassöffnungen aufweist, die einen ersten mittleren Öffnungsquerschnitt $A1$ haben, und wobei die hintere Lochplatte 24 mit einer zweiten Anzahl $N2$ von Zuluft-Durchlassöffnungen versehen ist, die über die Lochplatte 24 gleichmäßig verteilt sind, und die einen zweiten mittleren Öffnungsquer-

schnitt $A2$ haben, wobei gilt: $N2 > N1$ und $A1 > A2$. Die vordere Lochplatte 23 bewirkt eine gleichmäßige Verteilung des Zuluft-Volumens entlang der hinteren Lochplatte 24, die wiederum dazu dient, die Zuluft gleichmäßig entlang der schlitzförmigen Luftauslass-Düse 25 zu verteilen.

[0061] Die untere Zuluftkammer 15 ist mit einer schlitzförmigen Luftauslass-Düse 25 verbunden, deren Längsachse 25a mit der Oberfläche des zu trocknenden Substrats (Bedruckstoff 3) einen Winkel α von 30 Grad einschließt. Über die schlitzförmige Luftauslass-Düse 25 gelangt ein Zuluftstrom mit einer Hauptausbreitungsrichtung in Richtung der Längsachse 25 auf die Substrat-Oberfläche und wirkt im Trocknungsraum 26 trocknend auf das Substrat (3) ein.

[0062] Vom Trocknungsraum 26 gelangt die mit Feuchtigkeit beladene Prozessluft in die untere Abluftkammer 16. Zwischen unterer Abluftkammer 16 und mittlerer Abluftkammer 17 befindet sich eine zweite vordere Lochplatte 28, und zwischen mittlerer und oberer Abluftkammer (17; 18) eine zweite hintere Lochplatte 29, wobei die zweite vordere Lochplatte 28 eine erste Anzahl $N3$ von Abluft-Durchlassöffnungen aufweist, die einen ersten mittleren Öffnungsquerschnitt $A3$ haben, und wobei die zweite hintere Lochplatte 29 mit einer zweiten Anzahl $N4$ von Abluft-Durchlassöffnungen versehen ist, die über die Lochplatte 29 gleichmäßig verteilt sind, und die einen zweiten mittleren Öffnungsquerschnitt $A4$ haben, wobei gilt: $N4 > N3$ und $A3 > A4$. Die Lochung in der zweiten vorderen Lochplatte 28 ist so ausgelegt, dass sich über die Länge der unteren Abluftkammer 16 ein möglichst gleichmäßiger Innendruck einstellt.

[0063] Mittels der auf die Substrat-Oberfläche gerichteten Zuluftströmung werden die am bewegten Substrat (3) mitgezogenen und hängenden Strömungsgrenzschichten durchbrochen. Dadurch, dass die Zuluftströmungsrichtung eine Richtungs-Komponente in Richtung 5 der Fortbewegung des Substrates (3) oder in Gegenrichtung dazu hat, wird eine Störung, Verkleinerung oder sogar Ablösung der fluiddynamischen laminaren Strömungsgrenzschicht und damit einhergehend eine Verbesserung des Stofftransports und insbesondere der Abführung von Feuchtigkeit aus dem Substrat (3) und dem Trocknungsraum 26 bewirkt.

[0064] Dafür ist die schräg zum Substrat 3 verlaufende Strömungsrichtung der Zuluft (Hauptausbreitungsrichtung in Richtung der Längsachse 25a) wichtig und außerdem eine Aufteilung der Abluftströmung durch eine Absaugung, die je nach Transportrichtung des Substrats entweder räumlich vor oder nach dem Ort der Zuluftströmung liegt. In jedem Fall weist die schräg zur Substrat-Oberfläche verlaufende Zuluftströmung in Richtung auf die Abluftseite. Der Trocknungsraum 26 hat im dargestellten Querschnitt im Wesentlichen Dreiecksform.

[0065] Figur 1 zeigt den Fall einer Zuluftströmung mit einer Strömungsrichtungskomponente entgegen der Transportrichtung des Substrats 3. Dabei ist die Zuluftströmung der Abluftströmung in der Transportrichtung räumlich nachgeordnet. Infolge des Einströmwinkels α

und der gegenüberliegenden Absaugung setzt eine Wirbelbildung der einströmenden und ausströmenden Trocknungsluft ein, was durch den Richtungspfeil 27 angedeutet ist. Der Drehsinn des sich bildenden Luftwirbels 27 verläuft im Uhrzeigersinn. Um eine ausgeprägte Wirbelbildung zu verhindern wird die Abluftströmung mit Hilfe von Luftleitblechen 30; 31 in mehrere Teilströme aufgeteilt. Die Luftleitbleche 30; 31 sind im Gegensinn zur Drehrichtung des sich ausbildenden Luftwirbels abgewinkelt und bilden für insgesamt drei Teilströme individuelle Ansaugkanäle 41; 42; 43 aus, wie aus **Figur 2** erkennbar.

[0066] Die Wirbelbildung wird durch die Aufteilung der Abluftströmung in mehrere Teilströme vermindert und ein sich anfänglich bildender Luftwirbel wird in den Ansaugkanälen 41, 42, 43 kanalisiert. Das Strömungsverhalten innerhalb der Trocknungskammer 26 ist schematisch von den Strömungspfeilen 37, 38 und 39 angedeutet, wobei die in den Trocknungsraum 26 einströmende Zuluft mit der Bezugsziffer 38 und die Abluft nach Richtungsumkehr mit der Bezugsziffer 39 bezeichnet werden. Die unabhängig davon einströmende Fremdluft ist mit der Bezugsziffer 37 bezeichnet.

[0067] Die Kanalisierung der Abluftströmung in den Ansaugkanälen 41, 42, 43 wird durch die abgewinkelten Luftleitbleche 30; 31 bewirkt, die in unterschiedlichen Positionen in den sich anfänglich und teilweise ausbildenden Luftwirbel 27 hineinragen. Sie definieren Einsaugöffnungen 41a, 42a, 43a der Ansaugkanäle 41, 42, 43 (in der Zeichnung durch gestrichelte Linien markiert). Benachbarte Einsaugöffnungen 41a, 42a, 43a unterscheiden sich in ihrer Position und Orientierung im Trocknungsraum 26. Dadurch werden aus dem Abluftströmungs-Wirbel 27 an unterschiedlichen Positionen und Richtungen Teilströme abgegriffen. Jede der Einsaugöffnungen 41a, 42a, 43a ist durch eine individuelle Flächennormale definiert. Die jeweilige Flächennormale gibt in etwa die Einströmrichtung des betreffenden Teilstroms in den Ansaugkanal 41; 42, 43 wieder. Die Richtungen der Flächennormalen und damit die Einströmrichtung unterscheiden voneinander und schließen mit der Zuluftströmungsrichtung (Längsachse 25a) einen Winkel um 180 Grad +/- 30 Grad ein.

[0068] Die örtlichen Positionen im Trocknungsraum 26, an denen die Aufteilung der Abluftströmung geschieht, liegen dort, wo sich ansonsten der besagte Abluftströmungs-Wirbel 27 in ausgeprägter Weise ausbilden würde. Dieser wird dadurch mindestens teilweise aufgelöst, so dass durch die Aufteilung der Abluftströmung der Ausbildung eines ausgeprägten Abluftströmungs-Wirbels entgegengewirkt, und ein effektives und energiesparendes Absaugen ermöglicht wird. Beim erfindungsgemäßen Verfahren wird aufgrund dieser Maßnahmen eine schnelle und effektive Trocknung des Substrats 3 bei gleichzeitig geringem Energieverbrauch erreicht.

[0069] **Figur 3** zeigt schematisch eine Hintereinander-Anordnung von drei erfindungsgemäßen Lufttrockner-

modulen 7 von **Figur 1**. Diese Anordnung kommt beispielsweise am Ausgang eines Infrarot-Trocknermoduls 1 gemäß **Figur 4** zum Einsatz. Dadurch wird erreicht, dass beim Austritt des Bedruckstoffs 3 aus dem Infrarot-Trocknermodul 1 möglichst keine giftigen oder aus anderen Gründen unerwünschten Substanzen in gasförmiger und flüssiger Form den Prozessraum ungefiltert und unkontrolliert verlassen.

Patentansprüche

1. Verfahren zum mindestens teilweisen Trocknen eines in Transportrichtung (5) durch einen Trocknungsraum (26) bewegten Substrats (3), umfassend die Verfahrensschritte:

(a) Erzeugung einer auf das Substrat (3) gerichteten Zuluftströmung (38), die eine Zuluftströmungsrichtung aufweist, die eine Richtungskomponente in Transportrichtung (5) oder in Gegenrichtung dazu hat, und

(b) Erzeugen einer vom Substrat (3) wegführenden Abluftströmung (39),

wobei die Abluftströmung (39) in mehrere Teilströme aufgeteilt wird, indem jeder der Teilströme einem individuellen Ansaugkanal (41; 42; 43) zugeführt wird, und dass im Fall einer Zuluftströmung (38) mit einer Richtungskomponente in Substrat-Transportrichtung (5) die Zuluftströmung (38) der Abluftströmung (39) in Transportrichtung (5) räumlich vorgeordnet ist, und im Fall einer Zuluftströmung (38) mit einer Richtungskomponente entgegen der Transportrichtung (5) die Zuluftströmung (38) der Abluftströmung (39) in Transportrichtung (5) räumlich nachgeordnet ist,

dadurch gekennzeichnet, dass die Ansaugkanäle (41; 42; 43) jeweils eine dem Trocknungsraum (26) zugewandte Ansaugkanal-Einsaugöffnung (41a; 42a; 43a) haben, wobei sich benachbarte Einsaugöffnungen in ihrer Position und Orientierung im Trocknungsraum (26) unterscheiden.

2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Abluftströmung (39) in mindestens drei Teilströme aufgeteilt wird.

3. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Einsaugöffnungen (41a; 42a; 43a) durch in den Trocknungsraum (26) ragende Luftleitbleche (30; 31) begrenzt werden, und jede Einsaugöffnung (41a; 42a; 43a) dem jeweilig einströmenden Teilstrom eine individuelle Einströmrichtung vorgibt, wobei sich die Einströmrichtungen benachbarter Teilströme voneinander unterscheiden.

4. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** mehrere Einsaugöffnungen (41a; 42a; 43a), besonders bevorzugt alle Einsaugöffnungen (41a; 42a; 43a), so orientiert sind, dass ihre individuellen Einströmrichtungen nahezu entgegengesetzt zu einer Hauptausbreitungsrichtung (25a) der Zuluftströmung (38) verlaufen.
5. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Zuluftströmung aus einer längsschlitzförmigen Düsenöffnung (25) ausströmt und streifenförmig auf das zu trocknende Substrat (3) einwirkt, und dass die Abluftströmung (39) über mehrere schlitzförmige Ansaugkanäle (41; 42; 43) abgeführt wird.
6. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** mittels einer Prozessgasmengesteuerung das in den Trocknungsraum eingeleitete Gasvolumen V_{in} kleiner eingestellt wird als das aus dem Trocknungsraum abgesaugte Gasvolumen V_{out} , wobei vorzugsweise gilt: $1,2 \times V_{in} < V_{out} < 1,5 \times V_{in}$.
7. Lufttrocknermodul zum Trocknen eines in einer Transportrichtung (5) durch einen Trocknungsraum (26) bewegten Substrats (3), umfassend
- (a) eine Zuluftseinheit (13; 14; 15; 25), umfassend eine Zuluft-Düse (25) zur Erzeugung einer auf das Substrat (3) gerichteten Zuluftströmung (38), die eine Hauptausbreitungsrichtung (25a) hat, die mit der Oberfläche des Substrats (3) einen Winkel zwischen 10 und 85 Grad einschließt,
- (b) eine Ablufteinheit (16; 17; 18; 41; 42; 43) zum Erzeugen einer vom Substrat (3) aus dem Trocknungsraum (26) wegführenden Abluftströmung (39), wobei die Ablufteinheit (16; 17; 18; 41; 42; 43) mehrere Ansaugkanäle (41; 42; 43) umfasst, so dass die Abluftströmung (39) in mehrere Teilströme aufgeteilt wird, und dass die Zuluft-Düse (25) eine Düsenöffnung aufweist, die der Ablufteinheit (16; 17; 18; 41; 42; 43) zugewandt ist, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Ansaugkanäle (41; 42; 43) jeweils eine dem Trocknungsraum (26) zugewandte Ansaugkanal-Einsaugöffnung (41a; 42a; 43a) haben, wobei sich benachbarte Einsaugöffnungen in ihrer Position und Orientierung im Trocknungsraum (26) unterscheiden.
8. Lufttrocknermodul nach Anspruch 7, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Ablufteinheit (16; 17; 18; 41; 42; 43) mindestens drei Ansaugkanäle (41; 42; 43) umfasst.
9. Lufttrocknermodul nach Anspruch 7 oder 8, **dadurch gekennzeichnet, dass** mehrere Einsaugöffnungen (41a; 42a; 43a), besonders bevorzugt alle Einsaugöffnungen, so orientiert sind, dass ihre individuellen Einströmrichtungen nahezu entgegengesetzt zu einer Hauptausbreitungsrichtung (25a) der Zuluftströmung (38) verlaufen.
10. Lufttrocknermodul nach einem der Ansprüche 7 bis 9, **dadurch gekennzeichnet, dass** es einen Luftversorgungskasten umfasst, in dem die Zuluftseinheit und die Ablufteinheit integriert sind.
11. Lufttrocknermodul nach einem der vorhergehenden Ansprüche 7 bis 10, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Abstand zwischen der Zuluft-Düse (25) und der Oberfläche des Substrats (3) weniger als 10 mm beträgt.
12. Lufttrocknermodul nach einem der Ansprüche 7 bis 11, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Trocknungsraum (26) begrenzt ist von einer ersten Fläche, in der die Zuluft-Düse (25) ausgebildet ist, von einer zweiten Fläche, in der die Ansaugkanäle (41; 42; 43) ausgebildet sind.
13. Trocknersystem zum Trocknen eines in einer Transportrichtung (5) durch einen Prozessraum (9; 26) bewegten Substrats (3), umfassend ein Infrarot-Trocknermodul (1), das in Substrat-Transportrichtung (5) gesehen eine Sequenz folgender Komponenten aufweist: eine vordere Lufttauschereinheit (6), einen mit mehreren parallel zueinander angeordneten Infrarotstrahlern (8) bestückten Bestrahlungsraum (9), und eine hintere Lufttauschereinheit (7), **dadurch gekennzeichnet, dass** die vordere und/oder die hintere Lufttauschereinheit jeweils mindestens ein Lufttrocknermodul (6; 7) nach einem der Ansprüche 7 bis 12 enthalten.
14. Trocknersystem nach Anspruch 13, **dadurch gekennzeichnet, dass** die hintere und/oder die vordere Lufttauschereinheit mehrere nebeneinander und/oder hintereinander angeordnete Lufttrocknermodule (6; 7) umfasst.
15. Trocknersystem nach einem der Ansprüche 13 oder 14, **dadurch gekennzeichnet, dass** mindestens ein Lufttrocknermodul (6) dem Bestrahlungsraum (9) vorgelagert und mindestens ein Lufttrocknermodul (7) dem Bestrahlungsraum (9) nachgelagert ist.

Claims

1. A method for at least partially drying a substrate (3) moved in the transport direction (5) through a drying space (26), comprising the method steps of:

- (a) generating a supply air flow (38) directed onto the substrate (3), which flow has a supply air flow direction which has a directional component in the transport direction (5) or in the opposite direction thereto, and
- (b) generating an exhaust air flow (39) leading away from the substrate (3), wherein the exhaust air flow (39) is divided into a plurality of sub-flows by each of the sub-flows being supplied to an individual intake channel (41; 42; 43), and in that, in the case of a supply air flow (38) having a directional component in the substrate transport direction (5), the supply air flow (38) is arranged spatially upstream of the exhaust air flow (39) in the transport direction (5), and in the case of a supply air flow (38) having a directional component counter to the transport direction (5), the supply air flow (38) is arranged spatially downstream of the exhaust air flow (39) in the transport direction (5),
- characterized in that** the intake channels (41; 42; 43) each have an intake channel suction opening (41a; 42a; 43a) facing the drying space (26), with adjacent suction openings differing in their position and orientation in the drying space (26).
2. The method according to claim 1, **characterized in that** the exhaust air flow (39) is divided into at least three sub-flows.
 3. The method according to claim 1, **characterized in that** the suction openings (41a; 42a; 43a) are delimited by air baffles (30; 31) projecting into the drying space (26), and each suction opening (41a; 42a; 43a) specifies an individual inflow direction for the inflowing sub-flow in each case, the inflow directions of adjacent sub-flows differing from one another.
 4. The method according to claim 1, **characterized in that** a plurality of suction openings (41a; 42a; 43a), particularly preferably all of the suction openings (41a; 42a; 43a), are oriented such that their individual inflow directions run approximately opposite to a main propagation direction (25a) of the supply air flow (38).
 5. The method according to any of the preceding claims, **characterized in that** the supply air flow flows out of a slot-shaped nozzle opening (25) and acts in a strip-shaped manner on the substrate (3) to be dried, and **in that** the exhaust air flow (39) is removed via a plurality of slot-shaped intake channels (41; 42; 43).
 6. The method according to any of the preceding claims, **characterized in that**, by means of process gas quantity control, the gas volume V_{in} introduced into the drying space is set so as to be smaller than the gas volume V_{out} sucked out of the drying space, wherein preferably $1.2 \times V_{in} < V_{out} < 1.5 \times V_{in}$.
7. An air dryer module for drying a substrate (3) moved in a transport direction (5) through a drying space (26), comprising
 - (a) a supply air unit (13; 14; 15; 25) comprising a supply air nozzle (25) for generating a supply air flow (38) directed onto the substrate (3), which flow has a main propagation direction (25a) that encloses an angle of between 10 and 85 degrees with the surface of the substrate (3),
 - (b) an exhaust air unit (16; 17; 18; 41; 42; 43) for generating an exhaust air flow (39) leading away from the substrate (3) out of the drying space (26), wherein the exhaust air unit (16; 17; 18; 41; 42; 43) comprises a plurality of intake channels (41; 42; 43), such that the exhaust air flow (39) is divided into a plurality of sub-flows, and in that the supply air nozzle (25) comprises a nozzle opening which faces the exhaust air unit (16; 17; 18; 41; 42; 43), **characterized in that** the intake channels (41; 42; 43) each have an intake channel suction opening (41a; 42a; 43a) facing the drying space (26), with adjacent suction openings differing in their position and orientation in the drying space (26).
 8. The air dryer module according to claim 7, **characterized in that** the exhaust air unit (16; 17; 18; 41; 42; 43) comprises at least three intake channels (41; 42; 43).
 9. The air dryer module according to claim 7 or claim 8, **characterized in that** a plurality of suction openings (41a; 42a; 43a), particularly preferably all of the suction openings, are oriented such that their individual inflow directions run approximately opposite to a main propagation direction (25a) of the supply air flow (38).
 10. The air dryer module according to any of claims 7 to 9, **characterized in that** it comprises an air supply box in which the supply air unit and the exhaust air unit are integrated.
 11. The air dryer module according to any of the preceding claims 7 to 10, **characterized in that** the distance between the supply air nozzle (25) and the surface of the substrate (3) is less than 10 mm.
 12. The air dryer module according to any of claims 7 to 11, **characterized in that** the drying space (26) is delimited by a first surface, in which the supply air

nozzle (25) is formed, and by a second surface, in which the intake channels (41; 42; 43) are formed.

13. A dryer system for drying a substrate (3) moved in a transport direction (5) through a processing space (9; 26), comprising an infrared dryer module (1), which, viewed in the substrate transport direction (5), comprises a sequence of the following components: a front air exchanger unit (6), an irradiation space (9) equipped with a plurality of infrared emitters (8) arranged in parallel with one another, and a rear air exchanger unit (7), **characterized in that** the front and/or the rear air exchanger unit each contain at least one air dryer module (6; 7) according to any of claims 7 to 12.
14. The dryer system according to claim 13, **characterized in that** the rear and/or the front air exchanger unit comprises a plurality of air dryer modules (6; 7) arranged next to one another and/or one behind the other.
15. The dryer system according to either of claims 13 or 14, **characterized in that** at least one air dryer module (6) is arranged upstream of the irradiation space (9) and at least one air dryer module (7) is arranged downstream of the irradiation space (9).

Revendications

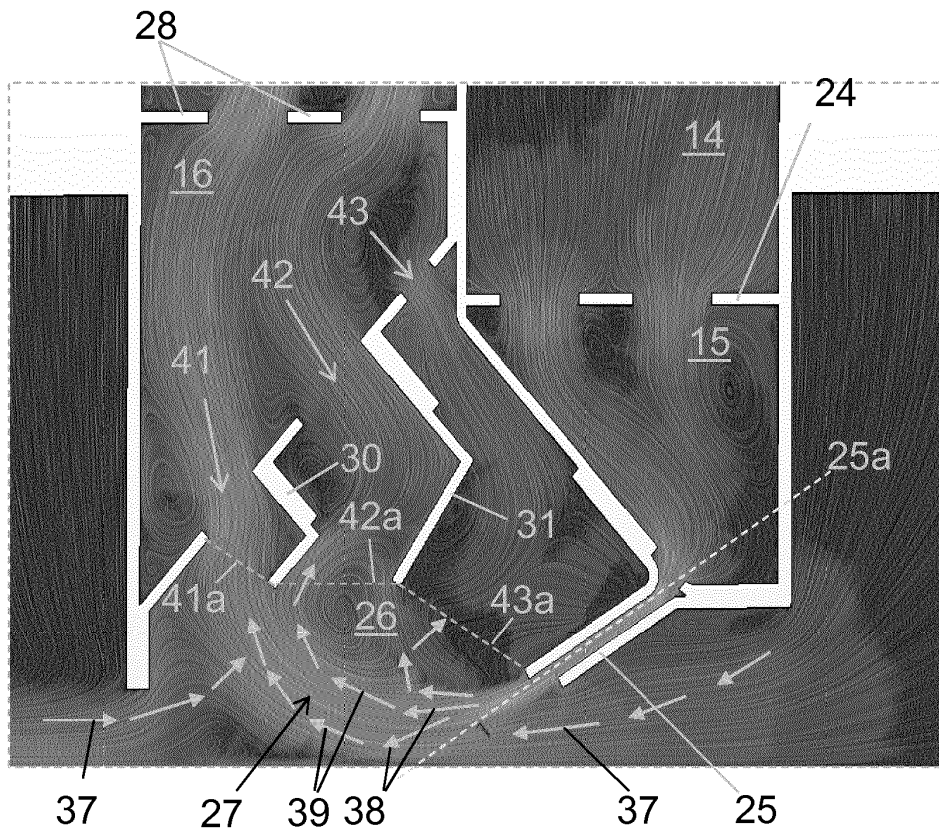
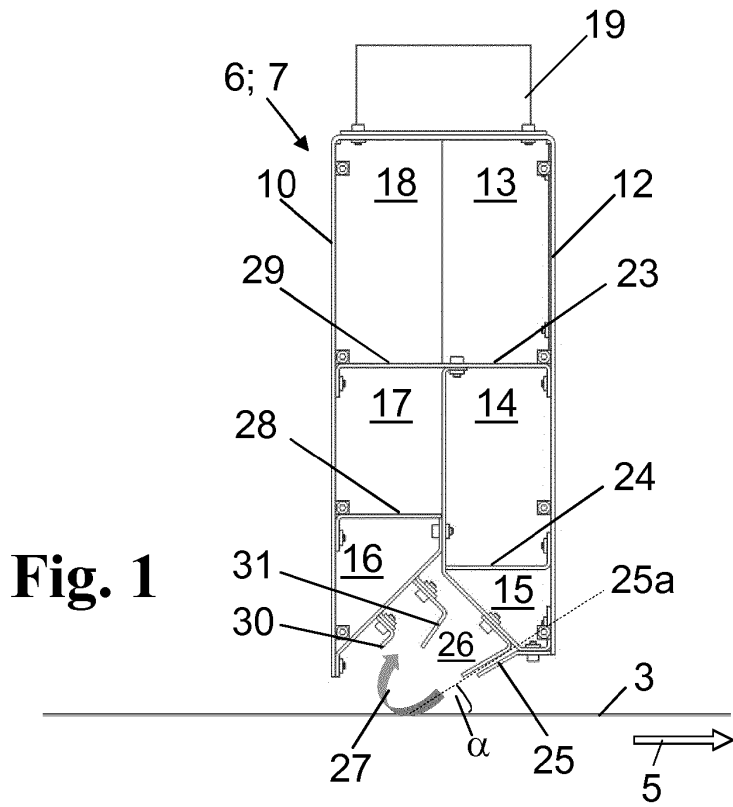
1. Procédé permettant le séchage au moins partiel d'un substrat (3) déplacé dans une direction de transport (5) à travers un espace de séchage (26), comprenant les étapes de procédé suivantes :
- (a) génération d'un écoulement d'air entrant (38) dirigé vers le substrat (3), lequel écoulement présente une direction d'écoulement d'air entrant possédant une composante de direction dans la direction de transport (5) ou dans la direction opposée à celle-ci, et
- (b) génération d'un écoulement d'air évacué (39) s'éloignant du substrat (3), dans lequel l'écoulement d'air évacué (39) est divisé en plusieurs écoulements partiels par le fait que chacun des écoulements partiels est amené à un canal d'aspiration (41; 42; 43) individuel, et en ce que, dans le cas d'un écoulement d'air entrant (38) comportant une composante de direction dans la direction de transport de substrat (5), l'écoulement d'air entrant (38) est disposé spatialement en amont de l'écoulement d'air évacué (39) dans la direction de transport (5), et, dans le cas d'un écoulement d'air entrant (38) comportant une composante de direction opposée à la direction de transport (5), l'écoulement d'air entrant (38) est disposé spatiale-

ment en aval de l'écoulement d'air évacué (39) dans la direction de transport (5),

caractérisé en ce que les canaux d'aspiration (41; 42; 43) possèdent respectivement une ouverture d'aspiration (41a; 42a; 43a) de canal d'aspiration tournée vers l'espace de séchage (26), dans lequel des ouvertures d'aspiration voisines diffèrent par leurs positions et leurs orientations dans l'espace de séchage (26).

2. Procédé selon la revendication 1, **caractérisé en ce que** l'écoulement d'air évacué (39) est divisé en au moins trois écoulements partiels.
3. Procédé selon la revendication 1, **caractérisé en ce que** les ouvertures d'aspiration (41a; 42a; 43a) sont délimitées par des déflecteurs d'air (30; 31) faisant saillie dans l'espace de séchage (26) et chaque ouverture d'aspiration (41a; 42a; 43a) définit une direction d'admission individuelle pour l'écoulement partiel admis respectif, dans lequel les directions d'admission d'écoulements partiels voisins diffèrent les unes des autres.
4. Procédé selon la revendication 1, **caractérisé en ce que** plusieurs ouvertures d'aspiration (41a; 42a; 43a), de manière particulièrement préférée toutes les ouvertures d'aspiration (41a; 42a; 43a), sont orientées de sorte que leurs directions d'admission individuelles s'étendent de manière sensiblement opposée à une direction de propagation principale (25a) de l'écoulement d'air entrant (38).
5. Procédé selon l'une des revendications précédentes, **caractérisé en ce que** l'écoulement d'air entrant sort d'une ouverture de buse (25) en forme de fente longitudinale et agit en forme de bande sur le substrat (3) à sécher, et **en ce que** l'écoulement d'air évacué (39) est évacué par l'intermédiaire de plusieurs canaux d'aspiration (41; 42; 43) en forme de fente.
6. Procédé selon l'une des revendications précédentes, **caractérisé en ce que**, au moyen d'une commande de quantité de gaz de traitement, le volume de gaz V_{in} introduit dans l'espace de séchage est réglé de manière à être plus petit que le volume de gaz V_{out} aspiré hors de l'espace de séchage, dans lequel ceci s'applique de préférence : $1,2 \times V_{in} < V_{out} < 1,5 \times V_{in}$.
7. Module formant sécheur à air permettant le séchage d'un substrat (3) déplacé dans une direction de transport (5) à travers un espace de séchage (26), comprenant
- (a) une unité d'air entrant (13; 14; 15; 25), comprenant une buse d'air entrant (25) permettant

- de générer un écoulement d'air entrant (38) dirigé vers le substrat (3), lequel écoulement possède une direction de propagation principale (25a) formant un angle compris entre 10 et 85 degrés avec la surface du substrat (3),
- (b) une unité d'air évacué (16; 17; 18; 41; 42; 43) permettant de générer un écoulement d'air évacué (39) s'éloignant du substrat (3) et hors de l'espace de séchage (26),
- dans lequel l'unité d'air évacué (16; 17; 18; 41; 42; 43) comprend plusieurs canaux d'aspiration (41; 42; 43), de sorte que l'écoulement d'air évacué (39) est divisé en plusieurs écoulements partiels, et en ce que la buse d'air entrant (25) présente une ouverture de buse tournée vers l'unité d'air évacué (16; 17; 18; 41; 42; 43), **caractérisé en ce que** les canaux d'aspiration (41; 42; 43) possèdent respectivement une ouverture d'aspiration (41a; 42a; 43a) de canal d'aspiration tournée vers l'espace de séchage (26), dans lequel des ouvertures d'aspiration voisines diffèrent par leurs positions et leurs orientations dans l'espace de séchage (26).
8. Module formant sécheur à air selon la revendication 7, **caractérisé en ce que** l'unité d'air évacué (16; 17; 18; 41; 42; 43) comprend au moins trois canaux d'aspiration (41; 42; 43).
9. Module formant sécheur à air selon la revendication 7 ou 8, **caractérisé en ce que** plusieurs ouvertures d'aspiration (41a; 42a; 43a), de manière particulièrement préférée toutes les ouvertures d'aspiration, sont orientées de sorte que leurs directions d'admission individuelles s'étendent de manière sensiblement opposée à une direction de propagation principale (25a) de l'écoulement d'air entrant (38).
10. Module formant sécheur à air selon l'une des revendications 7 à 9, **caractérisé en ce qu'il** comprend un boîtier d'alimentation en air dans lequel l'unité d'air entrant et l'unité d'air évacué sont intégrées.
11. Module formant sécheur à air selon l'une des revendications précédentes 7 à 10, **caractérisé en ce que** la distance entre la buse d'air entrant (25) et la surface du substrat (3) est inférieure à 10 mm.
12. Module formant sécheur à air selon l'une des revendications 7 à 11, **caractérisé en ce que** l'espace de séchage (26) est délimité par une première surface, dans laquelle la buse d'air entrant (25) est formée, par une seconde surface, dans laquelle les canaux d'aspiration (41; 42; 43) sont formés.
13. Système formant sécheur permettant le séchage d'un substrat (3) déplacé dans une direction de transport (5) à travers un espace de traitement (9; 26), comprenant un module formant sécheur à infrarouge (1) qui, vu dans la direction de transport de substrat (5), présente une séquence des composants suivants : une unité formant échangeur d'air avant (6), un espace d'irradiation (9) équipé de plusieurs émetteurs infrarouges (8) disposés parallèlement les uns aux autres, et une unité formant échangeur d'air arrière (7), **caractérisé en ce que** l'unité formant échangeur d'air avant et/ou l'unité formant échangeur d'air arrière contiennent respectivement au moins un module formant sécheur à air (6; 7) selon l'une des revendications 7 à 12.
14. Système formant sécheur selon la revendication 13, **caractérisé en ce que** l'unité formant échangeur d'air arrière et/ou l'unité formant échangeur d'air avant comprennent plusieurs modules formant sécheur à air (6; 7) disposés côte à côte et/ou l'un derrière l'autre.
15. Système formant sécheur selon l'une des revendications 13 ou 14, **caractérisé en ce qu'**au moins un module formant sécheur à air (6) est monté en amont de l'espace d'irradiation (9) et au moins un module formant sécheur à air (7) est monté en aval de l'espace d'irradiation (9).



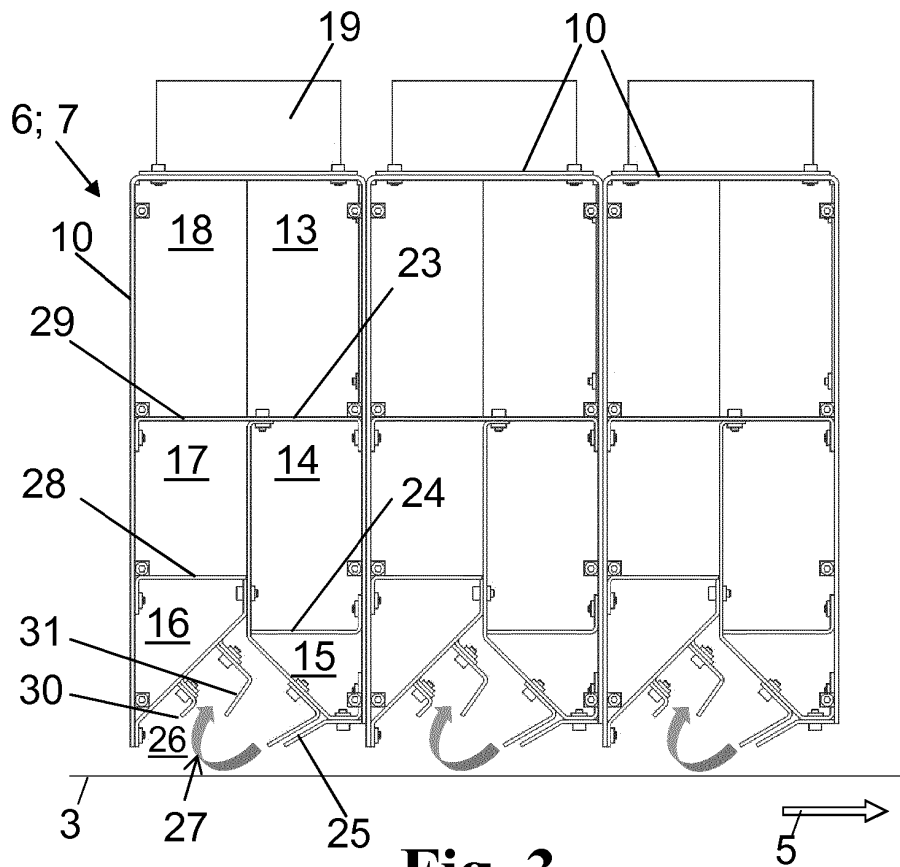


Fig. 3

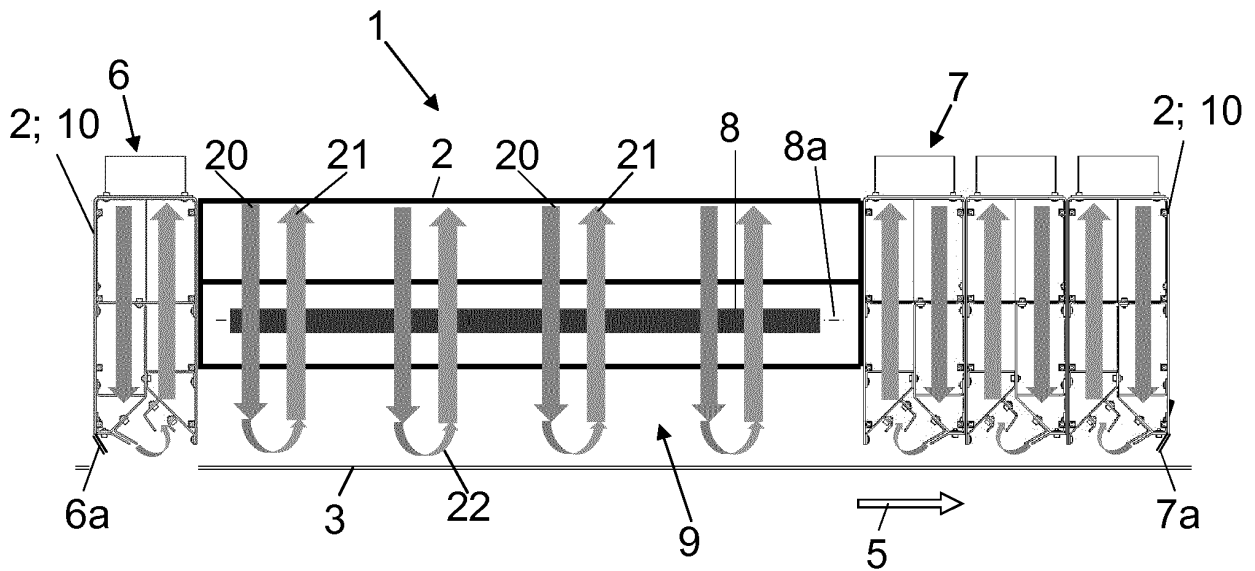


Fig. 4

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 102010046756 A1 **[0006]**
- CA 2748263 C **[0011]**
- WO 0102643 A1 **[0012]**
- DE 102016112122 A1 **[0013] [0014]**
- DE 2203621 A1 **[0015]**
- US 5606805 A **[0015]**