



(11)

EP 4 498 025 A1

(12)

EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG

(43) Veröffentlichungstag:
29.01.2025 Patentblatt 2025/05

(51) Internationale Patentklassifikation (IPC):
F26B 21/04 ^(2006.01) **F26B 21/06** ^(2006.01)
F26B 25/22 ^(2006.01)

(21) Anmeldenummer: **24190139.6**

(52) Gemeinsame Patentklassifikation (CPC):
F26B 21/04; F26B 3/04; F26B 5/04; F26B 21/028;
F26B 21/08; F26B 21/10; F26B 21/12; F26B 25/22

(22) Anmeldetag: **22.07.2024**

(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 ME MK MT NL
NO PL PT RO RS SE SI SK SM TR
Benannte Erstreckungsstaaten:
BA
Benannte Validierungsstaaten:
GE KH MA MD TN

(72) Erfinder:
• **Genze, Alexander**
52152 Simmerath (DE)
• **Krieg, Peter**
75385 Bad Teinach-Zavelstein (DE)
• **Fronmüller, Mike**
72622 Nürtingen (DE)

(30) Priorität: **27.07.2023 DE 102023120025**

(74) Vertreter: **Hoeger, Stellrecht & Partner**
Patentanwälte mbB
Uhlandstrasse 14c
70182 Stuttgart (DE)

(71) Anmelder: **Ecoclean GmbH**
70794 Filderstadt (DE)

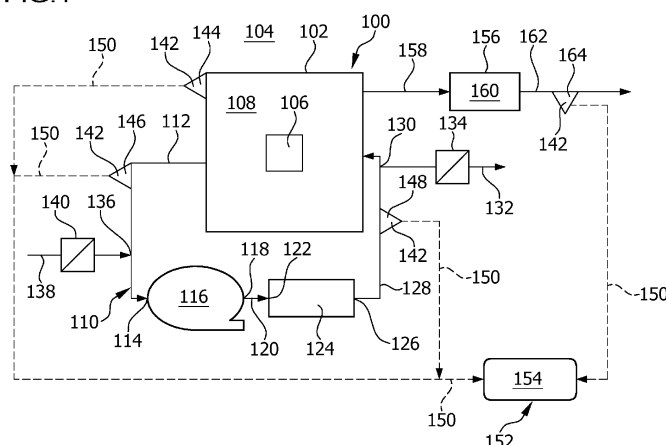
(54) VERFAHREN UND ANLAGE ZUM TROCKNEN VON WERKSTÜCKEN

(57) Um ein Verfahren zum Trocknen von Werkstücken (106), umfassend Folgendes:

- Einbringen von mindestens einem zu trocknenden Werkstück (106) in eine Trocknungskammer (102);
- Durchführen mindestens eines Heißluft-Trocknungsvorgangs, bei welchem der Trocknungskammer (102) Zuluft zugeführt und Abluft aus der Trocknungskammer (102) abgeführt wird, wobei der Zuluft vor dem Eintritt in die Trocknungskammer (102) Frischluft zugeführt wird; zu schaffen, welches es ermöglicht, durch Nutzung von Information aus dem Trocknungsvorgang die Prozesszeit für den Trocknungsvorgang zu verkürzen und/oder

für den Trocknungsvorgang benötigte Energie einzusparen, wird vorgeschlagen, dass die Zufuhr von Frischluft zu der Zuluft während mindestens eines Überwachungszeitraums vermindert oder unterbrochen wird, mindestens eine den Trocknungsvorgang charakterisierende Messgröße mittels mindestens eines Sensors (142) gemessen und ein Messsignal des mindestens einen Sensors (142) an eine Auswertungseinheit (154) einer Steuerungsvorrichtung (152) übermittelt wird und aus der Auswertung des Messsignals des mindestens einen Sensors (142) mittels der Auswertungseinheit (154) eine Ausgangsgröße ermittelt wird, welche den weiteren Verlauf des Verfahrens beeinflusst.

FIG. 1



Beschreibung

[0001] Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren zum Trocknen von Werkstücken, wobei das Verfahren Folgendes umfasst:

- Einbringen von mindestens einem zu trocknenden Werkstück in eine Trocknungskammer; und
- Durchführen mindestens eines Heißluft-Trocknungsvorgangs, bei welchem der Trocknungskammer Zuluft zugeführt und Abluft aus der Trocknungskammer abgeführt wird, wobei der Zuluft vor dem Eintritt in die Trocknungskammer Frischluft zugeführt wird.

[0002] Solche Verfahren zum Trocknen von Werkstücken, welche mindestens einen Heißluft-Trocknungsvorgang umfassen, sind aus der industriellen Bauteilreinigung bekannt und stellen einen zentralen Prozessschritt bei der industriellen Bauteilreinigung dar.

[0003] Wesentliche Parameter des Heißluft-Trocknungsvorgangs sind die Temperatur der Heißluft sowie die Prozesszeit des Heißluft-Trocknungsvorgangs und gegebenenfalls eine Bewegung des mindestens einen zu trocknenden Werkstücks innerhalb der Trocknungskammer.

[0004] Die für die Heißluft einzustellende Temperatur beziehungsweise der für die Heißluft einzustellende Temperaturbereich hängt von den technischen Rahmenbedingungen der verwendeten Trocknungsanlage und von den Materialeigenschaften des mindestens einen zu trocknenden Werkstücks ab.

[0005] Die Prozesszeit des Heißluft-Trocknungsvorgangs wird üblicherweise durch Vorversuche in der Weise ermittelt, dass das mindestens eine zu trocknende Werkstück nach Ablauf der Prozesszeit garantiert ausreichend trocken ist.

[0006] Es ist auch bekannt, bei einem Verfahren zum Trocknen von Werkstücken einen Heißluft-Trocknungsvorgang mit einem Vakuum-Trocknungsvorgang zu kombinieren. In diesem Fall wird der Heißluft-Trocknungsvorgang so durchgeführt, dass das mindestens eine zu trocknende Werkstück am Ende des Heißluft-Trocknungsvorgangs so weitgehend aufgewärmt ist, dass bei dem sich anschließenden Vakuum-Trocknungsvorgang die noch an dem zu trocknenden Werkstück vorhandene restliche Flüssigkeit verdampft werden kann.

[0007] Die CN 109724398 B offenbart ein Verfahren zum Trocknen von Holz, wobei der Zustand des Holzes sowie Bedingungen in einer Trocknungskammer durch Sensoren erfasst werden und mittels einer künstlichen Intelligenz eine Trocknungsstrategie ausgewählt wird.

[0008] Die US 2019/0146476 A1 offenbart einen industriellen Trocknungsprozess, bei dem eine künstliche Intelligenz Daten aus dem Prozessablauf empfängt und überwacht.

[0009] Die KR 102177970 B1 offenbart einen Wäsche-

trockner, bei dem eine künstliche Intelligenz Daten wie das Gewicht der Wäsche vor und nach dem Trocknungsvorgang, die Wassertemperatur und die Beladung des Wäschetrockners auswertet.

[0010] Ein Heißluft-Trocknungsvorgang ist ein sehr energieintensiver Prozessschritt. Eine typische Heizleistung einer industriellen Trocknungsanlage, mittels welcher ein Heißluft-Trocknungsvorgang durchgeführt wird, liegt in der Größenordnung von 20 kW bis 30 kW.

[0011] Da die Prozesszeiten für den Heißluft-Trocknungsvorgang aus Gründen der Prozesssicherheit stets so gewählt werden, dass das mindestens eine zu trocknende Werkstück am Ende der Prozesszeit stets ausreichend trocken und/oder ausreichend warm für einen sich an den Heißluft-Trocknungsvorgang anschließenden Vakuum-Trocknungsvorgang ist, wird häufig für den Heißluft-Trocknungsvorgang zu viel Energie eingesetzt, woraus sich ein vielversprechendes Einsparpotential ergibt.

[0012] Bei bekannten Trocknungsverfahren, die einen Heißluft-Trocknungsvorgang beinhalten, werden die Trocknungsprozesse nicht gezielt messtechnisch überwacht. Die Einstellung der Parameter des Trocknungsvorgangs, insbesondere der Heißlufttemperatur und der Prozesszeit des Heißluft-Trocknungsvorgangs, beruht allein auf den Ergebnissen von Vorversuchen und/oder auf Erfahrungswerten. Eine Qualitätskontrolle des Trocknungsvorgangs findet gar nicht oder höchstens manuell, in Form einer Sichtkontrolle nach Beendigung des Trocknungsvorgangs, statt.

[0013] Die Trocknungsprogramme bekannter industrieller Trocknungsanlagen sind statisch und können nicht auf sich verändernde Bedingungen, beispielsweise auf eine geänderte Anzahl von zu trocknenden Werkstücken, reagieren, insbesondere dann nicht, wenn sich diese Bedingungen während des Trocknungsvorgangs selbst verändern.

[0014] Durch den zunehmenden Einsatz von additiven Fertigungstechnologien, wie beispielsweise 3D-Druck, bei der Herstellung von Werkstücken steigen die Komplexität der zu trocknenden Werkstücke und damit auch die Anforderungen an das Trocknungsverfahren. Ein fest vorgegebener Satz von Parametern für den Trocknungsvorgang entspricht häufig nicht den jeweils optimalen Parametern für die verschiedenen Abschnitte eines Trocknungsverfahrens mit einem nicht-linearen Trocknungsverlauf.

[0015] Der vorliegenden Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren zum Trocknen von Werkstücken der eingangs genannten Art zu schaffen, welches es ermöglicht, durch Nutzung von Information aus dem Trocknungsvorgang die Prozesszeit für den Trocknungsvorgang zu verkürzen und/oder für den Trocknungsvorgang benötigte Energie einzusparen.

[0016] Diese Aufgabe wird bei einem Verfahren zum Trocknen von Werkstücken mit den Merkmalen des Oberbegriffs von Anspruch 1 erfindungsgemäß dadurch gelöst,

dass die Zufuhr von Frischluft zu der Zuluft während mindestens eines Überwachungszeitraums vermindert oder unterbrochen wird,
mindestens eine den Trocknungsvorgang charakterisierende Messgröße mittels mindestens eines Sensors gemessen und ein Messsignal des mindestens einen Sensors an eine Auswertungseinheit einer Steuerungsvorrichtung übermittelt wird und aus der Auswertung des Messsignals des mindestens einen Sensors mittels der Auswertungseinheit eine Ausgangsgröße ermittelt wird, welche den weiteren Verlauf des Verfahrens beeinflusst.

[0017] Dabei kann die ermittelte Ausgangsgröße ein Parameter des Trocknungsverfahrens sein, der als Ergebnis der Auswertung des Messsignals des mindestens einen Sensors verändert wird, oder auch die Bewertung, ob das mindestens eine zu trocknende Werkstück ausreichend getrocknet ist und somit das Trocknungsverfahren beendet werden kann.

[0018] Der Begriff "Trocknungskammer" umfasst in dieser Beschreibung und in den beigefügten Ansprüchen auch eine Reinigungskammer, in welcher zuerst ein Reinigungsvorgang an dem mindestens einen Werkstück und dann ein Trocknungsvorgang durchgeführt wird. Das mindestens eine zu trocknende Werkstück kann also nach dem Einbringen in die Trocknungskammer erst gereinigt und dann getrocknet werden.

[0019] Der vorliegenden Erfindung liegt das Konzept zugrunde, dass mindestens ein Sensor zur Überwachung des Trocknungsverfahrens Daten an eine Auswertungseinheit übermittelt und auf Basis der Auswertung dieser Daten durch die Auswertungseinheit das Trocknungsverfahren dynamisch geregelt wird.

[0020] Ergänzend hierzu können der Auswertungseinheit auch Zustandsdaten der zur Durchführung des Verfahrens verwendeten Trocknungsanlage zur Auswertung übermittelt werden, beispielsweise eine Betriebszeit einer Heizvorrichtung zum Erwärmen der Zuluft, Öffnungs- und/oder Schließzeiten eines Ventils zur Zufuhr von Frischluft oder zur Abfuhr von Abluft oder Ähnliches.

[0021] In der Auswertungseinheit ist vorzugsweise ein Prozessmodell implementiert, welches ein Regelmodell und/oder ein KI(Künstliche Intelligenz)-Modell zur Bewertung eines Trocknungsvorgangs umfasst.

[0022] Der mindestens eine verwendete Sensor kann beispielsweise ein Feuchtigkeitssensor sein, welcher den Trocknungsfortschritt kontrolliert.

[0023] Auf der Basis der Auswertung des Trocknungsfortschritts durch die Auswertungseinheit kann ein Parameter wie beispielsweise die Frischluftzufuhr, die Prozesszeit des Heißluft-Trocknungsvorgangs und/oder ein Schaltzyklus einer Heizvorrichtung zur Erwärmung der Zuluft geregelt werden.

[0024] Wenn die Auswertungseinheit ein KI-Modell enthält, so kann dieses KI-Modell im Laufe von Simulationen und/oder Vorversuchen angelernt werden, um

Zielgrößen wie beispielsweise eine Trocknungszeit, eine Trocknungseffizienz und/oder einen Energieverbrauch für die Trocknung zu optimieren.

[0025] Ein solches, beispielsweise vom Hersteller einer Trocknungsanlage angelernetes, Regelmodell oder KI-Modell kann dann in der Auswertungseinheit einer an einen Kunden verkauften Trocknungsanlage eingesetzt werden.

[0026] Dabei besteht die Möglichkeit, dass das Regelmodell oder das KI-Modell sich während des Betriebs der Trocknungsanlage beim Kunden durch die Aufzeichnung relevanter Produktionsdaten weiter optimiert.

[0027] Eine solche Optimierung kann diskontinuierlich erfolgen, wenn beispielsweise nach der Sammlung eines ausreichend großen Datensatzes auf der Grundlage dieser größeren Datenbasis ein neues und damit potentiell besseres KI-Modell berechnet wird.

[0028] Alternativ oder ergänzend hierzu kann vorgesehen sein, dass das KI-Modell sich selbst kontinuierlich optimiert, indem das KI-Modell mindestens einen Parameter des Trocknungsvorgangs absichtlich leicht variiert und den Einfluss einer solchen Variation auf das Trocknungsverhalten bewertet. Variationen, die einen positiven Einfluss auf das Trocknungsverhalten haben, werden dann übernommen. Diese Vorgehensweise ist auch als "Reinforcement Learning" bekannt.

[0029] Das erfindungsgemäße Verfahren ermöglicht eine Überwachung des Trocknungsvorgangs, um eine gleichbleibende Qualität bei wechselnden Randbedingungen (wie beispielsweise Umgebungsfeuchte, Werkstückart, Werkstückmasse, Restwassermenge am Werkstück) des Trocknungsverfahrens zu garantieren.

[0030] Durch die Optimierung von Parametern des Trocknungsverfahrens können kürzere Prozesszeiten für die Trocknung erzielt werden.

[0031] Durch die Verkürzung von Prozesszeiten und die Optimierung von Parametern des Trocknungsverfahrens kann eine Energieeinsparung erzielt werden.

[0032] Vorzugsweise ist das in der Auswertungseinheit implementierte Prozessmodell, beispielsweise ein Regelmodell oder ein KI-Modell, derart ausgebildet, dass es eine Vorausberechnung der zu einem gegebenen Zeitpunkt noch erforderlichen Trocknungszeit bis zu einer ausreichenden Trocknung des mindestens einen zu trocknenden Werkstücks ermöglicht.

[0033] Eine Dauer des mindestens einen Überwachungszeitraums kann mindestens eine Sekunde und/oder höchstens 4 Minuten, vorzugsweise höchstens eine Minute, besonders bevorzugt höchstens 30 Sekunden, betragen.

[0034] Wenn in der Auswertungseinheit ein Regelmodell implementiert ist, kann von der Steuerungsvorrichtung auch zwischen zwei Feuchtigkeitswerten geregelt werden und der Kontrollvorgang nur unterbrochen werden, wenn ein oberer Grenzwert überschritten wird.

[0035] Ferner kann vorgesehen sein, dass die mindestens eine den Trocknungsvorgang charakterisierende Messgröße während einer Mehrzahl von Überwa-

chungszeiträumen gemessen wird, wobei die Überwachungszeiträume jeweils gleich lang sein können oder voneinander verschiedene Längen aufweisen können.

[0036] Bei der Auswertung des mindestens einen Messsignals kann beispielsweise ein Minimum und/oder ein Maximum des Messsignals ermittelt und bei der Ermittlung der Ausgangsgröße verwendet werden.

[0037] Ferner kann vorgesehen sein, dass eine Veränderungsgeschwindigkeit der mindestens einen Messgröße ermittelt und bei der Ermittlung der Ausgangsgröße verwendet wird.

[0038] Alternativ oder ergänzend hierzu kann auch vorgesehen sein, dass eine Veränderungsgeschwindigkeit einer Summe von mindestens zwei Messgrößen und/oder eine Veränderungsgeschwindigkeit einer Differenz von mindestens zwei Messgrößen ermittelt und bei der Ermittlung der Ausgangsgröße verwendet wird.

[0039] Der mindestens eine Sensor kann einen Feuchtigkeitssensor, einen Temperatursensor, eine Wärmebildkamera zur Temperaturüberwachung des mindestens einen zu trocknenden Werkstücks, einen Drucksensor und/oder einen Gewichtssensor zur Messung einer Massenveränderung des mindestens einen zu trocknenden Werkstücks umfassen.

[0040] Ein Drucksensor kann insbesondere dann verwendet werden, wenn als Bestandteil des Verfahrens zum Trocknen von Werkstücken ein Vakuum-Trocknungsvorgang durchgeführt wird.

[0041] Ferner kann vorgesehen sein, dass eine Sensorik zum Erkennen eines Typs des mindestens einen zu trocknenden Werkstücks vorhanden ist. Aus dem Typ des Werkstücks können Rückschlüsse auf die an dem Werkstück typischerweise anhaftende Menge von Restfeuchtigkeit gezogen werden. Außerdem wird die zur Trocknung eines Werkstücks erforderliche Prozesszeit durch die Geometrie des Werkstücks beeinflusst, insbesondere das Vorhandensein von Hohlräumen, Sacklöchern und Ähnlichem.

[0042] Bei bevorzugten Ausgestaltungen der Erfindung ist vorgesehen, dass mindestens ein Sensor eine Messgröße in der Trocknungskammer, in einer Zuführung zum Zuführen von Zuluft zu der Trocknungskammer, in einer Abfuhrleitung zum Abführen von Abluft aus der Trocknungskammer, in einer Abluftleitung zum Abführen von Abluft aus einem Luftkreislauf, in einer Evakuierungsleitung zum Verbinden der Trocknungskammer mit einer Vakuumquelle, in einer Auslassleitung einer Vakuumpumpe und/oder in einer Umgebung der Trocknungskammer misst.

[0043] In der Auswertungseinheit ist vorzugsweise ein Prozessmodell implementiert.

[0044] Das Prozessmodell kann ein Regelmodell und/oder ein KI-Modell zur Bewertung eines Trocknungsvorgangs umfassen.

[0045] Besonders günstig ist es, wenn das Prozessmodell derart ausgebildet ist, dass es Parameter des Trocknungsverfahrens während der Durchführung eines Trocknungsvorgangs oder vor der Durchführung eines

folgenden Trocknungsvorgangs verändern kann, um den Trocknungsvorgang zu optimieren.

[0046] Das Prozessmodell ist vorzugsweise derart ausgebildet, dass es auf der Basis mindestens eines an die Auswertungseinheit übermittelten Eingangsparameters mindestens einen optimalen Ausgangsparameter für den Trocknungsvorgang ermitteln kann, wobei der Ausgangsparameter zur Steuerung des Trocknungsvorgangs durch die Steuerungsvorrichtung verwendbar ist.

[0047] Bei einer besonderen Ausgestaltung der Erfindung ist vorgesehen, dass das Prozessmodell ein KI-Modell umfasst, welches derart ausgebildet ist, dass es sich durch Veränderung mindestens eines Parameters des Trocknungsvorgangs und eine Bewertung des Verlaufs des Trocknungsvorgangs selbst optimieren kann.

[0048] Das Prozessmodell kann rezeptbezogen oder programmbezogen trainiert und/oder optimiert werden.

[0049] Dem Prozessmodell können harte Grenzen vorgegeben werden, beispielsweise eine maximale Temperatur der Trocknungsluft. Diese harten Grenzen können rezeptbezogen oder programmbezogen vorgegeben werden.

[0050] Das Prozessmodell ist vorzugsweise derart ausgebildet, dass dem Prozessmodell Daten über die zu trocknenden Werkstücke von außerhalb einer für die Durchführung des Trocknungsvorgangs verwendeten Trocknungsanlage übermittelbar sind, vorzugsweise aus einem vor dem Trocknungsvorgang durchgeführten Vorprozess oder aus einem zentralen Leitrechnersystem.

[0051] Der Vorprozess kann insbesondere ein Herstellungsvorgang des zu trocknenden Werkstücks, insbesondere ein 3D-Druck-Vorgang, oder ein Bearbeitungsvorgang an dem zu trocknenden Werkstück, beispielsweise ein Vorgang spanender Bearbeitung des Werkstücks, sein.

[0052] Besonders günstig ist es, wenn das Prozessmodell derart ausgebildet ist, dass dem Prozessmodell Daten über die zu trocknenden Werkstücke über eine Sensorik, beispielsweise eine Bildkamera, über einen Barcode, über einen RFID-Chip oder durch manuelle Dateneingabe übermittelbar sind.

[0053] Die Sensorik, über welche dem Prozessmodell, insbesondere dem KI-Modell, Daten über die zu trocknenden Werkstücke übermittelbar sind, kann selbst wieder ein KI-Modell beinhalten, welches beispielsweise aus den übermittelten Bildinformationen Werkstückdaten, wie beispielsweise den Typ des zu trocknenden Werkstücks, die Anzahl der zu trocknenden Werkstücke, das Material, aus welchem das zu trocknende Werkstück gebildet ist, oder Ähnliches, ableiten kann.

[0054] Ferner kann vorgesehen sein, dass das Prozessmodell derart ausgebildet ist, dass dem Prozessmodell Daten über die von den zu trocknenden Werkstücken zu trocknende Flüssigkeitsmenge über eine Sensorik, die vorzugsweise im Vorlagebehälter eines Reinigungsmediums angeordnet ist, und/oder von einer Nachdosierungsvorrichtung eines Reinigungsmediums

übermittelbar sind.

[0055] Aus diesen Daten kann das Prozessmodell Rückschlüsse über die erforderliche Prozesszeit und den für die Trocknung erforderlichen Energiebedarf ziehen.

[0056] Bei einer bevorzugten Ausgestaltung der Erfindung ist vorgesehen, dass das Prozessmodell den Verlauf des Trocknungsverfahrens bewertet und/oder mindestens ein Parameter des Trocknungsverfahrens auf der Grundlage mindestens einer Ausgabe des Prozessmodells von der Steuerungsvorrichtung regelbar ist.

[0057] Insbesondere kann aus der Bewertung des Prozessmodells geschlossen werden, ob die für eine ausreichende Trocknung des mindestens einen zu trocknenden Werkstücks erforderliche Prozesszeit abgelaufen ist.

[0058] Die aufgrund der Bewertung durch das Prozessmodell von der Steuerungsvorrichtung veränderbaren Parameter des Trocknungsverfahrens können beispielsweise

eine Temperatur des Trocknungsmediums,
eine Heizleistung einer Luftkonditioniervorrichtung,
eine Veränderung des Volumenstroms eines in einem Luftkreislauf zirkulierenden Trocknungsmediums (insbesondere Trocknungsluft),
eine Veränderung eines Volumenstroms von Frischluft, welcher einem in einem Luftkreislauf zirkulierenden Volumenstrom des Trocknungsmediums (insbesondere Trocknungsluft) beigemischt wird,
eine Steuerung mindestens einer Bewegungseinrichtung zur Bewegung des mindestens einen zu trocknenden Werkstücks in der Trocknungskammer,
ein Zuschalten oder Abschalten von mindestens einer das mindestens eine zu trocknende Werkstück in der Trocknungskammer mit Energie beaufschlagenden Vorrichtung, beispielsweise eines Infrarot-Strahlers oder eines Mikrowellen-Generators,
eine Zeitdauer eines Trocknungsvorgangs und/oder
einen Wechsel einer Trocknungsart, beispielsweise einen Wechsel von einer Heißluft-Trocknung zu einer Vakuum-Trocknung, umfassen.

[0059] Die Bewertung des Verlaufs des Trocknungsvorgangs, welche in der Auswertungseinheit erfolgt, kann die Bildung einer Differenz von Feuchtigkeitswerten und/oder die Bildung einer Differenz von Temperaturwerten umfassen.

[0060] Wo in dieser Beschreibung oder den beigefügten Ansprüchen von einem Feuchtigkeitswert die Rede ist, so kann dies ein Wert einer relativen Luftfeuchtigkeit f , ein Wert einer absoluten Luftfeuchtigkeit ρ_w oder ein Wert einer spezifischen Luftfeuchtigkeit s sein.

[0061] Die relative Luftfeuchtigkeit f ist das Verhältnis aus dem momentanen Wasserdampfdruck und dem Sättigungsdampfdruck.

[0062] Die absolute Luftfeuchtigkeit ρ_w ist die Masse

des Wasserdampfs pro Luftvolumen.

[0063] Die spezifische Luftfeuchtigkeit s ist das Verhältnis aus der Masse des gasförmigen Wassers und der Masse der trockenen Luft, in welcher das gasförmige Wasser aufgenommen ist.

[0064] Die Differenz von Feuchtigkeitswerten kann insbesondere als die Differenz eines Feuchtigkeitswerts der aus der Trocknungskammer abgeführten Abluft und eines Feuchtigkeitswerts der der Trocknungskammer zugeführten Zuluft sein. In diesem Fall gibt die Differenz von Feuchtigkeitswerten den Unterschied zwischen dem Luftzustand vor und nach dem Hindurchtreten durch die Trocknungskammer wieder.

[0065] Auch aus einer Differenz der Temperatur der Abluft, die aus der Trocknungskammer abgeführt wird, und der Temperatur der Zuluft, welche der Trocknungskammer zugeführt wird, kann auf den Trocknungszustand des in der Trocknungskammer befindlichen mindestens einen zu trocknenden Werkstücks geschlossen werden. Da für die Verdunstung oder Verdampfung von Feuchtigkeit von dem zu trocknenden Werkstück Energie aufgewendet werden muss, nimmt die Temperatur beim Hindurchleiten der Luft durch die Trocknungskammer nämlich ab, solange noch Feuchtigkeit von dem zu trocknenden Werkstück verdunstet oder verdampft. Für eine solche Bewertung des Trocknungszustandes aufgrund einer Temperaturdifferenz muss eine Heizvorrichtung zur Erwärmung der Zuluft ausgeschaltet werden.

[0066] Eine Bewertung, dass der Trocknungsvorgang abgeschlossen ist, kann durch einen automatisierten Kontrollprozess und/oder durch die Eingabe einer Bedienperson an der Steuerungsvorrichtung erzeugt werden.

[0067] Die Bewertung, dass ein Werkstück in der Trocknungskammer ausreichend getrocknet worden ist, kann von einem dem Trocknungsvorgang nachgeschalteten Prozessschritt an die Auswertungseinheit übermittelt werden.

[0068] Die Auswertungseinheit kann benachbart zu der Trocknungskammer oder entfernt von der Trocknungskammer, beispielsweise in einer Cloud-Applikation, lokalisiert sein.

[0069] Insbesondere kann vorgesehen sein, dass in einem dem Trocknungsvorgang nachgeschalteten Prozessschritt die Qualität des im nachgeschalteten Prozessschritt weiterbearbeiteten getrockneten Werkstücks als in Ordnung oder als nicht in Ordnung deklariert wird und diese Bewertung an die Auswertungseinheit übermittelt wird.

[0070] Der mindestens eine Sensor kann sein Messsignal über eine drahtgebundene Verbindung an die Steuerungsvorrichtung, insbesondere an die Auswertungseinheit der Steuerungsvorrichtung, übermitteln.

[0071] Alternativ oder ergänzend hierzu kann auch vorgesehen sein, dass mindestens ein Sensor sein Messsignal über eine drahtlose Verbindung, beispielsweise eine WLAN-Verbindung, eine Bluetooth-Verbindung oder eine Funk-Verbindung, an die Auswertungs-

einheit übermittelt.

[0072] Bei einer besonderen Ausgestaltung der Erfindung ist vorgesehen, dass zu Beginn eines Heißluft-Trocknungsvorgangs die Frischluftzufuhr reduziert oder unterbrochen wird, um dadurch eine schnellere Erwärmung des mindestens einen zu trocknenden Werkstücks in der Trocknungskammer zu erreichen. In diesem Fall wird die Luft im Kreislauf durch die Trocknungskammer und durch eine Luftkonditionierungsvorrichtung zum Erwärmen der Luft geleitet, ohne dass kühlere Frischluft dieser zirkulierenden Luft zugemischt wird.

[0073] Die Aufheizdauer, während welcher die Frischluftzufuhr zu Beginn des Heißlufttrocknungsvorgangs reduziert oder unterbrochen wird, kann in Abhängigkeit von dem Typ und/oder von der Anzahl der zu trocknenden Werkstücke vorgegeben werden oder mittels der Auswertungseinheit in Abhängigkeit von dem Verlauf des mindestens einen Messsignal des mindestens einen Sensors ermittelt werden.

[0074] Ferner kann bei einer besonderen Ausgestaltung der Erfindung vorgesehen sein, dass während eines Heißluft-Trocknungsvorgangs die spezifische Luftfeuchtigkeit s , die absolute Luftfeuchtigkeit p_w und/oder die relative Luftfeuchtigkeit f durch Regelung der Frischluftzufuhr und/oder der Heizleistung der Luftkonditionierungsvorrichtung in einem definierten Wertebereich gehalten wird.

[0075] Der optimale Wertebereich für die betreffende Luftfeuchtigkeit kann manuell vorgegeben werden und/oder durch ein Regelmodell oder ein KI-Modell, welches in der Auswertungseinheit implementiert ist, ermittelt und vorzugsweise während des Heißluft-Trocknungsvorgangs verändert werden.

[0076] Ferner kann bei einer besonderen Ausgestaltung des erfindungsgemäßen Verfahrens vorgesehen sein, dass nach dem Einbringen des mindestens einen zu trocknenden Werkstücks in die Trocknungskammer ein Vakuum-Trocknungsvorgang, dann ein Heißluft-Trocknungsvorgang und danach ein weiterer Vakuum-Trocknungsvorgang durchgeführt wird.

[0077] Durch das Durchführen eines Vakuum-Trocknungsvorgangs vor dem ersten Heißluft-Trocknungsvorgang wird Feuchtigkeit aus Hohlräumen des Werkstücks ausgekocht, so dass ein anschließender Heißluft-Trocknungsvorgang effizienter durchgeführt werden kann. Hierbei können mehrere Zyklen durchgeführt werden, welche jeweils einen Heißluft-Trocknungsvorgang und einen Vakuum-Trocknungsvorgang umfassen.

[0078] Die vorliegende Erfindung betrifft ferner eine Anlage zum Trocknen von Werkstücken, welche Folgendes umfasst:

- eine Trocknungskammer;
- einen Luftkreislauf, der eine Zuführleitung zum Zuführen von Zuluft in die Trocknungskammer und eine Abführleitung zum Abführen von Abluft aus der Trocknungskammer umfasst; und

- eine regelbare Frischluftzufuhr zum Zuführen von Frischluft zu der Zuluft vor dem Eintritt in die Trocknungskammer.

[0079] Der vorliegenden Erfindung liegt die weitere Aufgabe zugrunde, eine solche Anlage zum Trocknen von Werkstücken zu schaffen, mittels welcher für die Trocknung eines Werkstücks eine kürzere Prozesszeit und/oder ein geringerer Energieaufwand erreichbar sind.

[0080] Zur erfindungsgemäßen Lösung dieser Aufgabe umfasst die Anlage zum Trocknen von Werkstücken ferner Folgendes:

- eine Steuerungsvorrichtung, die eine Auswertungseinheit umfasst; und
- mindestens einen Sensor, mittels welchem eine den Trocknungsvorgang charakterisierende Messgröße gemessen wird und dessen Messsignal an die Auswertungseinheit übermittelbar ist;

wobei die Steuerungsvorrichtung so ausgebildet ist, dass die Zufuhr von Frischluft zu der Zuluft während mindestens eines Überwachungszeitraums vermindert oder unterbrochen wird und die Auswertungseinheit derart ausgebildet ist, dass sie aus dem Verlauf des mindestens einen Messsignals des mindestens einen Sensors während des mindestens einen Überwachungszeitraums eine Ausgangsgröße ermittelt, welche den weiteren Verlauf des mittels der Trocknungsanlage durchgeführten Trocknungsverfahrens beeinflusst.

[0081] Die der Zuluft zugeführte Frischluft kann Umgebungsluft sein oder ein anderes Gas oder eine andere Gasmischung, beispielsweise eine aufbereitete hochreine Trocknungsluft oder Stickstoff.

[0082] Da die Trocknungsluft in einem Luftkreislauf geführt wird, wird die aus der Trocknungskammer abgeführte Abluft zu der Zuluft, welche der Trocknungskammer zugeführt wird, wobei der Zuluft Frischluft zugeführt worden oder ein Teil der Abluft entnommen worden sein kann.

[0083] Besondere Ausgestaltungen der erfindungsgemäßen Anlage zum Trocknen von Werkstücken sind bereits vorstehend im Zusammenhang mit besonderen Ausgestaltungen des erfindungsgemäßen Verfahrens zum Trocknen von Werkstücken erläutert worden.

[0084] Die erfindungsgemäße Anlage zum Trocknen von Werkstücken eignet sich insbesondere zur Durchführung des erfindungsgemäßen Verfahrens zum Trocknen von Werkstücken.

[0085] Das erfindungsgemäße Verfahren zum Trocknen von Werkstücken wird vorzugsweise mittels der erfindungsgemäßen Anlage zum Trocknen von Werkstücken durchgeführt.

[0086] Weitere Merkmale und Vorteile der Erfindung sind Gegenstand der nachfolgenden Beschreibung und der zeichnerischen Darstellung eines Ausführungsbeispiels.

[0087] In den Zeichnungen zeigen:

Fig. 1 eine schematische Darstellung einer Trocknungsanlage, mittels welcher eine Heißlufttrocknung und eine Vakuumtrocknung mindestens eines in einer Trocknungskammer angeordneten Werkstücks durchführbar ist; und

Fig. 2 ein Schaubild, welches für einen Trocknungsvorgang mittels der in Fig. 1 dargestellten Trocknungsanlage einen zeitlichen Verlauf einer gemessenen relativen Luftfeuchtigkeit darstellt.

[0088] Gleiche oder funktional äquivalente Elemente sind in allen Figuren mit denselben Bezugszeichen bezeichnet.

[0089] Ein in Fig. 1 dargestellte, als Ganzes mit 100 bezeichnete Trocknungsanlage umfasst eine Trocknungskammer 102, welche luftdicht gegenüber einer Umgebung 104 der Trocknungskammer 102 abschließbar ist.

[0090] In einen Innenraum 108 der Trocknungskammer 102 sind ein oder mehrere zu trocknende Werkstücke 106 einbringbar.

[0091] Zur Durchführung eines Heißlufttrocknungsvorgangs umfasst die Trocknungsanlage 100 einen Luftkreislauf 110, welcher eine Abführleitung 112 zum Abführen von Luft aus dem Innenraum 108 der Trocknungskammer 102 umfasst.

[0092] Die Abführleitung 112 ist an einen saugseitigen Eingang 114 eines Gebläses 116 angeschlossen.

[0093] Von einem druckseitigen Ausgang 118 des Gebläses 116 führt eine Zwischenleitung 120 zu einem Eingang 122 einer Luftkonditioniervorrichtung 124.

[0094] Die Luftkonditioniervorrichtung 124 umfasst insbesondere eine Heizvorrichtung zum Erwärmen der durch die Luftkonditioniervorrichtung 124 hindurchgeleiteten Luft.

[0095] Von einem Ausgang 126 der Luftkonditioniervorrichtung 124 führt eine Zuführleitung 128 zurück in den Innenraum 108 der Trocknungskammer 102.

[0096] Die aus der Trocknungskammer 102 abgeführte Abluft ist somit ein Teil der der Trocknungskammer 102 zugeführten Zuluft.

[0097] In der Zuführleitung 128 ist eine Abzweigung 130 angeordnet, an welcher eine Abluftleitung 132 angeschlossen ist.

[0098] Der Durchfluss durch die Abluftleitung 132 ist mittels eines Abluftventils, beispielsweise in Form einer Abluftklappe 134, in der Abluftleitung 132 regelbar.

[0099] Die Abführleitung 112 umfasst eine Einmündung 136, an welcher eine Frischluftleitung 138 in die Abführleitung 112 mündet.

[0100] Der Durchfluss durch die Frischluftleitung 138 ist mittels eines in der Frischluftleitung 138 angeordneten Frischluftventils, beispielsweise in Form einer Frischluftklappe 140, regelbar.

[0101] Zur Überwachung des Zustands der Luft im Innenraum 108 der Trocknungskammer 102, in der Abführleitung 112 und in der Zuführleitung 128 umfasst die Trocknungsanlage 100 mehrere Sensoren 142.

[0102] Die Sensoren 142 können insbesondere einen Trocknungskammer-Feuchtigkeitssensor 144 zur Messung der Feuchtigkeit im Innenraum 108 der Trocknungskammer 102, einen Abführleitungs-Feuchtigkeitssensor 146 zur Messung der Luftfeuchtigkeit in der Abführleitung 112 und/oder einen Zuführleitungs-Feuchtigkeitssensor 148 zum Messen der Luftfeuchtigkeit in der Zuführleitung 128 umfassen.

[0103] Der Abführleitungs-Feuchtigkeitssensor 146 ist vorzugsweise stromaufwärts von der Einmündung 136 der Frischluftleitung 138 in die Abführleitung 112 angeordnet.

[0104] Der Zuführleitungs-Feuchtigkeitssensor 148 ist vorzugsweise stromaufwärts von der Abzweigung 130 der Abluftleitung 132 aus der Zuführleitung 128 angeordnet.

[0105] Alle Sensoren 142 sind über geeignete Daten- und Steuerleitungen 150 mit einer Steuerungsvorrichtung 152 der Trocknungsanlage 100 verbunden.

[0106] Die Steuerungsvorrichtung 152 umfasst eine Auswertungseinheit 154.

[0107] In der Auswertungseinheit 154 ist ein Prozessmodell für den Trocknungsvorgang implementiert.

[0108] Um alternativ zu oder abwechselnd mit der Heißlufttrocknung mittels der Trocknungsanlage 100 auch einen Vakuumtrocknungsvorgang durchführen zu können, umfasst die Trocknungsanlage 100 ferner eine Vakuumquelle 156, welche über eine Evakuierungsleitung 158 mit dem Innenraum 108 der Trocknungskammer 102 verbunden ist.

[0109] Die Vakuumquelle 156 kann beispielsweise einen Vakuumspeicher und/oder eine Vakuumpumpe 160 umfassen.

[0110] Wenn die Vakuumquelle 156 eine Vakuumpumpe 160 umfasst, so ist an einen Auslass der Vakuumpumpe 160 eine Auslassleitung 162 angeschlossen.

[0111] Zur Überwachung des Zustands der durch die Auslassleitung 162 abgeführten Luft kann die Trocknungsanlage 100 einen weiteren Sensor 142 umfassen.

[0112] Dieser Sensor 142 kann insbesondere einen Auslassleitungs-Feuchtigkeitssensor 164 umfassen.

[0113] Auch der Auslassleitungs-Feuchtigkeitssensor 164 ist über eine geeignete Daten- und Steuerungsleitung 150 mit der Steuerungsvorrichtung 152 der Trocknungsanlage 100 verbunden.

[0114] Die Sensoren 142 können Sensoren zur Messung der relativen Luftfeuchtigkeit f , der absoluten Luftfeuchtigkeit ρ_w oder der spezifischen Luftfeuchtigkeit s sein.

[0115] Die relative Luftfeuchtigkeit f ist das Verhältnis zwischen dem momentanen Wasserdampfdruck und dem Sättigungsdampfdruck.

[0116] Die absolute Luftfeuchtigkeit ρ_w ist die Masse des Wasserdampfs pro Luftvolumen.

[0117] Die spezifische Luftfeuchtigkeit s ist das Verhältnis aus der Masse des gasförmigen Wassers und der Masse der trockenen Luft, in welcher das gasförmige Wasser aufgenommen ist.

[0118] Außerdem kann vorgesehen sein, dass einer, mehrere oder alle der Sensoren 142 zusätzlich zur Messung einer Luftfeuchtigkeit auch zur Messung einer Temperatur des jeweiligen Luftvolumens in der Lage sind.

[0119] Mittels der vorstehend beschriebenen Trocknungsanlage 100 wird ein Verfahren zum Trocknen von Werkstücken in der Trocknungskammer 102 beispielsweise wie folgt durchgeführt:

Das mindestens eine zu trocknende Werkstück 106 wird in die Trocknungskammer 102 eingebracht, und die Trocknungskammer 102 wird gegenüber der Umgebung 104 abgeschlossen.

[0120] Anschließend wird mindestens ein Heißluft-Trocknungsvorgang an dem mindestens einen Werkstück 106 in der Trocknungskammer 102 durchgeführt.

[0121] Bei dem Heißluft-Trocknungsvorgang wird der Trocknungskammer 102 durch die Zuführleitung 128 Zuluft zugeführt, welche mittels der Luftkonditioniervorrichtung 124 erwärmt worden ist.

[0122] Zugleich wird Abluft durch die Abführleitung 112 aus der Trocknungskammer 102 abgeführt.

[0123] Der der Trocknungskammer 102 zuzuführenden Zuluft wird vor dem Eintritt in die Trocknungskammer 102 Frischluft aus der Frischluftleitung 138 über die Einmündung 136 zugeführt.

[0124] Zur Überwachung des Heißluft-Trocknungsvorgangs wird die jeweilige relative Luftfeuchtigkeit f mittels der Sensoren 142, insbesondere mittels des Trocknungskammer-Feuchtigkeitssensors 144, mittels des Abführleitungs-Feuchtigkeitssensors 146 und mittels des Zuführleitungs-Feuchtigkeitssensors 148, vorzugsweise im Wesentlichen kontinuierlich, gemessen und in der Auswertungseinheit 154 der Steuerungsvorrichtung 152 der Trocknungsanlage 100 ausgewertet.

[0125] Die relative Luftfeuchtigkeit f stellt somit bei dieser Ausführungsform des Verfahrens zum Trocknen von Werkstücken 106 eine den Trocknungsvorgang charakterisierende Messgröße dar.

[0126] Der Sensor 142, dessen Messsignal in Fig. 2 dargestellt ist, ist beispielsweise der Trocknungskammer-Feuchtigkeitssensor 144, mittels welchem die relative Luftfeuchtigkeit f im Innenraum 108 der Trocknungskammer 102 gemessen wird.

[0127] Im dargestellten Ausführungsbeispiel beträgt die relative Luftfeuchtigkeit im Innenraum 108 der Trocknungskammer 102 zu Beginn des Trocknungsvorgangs ($t = t_0$) f_0 .

[0128] Vom Zeitpunkt t_0 bis zum Zeitpunkt t_1 wird ein Heißluft-Trocknungsvorgang durchgeführt, indem Luft im Kreislauf durch den Luftkreislauf 110 der Trocknungsanlage 100 geführt wird, wobei durch die Frischluftklappe 140 Frischluft zugeführt und durch die Abluftklappe 134 Abluft aus dem Luftkreislauf 110 abgeführt wird.

[0129] An dem mindestens einen zu trocknenden

Werkstück 106 anhaftende Feuchtigkeit verdunstet oder verdampft und wird mit der Abluft aus dem Innenraum 108 der Trocknungskammer 102 ausgetragen, wodurch die von dem Sensor 142 gemessene relative Luftfeuchtigkeit f von dem Ausgangswert f_0 bis auf den Wert f_1 abnimmt.

[0130] Zum Zeitpunkt t_1 wird die Frischluftzufuhr durch Schließen der Frischluftklappe 140 unterbunden.

[0131] Während eines sich daran anschließenden Überwachungszeitraums der Länge Δt_1 , während dessen die Frischluftklappe 140 geschlossen bleibt, steigt die vom Sensor 142 gemessene relative Luftfeuchtigkeit stark an, weil sich noch viel Feuchtigkeit im Innenraum 108 der Trocknungskammer 102 befindet.

[0132] Die Abfuhr von Luft durch die Abluftklappe 134 wird während des Überwachungszeitraums ebenfalls durch Schließen der Abluftklappe 134 unterbunden.

[0133] Die Auswertungseinheit 154 ermittelt die Geschwindigkeit, mit welcher sich die charakteristische Messgröße, in diesem Fall die relative Luftfeuchtigkeit, verändert, aus der Steigung des Verlaufs der gemessenen Luftfeuchtigkeit in Abhängigkeit von der Zeit, also aus dem Verhältnis von Δf_1 und Δt_1 .

[0134] Wenn diese Änderungsgeschwindigkeit der charakteristischen Messgröße über einem vorgegebenen (oder von einem KI-Modell, das in der Auswertungseinheit 154 implementiert ist, ermittelten) Grenzwert liegt, ergibt die Auswertung, dass der Heißluft-Trocknungsvorgang noch nicht abgeschlossen ist, und der Trocknungsvorgang wird durch Öffnen der Frischluftklappe 140 und der Abluftklappe 134 fortgesetzt.

[0135] Wie aus Fig. 2 zu ersehen ist, sinkt daraufhin die von dem Sensor 142 gemessene relative Luftfeuchtigkeit bis zu einem Zeitpunkt t_2 ab, zu welchem die Frischluftzufuhr erneut von der Steuerungsvorrichtung 152 durch Schließen der Frischluftklappe 140 und der Abluftklappe 134 unterbrochen wird, und zwar für einen Zeitraum Δt_2 .

[0136] Es kann vorgesehen sein, dass die Zeitdauer Δt_2 von der im vorausgegangenen Überwachungszeitraum ermittelten Änderungsgeschwindigkeit der charakteristischen Messgröße f abhängt.

[0137] Insbesondere kann vorgesehen sein, dass die Dauer des jeweils folgenden Überwachungszeitraums ansteigt, wenn die Veränderungsgeschwindigkeit der charakteristischen Messgröße abnimmt, um so eine ausreichende Auflösung des Anstiegs der charakteristischen Messgröße bis zum Ende des nächsten Überwachungszeitraums zu erhalten.

[0138] Erneut wird in der Auswertungseinheit 154 die Veränderungsgeschwindigkeit der charakteristischen Messgröße aus dem Verhältnis von Δf_2 und Δt_2 ermittelt.

[0139] Im dargestellten Ausführungsbeispiel ist diese Veränderungsgeschwindigkeit im zweiten Überwachungszeitraum geringer, da sich nur noch wenig Restfeuchtigkeit im Innenraum 108 der Trocknungskammer 102 befindet.

[0140] Wenn die Veränderungsgeschwindigkeit der

charakteristischen Messgröße über dem vorgegebenen (oder von der in der Auswertungseinheit 154 implementierten KI-Modell ermittelten) Grenzwert liegt, wird der Heißluft-Trocknungsvorgang von der Steuerungsvorrichtung 152 durch Öffnen der Frischluftklappe 140 und der Abluftklappe 134 fortgesetzt.

[0141] Zu einem Zeitpunkt t_3 , welcher entweder fest vorgegeben oder von einem in der Auswertungseinheit 154 implementierten KI-Modell ermittelt worden ist, wird die Frischluftzufuhr von der Steuerungsvorrichtung 152 erneut durch Schließen der Frischluftklappe 140 und der Abluftklappe 134 für einen weiteren Überwachungszeitraum der Länge Δt_3 unterbrochen.

[0142] Erneut wird von der Auswertungseinheit 154 die Veränderungsgeschwindigkeit der charakteristischen Messgröße, nämlich der relativen Luftfeuchtigkeit f , ermittelt.

[0143] Im in Fig. 2 dargestellten Fall bleibt die gemessene relative Luftfeuchtigkeit aber nach dem Unterbrechen der Frischluftzufuhr konstant (auf dem Wert f_s), was bedeutet, dass die Veränderungsgeschwindigkeit der charakteristischen Messgröße null ist.

[0144] Damit liegt die Veränderungsgeschwindigkeit der charakteristischen Messgröße unter dem vorgegebenen Grenzwert oder dem von dem in der Auswertungseinheit 154 implementierten KI-Modell ermittelten Grenzwert.

[0145] Somit bewertet die Auswertungseinheit 154 den Trocknungsvorgang als abgeschlossen.

[0146] Der Heißluft-Trocknungsvorgang wird daher beendet, und das mindestens eines zu trocknende Werkstück 106 kann aus dem Innenraum 108 der Trocknungskammer 102 entnommen werden.

[0147] Bei dieser Ausführungsform eines Trocknungsverfahrens bildet die Bewertung, ob der Trocknungsvorgang abgeschlossen ist, eine von der Auswertungseinheit ermittelte Ausgangsgröße.

[0148] Alternativ hierzu kann auch vorgesehen sein, dass nach der Auswertung der Veränderungsgeschwindigkeit der charakteristischen Messgröße durch die Auswertungseinheit 154 von der Steuerungsvorrichtung 152 statt eines Heißluft-Trocknungsvorgangs ein Vakuum-Trocknungsvorgang durchgeführt wird, in dessen Verlauf der Innenraum 108 der Trocknungskammer 102 über die Evakuierungsleitung 158 mittels der Vakuumquelle 156 evakuiert wird.

[0149] Mehrere Zyklen von Trocknungsvorgängen, in denen jeweils ein Heißluft-Trocknungsvorgang und ein Vakuum-Trocknungsvorgang abwechselnd durchgeführt werden, können während der Trocknung des mindestens einen Werkstücks 106 in der Trocknungskammer 102 aufeinander folgen, bis die von der Auswertungseinheit 154 vorgenommene Auswertung ergibt, dass das Trocknungsziel erreicht ist und das mindestens eine zu trocknende Werkstück 106 als ausreichend trocken angesehen werden kann.

[0150] Statt des Messsignals des Trocknungskammer-Feuchtigkeitssensors 144 kann auch das Signal

des Abführleistungs-Feuchtigkeitssensors 146 oder des Zuführleistungs-Feuchtigkeitssensors 148 zur Ermittlung der Ausgangsgröße, welche den weiteren Verlauf des Trocknungsverfahrens beeinflusst, durch die Auswertungseinheit 154 verwendet werden.

[0151] Ferner kann auch vorgesehen sein, dass die Auswertung des Messsignals des mindestens einen Sensors 142 mittels der Auswertungseinheit 154 die Bildung einer Differenz aus den Messsignalen von mindestens zwei Sensoren 142 beinhaltet, beispielsweise die Bildung einer Differenz zwischen dem Messsignal des Abführleistungs-Feuchtigkeitssensors 146 und dem Messsignal des Zuführleistungs-Feuchtigkeitssensors 148.

Patentansprüche

1. Verfahren zum Trocknen von Werkstücken (106), umfassend Folgendes:

- Einbringen von mindestens einem zu trocknenden Werkstück (106) in eine Trocknungskammer (102);
- Durchführen mindestens eines Heißluft-Trocknungsvorgangs, bei welchem der Trocknungskammer (102) Zuluft zugeführt und Abluft aus der Trocknungskammer (102) abgeführt wird; wobei der Zuluft vor dem Eintritt in die Trocknungskammer Frischluft zugeführt wird;

dadurch gekennzeichnet,

dass die Zufuhr von Frischluft zu der Zuluft während mindestens eines Überwachungszeitraums vermindert oder unterbrochen wird, mindestens eine den Trocknungsvorgang charakterisierende Messgröße mittels mindestens eines Sensors (142) gemessen und ein Messsignal des mindestens eines Sensors (142) an eine Auswertungseinheit (154) einer Steuerungsvorrichtung (152) übermittelt wird und aus der Auswertung des Messsignals des mindestens einen Sensors (142) mittels der Auswertungseinheit (154) eine Ausgangsgröße ermittelt wird, welche den weiteren Verlauf des Verfahrens beeinflusst.

2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** eine Dauer des mindestens einen Überwachungszeitraums mindestens eine Sekunde und/oder höchstens 4 Minuten beträgt.

3. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet, dass** ein Minimum und/oder ein Maximum des Messsignals ermittelt und bei der Ermittlung der Ausgangsgröße verwendet wird

und/oder

dass eine Veränderungsgeschwindigkeit der Messgröße ermittelt und bei der Ermittlung der Ausgangsgröße verwendet wird.

4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, **dadurch gekennzeichnet, dass** der mindestens eine Sensor (142) einen Feuchtigkeitssensor (144, 146, 148, 164), einen Temperatursensor, eine Wärmebildkamera zur Temperaturüberwachung des mindestens einen zu trocknenden Werkstücks (106), einen Drucksensor und/oder einen Gewichtssensor zur Messung einer Massenveränderung des mindestens einen zu trocknenden Werkstücks (106) umfasst und/oder

dass eine Sensorik zum Erkennen eines Typs des mindestens einen zu trocknenden Werkstücks (106) vorhanden ist

und/oder

dass mindestens ein Sensor (142) eine Messgröße in der Trocknungskammer (102), in einer Zuführleitung (128) zum Zuführen von Zuluft zu der Trocknungskammer (102), in einer Abführleitung (112) zum Abführen von Abluft aus der Trocknungskammer (102), in einer Abluftleitung (132) zum Abführen von Abluft aus einem Luftkreislauf (110), in einer Evakuierungsleitung (158) zum Verbinden der Trocknungskammer (102) mit einer Vakuumquelle (156), in einer Auslassleitung (162) einer Vakuumpumpe (160) und/oder in einer Umgebung (104) der Trocknungskammer (102) misst.

5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4, **dadurch gekennzeichnet, dass** in der Auswertungs- einheit (154) ein Prozessmodell implementiert ist, welches ein Regelmodell und/oder ein KI-Modell zur Bewertung eines Trocknungsvorgangs umfasst.

6. Verfahren nach Anspruch 5, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Prozessmodell derart ausgebildet ist, dass es Parameter des Trocknungsverfahrens während der Durchführung eines Trocknungsvorgangs oder vor der Durchführung eines folgenden Trocknungsvorgangs verändern kann, um den Trocknungsvorgang zu optimieren, und/oder

dass das Prozessmodell derart ausgebildet ist, dass es auf der Basis mindestens eines an die Auswertungs- einheit (154) übermittelten Eingangsparameters mindestens einen optimalen Ausgangsparameter für den Trocknungsvorgang ermitteln kann, wobei der Ausgangsparameter zur Steuerung des Trocknungsvorgangs durch die Steuerungsvorrichtung (152) verwendbar ist.

7. Verfahren nach einem der Ansprüche 5 oder 6, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Prozessmodell ein KI-Modell umfasst, welches derart ausgebildet ist, dass es sich durch Veränderung mindestens eines Parameters des Trocknungsvorgangs und eine Bewertung des Verlaufs des Trocknungsvorgangs selbst optimieren kann.

8. Verfahren nach einem der Ansprüche 5 bis 7, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Prozessmodell derart ausgebildet ist, dass dem Prozessmodell Daten über die zu trocknenden Werkstücke (106) von außerhalb einer für die Durchführung des Trocknungsvorgangs verwendeten Trocknungsanlage (100) übermittelbar sind, vorzugsweise aus einem vor dem Trocknungsvorgang durchgeführten Vorprozess oder aus einem zentralen Leitrechnersystem, und/oder

dass das Prozessmodell derart ausgebildet ist, dass dem Prozessmodell Daten über die zu trocknenden Werkstücke (106) über eine Sensorik, beispielsweise eine Bildkamera, über einen Barcode, über einen RFID-Chip oder durch manuelle Dateneingabe übermittelbar sind, und/oder

dass das Prozessmodell derart ausgebildet ist, dass dem Prozessmodell Daten über die von den zu trocknenden Werkstücken (106) zu trocknende Flüssigkeitsmenge über eine Sensorik, die vorzugsweise im Vorlagebehälter eines Reinigungsmediums angeordnet ist, und/oder von einer Nachdosierungsvorrichtung eines Reinigungsmediums übermittelbar sind.

9. Verfahren nach einem der Ansprüche 5 bis 8, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Prozessmodell den Verlauf des Trocknungsverfahrens bewertet und/oder mindestens ein Parameter des Trocknungsverfahrens auf der Grundlage mindestens einer Ausgabe des Prozessmodells von der Steuerungsvorrichtung (152) regelbar ist.

10. Verfahren nach einem der Ansprüche 5 bis 9, **dadurch gekennzeichnet, dass** die aufgrund der Bewertung durch das Prozessmodell von der Steuerungsvorrichtung (152) veränderbaren Parameter des Trocknungsverfahrens eine Temperatur des Trocknungsmediums, eine Heizleistung einer Luftkonditioniervorrichtung (124), eine Veränderung des Volumenstroms eines in einem Luftkreislauf (110) zirkulierenden Trocknungsmediums, eine Veränderung eines Volumenstroms von Frischluft, welcher einem in einem Luftkreislauf (110) zirkulierenden Volumenstrom des Trocknungsmediums beige- mischt wird, eine Steuerung mindestens einer Bewegungseinrichtung zur Bewegung des mindestens

einen zu trocknenden Werkstücks (106) in der Trocknungskammer (102), ein Zuschalten oder Abschalten von mindestens einer das mindestens eine zu trocknende Werkstück (106) in der Trocknungskammer (102) mit Energie beaufschlagenden Vorrichtung, beispielsweise eines Infrarot-Strahlers oder eines Mikrowellen-Generators, eine Zeitdauer eines Trocknungsvorgangs und/oder einen Wechsel einer Trocknungsart, beispielsweise einen Wechsel von einer Heißluft-Trocknung zu einer Vakuum-Trocknung, umfasst.

11. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 10, **dadurch gekennzeichnet, dass** eine Bewertung des Verlaufs des Trocknungsvorgangs die Bildung einer Differenz von Feuchtigkeitswerten und/oder die Bildung einer Differenz von Temperaturwerten umfasst und/oder

dass eine Bewertung, dass der Trocknungsvorgang abgeschlossen ist, durch einen automatisierten Kontrollprozess und/oder durch Eingabe einer Bedienperson an der Steuerungsvorrichtung (152) erzeugt wird, und/oder
dass die Bewertung, dass ein Werkstück (106) in der Trocknungskammer (102) ausreichend getrocknet worden ist, von einem dem Trocknungsvorgang nachgeschalteten Prozessschritt an die Auswertungseinheit (154) übermittelt wird.

12. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 11, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Auswertungseinheit (154) benachbart zu der Trocknungskammer (102) oder entfernt von der Trocknungskammer, beispielsweise in einer Cloud-Applikation, lokalisiert ist.
13. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 12, **dadurch gekennzeichnet, dass** mindestens ein Sensor (142) sein Messsignal über eine drahtlose Verbindung, beispielsweise eine WLAN-Verbindung, eine Bluetooth-Verbindung oder eine Funk-Verbindung, an die Auswertungseinheit (154) übermittelt.
14. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 13, **dadurch gekennzeichnet, dass** zu Beginn eines Heißluft-Trocknungsvorgangs die Frischluftzufuhr reduziert oder unterbrochen wird, um dadurch eine schnellere Erwärmung des mindestens einen zu trocknenden Werkstücks (106) in der Trocknungskammer (102) zu erreichen, und/oder

dass während eines Heißluft-Trocknungsvorgangs die spezifische Luftfeuchtigkeit (s), die absolute Luftfeuchtigkeit (ρ_w) und/oder die relative Luftfeuchtigkeit (f) durch Regelung der

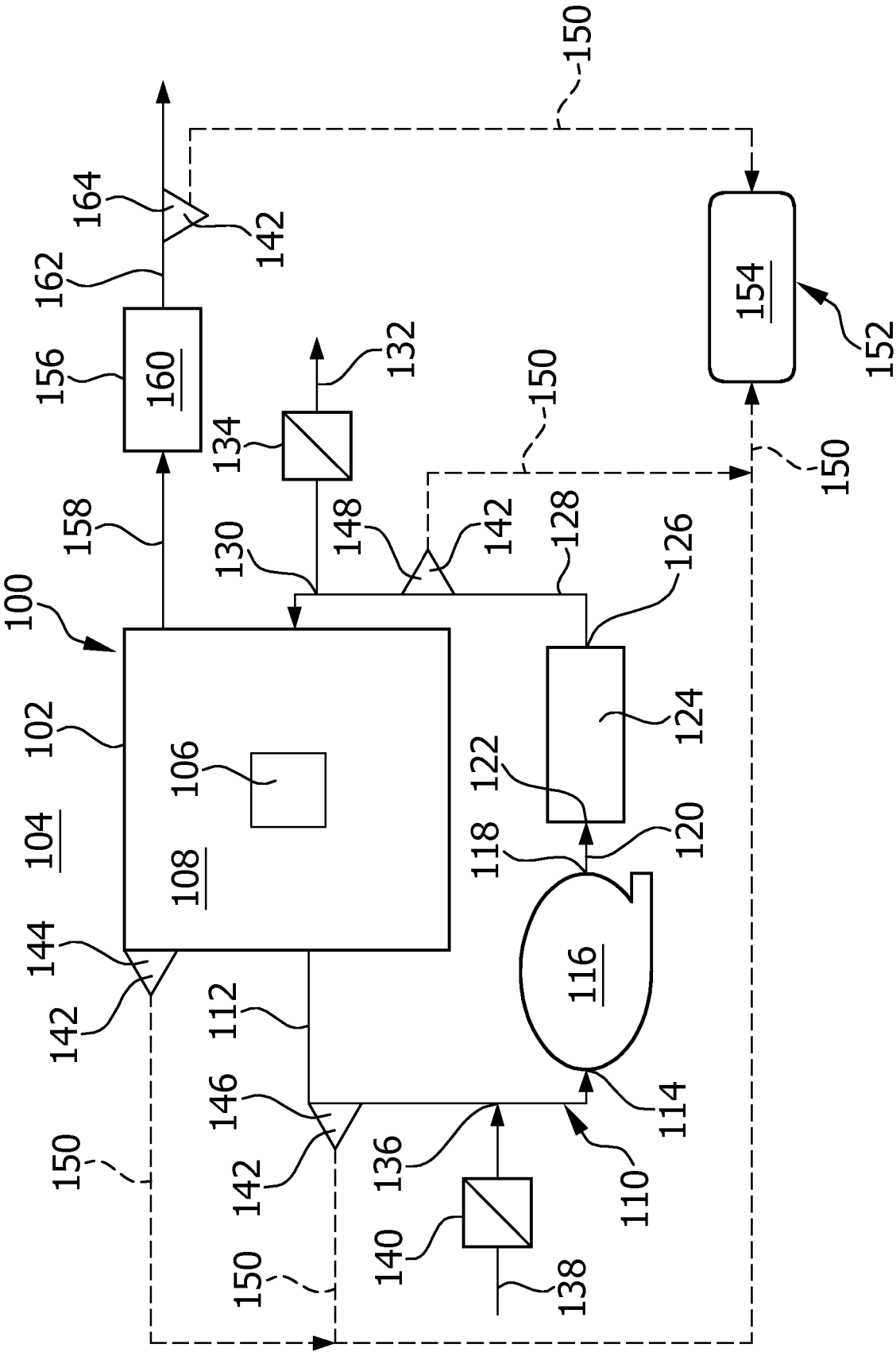
Frischluftzufuhr und/oder der Heizleistung der Luftkonditioniervorrichtung (124) in einem definierten Wertebereich gehalten wird und/oder
dass nach dem Einbringen des mindestens einen zu trocknenden Werkstücks (106) in die Trocknungskammer (102) ein Vakuum-Trocknungsvorgang, dann ein Heißluft-Trocknungsvorgang und danach ein weiterer Vakuum-Trocknungsvorgang durchgeführt wird.

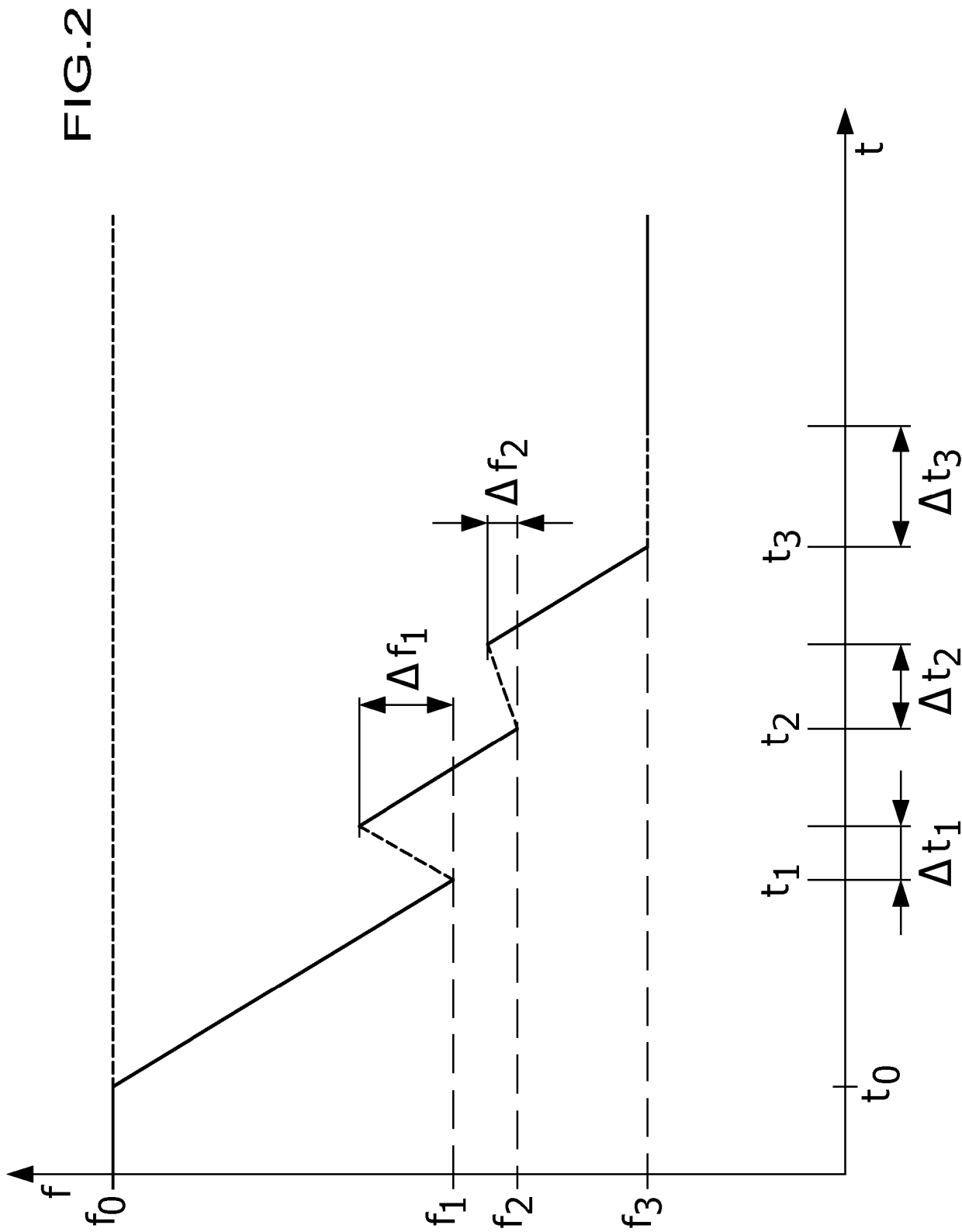
15. Anlage zum Trocknen von Werkstücken (106), insbesondere zur Durchführung des Verfahrens zum Trocknen von Werkstücken nach einem der Ansprüche 1 bis 14, umfassend Folgendes:

- eine Trocknungskammer (102);
- einen Luftkreislauf (110), der eine Zuführleitung (128) zum Zuführen von Zuluft in die Trocknungskammer (102) und eine Abführleitung (112) zum Abführen von Abluft aus der Trocknungskammer (102) umfasst;
- eine regelbare Frischluftzufuhr zum Zuführen von Frischluft in die Zuluft vor dem Eintritt in die Trocknungskammer (102);
- eine Steuerungsvorrichtung (152), die eine Auswertungseinheit (154) umfasst; und
- mindestens einen Sensor (142), mittels welchem eine den Trocknungsvorgang charakterisierende Messgröße messbar ist und dessen Messsignal an die Auswertungseinheit (154) übermittelbar ist;

wobei die Steuerungsvorrichtung (152) so ausgebildet ist, dass die Zufuhr von Frischluft zu der Zuluft während mindestens eines Überwachungszeitraums vermindert oder unterbrochen wird und
die Auswertungseinheit (154) derart ausgebildet ist, dass sie aus dem Verlauf des mindestens einen Messsignals des mindestens einen Sensors (142) während des mindestens einen Überwachungszeitraums eine Ausgangsgröße ermittelt, welche den weiteren Verlauf des mittels der Trocknungsanlage (100) durchgeführten Trocknungsverfahrens beeinflusst.

FIG.1







EUROPÄISCHER RECHERCHENBERICHT

Nummer der Anmeldung

EP 24 19 0139

5

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

1

EPO FORM 1503 03.82 (P04C03)

EINSCHLÄGIGE DOKUMENTE			
Kategorie	Kennzeichnung des Dokuments mit Angabe, soweit erforderlich, der maßgeblichen Teile	Betrifft Anspruch	KLASSIFIKATION DER ANMELDUNG (IPC)
A	DE 10 2021 112211 B4 (REINHARDT ULF [DE]) 22. Dezember 2022 (2022-12-22) * das ganze Dokument *	1,15	INV. F26B21/04 F26B21/06 F26B25/22
A	DE 10 2021 000618 A1 (INNOTECH INGENIEURSGESELLSCHAFT MBH [DE]) 4. August 2022 (2022-08-04) * das ganze Dokument *	1,15	
A	EP 0 107 200 A2 (BOEHM DIRK DIPL ING) 2. Mai 1984 (1984-05-02) * das ganze Dokument *	1,15	
A	EP 1 950 516 A2 (VALUTEC AB [SE]) 30. Juli 2008 (2008-07-30) * das ganze Dokument *	1,15	
A	CH 569 943 A5 (FELBER NORBERT FELIX) 28. November 1975 (1975-11-28) * das ganze Dokument *	1,15	
A	AT 2 342 U1 (MUEHLBOECK KURT [AT]) 25. August 1998 (1998-08-25) * das ganze Dokument *	1,15	RECHERCHIERTE SACHGEBIETE (IPC)
A	EP 0 922 919 A1 (STELLAC OY [FI]) 16. Juni 1999 (1999-06-16) * das ganze Dokument *	1,15	F26B
A	US 4 026 036 A (TANAKA MASAYOSHI) 31. Mai 1977 (1977-05-31) * das ganze Dokument *	1,15	
Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt			
Recherchenort		Abschlußdatum der Recherche	Prüfer
Den Haag		15. November 2024	Van Dooren, Marc
KATEGORIE DER GENANNTEN DOKUMENTE			
X : von besonderer Bedeutung allein betrachtet Y : von besonderer Bedeutung in Verbindung mit einer anderen Veröffentlichung derselben Kategorie A : technologischer Hintergrund O : nichtschriftliche Offenbarung P : Zwischenliteratur		T : der Erfindung zugrunde liegende Theorien oder Grundsätze E : älteres Patentdokument, das jedoch erst am oder nach dem Anmeldedatum veröffentlicht worden ist D : in der Anmeldung angeführtes Dokument L : aus anderen Gründen angeführtes Dokument & : Mitglied der gleichen Patentfamilie, übereinstimmendes Dokument	

ANHANG ZUM EUROPÄISCHEN RECHERCHENBERICHT ÜBER DIE EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG NR.

EP 24 19 0139

15-11-2024

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

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
DE 102021112211 B4	22-12-2022	BR 112023023641 A2	30-01-2024
		CA 3218638 A1	17-11-2022
		CN 117321367 A	29-12-2023
		DE 102021112211 A1	17-11-2022
		EP 4337903 A1	20-03-2024
		JP 2024516905 A	17-04-2024
		KR 20240018459 A	13-02-2024
		US 2024280319 A1	22-08-2024
		WO 2022237931 A1	17-11-2022
DE 102021000618 A1	04-08-2022	KEINE	
EP 0107200 A2	02-05-1984	AT E32629 T1	15-03-1988
		DE 3239250 A1	26-04-1984
		EP 0107200 A2	02-05-1984
EP 1950516 A2	30-07-2008	KEINE	
CH 569943 A5	28-11-1975	KEINE	
AT 2342 U1	25-08-1998	KEINE	
EP 0922919 A1	16-06-1999	AT E201263 T1	15-06-2001
		DE 69800790 T2	29-05-2002
		DK 0922919 T3	27-08-2001
		EP 0922919 A1	16-06-1999
US 4026036 A	31-05-1977	CH 606952 A5	30-11-1978
		DE 2534479 A1	23-12-1976
		FR 2325005 A1	15-04-1977
		GB 1510851 A	17-05-1978
		IT 1040323 B	20-12-1979
		JP S51143743 A	10-12-1976
		US 4026036 A	31-05-1977

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

IN DER BESCHREIBUNG AUFGEFÜHRTE DOKUMENTE

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

In der Beschreibung aufgeführte Patentdokumente

- CN 109724398 B [0007]
- US 20190146476 A1 [0008]
- KR 102177970 B1 [0009]