



(11)

EP 4 571 119 A1

(12) **EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG**

(43) Veröffentlichungstag:
18.06.2025 Patentblatt 2025/25

(21) Anmeldenummer: **24218097.4**

(22) Anmeldetag: **06.12.2024**

(51) Internationale Patentklassifikation (IPC):
F04D 25/16 ^(2006.01) **F04D 27/00** ^(2006.01)
F04D 29/66 ^(2006.01)

(52) Gemeinsame Patentklassifikation (CPC):
F04D 25/166; F04D 27/001; F04D 27/004;
F04D 29/663; F04D 29/668; F05D 2270/11;
 F05D 2270/3032; F05D 2270/311; F05D 2270/312;
 F05D 2270/313; F05D 2270/332; F05D 2270/333;
 F05D 2270/334

(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

(30) Priorität: 12.12.2023 DE 102023134798

(71) Anmelder: **ebm-papst Mulfingen GmbH & Co. KG**
74673 Mulfingen (DE)

(72) Erfinder:

- **Schmitt, Martin**
97947 Grünsfeld (DE)
- **Hertrich, Alexander**
74677 Dörzbach (DE)

(74) Vertreter: **Rüger Abel Patentanwälte PartGmbH**
Webergasse 3
73728 Esslingen a. N. (DE)

(54) **VERFAHREN ZUM BETREIBEN EINES STRÖMUNGSERZEUGUNGSSYSTEMS SOWIE STRÖMUNGSERZEUGUNGSSYSTEM**

(57) Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Betreiben eines Strömungserzeugungssystems (10) sowie ein zur Durchführung des Verfahrens eingerichtetes Strömungserzeugungssystem (10). Das Strömungserzeugungssystem (10) hat wenigstens eine Strömungserzeugergruppe (12) mit jeweils mehreren Strömungserzeugereinheiten (11). Die Strömungserzeugereinheiten (11) können beispielsweise Ventilatoren (14) sein. Die Strömungserzeugereinheiten (11) einer gemeinsamen Strömungserzeugergruppe (12) sind fluidisch mit einem gemeinsamen Strömungsraum (13) verbunden und mittels einer Steuereinrichtung (17) gesteuert, der wenigstens ein Sollparameter (PG) zur Steuerung oder Regelung vorgegeben wird. Wenigstens eine Strömungserzeugereinheit (11) aus der Strömungserzeugergruppe (12) wird ausgewählt und es wird jeweils ein individueller Sollbetriebszustand (BSi) ermittelt. Der jeweils ermittelte Sollbetriebszustand (BSi) wird anhand einer jeweils individuellen Betriebslimitierung (LIM) auf Zulässigkeit für den stationären Betrieb geprüft. Gegebenenfalls werden zwei oder mehr Sollbetriebszustände (BSi) verändert, bis alle Sollbetriebszustände (BSi) der ausgewählten Strömungserzeugereinheiten (11) zulässig sind.

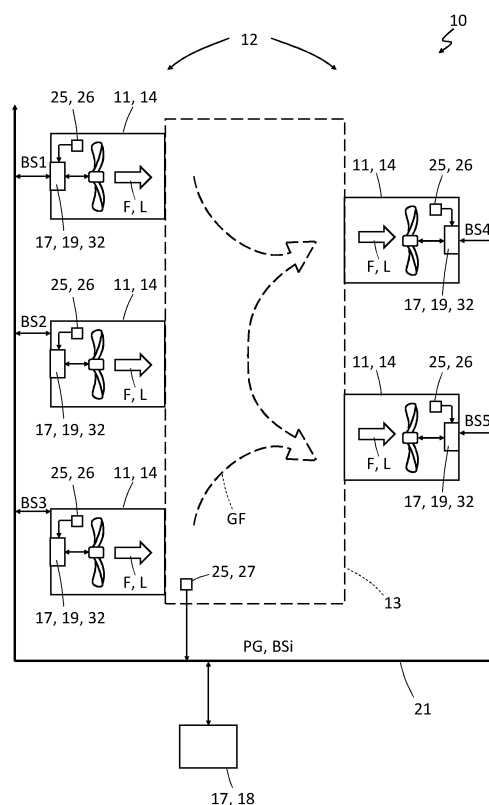


Fig. 1

Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Betreiben eines Strömungserzeugungssystems sowie ein Strömungserzeugungssystem mit einer Steuereinrichtung, die zur Durchführung des Verfahrens eingerichtet ist. Das Strömungserzeugungssystem hat wenigstens eine mittels der Steuereinrichtung steuerbaren Strömungserzeugergruppe mit mehreren Strömungserzeugereinheiten. Jede Strömungserzeugereinheit ist dazu eingerichtet, eine individuelle Fluidströmung zu erzeugen. Die Fluidströmung kann eine Gasströmung oder eine Flüssigkeitsströmung sein. Vorzugsweise ist die Strömungserzeugereinheit als Ventilator ausgeführt oder weist einen Ventilator auf und ist zur Erzeugung einer Luftströmung eingerichtet.

[0002] EP 3 749 864 A1 offenbart ein Verfahren zur Ermittlung von Betriebszuständen eines Ventilators, einer Anordnung mehrerer Ventilatoren, Ventilatorgruppen oder Ventilatorsysteme. Dabei können die einzelnen Ventilatoren einer Ventilatoranordnung aufeinander abgestimmt betrieben werden. Es wird ein digitales Abbild des realen Ventilators mittels mathematischer Berechnungsmodelle und bekannter Daten, beispielsweise Messdaten, erzeugt, das den Betrieb des realen Ventilators abbildet. Es soll eine vorausschauende Instandhaltung mit dem Ziel einer maximal möglichen Lebensdauer erreicht werden. Kritische Systemzustände, beispielsweise Resonanzen oder zu hohe Temperaturen, sollen vermieden werden.

[0003] In der Praxis ist es häufig schwierig, mit zunehmender Betriebszeit auftretende Veränderungen in einem Strömungserzeugungssystem vorherzusagen. Es kann daher als Aufgabe der vorliegenden Erfindung angesehen werden, ein Verfahren und ein Strömungserzeugungssystem zu schaffen, das unter Berücksichtigung von Alterungseffekten oder anderen mit zunehmender Betriebszeit auftretenden Veränderungen einen optimierten Betrieb einer Strömungserzeugergruppe mit mehreren Strömungserzeugereinheiten zur Verfügung stellt.

[0004] Diese Aufgabe wird durch ein Verfahren mit den Merkmalen des Patentanspruches 1 sowie ein Strömungserzeugungssystem mit den Merkmalen des Patentanspruches 11 gelöst.

[0005] Das Strömungserzeugungssystem weist eine Steuereinrichtung zur Steuerung einer Strömungserzeugergruppe mit mehreren Strömungserzeugereinheiten auf. Jede Strömungserzeugereinheit ist dazu eingerichtet, eine individuelle Fluidströmung zu erzeugen. Die Fluidströmung kann eine Flüssigkeitsströmung sein, ist jedoch vorzugsweise eine Gasströmung, insbesondere eine Luftströmung. Zu diesem Zweck sind bei einem Ausführungsbeispiel die zu einer Strömungserzeugergruppe gehörenden Strömungserzeugereinheiten als Ventilatoren ausgeführt oder weisen jeweils einen Ventilator auf. Die Strömungserzeugereinheiten einer gemeinsamen Strömungserzeugergruppe sind fluidisch

an einen gemeinsamen Strömungsraum angeschlossen, so dass ihre individuellen Fluidströmungen eine Gesamtfluidströmung für den gemeinsamen Strömungsraum bilden können.

[0006] Die Steuereinrichtung gemäß der vorliegenden Erfindung kann vorzugsweise mehrere kommunikationsverbundene lokale Steuereinheiten aufweisen. Eine lokale Steuereinheit ist vorzugsweise einer einzigen Strömungserzeugereinheit zugeordnet. Beispielsweise kann eine Strömungserzeugereinheit einen steuerbaren Elektromotor aufweisen und die lokale Steuereinheit kann die Motorsteuerung des Elektromotors sein. Zusätzlich oder alternativ zu den lokalen Steuereinheiten kann die Steuereinrichtung eine übergeordnete Steuerung aufweisen oder eine übergeordnete Steuerung sein, die mit den Strömungserzeugereinheiten kommunikationsverbunden ist. Eine solche übergeordnete Steuerung kann beispielsweise ein zentraler Server und/oder ein Internetdienst (Cloud-Service) sein.

[0007] Vorzugsweise sind die Strömungserzeugereinheiten (z.B. die lokalen Steuereinheiten) drahtlos und/oder drahtgebunden an ein Kommunikationsnetzwerk angeschlossen und können daher miteinander kommunizieren. Optional kann die übergeordnete Steuerung drahtlos und/oder drahtgebunden an ein Kommunikationsnetzwerk angeschlossen sein.

[0008] Für den Strömungsraum bzw. dessen Atmosphäre wird durch die Steuereinrichtung ein Sollparameter vorgegeben, wie zum Beispiel ein Sollruck, eine Solltemperatur, eine Sollfeuchtigkeit, eine Sollströmungsgeschwindigkeit für die Gesamtfluidströmung oder ein Sollvolumenstrom für die Gesamtfluidströmung. Es ist auch möglich, mehrere Sollparameter in beliebiger Kombination vorzugeben. Mittels der Strömungserzeugergruppe können auch mehrere Parameter gesteuert oder geregelt werden, da hierfür aufgrund der Mehrzahl der Strömungserzeugereinheiten Freiheitsgrade bestehen.

[0009] Im Rahmen des Verfahrens werden für jede Strömungserzeugereinheit der Strömungserzeugergruppe individuelle Betriebslimitierungen mit zunehmender Betriebszeit wiederholt ermittelt. Die Betriebslimitierung einer Strömungserzeugereinheit ist insbesondere ein Betriebszustand der Strömungserzeugereinheit innerhalb der typbedingten erlaubten Nennbetriebsgrenzen, der jedoch ungeeignet ist für den stationären Betrieb der jeweiligen Strömungserzeugereinheit, beispielsweise weil bei diesem Betriebszustand Resonanzschwingungen entstehen. Eine individuelle Betriebslimitierung kann auch ein Betriebszustand sein, bei dem die betreffende Strömungserzeugereinheit einen vorgegebenen Mindestwirkungsgrad nicht erreicht.

[0010] Das Ermitteln der aktuellen individuellen Betriebslimitierung wird wiederholt durchgeführt, beispielsweise zeitgesteuert in vorgegebenen Zeitintervallen und/oder ereignisgesteuert abhängig von einem Ereignis, beispielsweise wenn der wenigstens eine einzustellende Sollparameter verändert wird. Das Zeitintervall und/oder

die Zeitpunkte und/oder die Zeitsteuerung für das wiederholte Ermitteln der jeweils aktuellen individuellen Betriebslimitierung kann für jede Strömungserzeugereinheit individuell definiert sein, beispielsweise abhängig von der bisherigen Gesamtbetriebszeit der betreffenden Strömungserzeugereinheit.

[0011] Zur Steuerung oder Regelung der Atmosphäre im Strömungsraum entsprechend dem vorgegebenen, wenigstens einen Sollparameter wird aus der Strömungserzeugergruppe eine Strömungserzeugereinheit oder es werden mehrere oder alle Strömungserzeugereinheiten ausgewählt und für jede ausgewählte Strömungserzeugereinheit ein individueller Sollbetriebszustand ermittelt. Die individuellen Sollbetriebszustände der ausgewählten Strömungserzeugereinheiten werden derart ermittelt, dass insgesamt durch den gemeinsamen Betrieb der Strömungserzeugereinheiten der wenigstens eine Sollparameter möglichst genau erreicht (gesteuert oder geregelt) werden kann. Bei der Ermittlung der individuellen Sollbetriebszustände wird für die ausgewählten Strömungserzeugereinheiten die jeweils individuelle Betriebslimitierung berücksichtigt, um einen stationären Betrieb in einem hierfür ungeeigneten Betriebszustand zu vermeiden.

[0012] Dadurch kann insgesamt ein optimiertes Zusammenwirken der Strömungserzeugereinheiten einer Strömungserzeugergruppe erreicht werden.

[0013] Wenn sich zum Beispiel aus dem zunächst ermittelten individuellen Sollbetriebszustand für eine Strömungserzeugereinheit ein Betriebszustand ergibt, der aufgrund der individuellen Betriebslimitierung nicht für den stationären Betrieb geeignet ist, kann die betreffende Strömungserzeugereinheit einen anderen, veränderten individuellen Sollbetriebszustand wählen, der die betreffende individuelle Betriebslimitierung vermeidet und insbesondere dem zunächst ermittelten individuellen Sollbetriebszustand möglichst gut entspricht. Diese Anpassung wird den anderen ausgewählten Strömungserzeugereinheiten übermittelt, so dass eine oder mehrere der weiteren Strömungserzeugereinheiten ihren jeweiligen Sollbetriebszustand ebenfalls anpassen können, um das gemeinsame Steuerungsziel bzw. Regelungsziel, das durch den wenigstens einen Sollparameter definiert ist, zu erreichen. Diese Vorgehensweise ist eine Ausführungsform, bei der jede ausgewählte Strömungserzeugereinheit einen stationären Betrieb in einem Betriebszustand vermeidet, der durch eine individuelle Betriebslimitierung vermieden werden soll, die auch ohne eine übergeordnete Steuerung realisiert werden kann, indem sich die Strömungserzeugereinheiten untereinander abstimmen.

[0014] Zusätzlich oder alternativ kann auch die Zusammenstellung der ausgewählten Strömungserzeugereinheiten variiert werden, um die individuellen Betriebslimitierungen der zur Erreichung des Steuerungs- bzw. Regelungsziels verwendeten Strömungserzeugereinheiten zu berücksichtigen.

[0015] Bei allen Ausführungsbeispielen kann die

Steuereinrichtung vorzugsweise zum maschinellen Lernen eingerichtet sein. Sie kann Komponenten des maschinellen Lernens und/oder der künstlichen Intelligenz (KI) aufweisen. Unter Komponenten sind hier Vorrichtungen und/oder Verfahren und/oder Methoden zu verstehen, die in der Steuereinrichtung vorhanden oder verwendet werden können. Das maschinelle Lernen kann jede Form des maschinellen Lernens sein, insbesondere überwachtes maschinelles Lernen, nicht überwachtes maschinelles Lernen, bestärkendes maschinelles Lernen, usw. Im Rahmen des maschinellen Lernens können Verfahren zur Mustererkennung, Musteranalyse oder Mustervorhersage eingesetzt werden.

[0016] Eine Komponente der künstlichen Intelligenz (KI-Komponente) kann irgendeine bekannte Realisierung einer KI-Komponente sein, wie z.B. ein künstliches neuronales Netz oder ein Stützvektorverfahren (Support Vector Machine, SVM) .

[0017] Durch das maschinelle Lernen bzw. die künstliche Intelligenz lassen sich Aktualisierungen der individuellen Betriebslimitierungen der Strömungserzeugereinheiten besonders gut ermitteln. Außerdem können die Anpassungen der Sollbetriebszustände und/oder der Auswahl der für den Betrieb vorgesehenen Strömungserzeugereinheiten durch maschinelles Lernen und/oder KI sehr gut umgesetzt werden, insbesondere weil sehr zielgerichtet Anpassungen zur Vermeidung von individuellen Betriebslimitierungen vorgenommen werden können. Das Steuerungs- bzw. Regelungsziel lässt sich daher ausreichend schnell einstellen.

[0018] Es ist bevorzugt, wenn jede Strömungserzeugereinheit permanent überwacht bzw. geprüft und die individuelle Betriebslimitierung ermittelt wird. Optional wäre es auch möglich, dass jede Strömungserzeugereinheit zur Ermittlung ihrer individuellen Betriebslimitierung in einem vorgegebenen Prüfmodus betrieben wird. Zur Prüfung bzw. Ermittlung ihrer individuellen Betriebslimitierung kann die wenigstens eine, betreffende Strömungserzeugereinheit insbesondere in mehreren verschiedenen Betriebszuständen der Strömungserzeugereinheit betrieben werden. Die Prüfung bzw. Ermittlung der individuellen Betriebslimitierung kann - wie erläutert - in regelmäßigen Zeitintervallen zeitgesteuert und/oder ereignisgesteuert veranlasst werden. Beispielsweise kann dabei die elektrische und/oder mechanische Leistung der Strömungserzeugereinheit variiert werden. Bei einem Ausführungsbeispiel wird hierzu wenigstens ein Betriebsparameter eines Elektromotors der Strömungserzeugereinheit variiert, beispielsweise die Drehzahl, das Drehmoment, der Motorstrom, die Motorspannung, die elektrische Leistung oder eine beliebige Kombination hiervon.

[0019] Allgemein kann während der Prüfung bzw. Ermittlung der individuellen Betriebslimitierung ein von der Strömungserzeugereinheit erzeugter Betriebs- und/oder Strömungsparameter der individuellen Fluidströmung als Überwachungsparameter ermittelt und geprüft werden, ob dieser Überwachungsparameter innerhalb eines

zulässigen Bereichs liegt, beispielsweise wenigstens einen vorgegebenen minimalen und/oder maximalen Grenzwert nicht unter- bzw. überschreitet. Bei einem Ausführungsbeispiel ist der Überwachungsparameter ein Schwingungsparameter. Der Überwachungsparameter kann alternativ auch eine Temperatur, ein Motorstrom, eine elektrische Leistung, ein Wirkungsgrad der Strömungserzeugereinheit, eine Lautstärke (z.B. ein Schallleistungspegel und/oder ein Schallintensitätspegel) oder dergleichen sein.

[0020] Beispielsweise kann durch eine Lautstärkeparameter als Überwachungsparameter eine Optimierung des Betriebs des Systems im Hinblick auf die Schall-emission erfolgen. Es kann z.B. im Hinblick auf die gesamte Lautstärke besser sein mehrere Ventilatoren mit geringerer Leistung bzw. Drehzahl zu betreiben als einen oder weniger Ventilatoren mit vergleichsweise höherer Leistung bzw. Drehzahl.

[0021] Der Überwachungsparameter kann entweder unmittelbar gemessen oder anderweitig ermittelt werden. Er kann beispielsweise basierend auf wenigstens einem Messwert durch Berechnung, Schätzung oder Simulation ermittelt werden.

[0022] Während Prüfung bzw. Ermittlung der individuellen Betriebslimitierung kann insbesondere die Drehzahl des Elektromotors der Strömungserzeugereinheit in wenigstens einem vorgegebenen Prüfdrehzahlbereich innerhalb des Nenndrehzahlbereichs oder über den gesamten Nenndrehzahlbereich variiert werden, um eine oder mehrere Drehzahlen bzw. Drehzahlbereiche zu ermitteln, in denen Resonanzschwingungen auftreten. Der Prüfdrehzahlbereich kann ein Drehzahlbereich sein, in dem eine Resonanzschwingung oder ein anderer nicht erwünschter Zustand (z.B. zu hohe Temperatur, schlechter Wirkungsgrad, etc.) erwartet wird. Die Drehzahl kann im Prüfdrehzahlbereich kontinuierlich oder stufenweise zwischen einer Minimaldrehzahl und einer Maximaldrehzahl variiert werden. Der wenigstens eine Prüfdrehzahlbereich kann ein Teilbereich des gesamten zulässigen Drehzahlbereichs sein (Nenndrehzahlbereich) oder den gesamten Nenndrehzahlbereich umfassen.

[0023] Eine Drehzahl, bei der eine Resonanzschwingung erkannt wurde, kann dann eine Betriebslimitierung darstellen, die vorgibt, dass die Strömungserzeugereinheit nicht bei der die Resonanzschwingung hervorruhenden Drehzahl stationär betrieben werden soll. Ein kurzzeitiges Erreichen dieser Drehzahl während einer Drehzahländerung (z.B. mit einem Drehzahlgradienten ungleich Null) ist gestattet. Lediglich der stationäre Betrieb für eine vorgegebene Mindestzeitdauer von beispielsweise mindestens 10 Sekunden, mindestens 30 Sekunden oder mindestens 1 Minute wird durch die Betriebslimitierung vermieden. Die Betriebslimitierung kann dabei einen Drehzahlbereich ausschließen, in dem die Drehzahl des Elektromotors liegt, bei der die Resonanzschwingung festgestellt wurde.

[0024] Zur Ermittlung eines Schwingungsparameters als Überwachungsparameter kann beispielsweise ein

Schwingungssensor verwendet werden, der die Schwingung an dem Elektromotor oder einer anderen Komponente der Strömungserzeugereinheit und/oder einer mit der Strömungserzeugereinheit schwingungsgekoppelten Einrichtung misst. Eine solche schwingungsgekoppelte Einrichtung kann beispielsweise eine Leiteinrichtung für die erzeugte individuelle Fluidströmung sein. Als Schwingungssensor kann ein Beschleunigungssensor und/oder ein Mikrofon verwendet werden. Die Schwingung kann eine beliebige Schwingung sein, beispielsweise eine harmonische oder nicht harmonische Schwingung. Die Frequenz und die Amplitude der Schwingung variiert insbesondere abhängig vom Betriebszustand der Strömungserzeugereinheit.

[0025] Es ist vorteilhaft, wenn eine Stillstandzeit einer nicht ausgewählten bzw. jeder nicht ausgewählten Strömungserzeugereinheit erfasst wird. Die Stillstandzeit kann mit einer Maximaldauer verglichen werden. Wenn die Stillstandzeit die Maximaldauer überschreitet, kann die betreffende Strömungserzeugereinheit zumindest kurzzeitig bzw. temporär in Betrieb genommen werden, um deren Funktionsfähigkeit zu prüfen. Beispielsweise kann eine aktuell ausgewählte, betriebene Strömungserzeugereinheit zumindest temporär abgeschaltet und/oder in ihrer Leistung reduziert werden und die stillstehende, nicht ausgewählte Strömungserzeugereinheit kann zumindest temporär in Betrieb genommen werden, derart, dass das vorgegebene Steuerungs- bzw. Regelungsziel nach wie vor erreicht wird. Dadurch kann vermieden werden, dass aufgrund von längeren Stillstandzeiten eine Beeinträchtigung, beispielsweise eine starke Verschmutzung, ein Vereisen, eine Beschädigung oder dergleichen nicht erkannt wird und die betreffende Strömungserzeugereinheit bei Bedarf dann nicht zur Verfügung steht.

[0026] Wird eine Beeinträchtigung an einer Strömungserzeugereinheit erkannt, entweder durch die lokale Steuereinheit der betreffenden Strömungserzeugereinheit oder eine andere lokale Steuereinheit oder eine übergeordnete Steuerung der Steuereinrichtung, kann die betreffende beeinträchtigte Strömungserzeugereinheit zur Wartung, Reparatur oder Instandsetzung außer Betrieb genommen werden. Mit den verbleibenden verfügbaren Strömungserzeugereinheiten kann dann im Idealfall das Steuerungs- oder Regelungsziel immer noch erreicht werden, sofern hierfür nicht sämtliche vorhandenen Strömungserzeugereinheiten mit maximaler Leistung erforderlich wären. Durch die Strömungserzeugergruppe steht daher auch eine Redundanz bei Ausfall zur Verfügung.

[0027] Bei einer bevorzugten Ausführungsform wird eine Gesamtbetriebszeit jeder individuellen Strömungserzeugereinheit der Strömungserzeugergruppe erfasst. Die Gesamtbetriebszeit ist die Dauer, während der die betreffende Strömungserzeugereinheit ab dem Zeitpunkt der Erstinbetriebnahme betrieben wurde. Zusätzlich oder alternativ zur Gesamtbetriebszeit kann auch ein anderer Gesamtbetriebskennwert erfasst werden, bei

dem nicht nur die Dauer, sondern auch die jeweilige Leistung berücksichtigt wird. Bei einer Auswahl der zu betreibenden Strömungserzeugereinheiten, um das durch den wenigstens einen Sollparameter vorgegebene Steuerungs- oder Regelungsziel zu erreichen, werden bei dem bevorzugten Ausführungsbeispiel diejenigen Strömungserzeugereinheiten berücksichtigt, deren Gesamtbetriebskennwert eine geringere Belastung kennzeichnet, beispielsweise eine geringere Gesamtbetriebszeit und/oder eine geringere kumulierte Gesamtleistung, die während der Gesamtbetriebszeit bereitgestellt wurde. Dadurch kann der Verschleiß und die Belastung der Strömungserzeugereinheiten der Strömungserzeugergruppe möglichst gleichmäßig sein, wodurch die Gesamtlebensdauer der Strömungserzeugergruppe erhöht werden kann.

[0028] Bei einer bevorzugten Ausführungsform weist jede Strömungserzeugereinheit einen steuerbaren Elektromotor und einen mit dem Elektromotor antriebsverbundenen Rotor auf, insbesondere einen Ventilatorrotor, der auch als Laufrad oder Lüfterrad bezeichnet werden kann. Insbesondere hat jede Strömungserzeugereinheit genau einen Elektromotor und weiter vorzugsweise genau eine lokale Steuereinheit. Insbesondere ist jede lokale Steuereinheit eine Motorsteuerung des Elektromotors. Eine übergeordnete Steuerung (zentraler Server, Internetdienst) ist optional. Wie erläutert, können die lokalen Steuereinheiten in Kommunikationsverbindung stehen und ihren Betrieb untereinander abstimmen.

[0029] Anstatt eines Ventilatorrotors kann eine Strömungserzeugereinheit auch einen vom Elektromotor antreibbaren Pumpenrotor aufweisen, so dass eine Motor-Pumpe-Einheit gebildet ist.

[0030] Vorteilhafte Ausgestaltungen der Erfindung ergeben sich aus den abhängigen Ansprüchen, der Beschreibung und der Zeichnung. Nachfolgend werden bevorzugte Ausführungsbeispiele der Erfindung anhand der beigefügten Zeichnung im Einzelnen erläutert. In der Zeichnung zeigen:

Figur 1 ein Blockschaltbild eines Ausführungsbeispiels eines Strömungserzeugungssystems,

Figur 2 ein Blockschaltbild einer Strömungserzeugereinheit des Strömungserzeugungssystems aus Figur 1,

Figur 3 ein Flussdiagramm eines Ausführungsbeispiels eines Verfahrens zum Betreiben des Strömungserzeugungssystems,

Figur 4 ein Flussdiagramm mehrerer Verfahrensschritte eines Ausführungsbeispiels des Verfahrens aus Figur 3,

Figur 5 eine beispielhafte Darstellung einer Drehzahl n eines Elektromotors einer Strömungserzeugereinheit während einer Prüfung bzw. Ermittlung der indi-

viduellen Betriebslimitierung und

Figur 6 eine beispielhafte Darstellung eines Überwachungsparameters in Form eines Schwingungsparameters, der im Rahmen der in Figur 5 dargestellten Prüfung einer Strömungserzeugereinheit ermittelt und ausgewertet wird.

[0031] Figur 1 zeigt in schematischer blockschaltbildähnlicher Darstellung ein Strömungserzeugungssystem 10 mit mehreren Strömungserzeugereinheiten 11, die gemeinsam eine Strömungserzeugergruppe 12 bilden. Die Strömungserzeugereinheiten 11 einer gemeinsamen Strömungserzeugergruppe 12 sind fluidisch mit einem gemeinsamen Strömungsraum 13 verbunden. Jede Strömungserzeugereinheit 11 ist dazu eingerichtet, eine individuelle Fluidströmung F zu erzeugen, die beim Ausführungsbeispiel eine Luftströmung L ist. Beispielsgemäß ist jede Strömungserzeugereinheit 11 als Ventilator 14 realisiert.

[0032] Das Strömungserzeugungssystem 10 hat eine Steuereinrichtung 17 zur Steuerung der Strömungserzeugergruppe 12 bzw. der dazu gehörenden Strömungserzeugereinheiten 11. Die Steuereinrichtung 17 kann eine übergeordnete Steuerung 18 sein oder aufweisen, die mit den Strömungserzeugereinheiten 11 kommunikationsverbunden ist. Zusätzlich oder alternativ kann die Steuereinrichtung 17 mehrere lokale Steuereinheiten 19 aufweisen, wobei insbesondere jede Strömungserzeugereinheit 11 eine individuelle lokale Steuereinheit 19 aufweist. Die übergeordnete Steuerung 18 ist in diesem Fall optional und kann entfallen.

[0033] Die individuellen Fluidströmungen F der Strömungserzeugereinheiten 11 wirken im Strömungsraum 13 zusammen und erzeugen dort eine Gesamtfluidströmung GF . Der Strömungsraum 13 kann beispielsweise ein Raum in einem Gebäude sein. Das Strömungserzeugungssystem 10 kann beispielsweise Bestandteil einer im oder am Gebäude installierten Anlage sein, wie etwa einer Lüftungsanlage, einer Klimaanlage, einer Heizanlage oder einer Kühlanlage. Die Strömungserzeugereinheiten 11 können druckseitig oder saugseitig an den Strömungsraum 13 angeschlossen sein, wie es schematisch in Figur 1 dargestellt ist. Die Anzahl der Strömungserzeugereinheiten 11 einer einzigen Strömungserzeugergruppe 12 kann variieren. Jede Strömungserzeugergruppe 12 hat wenigstens zwei oder drei Strömungserzeugereinheiten 11 und beispielsweise Ventilatoren 14.

[0034] Der Steuereinrichtung 17 wird ein einzustellender Sollparameter PG für die Atmosphäre im Strömungsraum 13 vorgegeben. Der wenigstens eine einzustellende Sollparameter PG definiert somit das Steuerungs- oder Regelungsziel für den Strömungsraum 13 bzw. für die Strömungserzeugergruppe 12. Dieses Steuerungs- oder Regelungsziel soll durch Zusammenwirken der individuellen Fluidströmungen F erreicht werden. Dazu wird der Betrieb der Strömungserzeugereinheiten

11 der Strömungserzeugergruppe 12 durch die Steuereinrichtung 17 (mehrere lokale Steuereinheiten 19 und/oder übergeordnete Steuerung 18) koordiniert. Hierzu sind beispielsweise die lokalen Steuereinheiten 19 zur Bildung der Steuereinrichtung 17 mittels jeweils einer lokalen Kommunikationsschnittstelle 20 an ein gemeinsames Kommunikationsnetzwerk 21 angeschlossen. Die Kommunikationsverbindung zwischen den lokalen Steuereinheiten 19 bzw. den Strömungserzeugereinheiten 11 kann drahtlos und/oder drahtgebunden sein. An das Kommunikationsnetzwerk 21 können optional auch mehrere Strömungserzeugergruppen 12 eines Strömungserzeugungssystems 10 angeschlossen sein, sofern das Strömungserzeugungssystem 10 mehrere Strömungserzeugergruppen 12 aufweist.

[0035] Bei allen Ausführungsbeispielen kann die Steuereinrichtung 17 (mehrere lokale Steuereinheiten 19 und/oder übergeordnete Steuerung 18) Komponenten des maschinellen Lernens und/oder der künstlichen Intelligenz (KI) aufweisen. Unter Komponenten sind hier Vorrichtungen und/oder Verfahren und/oder Methoden zu verstehen, die in der Steuereinrichtung 17 vorhanden oder verwendet werden können.

[0036] Das Strömungserzeugungssystem 10 kann wenigstens einen Sensor 25 aufweisen. Jeder Sensor 25 ist dazu eingerichtet, einen Messwert bereitzustellen, der entweder die Gesamtfluidströmung GF und/oder die Atmosphäre im Strömungsraum 13 und/oder eine individuelle Fluidströmung F und/oder einen Betriebszustand einer Strömungserzeugereinheit 11 bzw. eines Ventilators 14 beschreibt. Der Sensor 25 oder wenigstens einer der vorhandenen Sensoren 25 kann ein lokaler Sensor sein und mit einer lokalen Steuereinheit 19 kommunikationsverbunden sein. Der lokale Sensor 26 stellt den jeweils erfassten Messwert der lokalen Steuereinheit 19 zur Verfügung. Die lokale Steuereinheit 19 kann den Messwert optional über das Kommunikationsnetzwerk 21 für andere Strömungserzeugereinheiten 11 bereitstellen.

[0037] Zusätzlich oder alternativ kann der Sensor 25 oder wenigstens einer der vorhandenen Sensoren ein Systemsensor 27 sein, der mit mehreren lokalen Steuereinheiten 19 und insbesondere dem Kommunikationsnetzwerk 21 kommunikationsverbunden ist, so dass der Messwert eines Systemsensors 27 mehreren oder allen Strömungserzeugereinheiten bzw. lokalen Steuereinheiten 19 zur Verfügung steht. Insbesondere ist der Systemsensor 27 dazu eingerichtet, einen Messwert in der Atmosphäre des Strömungsraums 13 und/oder einen Messwert der Gesamtfluidströmung GF zu erfassen. Dadurch lässt sich beispielsweise eine Regelung für den wenigstens einen einzustellenden Sollparameter PG erreichen.

[0038] Die Anzahl der Sensoren 25 kann abhängig von der konkreten Anwendung variieren.

[0039] Der wenigstens Systemsensor 27 kann dazu eingerichtet sein, einen oder mehrere der folgenden Parameter zu erfassen: eine Temperatur im Strömungs-

raum 13, ein Druck im Strömungsraum 13, eine Strömungsgeschwindigkeit der Gesamtfluidströmung GF im Strömungsraum 13 und/oder einen Volumenstrom der Gesamtfluidströmung GF im Strömungsraum 13. Dabei kann jeder Parameter an einer einzigen Messstelle im Strömungsraum 13 oder an mehreren mit Abstand zueinander angeordneten Messstellen im Strömungsraum 13 durch jeweils einen Systemsensor 27 erfasst werden.

[0040] In Figur 2 ist der Aufbau einer Strömungserzeugereinheit 11 bzw. eines Ventilators 14 entsprechend einem bevorzugten Ausführungsbeispiel gezeigt. Der Ventilator 14 hat einen steuerbaren Elektromotor 30, der mit einem Ventilatorrotor 31 antriebsverbunden ist, so dass bei Rotation des Ventilatorrotors 31 die Luftströmung L erzeugt wird. Der Elektromotor 30 wird mittels der lokalen Steuereinheit 19 gesteuert. Die Steuereinheit 19 ist vorzugsweise die Motorsteuerung des Elektromotors 30 und kann mit dem Elektromotor 30 eine gemeinsame Baugruppe bilden.

[0041] Wie es beispielhaft in Figur 2 dargestellt ist, kann die Strömungserzeugereinheit 11 einen oder mehrere lokale Sensoren 26 aufweisen. Beispielsweise kann mittels wenigstens eines lokalen Sensors 26 ein Betriebsparameter des Elektromotors 30 erfasst werden. Als Betriebsparameter des Elektromotors 30 können ein oder mehrere der nachfolgend genannten Parameter in beliebiger Kombination ermittelt werden: ein Motorstrom, eine Motorspannung, eine Drehzahl, eine Temperatur und/oder eine Schwingung des Elektromotors 30. Zusätzlich oder alternativ kann ein lokaler Sensor 26 einen Parameter der erzeugten Fluidströmung F und beispielsweise der Luftströmung L erfassen, wobei ein oder mehrere der nachfolgenden Parameter in beliebiger Kombination erfasst werden können: ein Druck, eine Strömungsgeschwindigkeit, ein Volumenstrom und/oder eine Temperatur der individuellen Fluidströmung F.

[0042] Die Strömungserzeugereinheit 11 hat beim Ausführungsbeispiel einen Datenspeicher 33, der mit der lokalen Steuereinheit 19 bzw. der Motorsteuerung 32 kommunikationsverbunden ist. Im Datenspeicher 33 können die zur Steuerung des Elektromotors 30 benötigten Daten bzw. Parameter abgespeichert sein.

[0043] Das insoweit erläuterte Strömungserzeugungssystem 10 und insbesondere die Strömungserzeugereinheiten 11 einer gemeinsamen Strömungserzeugergruppe 12 werden koordiniert betrieben, wie es anhand des in Figur 3 beispielhaft dargestellten Verfahrens V nachfolgend erläutert wird.

[0044] Für den Strömungsraum 13 wird wenigstens ein Sollparameter PG vorgegeben. Diese Vorgabe kann beispielsweise über eine Bedienschnittstelle im oder am Strömungsraum 13 und/oder eine andere Einrichtung erfolgen, die mit dem Kommunikationsnetzwerk 21 kommunikationsverbunden ist, wie z.B. ein Gateway oder die übergeordnete Steuerung 18 (erster Verfahrensschritt V1).

[0045] In einem zweiten Verfahrensschritt V2 werden aus der Strömungserzeugergruppe 12 eine, mehrere

oder alle Strömungserzeugereinheiten 11 ausgewählt, die betrieben werden sollen, um den wenigstens einen Sollparameter PG einzustellen und somit das vorgegebene Steuerungs- oder Regelungsziel zu erreichen. Dabei wird für jede ausgewählte Strömungserzeugereinheit 11 ein individueller Sollbetriebszustand BSi ($i=1, 2, 3, \dots$) ermittelt, so dass sich für den Strömungsraum 13 eine Gesamtfluidströmung GF ergibt, um die Vorgaben des wenigstens einen Sollparameters PG zu erfüllen.

[0046] Im Rahmen der Auswahl der Strömungserzeugereinheiten 11 und der Ermittlung der individuellen Sollbetriebszustände BSi werden Betriebslimitierungen LIM der ausgewählten Strömungserzeugereinheiten 11 berücksichtigt, wobei jede Betriebslimitierung LIM für die zugeordnete Strömungserzeugereinheit 11 individuell ermittelt wird und beispielsweise im Datenspeicher 33 abgespeichert werden kann. Das Ermitteln der individuellen Betriebslimitierung LIM für jede Strömungserzeugereinheit 11 wird ab dem Zeitpunkt der Inbetriebnahme des Strömungserzeugungssystems 10 mit zunehmender Betriebszeit wiederholt durchgeführt, beispielsweise zeitgesteuert in vorgegebenen (z.B. regelmäßigen) Zeitintervallen und/oder ereignisgesteuert. Somit ist die individuelle Betriebslimitierung LIM für jede Strömungserzeugereinheit 11 stets aktuell.

[0047] Die Betriebslimitierung LIM der Strömungserzeugereinheit 11 gibt an, in welchen Betriebszuständen die betreffende Strömungserzeugereinheit 11 nicht stationär betrieben werden soll, um übermäßigen Verschleiß, übermäßige Belastungen oder Beschädigungen zu vermeiden. Beispielsweise können mittels der Betriebslimitierung einer oder mehrere der nachfolgenden Betriebszustände für die zugeordnete Strömungserzeugereinheit 11 ausgeschlossen werden:

- ein Betriebszustand, insbesondere eine Drehzahl n des Elektromotors 30, in dem eine Resonanzschwingung auftritt;
- ein Betriebszustand, in dem eine Temperatur des Elektromotors 30 oder der lokalen Steuereinheit 19 einen Temperaturgrenzwert überschreitet;
- ein Betriebszustand, in dem die Strömungserzeugereinheit 11 bzw. der Ventilator 14 einen Mindestwirkungsgrad unterschreitet;
- ein Betriebszustand, in dem ein Betriebsgeräusch der Strömungserzeugereinheit 11 einen vorgegebenen Grenzwert überschreitet,
- ein Betriebszustand, in dem ein definierter Leistungsgrenzwert (z.B. zulässige maximale Leistung im Dauerbetrieb) überschritten wird.

[0048] Im zweiten Verfahrensschritt V2 werden die ausgewählten Strömungserzeugereinheiten 11 derart aufeinander abgestimmt, dass ihre Sollbetriebszustände jeweils außerhalb der Betriebslimitierung liegen und sich insgesamt das durch den wenigstens einen Sollparameter vorgegebene Steuerungs- oder Regelungsziel erreichen lässt.

[0049] Anschließend werden in einem dritten Verfahrensschritt V3 die ausgewählten Strömungserzeugereinheiten 11 entsprechend dem ermittelten Sollbetriebszustand BSi betrieben.

[0050] Wenn für einen aktuellen Betrieb nicht alle Strömungserzeugereinheiten 11 einer Strömungserzeugergruppe 12 ausgewählt und betrieben werden, kann eine oder können mehrere Strömungserzeugereinheiten 11 stillstehen. Die Stillstandzeit jeder Strömungserzeugereinheit 11 wird erfasst und mit einer Maximaldauer verglichen. Überschreitet die Stillstandzeit, während der die betreffende Strömungserzeugereinheit 11 ohne Unterbrechung stillsteht, die Maximaldauer, kann sie zumindest temporär, beispielsweise um ihre Funktionsfähigkeit zu testen, in Betrieb genommen werden. Dadurch kann vermieden werden, dass eine Strömungserzeugereinheit 11, die längere Zeit stillstand, unerkannt in ihrer Funktion beeinträchtigt ist. Beispielsweise kann in diesem Rahmen eine ausgewählte aktuell betriebene Strömungserzeugereinheit 11 in ihrer Leistung reduziert oder abgeschaltet werden und als Ersatz eine bislang stillstehende Strömungserzeugereinheit 11 betrieben werden, um die reduzierte oder abgeschaltete Strömungsleistung zu ersetzen. Dadurch kann erkannt werden, ob alle Strömungserzeugereinheiten 11 einer Strömungserzeugergruppe 12 funktionsfähig sind.

[0051] Durch die sich ergebenden Freiheitsgrade bzw. Redundanz der mehreren Strömungserzeugereinheiten 11 der gemeinsamen Strömungserzeugergruppe 12 können auch andere Randbedingungen zur Optimierung des Strömungserzeugungssystems 10 berücksichtigt werden. Beispielsweise kann als Randbedingung berücksichtigt werden, die Belastung bzw. den Verschleiß der Strömungserzeugereinheiten 11 möglichst gleichmäßig zu verteilen. Hierzu kann für jede Strömungserzeugereinheit 11 ein Gesamtbetriebskennwert ermittelt werden. Der Gesamtbetriebskennwert einer zugeordneten Strömungserzeugereinheit 11 beschreibt die bislang seit ihrer Inbetriebnahme erfolgte Belastung. Im einfachsten Fall kann der Gesamtbetriebskennwert die Gesamtbetriebsdauer der Strömungserzeugereinheit 11 sein. Zusätzlich zur Gesamtbetriebsdauer kann optional auch die während den Betriebsphasen der Strömungserzeugereinheit 11 eingestellte elektrische und/oder mechanische Leistung berücksichtigt werden. Beispielsweise lässt sich ein während der Gesamtbetriebsdauer kumulierter Leistungswert (z.B. Energie) als Gesamtbetriebskennwert ermitteln. Optional können hierbei unterschiedliche Leistungsbereiche der Strömungserzeugereinheit 11 unterschiedlich stark gewichtet werden, so dass zum Beispiel Belastungen der Strömungserzeugereinheit 11 in einem Maximalleistungsbereich mit einer höheren Gewichtung in den Gesamtbetriebskennwert eingehen als Betriebsphasen mit mittlerer oder geringerer Leistung in dem Nennleistungsbereich der betreffenden Strömungserzeugereinheit 11.

[0052] Basierend auf dem Gesamtbetriebskennwert können bei der Auswahl und/oder bei der Ermittlung

der individuellen Sollbetriebszustände BSi diejenigen Strömungserzeugereinheiten 11 priorisiert werden, für die der jeweilige Gesamtbetriebskennwert eine geringere Belastung angibt. Somit können die Strömungserzeugereinheiten 11 in der Reihenfolge der jeweils zugeordneten Gesamtbetriebskennwerte priorisiert ausgewählt werden, beginnend mit dem Gesamtbetriebskennwert, der die geringste Belastung kennzeichnet, beispielsweise dem kleinsten Gesamtbetriebskennwert. Ausgehend von dieser Strömungserzeugereinheit 11 können dann die eventuell weiteren benötigten Strömungserzeugereinheiten 11 der Strömungserzeugergruppe 12 in der Reihenfolge ihrer Gesamtbetriebskennwerte ausgewählt werden.

[0053] Im Flussdiagramm nach Figur 4 ist der zweite Verfahrensschritt V2 bei einem Ausführungsbeispiel des Verfahrens V genauer dargestellt. In einem ersten Subschritt S1 kann zunächst die Auswahl der wenigstens einen Strömungserzeugereinheit 11 erfolgen und anschließend für jede ausgewählte Strömungserzeugereinheit 11 der jeweils individuelle Sollbetriebszustand BSi bestimmt werden (zweiter Subschritt S2).

[0054] Im Anschluss daran wird in einem dritten Subschritt S3 geprüft, ob jeder individuelle Sollbetriebszustand BSi einen zulässigen stationären Betriebszustand der betreffenden Strömungserzeugereinheit 11 darstellt oder durch eine Betriebslimitierung LIM als stationärer Betriebszustand ausgeschlossen ist.

[0055] Wenn sich im dritten Subschritt S3 ergibt, dass alle individuellen Sollbetriebszustände BSi als stationäre Betriebszustände zulässig sind (Verzweigung OK aus dem dritten Subschritt S3), ist der zweite Verfahrensschritt V2 beendet und das Verfahren V kann dann im dritten Verfahrensschritt V3 fortgesetzt werden, wie es in Figur 3 veranschaulicht ist. Andernfalls (Verzweigung NOK aus dem dritten Subschritt S3) wird in einem vierten Subschritt S4 entweder die Auswahl der Strömungserzeugereinheiten 11 aus der Strömungserzeugergruppe 12 geändert und/oder es werden der individuelle Sollbetriebszustand BSi bzw. die individuellen Sollbetriebszustände BSi der ausgewählten Strömungserzeugereinheiten 11 angepasst, so dass sämtliche individuelle Sollbetriebszustände BSi nicht durch eine Betriebslimitierung LIM als stationärer Betriebszustand ausgeschlossen sind.

[0056] Das Auswählen der Strömungserzeugereinheiten 11 und/oder das Ändern der individuellen Sollbetriebszustände BSi kann in einer Schleife aus dem dritten Subschritt S3 und dem vierten Subschritt S4 iterativ erfolgen, wie es durch den gestrichelten Pfeil in Figur 4 dargestellt ist.

[0057] Es kann vorteilhaft sein, die Anpassung im vierten Subschritt S4 einmalig vorzunehmen, so dass das Verfahren dann im dritten Verfahrensschritt V3 gemäß Figur 3 fortgesetzt werden kann.

[0058] Bei einem Ausführungsbeispiel kann eine lokale Steuereinheit 19 den für sie ermittelten individuellen Sollbetriebszustand BSi anpassen, um einen stationären

Betrieb zu vermeiden, der durch die individuelle Betriebslimitierung LIM ausgeschlossen ist. Beispielsweise kann dazu die Leistung (insbesondere Drehzahl n) erhöht oder verringert werden, so dass die jeweilige Strömungserzeugereinheit 11 eine höhere oder geringere Leistung bereitstellt. Diese Leistungsdivergenz wird von der lokalen Steuereinheit 19 an die anderen ausgewählten Strömungserzeugereinheiten 11 übermittelt, die dann als Folge davon die Leistungsdivergenz derart kompensieren, dass sich auch für alle anderen ausgewählten Strömungserzeugereinheiten 11 ein individueller Sollbetriebszustand BSi ergibt, der nicht durch die jeweilige individuelle Betriebslimitierung LIM ausgeschlossen ist. Beispielsweise können eine oder mehrere der anderen ausgewählten Strömungserzeugereinheiten 11 ihre jeweilige Leistung erhöhen oder verringern, so dass insgesamt das vorgegebene Steuerungs- oder Regelungsziel erreicht wird.

[0059] Um einen stationären Betrieb in einem ungeeigneten Betriebszustand zu vermeiden, ist es vorgesehen, die Betriebslimitierung LIM für jede Strömungserzeugereinheit 11 wiederholt zu ermitteln. Hierzu kann die Strömungserzeugereinheit 11 während einer Prüfung CM bzw. Ermittlung der individuellen Betriebslimitierung in wenigstens einem definierten Betriebszustand betrieben werden, wie es schematisch in Figur 5 am Beispiel einer Drehzahl n des Elektromotors 30 veranschaulicht ist. Während der Prüfung bzw. Ermittlung der individuellen Betriebslimitierung der Strömungserzeugereinheit 11 wird ein Überwachungsparameter MP überwacht, anhand dessen ein unerwünschter stationärer Betriebszustand definiert werden kann.

[0060] Als Überwachungsparameter MP wird beispielsweise ein Schwingungsparameter OS verwendet. Der Schwingungsparameter OS kann eine Schwingung der Strömungserzeugereinheit 11 bzw. des Ventilators 14 beschreiben und beispielsweise mit Hilfe eines Beschleunigungssensors oder Mikrofons oder eines anderen geeigneten Schwingungssensors gemessen werden. Insbesondere kann ein solcher Schwingungssensor ein lokaler Sensor 26 der Strömungserzeugereinheit 11 bzw. des Ventilators 14 sein. Er kann an einer Komponente des Ventilators 14 oder einer mit dem Ventilator 14 strömungsgekoppelten Einrichtung angeordnet sein. Mittels des Schwingungsparameters OS als Überwachungsparameter MP können beispielsweise Resonanzschwingungen bei einer bestimmten Drehzahl n des Elektromotors 30 bzw. des Ventilatorrotors 31 erkannt und entsprechende Drehzahlbereiche durch das Definieren einer Betriebslimitierung LIM ausgeschlossen werden, wie es nachfolgend beispielhaft anhand der Figuren 5 und 6 erläutert wird.

[0061] Beispielsweise kann die Drehzahl n des Elektromotors 30 bzw. des Ventilatorrotors 31 während der Prüfung CM bzw. Ermittlung der individuellen Betriebslimitierung innerhalb eines vorgegebenen Prüfdrehzahlbereichs von einer Minimaldrehzahl n_{\min} bis zu einer Maximaldrehzahl n_{\max} variiert werden. Bei dem in Figur

5 dargestellten Ausführungsbeispiel wird die Drehzahl n kontinuierlich und beispielhaft linear erhöht. Die Drehzahl n könnte im Prüfdrehzahlbereich auch stufenweise oder ohne Sprünge entlang einer nicht linearen Kurve verändert werden. Der Prüfdrehzahlbereich von der Minimaldrehzahl n_{\min} bis zur Maximaldrehzahl n_{\max} kann entweder zumindest die Drehzahlen umfassen, in denen eine Resonanzschwingung erwartet wird oder auch den gesamten Nenndrehzahlbereich der Strömungserzeugereinheit 11 bzw. des Ventilators 14.

[0062] Während die Drehzahl n im Rahmen der Prüfung CM variiert wird, wird der Überwachungsparameter MP und beispielsweise der Schwingungsparameter OS überwacht und geprüft, ob der Überwachungsparameter MP in einem vorgegebenen zulässigen Bereich liegt. Beispielsweise kann für den Schwingungsparameter OS ein maximal zulässiger Betrag für die Schwingungsamplitude definiert werden.

[0063] Beispielhaft ist zur Erläuterung in Figur 6 zu einem ersten Zeitpunkt t_1 das Überschreiten der zulässigen Amplitude A durch den Schwingungsparameter OS dargestellt. Zu diesem ersten Zeitpunkt t_1 hat die Drehzahl n des Elektromotors 30 einen ersten Drehzahlwert n_1 . Ein stationärer Betrieb mit einer Drehzahl n entsprechend dem ersten Drehzahlwert n_1 ist daher nicht geeignet und wird durch eine entsprechende Betriebslimitierung LIM vermieden. Hierzu kann als Betriebslimitierung LIM beispielsweise ein nicht für den stationären Betrieb geeigneter Drehzahlbereich definiert werden, der den ersten Drehzahlwert n_1 aufweist. Somit lassen sich Schwingungen mit Amplituden vermeiden, die den Amplitudengrenzwert A überschreiten, wie es schematisch anhand der Figuren 5 und 6 veranschaulicht ist.

[0064] Wenn ein zunächst ermittelter individueller Betriebszustand BSi in dem durch die Betriebslimitierung LIM ausgeschlossenen Drehzahlbereich um den ersten Drehzahlwert n_1 liegt, kann die Steuereinrichtung 17, insbesondere die betreffende lokale Steuereinheit 19, den zunächst ermittelten individuellen Betriebszustand BSi anpassen und die Drehzahl auf den unteren Grenzwert oder den oberen Grenzwert des durch die Betriebslimitierung LIM ausgeschlossenen Drehzahlbereichs festlegen, um so wenig wie möglich von dem zunächst ermittelten individuellen Betriebszustand BSi abzuweichen. Wie erläutert kann die dadurch entstehende Leistungsdifferenz durch eine oder mehrere andere ausgewählte Strömungserzeugereinheiten 11 kompensiert werden.

[0065] Alternativ oder zusätzlich zu dem Schwingungsparameter OS kann ein anderer Überwachungsparameter MP überwacht werden, wie beispielsweise eine Betriebstemperatur des Elektromotors 30 und/oder der lokalen Steuereinheit 19. Durch die Betriebslimitierung LIM können auch Betriebszustände und insbesondere Drehzahlbereiche ausgeschlossen werden, in denen die Strömungserzeugereinheit 11 einen Mindestwirkungsgrad nicht erreicht.

[0066] Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Betrei-

ben eines Strömungserzeugungssystems 10 sowie ein zur Durchführung des Verfahrens eingerichtetes Strömungserzeugungssystem 10. Das Strömungserzeugungssystem 10 hat wenigstens eine Strömungserzeugergruppe 12 mit jeweils mehreren Strömungserzeugereinheiten 11. Die Strömungserzeugereinheiten 11 können beispielsweise Ventilatoren 14 sein. Die Strömungserzeugereinheiten 11 einer gemeinsamen Strömungserzeugergruppe 12 sind fluidisch mit einem gemeinsamen Strömungsraum 13 verbunden. Die Strömungserzeugereinheiten 11 einer gemeinsamen Strömungserzeugergruppe 12 werden koordiniert mittels einer Steuereinrichtung 17 gesteuert, so dass ein durch wenigstens einen Sollparameter PG vorgegebenes Steuerungs- oder Regelungsziel erreicht wird. Hierfür werden eine oder mehrere Strömungserzeugereinheiten 11 aus der Strömungserzeugergruppe 12 ausgewählt und für die ausgewählten Strömungserzeugereinheiten 11 wird jeweils ein individueller Sollbetriebszustand BSi ermittelt. Der jeweils ermittelte Sollbetriebszustand BSi wird anhand einer jeweils individuellen Betriebslimitierung LIM dahingehend geprüft, ob er für einen stationären Betrieb zugelassen ist. Sollte dies für einen oder mehrere der ermittelten Sollbetriebszustände BSi nicht zutreffen, werden zwei oder mehr Sollbetriebszustände BSi verändert, bis alle Sollbetriebszustände BSi der ausgewählten Strömungserzeugereinheiten 11 zulässig sind, also nicht durch eine jeweilige Betriebslimitierung LIM für den stationären Betrieb ausgeschlossen sind. Dabei ist es zusätzlich oder alternativ möglich, die Auswahl der Strömungserzeugereinheiten 11 aus der gemeinsamen Strömungserzeugergruppe 12 zu verändern.

Bezugszeichenliste:

[0067]

- | | |
|----|-----------------------------|
| 10 | Strömungserzeugungssystem |
| 11 | Strömungserzeugereinheit |
| 12 | Strömungserzeugergruppe |
| 13 | Strömungsraum |
| 14 | Ventilator |
| 17 | Steuereinrichtung |
| 18 | übergeordnete Steuerung |
| 19 | lokale Steuereinheit |
| 20 | Kommunikationsschnittstelle |
| 21 | Kommunikationsnetzwerk |
| 25 | Sensor |
| 26 | lokaler Sensor |
| 27 | Systemsensor |
| 30 | Elektromotor |
| 31 | Ventilatorrotor |
| 32 | Motorsteuerung |
| 33 | Datenspeicher |

A	Amplitudengrenzwert
BSi	Sollbetriebszustand einer Strömungserzeugereinheit ($i=1, 2, 3, \dots, n$)
CM	Prüfung
F	individuelle Fluidströmung
GF	Gesamtfluidströmung
L	Luftströmung
LIM	Betriebslimitierung
MP	Überwachungsparameter
n	Drehzahl
n_1	erster Drehzahlwert
n_{\max}	Maximaldrehzahl
n_{\min}	Minimaldrehzahl
OS	Schwingungsparameter
PG	Sollparameter
S1	erster Subschritt
S2	zweiter Subschritt
S3	dritter Subschritt
S4	vierter Subschritt
t	Zeit
t1	erster Zeitpunkt
V	Verfahren
V1	erster Verfahrensschritt
V2	zweiter Verfahrensschritt
V3	dritter Verfahrensschritt

Patentansprüche

1. Verfahren (V) zum Betreiben eines Strömungserzeugungssystems (10) aufweisend eine Steuereinrichtung (17) und eine mittels der Steuereinrichtung (17) steuerbaren Strömungserzeugergruppe (12) mit mehreren Strömungserzeugereinheiten (11), die jeweils dazu eingerichtet sind, eine individuelle Fluidströmung (F) zu erzeugen, wobei die Strömungserzeugereinheiten (11) fluidisch mit einem gemeinsamen Strömungsraum (13) verbunden sind, wobei das Verfahren aufweist:
 - Vorgeben wenigstens eines einzustellenden Sollparameters (PG) für die Atmosphäre im Strömungsraum (13),
 - Auswählen wenigstens einer Strömungserzeugereinheit (11) aus einer Strömungserzeugergruppe (12) und Ermitteln eines individuellen Sollbetriebszustandes (BSi) für jede ausgewählte Strömungserzeugereinheit (11) unter Berücksichtigung von wiederholt ermittelten individuellen Betriebslimitierungen (LIM), um den wenigstens einen Sollparameter (PG) einzustellen.
2. Verfahren nach Anspruch 1, wobei die individuellen Betriebslimitierungen (LIM) der Strömungserzeugereinheiten (11) zeitgesteuert und/oder ereignisgesteuert wiederholt ermittelt werden.
3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, wobei jede Strömungserzeugereinheit (11) zur Ermittlung ihrer individuellen Betriebslimitierung (LIM) in mehreren verschiedenen Betriebszuständen betrieben wird.

4. Verfahren nach Anspruch 3, wobei zur Ermittlung der individuellen Betriebslimitierung (LIM) einer Strömungserzeugereinheit (11) Betriebszustände mit verschiedenen mechanischen und/oder elektrischen Leistungen der Strömungserzeugereinheit (11) eingestellt werden.
5. Verfahren nach Anspruch 3 oder 4, wobei zur Ermittlung der individuellen Betriebslimitierung (LIM) einer Strömungserzeugereinheit (11) ein vom Betrieb der Strömungserzeugereinheit (11) abhängiger Überwachungsparameter (MP) ermittelt und geprüft wird, ob der Überwachungsparameter (MP) innerhalb eines vorgegebenen zulässigen Bereichs liegt.
6. Verfahren nach Anspruch 5, wobei der Überwachungsparameter (MP) ein Schwingungsparameter (OS) ist.
7. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei eine Stillstandzeit einer nicht ausgewählten Strömungserzeugereinheit (11) erfasst wird und die Strömungserzeugereinheit (11) zumindest temporär in Betrieb genommen wird, wenn die Stillstandzeit eine Maximaldauer überschreitet.
8. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei ein Gesamtbetriebskennwert jeder Strömungserzeugereinheit (11) ermittelt wird und bei der Auswahl der Strömungserzeugereinheiten (11) aus der Strömungserzeugergruppe (12) die Strömungserzeugereinheiten (11) mit dem Gesamtbetriebskennwert priorisiert werden, der eine geringere Belastung der Strömungserzeugereinheit (11) kennzeichnet.
9. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei jede individuelle Betriebslimitierung (LIM) wenigstens einen Betriebszustand der jeweiligen Strömungserzeugereinheit (11) definiert, der für einen stationären Betrieb der Strömungserzeugereinheit (11) ungeeignet ist.
10. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei der wenigstens eine Sollparameter (PG) einer oder mehrere der nachfolgend genannten Parameter in beliebiger Kombination ist bzw. sind: ein Druck der Atmosphäre im Strömungsraum (13), eine Temperatur der Atmosphäre im Strömungsraum (13), eine Feuchtigkeit der Atmosphäre im Strömungsraum (13), eine Strömungsgeschwindigkeit einer Gesamtfluidströmung (GF) im Strömungsraum (13) und/oder ein Volumenstrom einer Gesamtfluidströmung (GF) im Strömungsraum (13).

11. Strömungserzeugungssystem (10) aufweisend eine Steuereinrichtung (17) und eine mittels der Steuereinrichtung (17) steuerbaren Strömungserzeugerguppe (12) mit mehreren Strömungserzeugereinheiten (11), die jeweils dazu eingerichtet sind, eine individuelle Fluidströmung (F) zu erzeugen, wobei die Strömungserzeugereinheiten (11) fluidisch mit einem gemeinsamen Strömungsraum (13) verbunden sind, wobei die Steuereinrichtung (17) dazu eingerichtet ist, folgendes Verfahren auszuführen:
- Vorgeben wenigstens eines einzustellenden Sollparameters (PG) für den Strömungsraum (13),
 - Auswählen wenigstens einer Strömungserzeugereinheit (11) aus einer Strömungserzeugerguppe (12) und Ermitteln eines individuellen Sollbetriebszustandes (BSi) für jede ausgewählte Strömungserzeugereinheit (11) unter Berücksichtigung von wiederholt ermittelten individuellen Betriebslimitierungen (LIM), um den wenigstens einen Sollparameter (PG) einzustellen.
12. Strömungserzeugungssystem nach Anspruch 11, wobei jede Strömungserzeugereinheit (11) außerdem einen steuerbaren Elektromotor (30) und einen mit dem Elektromotor (30) antriebsverbundenen Rotor (31) aufweist.
13. Strömungserzeugungssystem nach Anspruch 11 oder 12, wobei die Steuereinrichtung (17) mehrere miteinander kommunikationsverbundene lokale Steuereinheiten (19) aufweist und jede Strömungserzeugereinheit (11) eine individuelle lokale Steuereinheit (19) aufweist.
14. Strömungserzeugungssystem nach Anspruch 12 und nach Anspruch 13, wobei jede lokale Steuereinheit (19) eine Motorsteuerung (32) des Elektromotors (30) ist.
15. Strömungserzeugungssystem nach einem der Ansprüche 11 bis 14, wobei die Steuereinrichtung (17) eine übergeordnete Steuerung (18) aufweist, die mit den Strömungserzeugereinheiten (11) kommunikationsverbunden ist.

50

55

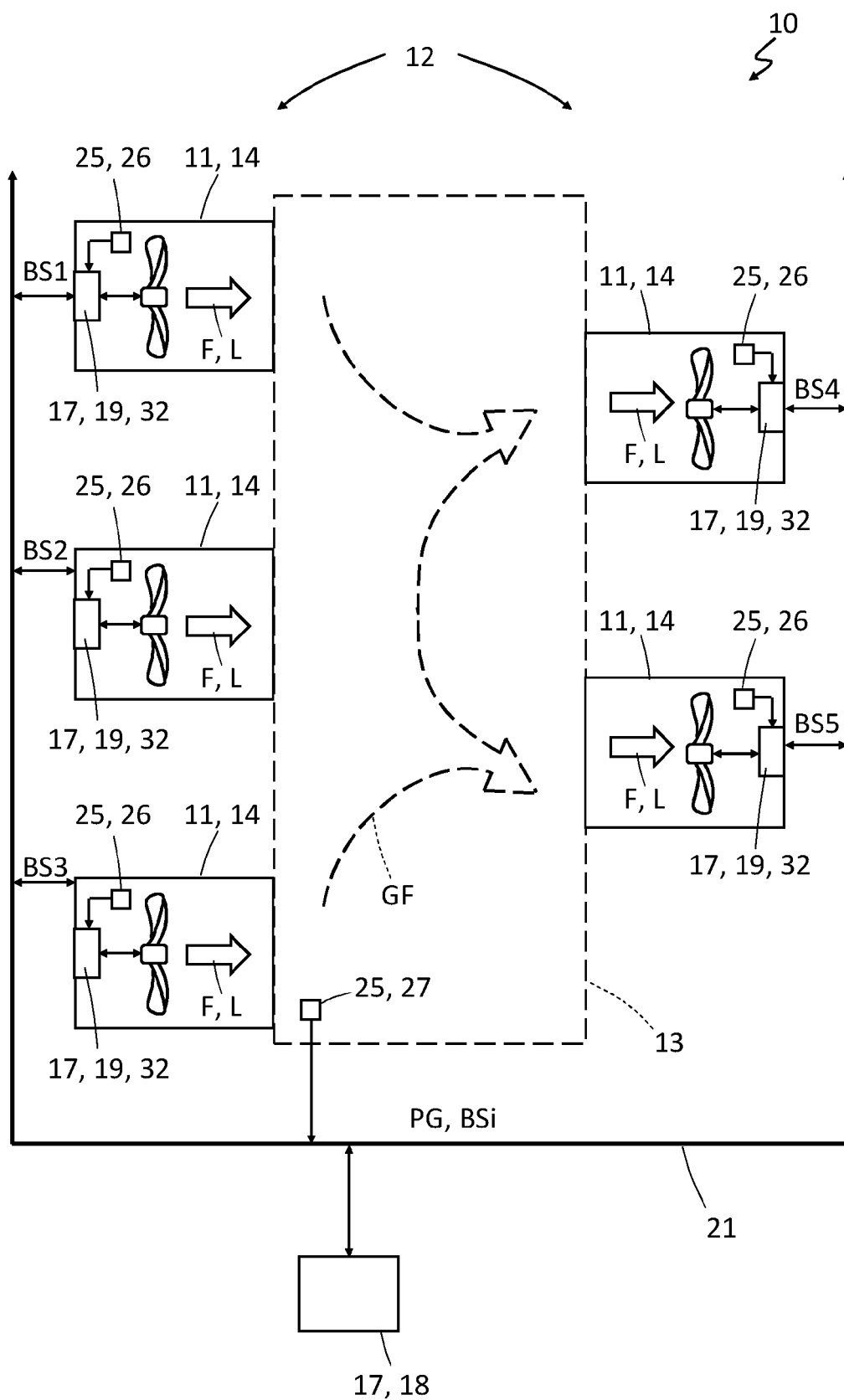


Fig. 1

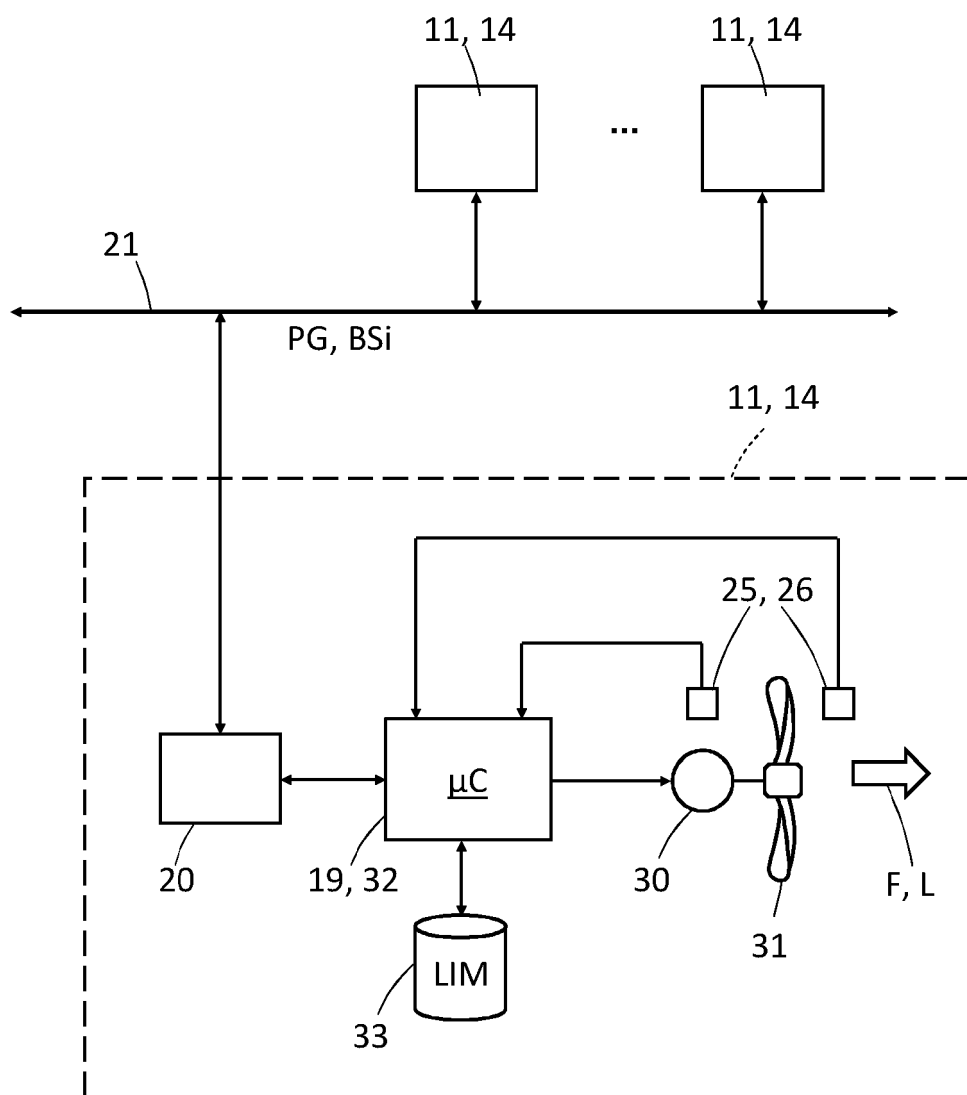


Fig. 2

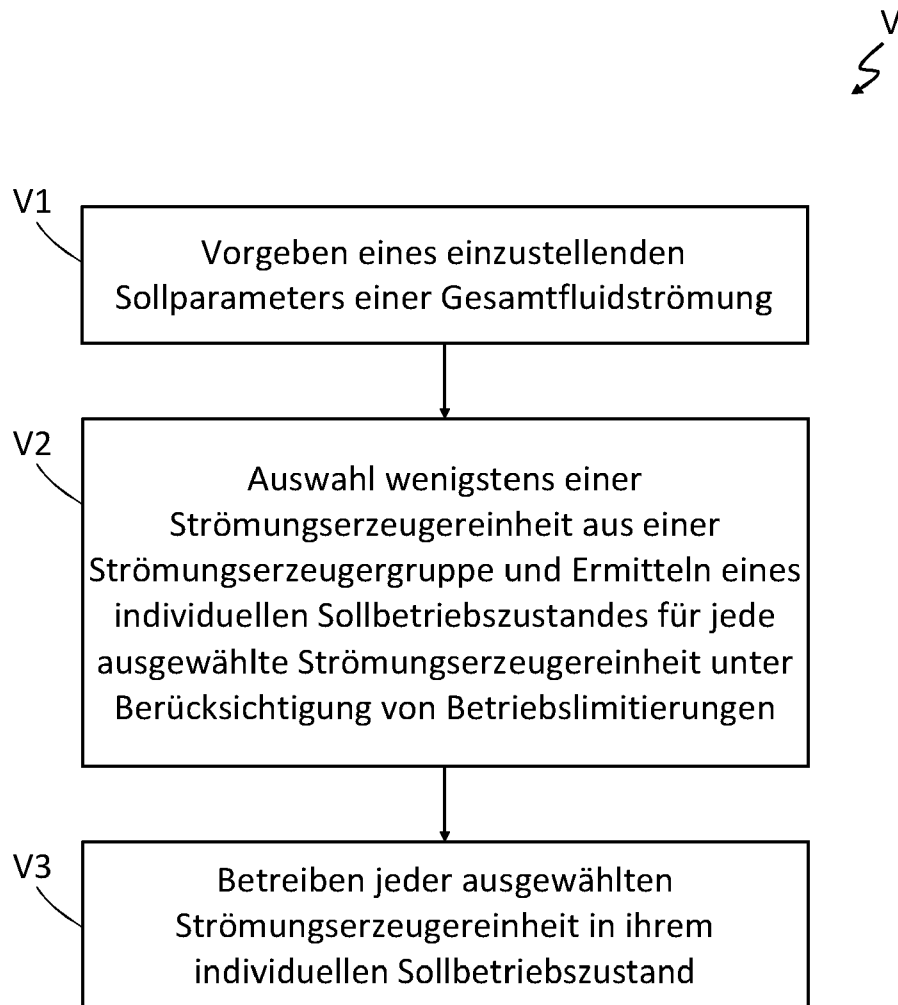


Fig. 3

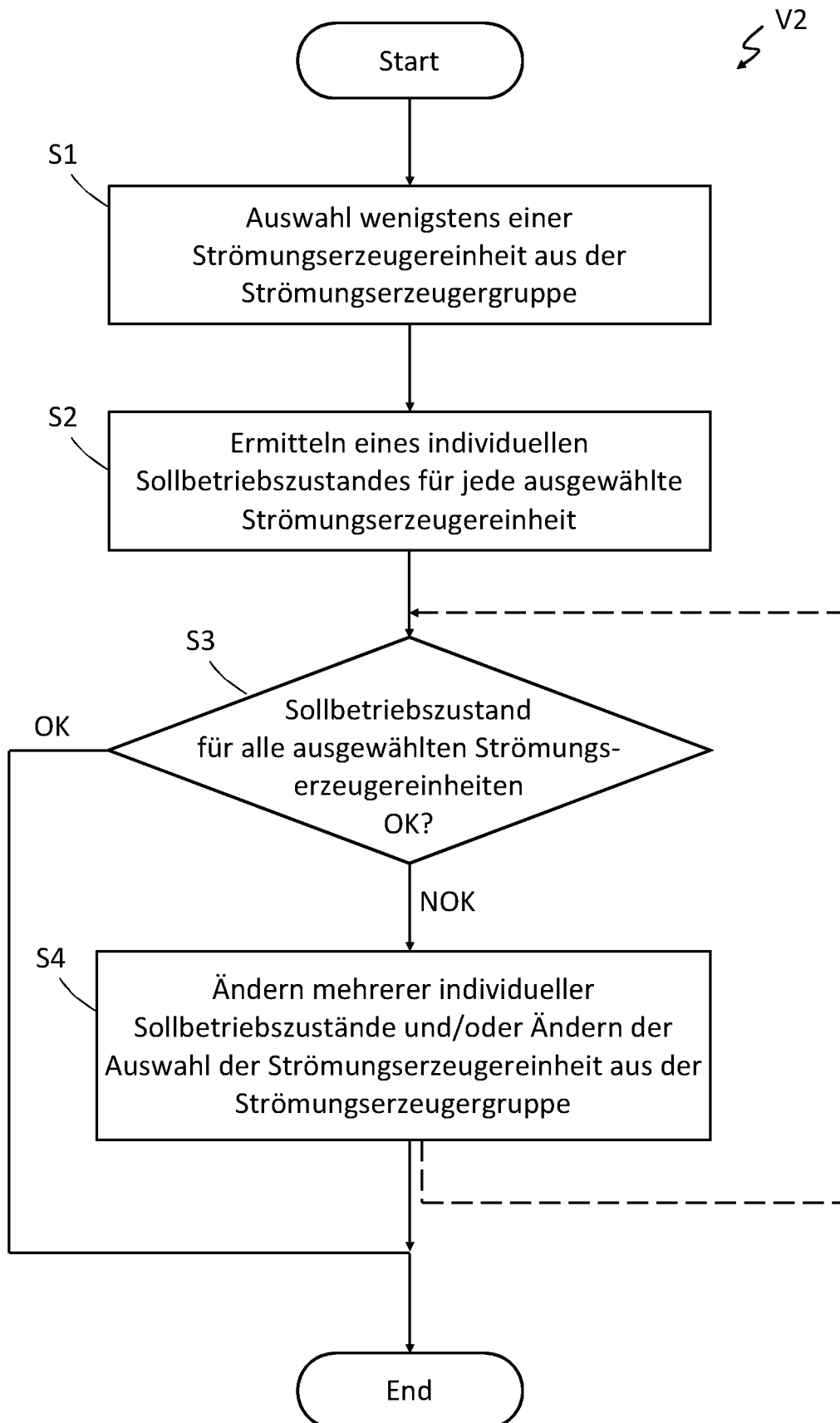


Fig. 4

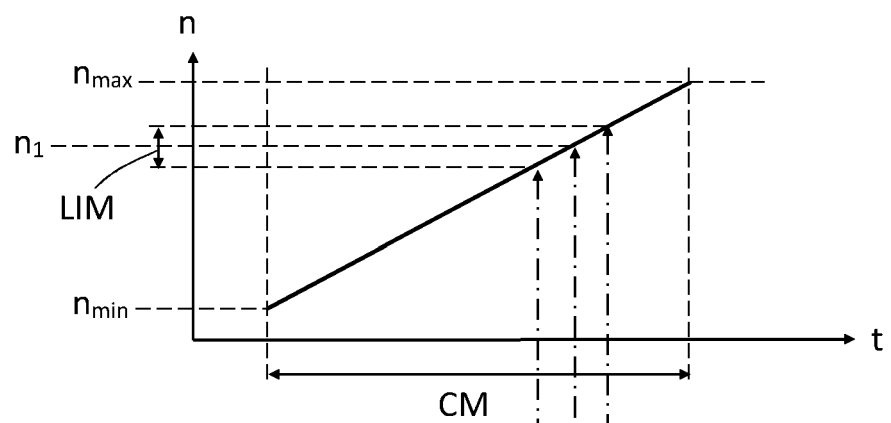


Fig. 5

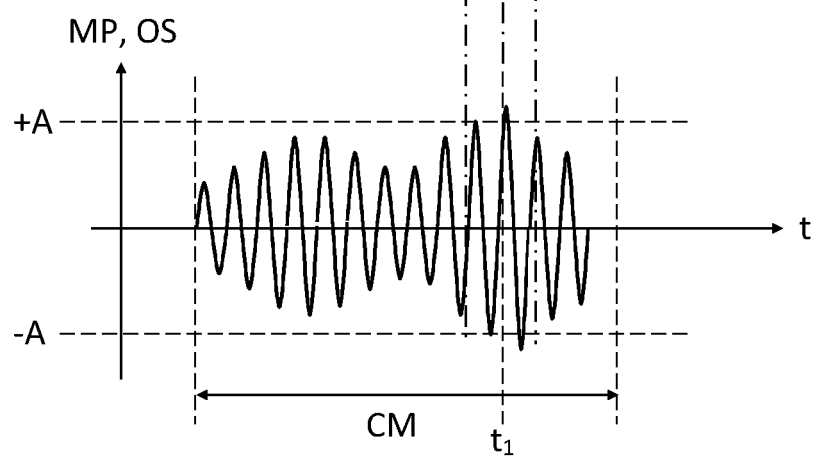


Fig. 6



EUROPÄISCHER RECHERCHENBERICHT

Nummer der Anmeldung

EP 24 21 8097

5

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

EINSCHLÄGIGE DOKUMENTE			
Kategorie	Kennzeichnung des Dokuments mit Angabe, soweit erforderlich, der maßgeblichen Teile	Betrifft Anspruch	KLASSIFIKATION DER ANMELDUNG (IPC)
X	US 2020/191506 A1 (LANDRETH GLEN [US] ET AL) 18. Juni 2020 (2020-06-18) * Absätze [0006], [0021], [0028], [0033], [0034], [0046] - [0057] * * Ansprüche 1, 7 * * Abbildungen 1A, 1B * -----	1-15	INV. F04D25/16 F04D27/00 F04D29/66
X	US 9 188 355 B1 (ALLEN DON [US] ET AL) 17. November 2015 (2015-11-17) * Spalte 4, Zeilen 26-65 * * Spalte 5, Zeilen 15-53 * * Spalte 12, Zeile 12 - Spalte 13, Zeile 9 * * Spalte 15, Zeile 60 - Spalte 17, Zeile 13 * * Spalte 21, Zeilen 3-16 * * Ansprüche 1, 6, 7 * * Abbildungen 1, 10-12 * -----	1-15	
X	CN 115 013 347 A (QINGDAO RONGHE PHOTOELECTRIC TECH CO LTD) 6. September 2022 (2022-09-06) * Absätze [0025], [0061], [0065] * * Abbildung 2 * -----	1-15	RECHERCHIERTE SACHGEBIETE (IPC) F04D
X	CN 113 187 756 A (HENAN AIMU INTELLIGENT EQUIPMENT CO LTD) 30. Juli 2021 (2021-07-30) * Absätze [0003], [0010], [0065] * -----	1-15	
A	CN 114 645 866 A (EIMETT ELECTRICAL APPLIANCE NANGJIANG LTD COMPANY) 21. Juni 2022 (2022-06-21) * Absatz [0028] * -----	1-15	
A	JP 2014 110678 A (FUJITSU GENERAL LTD) 12. Juni 2014 (2014-06-12) * Absätze [0001], [0004], [0010] * -----	1-15	
		- / -	
Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt			
Recherchenort Den Haag		Abschlußdatum der Recherche 29. April 2025	Prüfer De Tobel, David
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	

EPO FORM 1503 03.82 (P04C03)



EUROPÄISCHER RECHERCHENBERICHT

Nummer der Anmeldung

EP 24 21 8097

5

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

2

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	JP 2001 248588 A (ROHM CO LTD) 14. September 2001 (2001-09-14) * Absätze [0018], [0035] * -----	1-15	
			RECHERCHIERTE SACHGEBIETE (IPC)
Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt			
Recherchenort Den Haag		Abschlußdatum der Recherche 29. April 2025	Prüfer De Tobel, David
KATEGORIE DER GENANNTEN DOKUMENTE X : von besonderer Bedeutung allein betrachtet Y : von besonderer Bedeutung in Verbindung mit einer anderen Veröffentlichung derselben Kategorie A : technologischer Hintergrund O : mündliche Offenbarung P : Zwischenliteratur		T : der Erfindung zugrunde liegende Theorien oder Grundsätze E : älteres Patendokument, 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 21 8097

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.

29-04-2025

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
US 2020191506 A1	18-06-2020	AU 2019396605 A1	03-06-2021
		CN 113302445 A	24-08-2021
		EP 3894775 A1	20-10-2021
		ES 2985495 T3	06-11-2024
		US 2020191506 A1	18-06-2020
		WO 2020123963 A1	18-06-2020

US 9188355 B1	17-11-2015	KEINE	

CN 115013347 A	06-09-2022	KEINE	

CN 113187756 A	30-07-2021	KEINE	

CN 114645866 A	21-06-2022	KEINE	

JP 2014110678 A	12-06-2014	JP 5924250 B2	25-05-2016
		JP 2014110678 A	12-06-2014

JP 2001248588 A	14-09-2001	KEINE	

EPO FORM P0461

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

IN DER BESCHREIBUNG AUFGEFÜHRTE DOKUMENTE

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

In der Beschreibung aufgeführte Patentdokumente

- EP 3749864 A1 [0002]