



Europäisches  
Patentamt  
European  
Patent Office  
Office européen  
des brevets



(11)

EP 3 339 569 A1

(12)

## EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG

(43) Veröffentlichungstag:  
27.06.2018 Patentblatt 2018/26

(51) Int Cl.:

E21F 1/00 (2006.01)

E21F 1/04 (2006.01)

E21F 1/08 (2006.01)

G01F 1/40 (2006.01)

(21) Anmeldenummer: 17207822.2

(22) Anmeldetag: 15.12.2017

(84) Benannte Vertragsstaaten:  
**AL AT BE BG CH CY CZ DE DK EE ES FI FR GB  
GR HR HU IE IS IT LI LT LU LV MC MK MT NL NO  
PL PT RO RS SE SI SK SM TR**  
Benannte Erstreckungsstaaten:  
**BA ME**  
Benannte Validierungsstaaten:  
**MA MD TN**

(30) Priorität: 22.12.2016 DE 102016125405

(71) Anmelder: **Korfmann Lufttechnik GmbH**  
**58454 Witten (DE)**

(72) Erfinder:  
• **Papesch, Matthias**  
**58300 Wetter (DE)**  
• **Kegenhoff, Jens**  
**58454 Witten (DE)**

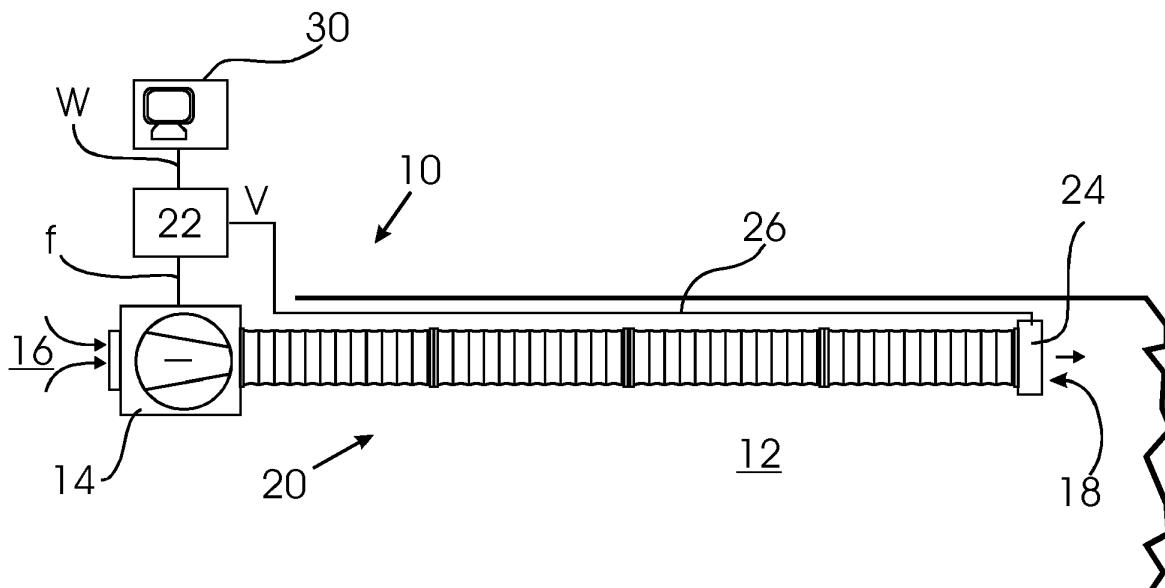
(74) Vertreter: **Kalkoff & Partner**  
**Patentanwälte**  
**Martin-Schmeisser-Weg 3a-3b**  
**44227 Dortmund (DE)**

### (54) VERFAHREN UND VORRICHTUNG ZUR BELÜFTUNG EINES TUNNELBAUWERKS

(57) Die Erfindung betrifft ein Verfahren und eine Vorrichtung zur Belüftung eines Tunnelbauwerks. Eine Belüftungsanlage (10) umfasst einen Ventilator (14), eine an den Ventilator (14) angeschlossene Belüftungsleitung (20) und eine an die Belüftungsleitung (20) angeschlossene Messvorrichtung (24) für einen durch die Belüftungsleitung (20) gelieferten Luftstrom. Ein erwarteter Betriebswert (E) des Ventilators (14) wird unter Berück-

sichtigung mindestens von Parametern des Ventilators (14) und der Belüftungsleitung (20) berechnet. Der Betrieb des Ventilators (14) wird in Abhängigkeit von einem Messwert der Messvorrichtung (24) geregelt und ein realer Betriebswert (W) des Ventilators (14) ermittelt. Der reale Betriebswert (W) wird mit dem erwarteten Betriebswert (E) verglichen und eine Abweichung signalisiert.

Fig. 1



**Beschreibung**

[0001] Die Erfindung betrifft ein Verfahren und eine Vorrichtung zur Belüftung eines Tunnelbauwerks.

5 [0002] Für Tunnelbauwerke, bspw. Verkehrstunnel oder auch Stollen eines Bergwerks, wird eine Belüftung, d. h. Zuführung von Frischluft benötigt. Hierfür werden üblicherweise Belüftungsanlagen vorgesehen, die mindestens einen Ventilator und mindestens eine daran angeschlossene Belüftungsleitung umfassen. Vom Ventilator geförderte Frischluft wird durch die Belüftungsleitung in das Tunnelbauwerk eingebracht.

10 [0003] Bei einigen Belüftungsanlagen wird dabei der Ventilator gemäß einer festen Ansteuerung betrieben, so dass durch die Belüftungsleitung ein im Wesentlichen konstanter Luftstrom geliefert wird. Andere Konzepte sehen verschiedene Regelungen des Betriebs eines Ventilators vor.

15 [0004] Hierfür werden Messwerte des geforderten Luftstroms erfasst. Beispielsweise beschreibt die DE 28 03 830 ein Verfahren zur Messung und Überwachung der Druckverhältnisse sowie der Luftdurchsatzmengen in Luttenleitungen. Statische Druckwerte werden in Öffnungen des Mantels der Luttenleitungen ermittelt. Aus Differenzdruckwerten kann der grundsätzliche Verlauf der Luftdurchsatzmengen über die Länge der Luttenleitung ermittelt werden.

20 [0005] Die WO 00/36275 offenbart eine Belüftung für Tunnelbaustellen, bei denen Detektoren die Luftqualität innerhalb des Tunnels messen. Messsignale werden zu einem Prozessor übermittelt und dort mit Referenzwerten der benötigten Luftqualität verglichen. Aktive Belüftungskomponenten wie regelbare Ventilatoren werden entsprechend der Differenz zwischen dem Referenzwert und dem festgestellten Wert geregelt, um die Luftqualität auf dem benötigten Wert zu halten.

25 [0006] Die US 6,724,917 B1 beschreibt eine Steuervorrichtung für einen Ventilator zur Belüftung eines Tunnels. Die Belüftungsvorrichtung umfasst Sensoren für Kohlenmonoxid und Windgeschwindigkeit sowie einen Bildsensor, mit dem ein Sichtindex ermittelt wird. Eine Regelschleife ist vorgesehen, um ausgehend von dem Sichtindex eine Vorgabe für den Betrieb des Ventilators zu berechnen.

30 [0007] Die DE 1110 894 offenbart ein Verfahren und eine Einrichtung zur Messung von innerhalb einer Sonderbewetterung fließenden Wetterströmen in Luttenleitungen von Bergwerken. In einer Vortriebsstrecke ist ein Luttenstrang vorgesehen, in dessen vorderem Endbereich ein Ventilator und in dessen entgegengesetzten Endbereich eine Messvorrichtung zum Messen der angesaugten Wetter vorgesehen ist. Eine weitere Messvorrichtung ist am Ventilator vorgesehen. Die Messvorrichtungen weisen jeweils Verengungen auf, wobei durch Druckmessungen die Leistung, d. h. die tatsächlich angesaugte Wettermenge festgestellt werden kann.

35 [0008] Für die Auslegung und den Betrieb von Belüftungsanlagen für Tunnelbauwerke ist es maßgeblich, stets zu gewährleisten, dass ausreichend Frischluft geliefert wird, insbesondere für in Tunnels oder Bergwerken arbeitende Menschen. Dabei sollten aber Auslegung und der Betrieb der Belüftungsanlage auch nicht über das jeweils erforderliche Maß hinausgehen. Eine besondere Herausforderung stellt dies dar im Bereich von Tunnelbaustellen, d. h. bei Belüftungsanlagen, die nicht permanent zum unveränderten Dauerbetrieb eingerichtet sind, sondern bei denen sich bspw. durch stetigen Baufortschritt Änderungen ergeben können.

40 [0009] Es kann als Aufgabe angesehen werden, ein Verfahren und eine Vorrichtung zur Belüftung eines Tunnelbauwerks vorzuschlagen, die insbesondere für sich ändernde Anforderungen einen möglichst effizienten Betrieb ermöglichen.

[0010] Diese Aufgabe wird gelöst durch ein Verfahren gemäß Anspruch 1 und eine Vorrichtung gemäß Anspruch 14. Abhängige Ansprüche beziehen sich auf vorteilhafte Ausführungsformen der Erfindung.

45 [0011] Die erfindungsgemäße Vorrichtung und das erfindungsgemäße Verfahren umfassen eine Belüftungsanlage mindestens mit einem Ventilator und einer daran angeschlossenen Belüftungsleitung.

[0012] Der Ventilator kann bspw. außerhalb des Tunnelbauwerks angeordnet sein. Die Verwendung verschiedener Typen von Ventilatoren ist möglich. Der Antrieb des Ventilators ist bevorzugt elektrisch. Von der Bauweise werden axiale Ventilatoren bevorzugt.

50 [0013] Die Belüftungsleitung kann verschiedenste Materialien und Bauweisen umfassen, bspw. Rohrleitungen verschiedener Querschnitte. Die Belüftungsleitung kann mehrere Abschnitte mit unterschiedlichen Eigenschaften aufweisen. Insbesondere für die Anforderungen im Baustellenbereich wird bevorzugt, dass die Belüftungsleitung mindestens einen flexiblen Abschnitt aufweist oder insgesamt flexibel ausgebildet ist, also bspw. verformbar oder längenveränderlich.

[0014] Besonders bevorzugt umfasst mindestens ein Abschnitt der Belüftungsleitung eine flexible Luttenleitung.

55 [0015] Erfindungsgemäß ist an die Belüftungsleitung mindestens eine Messvorrichtung zur Erfassung eines oder mehrerer Werte des durch die Belüftungsleitung gelieferten Luftstroms angeschlossen. Hierfür kommen verschiedenste Typen bekannter Messvorrichtungen in Frage, mit denen bspw. Werte wie Druck, Volumenstrom oder Luftgeschwindigkeit ermittelt werden können. Bevorzugt wird der Volumenstrom direkt erfasst oder ist aus den Werten ableitbar. Messwerte werden bevorzugt als elektrische Signale geliefert. Die Belüftungsleitung kann mehrere Auslässe aufweisen, in bevorzugten Ausführungsformen ist mindestens ein Auslass, bevorzugt der einzige Auslass am Ende der Belüftungsleitung angeordnet. Die Messvorrichtung ist bevorzugt am oder nahe einem Auslass angeordnet, um so den durch den Auslass gelieferten Luftstrom zu messen.

[0016] Erfindungsgemäß wird der Betrieb des Ventilators in Abhängigkeit von mindestens einem mittels der Mess-

vorrichtung ermittelten Messwert geregelt. Hierzu ist der Ventilator variabel ansteuerbar, insbesondere bei elektrisch betriebenen Ventilatoren durch geeignete Vorgabe der elektrischen Versorgungsleistung. Besonders bevorzugt erfolgt die Regelung durch Vorgabe der Frequenz der dem Ventilator zugeführten elektrischen Leistung, bspw. durch Ansteuerung eines Frequenzumrichters.

- 5 [0017] Erfindungsgemäß wird der Ventilator somit entsprechend dem an der Belüftungsleitung ermittelten Messwert geregelt betrieben. Durch die Ansteuerung des Ventilators und die Rückmeldung des Messwerts ist ein geschlossener Regelkreis gebildet. Bevorzugt erfolgt die Ansteuerung des Ventilators dabei so, dass die geregelte Größe auf einen Sollwert eingestellt wird, der bspw. konstant sein kann. Besonders bevorzugt wird als Sollwert ein konstanter Volumenstrom an einem Auslass der Belüftungsleitung.
- 10 [0018] Parallel zur erfindungsgemäßen Regelung wird der sich dabei einstellende Betrieb des Ventilators anhand einer Berechnung bzw. Simulation überprüft.
- 15 [0019] Durch eine geeignete Berechnungseinrichtung wird vor und/oder während des Betriebs ein erwarteter Betriebswert des Ventilators berechnet. In die bevorzugt automatisch ablaufende Berechnung des Betriebswerts fließen mindestens Parameter des Ventilators, Parameter der Belüftungsleitung sowie optional weitere Parameter ein, bspw. Umgebungsparameter.
- 20 [0020] Die Berechnungsmittel können verschieden ausgebildet sein, insbesondere als elektrische Schaltung. Bevorzugt erfolgt die Berechnung in einem entsprechend programmierten Computer, d.h. durch Ausführung eines Berechnungs- bzw. Simulationsprogramms oder entsprechenden Softwaremoduls wie nachfolgend erläutert.
- 25 [0021] Parameter des Ventilators können bspw. in einem zur Berechnung verwendeten Computer vorgespeichert oder durch die Berechnungsmittel über eine Datenverbindung abrufbar sein. Diese Parameter können bspw. Daten zu verschiedenen Betriebspunkten des Ventilators umfassen, z.B. als Funktionen, Kurvenverläufe, Tabellen oder in sonstiger Form, bspw. Daten über die Abhängigkeit von Werten eines durch den Ventilator geförderten Luftstroms von der Ansteuerung, bspw. von der Frequenz. Die Parameter des Ventilators können auch bspw. Daten zur Abhängigkeit eines gelieferten Volumenstroms vom Druck für verschiedene Betriebspunkte, bspw. für verschiedene Frequenzen, umfassen.
- 30 [0022] Zur Belüftungsleitung können ebenfalls mindestens einer oder mehrere der bei der Berechnung verwendeten Parameter vorgespeichert oder über Datenverbindung abrufbar sein. Mögliche Parameter für die Berechnung umfassen bspw. Abmessungen der Belüftungsleitung, bzw. von verschiedenen Abschnitten hiervon, also z. B. Länge und Durchmesser. Weitere Parameter können z. B. Reibwerte oder Leckagewerte sein.
- 35 [0023] Wie nachfolgend im Detail näher erläutert wird, sind bevorzugt zumindest einige der bei der Berechnung verwendeten Parameter der Belüftungsleitung jeweils versehen mit einer Ortsangabe, die Eigenschaften (bspw. Leitungsquerschnitte o. Ä.) jeweils bestimmten Stellen in der Belüftungsleitung zuordnet.
- 40 [0024] Zusätzlich können bei der Berechnung weitere Parameter einfließen, die von der Belüftungsleitung und dem Ventilator unabhängig sind, z. B. Umweltparameter wie aktuelle Luftpumpe, Temperatur, Luftfeuchtigkeit etc.
- 45 [0025] Wie nachfolgend näher erläutert wird, ist es bevorzugt, dass einige der verwendeten Parameter über eine Benutzerschnittstelle eingegeben und gespeichert werden, insbesondere Daten zu Länge und Verlauf der Belüftungsleitung. Einige der bei der Berechnung verwendeten Parameter können auch bspw. durch Messvorrichtungen oder Sensoren ermittelt werden.
- 50 [0026] Bei der Berechnung wird mindestens ein erwarteter Betriebswert des Ventilators ermittelt. Hierbei kann es sich um verschiedene, den Betriebspunkt des Ventilators charakterisierende Werte handeln, bspw. um die Drehzahl. Der Betriebswert kann auch ein Wert der Ansteuerung des Ventilators sein, bspw. die Frequenz, mit der ein elektrisch betriebener Ventilator angesteuert wird. Bevorzugt handelt es sich bei dem berechneten erwarteten Betriebswert um die von dem Ventilator aufgenommene Leistung.
- 55 [0027] Ein oder mehrere bei der Regelung des Betriebs des Ventilators zugrunde gelegte Sollwerte werden bevorzugt ebenfalls bei der Berechnung berücksichtigt, insbesondere ein Vorgabewert für einen an einem Auslass zu erreichenden Volumenstrom.
- [0028] Erfindungsgemäß wird im Betrieb ein realer, aus der obigen Regelung resultierender Betriebswert des Ventilators ermittelt und mit dem erwarteten Betriebswert verglichen. Somit erfolgt eine Überprüfung des sich bei der Echtzeit-Regelung einstellenden Betriebspunktes mit dem anhand von Parametern des Ventilators und der Belüftungsleitung zu erwartenden Betriebspunkt. Stimmen diese - im Rahmen jeweils festzulegender Toleranzen - überein, so kann ein erwartungsgemäßer Betrieb festgestellt und ggf. signalisiert werden.
- [0029] Im Fall von Abweichungen des realen Betriebswerts von dem erwarteten Betriebswert, die über festgelegte Toleranzen hinausgehen, liegt entweder eine Fehlfunktion des Systems vor oder zumindest sind die bei der Berechnung verwendeten Parameter nicht vollständig richtig. Üblicherweise werden Abweichungen durch unerwartete Verluste hervorgerufen, d.h., dass es zu einem zu starken Betrieb des Ventilators kommt, der mit einer erhöhten Leistungsaufnahme einhergeht.
- [0030] Die Abweichung wird erfindungsgemäß signalisiert, bspw. in Form einer optischen oder akustischen Anzeige oder in Form eines elektrischen Signals, das bspw. zur Steuerung oder Informationsübermittlung verwendet werden kann.
- [0031] Dabei wird eine Abweichung in der Regel auf einen Fehlerzustand der Belüftungsanlage hindeuten. Während

dies u. U. auch eine Störung am Ventilator, einer Regeleinrichtung oder der angeschlossenen Messvorrichtung sein kann, wird es sich überwiegend um Fehler bzw. Defekte der Belüftungsleitung handeln, d. h. bspw. um nicht bei der Berechnung berücksichtigte Leckage, geänderte oder falsche Verlegung, Knicke, Engstellen oder zusätzliche, bei der Berechnung nicht berücksichtigte Verbraucher wie bspw. Filter, Schalldämpfer oder Gitter.

5 [0032] Es hat sich erwiesen, dass insbesondere im Baustellenbetrieb derartige Defekte bzw. Abweichungen in der Verlegung der Belüftungsleitung unbemerkt entstehen können, bspw. durch unsachgemäße Handhabung. So kann es insbesondere bei flexiblen Abschnitten der Belüftungsleitung, insbesondere Luttenleitungen, zu Beschädigungen wie Lecks kommen, oder durch Eindrücken der Leitung können Engstellen entstehen. Ebenso ist es möglich, dass durch Mitarbeiter bspw. eine verlegte Luttenleitung bewegt und dabei gebogen oder geknickt wird, um für Arbeiten benötigten Raum zu schaffen.

10 [0033] Aufgrund der Regelung wird zwar trotz derartiger Änderungen bzw. Fehler die gewünschte Belüftung weiter gewährleistet. Allerdings ist hierfür zum Ausgleich von Verlusten ein stärkerer Betrieb des Ventilators notwendig, so dass mehr Energie benötigt wird. Ohne die erfindungsgemäße Überwachung würde dies in der Regel nicht zeitnah bemerkt.

15 [0034] Somit ermöglichen das erfindungsgemäße Verfahren und die erfindungsgemäße Vorrichtung einerseits durch die Regelung die Sicherstellung des geordneten, störungsfreien Betriebs mit Bereitstellung der benötigten Belüftung auch im Fall von auftretenden Defekten oder unsachgemäßem Umgang mit der Belüftungsleitung. Gleichzeitig wird aber durch die Signalisierung eine ständige Überprüfung des Betriebs ermöglicht.

20 [0035] So können insbesondere Defekte oder Änderungen an der Belüftungsleitung nicht nur festgestellt werden, sondern es kann bei Signalisierung des Grads der Abweichung bevorzugt auch deutlich werden, welche Auswirkungen die Abweichung auf den energieeffizienten Betrieb des Gesamtsystems hat. Auf der Basis der Signalisierung kann so eine Entscheidung herbeigeführt werden, ob ggf. Defekte oder durchgeführte Änderungen in der Verlegung der Belüftungsleitung repariert bzw. korrigiert werden sollten. So kann ein besonders energieeffizienter Betrieb sinnvoll unterstützt werden.

25 [0036] Aufgrund der automatischen Durchführung der Berechnung und des Vergleichs ist zur Feststellung entsprechender Probleme nicht die ständige Anwesenheit von fachkundigem Personal notwendig, sondern dieses kann ggf. bei Signalisierung einer Abweichung verständigt werden.

30 [0037] Das erfindungsgemäße Verfahren und die erfindungsgemäße Vorrichtung können zur Belüftung jeder Form von unterirdischen Bauwerken verwendet werden, die hier allgemein als Tunnelbauwerke bezeichnet sind. Insbesondere eignen sie sich für nicht durchgängige Tunnelbauwerke, d.h. Tunnel mit einem abgeschlossenen Ende, bspw. während des Tunnelbaus. Wie bereits erläutert ergeben sich dabei zwar besondere Vorteile bei temporär erstellter und oft geänderter Konfiguration der Belüftungsleitung, dennoch können auch zum permanenten Betrieb eingerichtete Belüftungsanlagen damit sinnvoll auf eventuelle Defekte überwacht werden.

35 [0038] Das Verfahren und die Vorrichtung können dabei besonders flexibel ausgestaltet sein, so dass jederzeit die Berücksichtigung von Änderungen, bspw. der Belüftungsanlage möglich ist. Gemäß einer Weiterbildung der Erfindung können bspw. Änderungen der Belüftungsleitung vorgenommen werden, also z. B. eine Änderung des Verlaufs der Leitung, eine Verlängerung der Leitung oder auch eine Hinzufügung von neuen Leitungsabschnitten oder von Verbrauchern. Gemäß der Weiterbildung erfolgt dann eine Neuberechnung des erwarteten Betriebswerts basierend auf Parametern der geänderten Belüftungsleitung. Diese können bspw. über eine Benutzerschnittstelle eingegeben und ggf. gespeichert werden. Im Folgenden kann dann der Betrieb der Belüftungsanlage mit der geänderten Belüftungsleitung erfolgen und überwacht werden.

40 [0039] Für die Berechnung des jeweils erwarteten Betriebswertes des Ventilators sind verschiedene Berechnungswege möglich. Bevorzugt erfolgt die Berechnung so, dass von einem oder mehreren Luftstrom-Parametern an einem Auslass der Belüftungsleitung ausgegangen wird. Die Luftstrom-Parameter können insbesondere den Volumenstrom, den statischen Druck und/oder den dynamischen Druck umfassen. Im weiteren Gang der Berechnung werden dann bevorzugt unter Berücksichtigung von Eigenschaften der Belüftungsleitung ein oder mehrere Luftstrom-Parameter am Eingang der Belüftungsleitung, d. h. am Anschluss des Ventilators ermittelt. So kann der sich voraussichtlich einstellende Betriebspunkt des Ventilators ermittelt werden.

45 [0040] Besonders bevorzugt kann die Berechnung durch ein iteratives Berechnungsverfahren erfolgen, bei dem ausgehend von einem oder mehreren Luftstrom-Parametern an einem Auslass der Belüftungsleitung für eine Mehrzahl von Stellen entlang der Belüftungsleitung und schließlich für den Eingang der Belüftungsleitung jeweils lokale Luftstrom-Parameter ermittelt werden. Dabei kann schrittweise vom Auslass zum Eingang der Belüftungsleitung vorgegangen werden, bspw. in einer festen oder variablen Schrittweite entlang der Länge der Belüftungsleitung, so dass z. B. für jeden Meter der Strecke iterativ, ausgehend vom Auslass, die jeweils lokalen Parameter des Luftstroms, z. B. Druck und/oder Volumenstrom, berechnet werden.

55 [0041] Generell können in die Berechnung Parameter wie Leckage-Werte und Reibwerte der Belüftungsleitung sowie Abmessungen, also bspw. Länge und/oder Durchmesser der Belüftungsleitung einfließen. Weiter können bei der Berechnung Informationen zum Verlauf der Belüftungsleitung einfließen, bspw. über Verbraucher, Verengungen, Rich-

tungsänderungen und/oder Seitenauslässe der Belüftungsleitung. Diese Informationen enthalten bevorzugt Angaben zur jeweiligen Position innerhalb der Belüftungsleitung. Bei der bevorzugten iterativen Berechnung können solche Parameter jeweils für jeden der iterativ nacheinander zu berechnenden Schritte bzw. Abschnitte verwendet werden. So können sehr unterschiedliche Leitungsverläufe mit ausreichender Genauigkeit einfach und automatisch berechnet werden.

5 [0042] Nachfolgend werden Ausführungsbeispiele anhand der Zeichnungen näher beschrieben. Dabei zeigen:

- Fig. 1 in schematischer Ansicht eine Tunnelbaustelle mit einer Belüftungsanlage mit einer beispielhaft ideal verlegten Belüftungsleitung;
- 10 Fig. 2 in schematischer Ansicht eine alternative Belüftungsleitung für die Belüftungsanlage aus Fig. 1;
- Fig. 3 in schematischer Ansicht eine weitere Belüftungsleitung;
- Fig. 4 Schematisch ein Kennlinienfeld eines Ventilators und
- 15 Fig. 5 in schematischer Ansicht Bestandteile einer Regelvorrichtung und einer Überwachungsvorrichtung für die Belüftungsanlage aus Fig. 1.

[0043] In Figur 1 ist schematisch eine Belüftungsanlage 10 für die Baustelle eines Tunnels 12 dargestellt. Außerhalb des Tunnels 12 befindet sich ein Ventilator 14, der Frischluft 16 ansaugt und durch eine Belüftungsleitung 20 in den Tunnel 12 einbringt. Die geförderte Luft wird an einen Auslass 18 am Ende der Belüftungsleitung 20 in das Innere des Tunnels 12 abgegeben.

20 [0044] Die Belüftungsleitung 20 ist dabei eine Luttenleitung, aufgebaut aus einzelnen miteinander verbundenen flexiblen Luttelementen. Die Luttelemente weisen eine Wandung aus mit Kunststoff beschichtetem Gewebe auf, das mit einer Verstärkungsspirale armiert ist. Aufeinanderfolgende Luttelemente sind mit Kupplungen aneinander angeschlossen und zu einem Luttenstrang verbunden. Die Luttenleitung kann aufeinander gefaltet oder auseinandergenommen werden, so dass die Luttelemente in ihrer Länge veränderbar sind. So kann die Leitung 20 während des konstanten Vortriebs beim Bau des Tunnels 12 jeweils in der Länge angepasst werden, so dass Frischluft stets bis in den Bereich des Tunnelendes geliefert werden kann.

25 [0045] Von dem am Auslass 18 abgegebenen Luftstrom werden durch eine Messvorrichtung 24 Messwerte erfasst. Die so erfassten Messwerte werden als elektrisches Signal über eine Signalleitung 26 einer Regelvorrichtung 22 zugeführt.

30 [0046] Die Regelvorrichtung 22 umfasst in der bevorzugten Ausführung eine speicherprogrammierbare Steuerung (SPS), die das Messsignal verarbeitet, sowie einen Frequenzumrichter (nicht dargestellt), mit dem eine Frequenz für die elektrische Versorgung und den Betrieb des Ventilators 14 vorgegeben werden kann.

35 [0047] In der bevorzugten Ausführung ist der erfasste Messwert der Volumenstrom am Auslass 18. In der SPS läuft ein Regelprogramm ab, mit dem der durch die Messvorrichtung 24 gemeldete Volumenstrom auf einen konstanten Vorgabewert geregelt wird. Hierfür wird das über die Leitung 26 empfangene Messsignal ausgewertet und entsprechend einem Regelalgorithmus eine geeignete Ansteuerung des Ventilators 14 durch den Frequenzumrichter vorgegeben, wobei die Stellgröße die Frequenz ist.

40 [0048] Figur 4 zeigt beispielhaft ein Kennlinienfeld für den Ventilator 14. Dort sind für verschiedene beispielhaft angegebene Frequenzen  $f_1$ ,  $f_2$ ,  $f_3$  Abhängigkeiten des erreichbaren Drucks  $p$  von gelieferten Volumenstrom  $V$  gezeigt. Bei konstantem Betrieb mit einer festen Frequenz, hier bspw.  $f_2$ , ergibt sich durch die angeschlossene Last, hier die Belüftungsleitung 20, ein Arbeitspunkt A mit einem Ausgangsdruck  $p_A$  und einem vom Ventilator in die Belüftungsleitung 20 gelieferten Volumenstrom  $V_A$ . Durch eine Erhöhung der Frequenz, bspw. auf die Frequenz  $f_1$ , können höhere Drücke bzw. Volumenströme erreicht werden.

45 [0049] In der derzeit bevorzugten Ausführung wird ein PI-Regelalgorithmus verwendet, um eine Ansteuerung des Ventilators 14 jeweils mit einer solchen Frequenz  $f$  zu bewirken, dass der durch die Messvorrichtung 24 erfasste Volumenstrom  $V$  am Auslass 18 auf einen konstanten Vorgabe- bzw. Sollwert geregelt wird. Um dabei Änderungen in der Ansteuerung des Ventilators 14 möglichst gering zu halten und um zusätzlich auch der Trägheit des Systems Rechnung zu tragen, die durch die Länge der Belüftungsleitung 20 vorgegeben ist, wird die jeweilige Ansteuerung des Ventilators 14 beim Erreichen des vorgegebenen gewünschten Volumenstroms am Auslass 18 konstant gehalten, wenn der vorgegebene Sollwert für den Volumenstrom mit einer Abweichung unterhalb einer Toleranzschwelle von bspw. 10 % über einen Stabilitätszeitraum von bspw. 60 Sekunden erreicht wurde. Eine Nachregelung wird ausgelöst, wenn entweder ein neuer Vorgabewert für den gewünschten Volumenstrom eingegeben wird oder der gemessene Wert für den realen Volumenstrom am Auslass 18 länger als der vorgegebene Stabilitätszeitraum um mehr als die vorgegebene Toleranzschwelle abweicht.

50 [0050] Auf diese Weise kann sichergestellt werden, dass durch das Belüftungssystem 10 stets der vorgegebene Sollwert des Volumenstroms an Frischluft in den Tunnel 12 eingebracht wird.

55 [0051] Während die Belüftungsleitung 20 in Figur 1 als eine ideal gerade verlegte Belüftungsleitung dargestellt ist, kann es bei realen Belüftungsanlagen, insbesondere unter Baustellenbedingungen, zu Änderungen oder Defekten an der Belüftungsleitung 20 kommen. Eine erste mögliche Änderung wäre bspw. die Verlängerung der Belüftungsleitung

20, entweder indem ein neues Luttensegment angesetzt wird oder indem ein bestehendes Luttensegment flexibel in der Länge verändert wird. In Figur 2 sind beispielhaft weitere Änderungen bzw. mögliche Defekte dargestellt. So kann bspw. durch Eindrücken oder Knicken eine Engstelle 28a in einen flexiblen Abschnitt der Belüftungsleitung 20 entstehen. Weiter können Abschnitte der Belüftungsleitung 20 von der idealen geraden Verlegung abweichen und bspw. Bögen 28b bilden. Schließlich sind verschiedenste Defekte wie insbesondere Lecks 28c an Stellen entlang der Belüftungsleitung 20 möglich.

**[0052]** Die genannten Änderungen bzw. Defekte der Belüftungsleitung 20 haben einen vergrößerten Luftwiderstand zur Folge. Bei umgeändertem Betrieb des Ventilators 14 würde sich so der Volumenstrom am Auslass 18 verringern. Durch den geschlossenen Regelkreis bewirkt die Regelvorrichtung 22 eine Nachregelung, d. h. Frequenzerhöhung am Ventilator 14, so dass schließlich am Auslass 18 doch der voreingestellte Sollwert für den gewünschten Volumenstrom V erreicht wird.

**[0053]** Allerdings führt die erforderliche Nachregelung, d. h. Frequenzerhöhung am Ventilator, zu einer erhöhten Leistungsaufnahme. Dies wird durch die Überwachungsvorrichtung 30 überwacht.

**[0054]** Figur 5 zeigt den logischen Aufbau der Überwachungsvorrichtung 30. Diese umfasst - schematisch dargestellt - eine Berechnungseinheit 32, hiermit verbundene Speicher 34a, 34b, eine Vergleichseinheit 36 und eine Anzeigeeinheit 38. Dabei ist die Unterteilung zwischen den jeweiligen Einheiten logisch/organisatorisch zu verstehen. In der bevorzugten konkreten Realisierung handelt es sich um einen Computer üblicher Bauweise, d.h. insbesondere mit einer Zentraleinheit zur Ausführung eines Programms, flüchtigem und nichtflüchtigem Speicher, sowie mit Ein- /Ausbangeschnittstellen. Die nachfolgend beschriebene Funktionalität wird dabei durch geeignete Software bereitgestellt.

**[0055]** Im Speicher 34a sind Kenndaten zum Betrieb des angeschlossenen Ventilators 14 gespeichert, insbesondere das betreffende Kennlinienfeld, wie es symbolisch in Figur 4 dargestellt ist. Dabei sind die maßgeblichen Kurven durch Tabellenwerte wiedergegeben, wobei Zwischenwerte durch Interpolation berechnet werden.

**[0056]** In Speicher 34b sind Informationen über die Belüftungsleitung 20 abgespeichert. Dies umfasst die Länge L der Leitung 20 sowie Leitungsparameter wie mittlere Leckageverluste (Leckagewert f für die unbeschädigte Leitung), Leitungsdurchmesser D, Reibungskoeffizient  $\lambda$ , etc.. Sofern diese Werte konstant für alle Abschnitte der Leitung 20 gelten, reicht die jeweils einmalige Speicherung der Werte. Umfasst die Leitung 20 verschiedene Abschnitte, bspw. mit unterschiedlichem Material oder unterschiedlichen Abmessungen, so ist in Speicher 34b jeweils zusätzlich abgespeichert, in welchem der Abschnitte welche Werte gelten.

**[0057]** Schließlich umfassen die in Speicher 34b gespeicherten Informationen über die Belüftungsleitung 20 eventuelle Verbraucher innerhalb der Leitung, bspw. Filter, Gitter, aber auch Bögen, Engstellen etc. Änderungen und sogar kleinere Defekte der in Figur 2 gezeigten Art können z.T. durchaus in Prinzip bekannt sein und mindestens temporär in Kauf genommen werden. Bspw. kann im Baustellenbetrieb eine kurzfristige Verlegung der Luttenleitung 20 in einen Bogen 28b sinnvoll sein, um ein Hindernis zu umgehen, oder eine Verengung 28a kann zumindest temporär hingenommen werden, solange kein repariertes Material zur Verfügung steht.

**[0058]** Sämtliche dieser Informationen über die Verlegung der Belüftungsleitung 20 werden über eine Benutzerschnittstelle 40 eingegeben und im Speicher 34b gespeichert. In jedem Fall der Änderung der Verlegung werden die abgespeicherten Informationen aktualisiert.

**[0059]** Ausgehend von diesen gespeicherten Informationen berechnet die Berechnungseinheit 32 den erwarteten Betrieb des Ventilators voraus und ermittelt einen erwarteten Betriebswert E. In der derzeit bevorzugten Ausführung handelt es sich bei den erwarteten Betriebswert E um die prognostizierte elektrische Leistungsaufnahme des Ventilators. Details zur Durchführung der Berechnung werden weiter untenstehend erläutert.

**[0060]** Im realen Betrieb des Belüftungsanlage 10 mit der oben erläuterten Regelung wird ein realer Betriebswert der Ventilators 14 ermitteln, wobei es sich um dieselbe Größe handelt wie der erwartete Betriebswert, nämlich im bevorzugten Beispiel die elektrische Leistungsaufnahme W. Diese kann entweder gemessen oder durch die SPS 22 oder die Überwachungsvorrichtung 30 anhand von bekannten Kennlinien des Ventilators 14 aus den Betriebsdaten, bspw. der Drehzahl, Betriebsfrequenz f oder zusätzlichen Daten des Arbeitspunkts A, rechnerisch ermittelt werden.

**[0061]** Der reale Betriebswert der elektrischen Leistungsaufnahme W wird in der Vergleichseinheit 36 mit dem erwarteten Betriebswert der elektrischen Leistungsaufnahme E verglichen. Das Ergebnis des Vergleiches wird durch die Anzeigeeinrichtung 38 ausgegeben.

**[0062]** Dabei zeigt in der derzeit bevorzugten Ausführung die Anzeigeeinrichtung 38 den Grad der Abweichung zwischen der realen Leistungsaufnahme W und der erwarteten Leistungsaufnahme E, bspw. in Prozent, als Wirkungsgrad. Der Wirkungsgrad kann dabei intervallweise verschieden signalisiert werden, bspw. grün bei hohem Wirkungsgrad (z.B. 100%-95%), gelb bei mittlerem Wirkungsgrad (z.B. unter 95% - 85%) und rot bei geringem Wirkungsgrad (z.B. unter 85%).

**[0063]** Auf diese Weise wird stets angezeigt, wie sich der aktuelle Betrieb der Belüftungsanlage 10 gemäß den eingegebenen Parametern hinsichtlich des Wirkungsgrades vom Idealzustand unterscheidet. Eine Verschlechterung des Wirkungsgrads, die durch Verluste hervorgerufen wird, die durch unbekannte, d.h. nicht in den gespeicherten Informationen enthaltene Änderungen oder Defekte entstehen, wird so nicht nur generell angezeigt, sondern kann auch quantifiziert werden.

[0064] So wird deutlich gemacht, welche Einsparpotentiale für den Betreiber der Belüftungsanlage 10 bestehen. Wird ein schlechter Wirkungsgrad angezeigt, sollte der Betreiber die Anlage und insbesondere die Belüftungsleitung 20 überprüfen und verbessern, um eine energieeffizientere Belüftung zu ermöglichen. Dabei sollten insbesondere eventuelle Beschädigungen oder nicht tatsächlich benötigte Änderungen wie Knicke, Bögen oder auch zusätzliche Verbraucher ermittelt werden, die zu vermeidbaren Verlusten führen.

[0065] Die Berechnung innerhalb der Berechnungseinheit 32 kann dabei unterschiedlich erfolgen, je nach der gewünschten Genauigkeit und dem vertretbaren Aufwand hierfür. In der derzeit bevorzugten Ausführungsform wird zunächst der benötigte Arbeitspunkt des Ventilators 14 durch ein iteratives Berechnungsverfahren unter Verwendung der gespeicherten Parameter der Belüftungsleitung 20 ermittelt. Dabei wird ausgehend vom Auslass 18 schrittweise zum Eingang der Belüftungsleitung 20 zurückgerechnet, wobei für jeden Punkt der Berechnung einerseits lokale Parameter der Belüftungsleitung 20 und andererseits Umgebungsparameter berücksichtigt werden. Hiermit werden für jeden Punkt Parameter des Luftstroms berechnet. Ausgehend von den so ermittelten Luftstromparametern am Einlass der Belüftungsleitung, d.h. am Anschluss des Ventilators 14, wird aus den gespeicherten Parametern des Ventilators 14 der Arbeitspunkt A ermittelt, so dass die zu erwartende Ansteuerung, nämlich die am Frequenzumrichter einzustellende Frequenz  $f$  sowie die dann resultierende erwartete elektrische Leistungsaufnahme  $E$  abgeleitet werden kann.

[0066] Bei der Berechnung der Luftstrom-Parameter innerhalb der Belüftungsleitung werden im bevorzugten Beispiel als lokale Parameter der Leitung der Reibungskoeffizient  $\lambda$ , ein Leckagewert  $f^*$ , der Durchmesser  $D$  der Leitung sowie als Umgebungsparameter die Dichte  $\rho$  der Luft bei der Berechnung verwendet.

[0067] Der Leckagewert  $f$  ist ein Maß für die Dichtigkeit des jeweiligen Leitungsabschnitts, bspw. Luttenleitung. Der Wert kann bspw. berechnet oder experimentell für die jeweils verwendete Leitung bestimmt werden.

[0068] Der Reibungskoeffizient  $\lambda$  ist von der Beschaffenheit der Leitung, insbesondere ihrer Oberfläche, der Undichtigkeit und den Strömungsverhältnissen abhängig. Auch dieser Wert kann bspw. experimentell für die jeweils verwendete Leitung bestimmt werden. Tabelliert ist für viele Leitungstypen der Reibungskoeffizient  $\lambda$  in Abhängigkeit von der Reynoldszahl  $Re$ , mit der die Strömungsverhältnisse in der Leitung charakterisiert werden können.

[0069] Als Luftstrom-Parameter werden statischer Druck  $p_{\text{statisch}}$  und Luftgeschwindigkeit  $U$  für jeden betrachteten Punkt der Leitung lokal berechnet.

[0070] Ausgangspunkt der Berechnung ist der Sollwert des Luftvolumenstroms  $V$  am Auslass 18 der Belüftungsleitung 20.

[0071] Iterativ werden jeweils aus den Luftstrom-Parametern des vorherigen Schritts, den lokalen Parametern der Leitung und den Umweltparametern die Luftstrom-Parameter des aktuellen Schritts berechnet gemäß der folgenden Formeln

$$(1) \quad p_{\text{statisch}}(x_{\text{aktuell}}) = \lambda * (1/D) * \rho / 2 * U(x_{\text{vorheriger Schritt}})^2 + p_{\text{statisch}}(x_{\text{vorheriger Schritt}}) + p_{\text{zusätzlich}}(x_{\text{aktuell}})$$

und

$$(2) \quad U(x_{\text{aktuell}}) = 4 * f^* / D * \sqrt{(p_{\text{statisch}}(x_{\text{aktuell}}) * 2 / \rho) + U(x_{\text{vorheriger Schritt}})}.$$

[0072] Der Wert  $U(x_{\text{vorheriger Schritt}})$  bezeichnet dabei die Strömungsgeschwindigkeit des vorherigen Schritts,  $p_{\text{statisch}}(x_{\text{vorheriger Schritt}})$  bezeichnet die Druckerhöhung gegenüber dem vorherigen Schritt aufgrund der Verhältnisse in der Leitung.

[0073] Eventuelle gespeicherte Verbraucher innerhalb des aktuell berechneten Leitungsabschnitts werden durch den Term  $p_{\text{zusätzlich}}(x_{\text{aktuell}})$  als zusätzliche Druckerhöhung gegenüber dem zuletzt berechneten Schritt berücksichtigt. Derartige Verbraucher können bspw. Querschnittsänderungen innerhalb der Leitung, Richtungsänderungen oder im Luftstrom angeordnete Hindernisse wie Schalldämpfer, Schutzgitter o.Ä. sein. Für jede Art von Verbrauchern, die bei der Berechnung berücksichtigt werden sollen, sind einerseits Angaben zur Anordnung innerhalb der Leitung und andererseits Parameter für den Einfluss der Verbraucher auf den Luftstrom im Speicher 34b gespeichert, so genannte Zeta-Werte, aus denen unter Verwendung der für den jeweiligen Ort ermittelten Luftstrom-Parameter der jeweilige Term  $p_{\text{zusätzlich}}(x_{\text{aktuell}})$  berechnet werden kann. Die Zeta-Werte sind für verschiedene Arten von Verbrauchen tabelliert oder können experimentell bestimmt werden.

[0074] Als Schrittweite kann bspw. jeweils 1 Meter verwendet werden. Beispielsweise für die in Fig. 3 gezeigte Belüftungsleitung 20 werden so ausgehend vom Sollwert des Volumenstroms am Auslass 18 schrittweise für jeden Meter bis zum Eingang die Luftstrom-Parameter  $U$ ,  $p_{\text{statisch}}$  berechnet. Da sich im Beispiel von Fig. 3 die Parameter Durchmesser

D, Leckagewert  $f$  und Reibkoeffizient  $\lambda$  der Leitung nicht ändern, können hier jeweils konstante Werte verwendet werden. Im Fall einer Leitung mit verschiedenen Abschnitten wäre für jeden Schritt der jeweils lokal geltende Wert zu verwenden. [0075] An der in Fig. 3 beispielhaft gekennzeichneten Stelle L1 befindet sich eine Biegung der Leitung 20, mit der ein Hindernis umgangen wird. Die Parameter dieser Biegung an der Stelle L1, bspw. der Biegungsradius, können ebenfalls über die Benutzerschnittstelle 40 eingegeben und somit die Biegung als Verbraucher durch  $p_{\text{zusätzlich}}$  (L1) bei der Berechnung berücksichtigt werden.

[0076] In Versuchen hat sich gezeigt, dass mit dieser schrittweisen Berechnung eine relativ genaue Simulation der Verhältnisse in der Belüftungsleitung 20 möglich ist und somit unter Berücksichtigung des gespeicherten Kennlinienfelds der notwendige Betriebspunkt A des Ventilators 14 am Eingang der Belüftungsleitung 20 vorausberechnet werden kann. So ist eine gute Vorhersage von Betriebswerten des Ventilators, insbesondere der erwarteten elektrischen Leistungsaufnahme E möglich.

[0077] Während vorstehend bevorzugte Ausführungsformen dargestellt wurden, ist die Erfindung nicht auf diese Ausführungen beschränkt, sondern es sind vielfache Abwandlungen, Ergänzungen und zusätzliche Funktionen möglich.

[0078] Insbesondere kann das beschriebene iterative Simulationsverfahren anders ablaufen, bspw. mit gegenüber der beispielhaft genannten Schrittweite von 1 Meter mit anderer Schrittweite oder unter Berücksichtigung von weniger, anderen oder von mehr Parametern. Auch der Einsatz von völlig anderen Simulationsverfahren zur Ermittlung des erwarteten Betriebswerts ist möglich.

[0079] Weiter erlaubt der Einsatz eines mit der Regelvorrichtung (SPS) 22 verbundenen Computers der Überwachungsvorrichtung 30 beispielsweise auch eine Dokumentationsfunktion, bei der sämtliche Messwerte über die gesamte Betriebsdauer gespeichert und archiviert werden. So kann bspw. auch im Nachhinein dokumentiert werden, dass bzw. ob am Ausgang der Luttenleitung 20 durchgängig der benötigte Volumenstrom V geliefert wurde.

[0080] Sinnvoll ist auch eine externe Datenschnittstelle für die Überwachungsvorrichtung 30, bspw. als digitaler Netzwerk-Anschluss, bevorzugt als Internet-Anschluss. So können sämtliche Daten zum Betriebszustand jederzeit von Ferne abrufbar sein, insbesondere der aktuelle Wirkungsgrad. Über die externe Datenschnittstelle ist von Ferne eine Überwachung oder auch Steuerung möglich. Ebenso können Daten auch aktiv von der Überwachungsvorrichtung 30 an entfernte Geräte übertragen werden, bspw. ein Alarm, wenn ein überwachter Parameter, z.B. der Wirkungsgrad, eine vorgegebene Schwelle unterschreitet.

## 30 Patentansprüche

### 1. Verfahren zur Belüftung eines Tunnelbauwerks, umfassend

- Bereitstellung einer Belüftungsanlage (10), mindestens umfassend einen Ventilator (14), eine an den Ventilator (14) angeschlossene Belüftungsleitung (20) und eine an die Belüftungsleitung (20) angeschlossene Messvorrichtung (24) für einen durch die Belüftungsleitung (20) gelieferten Luftstrom,
- Regelung des Betriebs des Ventilators (14) in Abhängigkeit von einem Messwert der Messvorrichtung (24),
- Berechnung mindestens eines erwarteten Betriebswerts (E) des Ventilators (14) unter Berücksichtigung mindestens von Parametern des Ventilators (14) und der Belüftungsleitung (20),
- Ermittlung eines realen Betriebswerts (W) des Ventilators (14),
- Vergleich des realen Betriebswerts (W) mit dem erwarteten Betriebswert (E) und Signalisierung einer Abweichung.

### 2. Verfahren nach Anspruch 1, bei dem

- die Belüftungsleitung (20) mindestens einen flexiblen Abschnitt aufweist.

### 3. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, bei dem

- eine Änderung der Belüftungsleitung (20) vorgenommen wird,
- und eine Neuberechnung des erwarteten Betriebswerts (E) basierend auf Parametern der geänderten Belüftungsleitung (20) vorgenommen wird.

### 4. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, bei dem

- der Betriebswert (E, W) die vom Ventilator aufgenommene Leistung ist.

### 5. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, bei dem

- die Messvorrichtung (24) am Auslass (18) der Belüftungsleitung (20) vorgesehen ist.

6. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, bei dem

5 - die Messvorrichtung (24) Messwerte für den Volumenstrom (V) des durch die Belüftungsleitung (20) gelieferten Luftstroms ermittelt.

7. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, bei dem

10 - die Regelung des Betriebs des Ventilators (14) so erfolgt, dass der Messwert mindestens im Wesentlichen einem konstanten Sollwert entspricht.

8. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, bei dem

15 - bei der Berechnung des erwarteten Betriebswerts (E) ausgehend von einem oder mehreren Luftstrom-Parametern am Auslass (18) der Belüftungsleitung (20) unter Berücksichtigung von Eigenschaften der Belüftungsleitung (20) ein oder mehrere Luftstrom-Parameter am Eingang der Belüftungsleitung (20) ermittelt werden.

9. Verfahren nach Anspruch 8, bei dem

20 - die Berechnung durch ein iteratives Berechnungsverfahren erfolgt, bei dem ausgehend von einem oder mehreren Luftstrom-Parametern des Luftstroms am Auslass der Belüftungsleitung (20) für eine Mehrzahl von Stellen entlang der Belüftungsleitung (20) und schließlich für den Eingang der Belüftungsleitung (20) lokale Luftstrom-Parameter ermittelt werden.

25 10. Verfahren nach Anspruch 8 oder 9, bei dem

- bei der Berechnung ein Leckage-Wert der Belüftungsleitung (20) berücksichtigt wird.

30 11. Verfahren nach einem der Ansprüche 8 bis 10, bei dem

- bei der Berechnung Informationen über die Länge (L) und/oder den Durchmesser (D) der Belüftungsleitung (20) berücksichtigt werden.

35 12. Verfahren nach einem der Ansprüche 8 bis 11, bei dem

- bei der Berechnung Informationen über Verbraucher, Verengungen, Richtungsänderungen und/oder Seitenauslässe der Belüftungsleitung (20) sowie Angaben zur jeweiligen Position (L1) hiervon innerhalb der Belüftungsleitung (20) berücksichtigt werden.

40 13. Verfahren nach einem der Ansprüche 8 bis 12, bei dem

- die bei der Berechnung berücksichtigten Parameter des Ventilators (14) mindestens Daten zur Abhängigkeit eines gelieferten Volumenstroms (V) vom Druck für verschiedene Betriebspunkte umfassen.

45 14. Vorrichtung zur Belüftung eines Tunnelbauwerks, mit

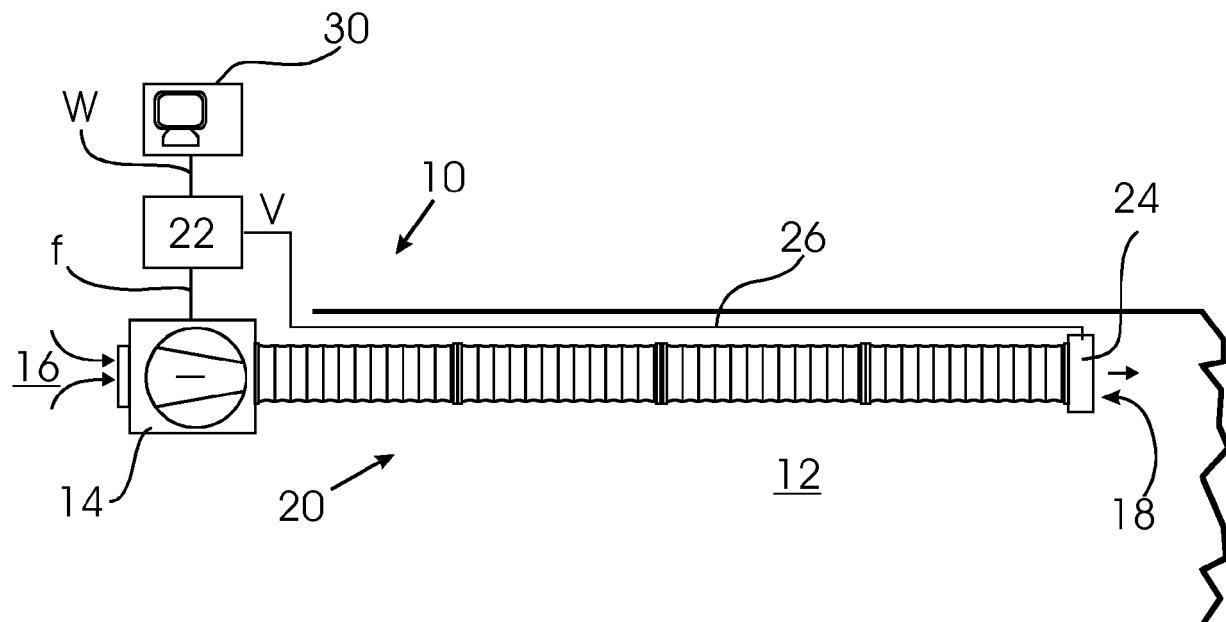
- einer Belüftungsanlage (14), mindestens umfassend einen Ventilator (14), eine an den Ventilator (14) angeschlossene Belüftungsleitung (20) und eine an die Belüftungsleitung (20) angeschlossene Messvorrichtung (24) für einen durch die Belüftungsleitung (20) gelieferten Luftstrom,

- einer Einrichtung (32) zu Berechnung mindestens eines erwarteten Betriebswerts (E) des Ventilators (14) unter Berücksichtigung mindestens von Parametern des Ventilators (14) und der Belüftungsleitung (20),

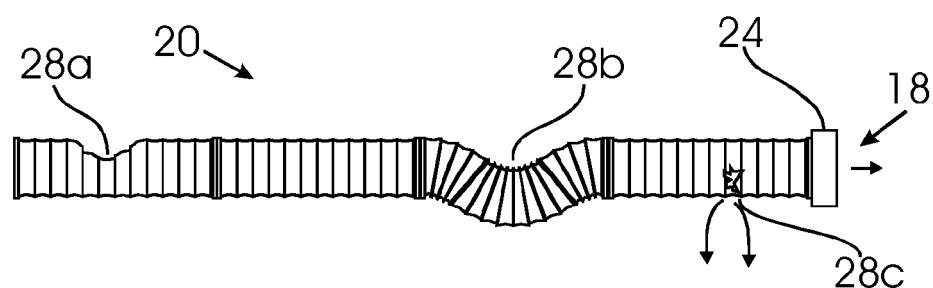
- einer Einrichtung (22) zur Regelung des Betriebs des Ventilators (14) in Abhängigkeit von einem Messwert (V) der Messvorrichtung (24),

55 - einer Einrichtung (36, 38) zum Vergleich eines realen Betriebswerts (W) des Ventilators (14) mit dem erwarteten Betriebswert (E) und zur Signalisierung einer Abweichung.

**Fig. 1**



**Fig. 2**



**Fig. 3**

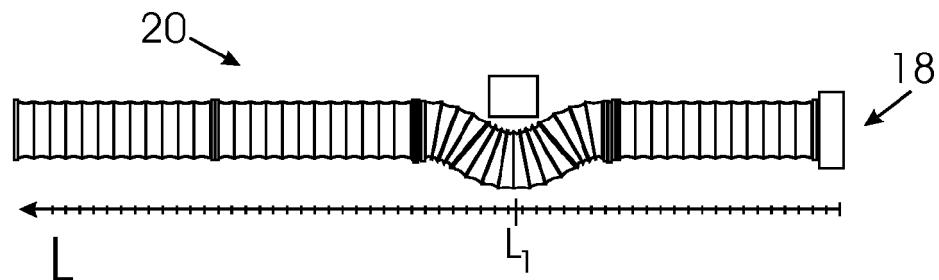


Fig. 4

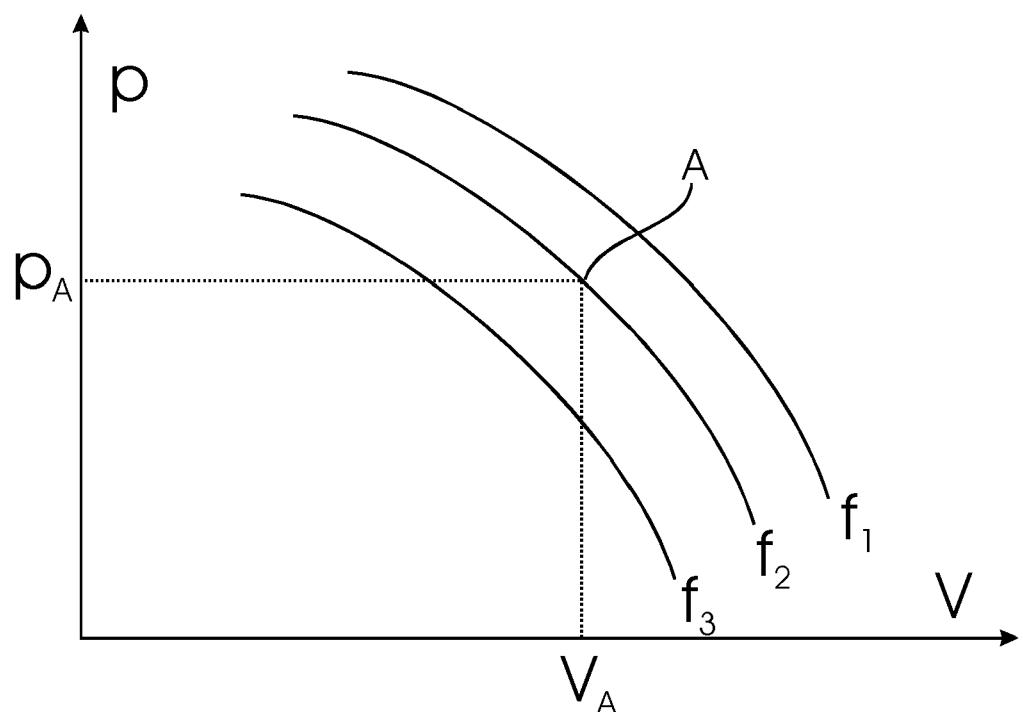
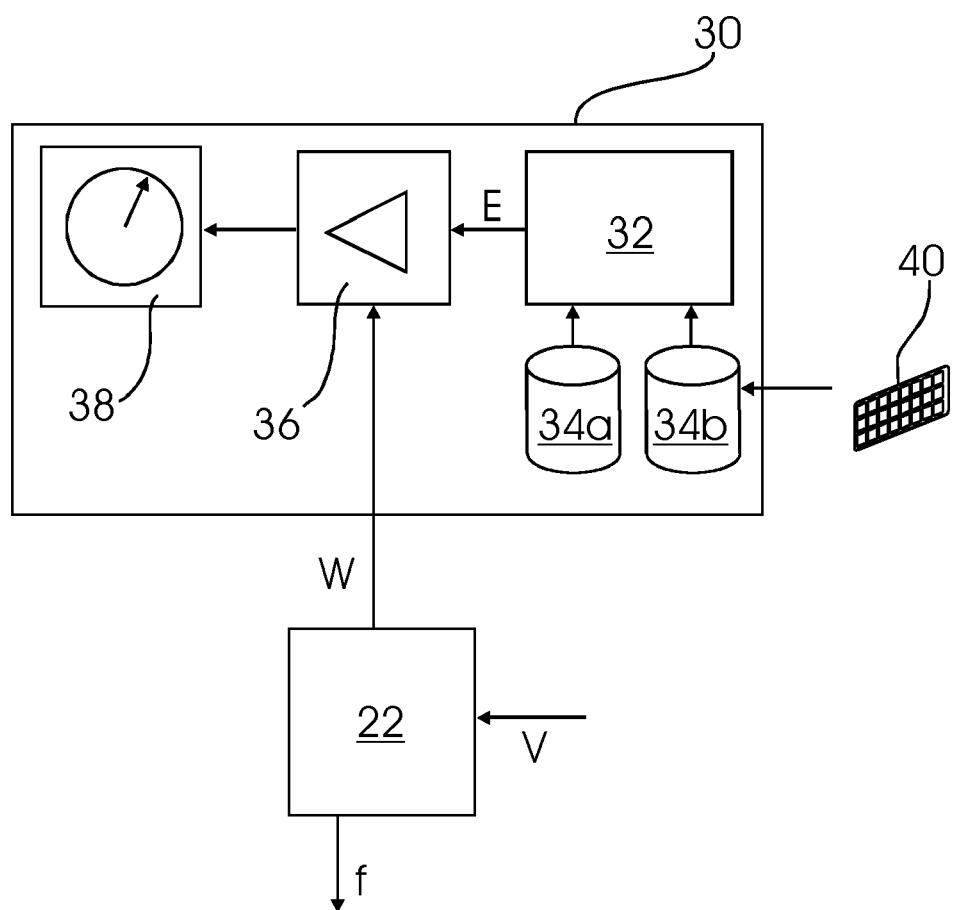


Fig. 5





## EUROPÄISCHER RECHERCHENBERICHT

Nummer der Anmeldung  
EP 17 20 7822

5

EINSCHLÄGIGE DOKUMENTE			
Kategorie	Kennzeichnung des Dokuments mit Angabe, soweit erforderlich, der maßgeblichen Teile	Betrifft Anspruch	KLASSIFIKATION DER ANMELDUNG (IPC)
10	A WO 00/36275 A1 (HAALAND SVEIN INGE [NO]) 22. Juni 2000 (2000-06-22) * Zusammenfassung; Abbildung 1 * * Seite 7, Zeilen 4-16 * * Seite 9, Absatz 4 - Seite 10, Absatz 3 * -----	1-14	INV. E21F1/00 E21F1/04 E21F1/08 G01F1/40
15	A DE 11 10 894 B (KORFMANN GMBH MASCHF) 13. Juli 1961 (1961-07-13) * Zusammenfassung; Abbildungen 1-2 * * Seite 6 *	1-14	
20	A DE 28 03 830 A1 (KORFMANN GMBH MASCHF) 2. August 1979 (1979-08-02) * Zusammenfassung; Abbildungen 1,2 * * Seite 5, Absätze 2,3 *	1-14	
25	A US 6 724 917 B1 (OHASHI HIROYUKI [JP] ET AL) 20. April 2004 (2004-04-20) * Zusammenfassung; Abbildungen 3-5 * * Spalte 7, Absatz 2-4 *	1-14	
30	A EP 0 240 713 A1 (MITSUBISHI ELECTRIC CORP [JP]) 14. Oktober 1987 (1987-10-14) * Zusammenfassung; Abbildungen 1,4,5 * * Spalte 7, Absatz 2 - Spalte 8, Absatz 2 *	1-14	RECHERCHIERTE SACHGEBiete (IPC)
35	A WO 2011/042980 A1 (SOHATSU SYSTEMS LAB INC [JP]; NAKAHORI ICHIRO [JP]; MAEDA KAZUO [JP];) 14. April 2011 (2011-04-14) * Zusammenfassung *	1-14	E21F G01F
40	A JP H01 235799 A (TOSHIBA CORP) 20. September 1989 (1989-09-20) * Zusammenfassung *	1-14	
45		-/-	
1	Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt		
50	Recherchenort München	Abschlußdatum der Recherche 24. April 2018	Prüfer Wehland, Florian
	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 Anmelde datum veröffentlicht worden ist D : in der Anmeldung angeführtes Dokument L : aus anderen Gründen angeführtes Dokument ..... & : Mitglied der gleichen Patentfamilie, übereinstimmendes Dokument		



## EUROPÄISCHER RECHERCHENBERICHT

Nummer der Anmeldung  
EP 17 20 7822

5

EINSCHLÄGIGE DOKUMENTE												
Kategorie	Kennzeichnung des Dokuments mit Angabe, soweit erforderlich, der maßgeblichen Teile	Betrifft Anspruch	KLASSIFIKATION DER ANMELDUNG (IPC)									
10	A EP 1 524 404 A2 (IND ELEKTRONIK BRANDENBURG GMB [DE]) 20. April 2005 (2005-04-20) * Zusammenfassung * * Absätze [0002], [0003] *	1-14 -----										
15												
20												
25												
30												
35												
40												
45												
50	<p>Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt</p> <table border="1"> <tr> <td>Recherchenort München</td> <td>Abschlußdatum der Recherche 24. April 2018</td> <td>Prüfer Wehland, Florian</td> </tr> <tr> <td colspan="3">KATEGORIE DER GENANNTEN DOKUMENTE</td> </tr> <tr> <td colspan="2">           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         </td> <td>           T : der Erfindung zugrunde liegende Theorien oder Grundsätze            E : älteres Patentdokument, das jedoch erst am oder nach dem Anmelde datum veröffentlicht worden ist            D : in der Anmeldung angeführtes Dokument            L : aus anderen Gründen angeführtes Dokument            .....            &amp; : Mitglied der gleichen Patentfamilie, übereinstimmendes Dokument         </td> </tr> </table>			Recherchenort München	Abschlußdatum der Recherche 24. April 2018	Prüfer Wehland, Florian	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 Anmelde datum veröffentlicht worden ist D : in der Anmeldung angeführtes Dokument L : aus anderen Gründen angeführtes Dokument ..... & : Mitglied der gleichen Patentfamilie, übereinstimmendes Dokument
Recherchenort München	Abschlußdatum der Recherche 24. April 2018	Prüfer Wehland, Florian										
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 Anmelde datum veröffentlicht worden ist D : in der Anmeldung angeführtes Dokument L : aus anderen Gründen angeführtes Dokument ..... & : Mitglied der gleichen Patentfamilie, übereinstimmendes Dokument										
55	EPO FORM 1503 03.82 (P04C03)											

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

EP 17 20 7822

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.

24-04-2018

10	Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung		Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
15	WO 0036275 A1 22-06-2000	AU NO WO	5656899 A 985840 A 0036275 A1	03-07-2000 13-06-2000 22-06-2000	
20	DE 1110894 B 13-07-1961	KEINE			
25	DE 2803830 A1 02-08-1979	KEINE			
30	US 6724917 B1 20-04-2004	JP US	2001082097 A 6724917 B1	27-03-2001 20-04-2004	
35	EP 0240713 A1 14-10-1987	KEINE			
40	WO 2011042980 A1 14-04-2011	CN WO	102472105 A 2011042980 A1	23-05-2012 14-04-2011	
45	JP H01235799 A 20-09-1989	JP JP	H0768878 B2 H01235799 A	26-07-1995 20-09-1989	
50	EP 1524404 A2 20-04-2005	DE EP	10347030 A1 1524404 A2	04-05-2005 20-04-2005	
55					

EPO FORM P0461

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

**IN DER BESCHREIBUNG AUFGEFÜHRTE DOKUMENTE**

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

**In der Beschreibung aufgeführte Patentdokumente**

- DE 2803830 [0004]
- WO 0036275 A [0005]
- US 6724917 B1 [0006]
- DE 1110894 [0007]