



(10) **DE 10 2015 216 895 A1** 2017.03.09

(12) **Offenlegungsschrift**

(21) Aktenzeichen: **10 2015 216 895.6**

(22) Anmeldetag: **03.09.2015**

(43) Offenlegungstag: **09.03.2017**

(51) Int Cl.: **A61M 16/00** (2006.01)

(71) Anmelder:  
**Hamilton Medical AG, Bonaduz, CH**

(74) Vertreter:  
**Trossin, Hans-Jürgen, Dipl.-Ing.Univ. Dr.-Ing.,  
80335 München, DE**

(72) Erfinder:  
**Schranz, Christoph, Bonaduz, CH; Franke,  
Karolin, Chur, CH; Novotni, Dominik, Dr., Chur,  
CH**

(56) Ermittelter Stand der Technik:

**US 2007 / 0 157 930 A1**  
**US 2008 / 0 257 350 A1**

Rechercheantrag gemäß § 43 Abs. 1 Satz 1 PatG ist gestellt.

**Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen**

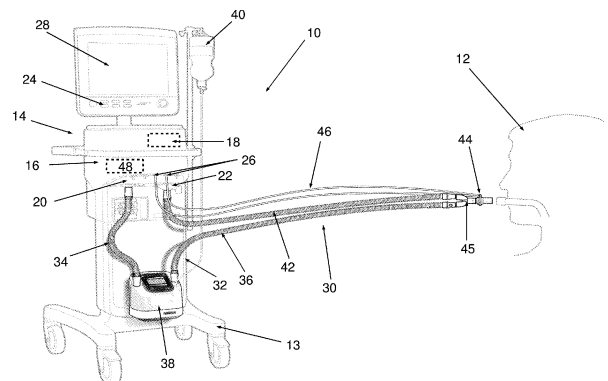
(54) Bezeichnung: **Beatmungsvorrichtung mit Fehlererfassung für Durchflusssensoren**

(57) Zusammenfassung: Die vorliegende Beatmungsvorrichtung (10) zur künstlichen Beatmung weist unter anderem einer Durchflusssensoranordnung (44, 48) zur quantitativen Erfassung eines Gasflusses in einer Beatmungsleitungsanordnung (30) auf, umfassend einen weiter vom patientenseitigen Ende der Beatmungsleitungsanordnung (30) entfernt angeordneten distalen Durchflusssensor (48) und einen näher beim patientenseitigen Ende der Beatmungsleitungsanordnung (30) gelegenen proximalen Durchflusssensor (44), und weist eine Steuereinrichtung (18) wenigstens zur Verarbeitung von Messsignalen der Durchflusssensoranordnung (44, 48) auf, wobei die Steuereinrichtung (18) dazu ausgebildet ist, auf Grundlage von Messsignalen des distalen (48) oder/und des proximalen Sensors (44) auf einen Fehler zu schließen.

Erfindungsgemäß ist die Steuereinrichtung (18) dazu ausgebildet ist, auf einen Fehler der Durchflusssensoranordnung (44, 48) zu schließen auf Grundlage eines Vergleichs eines Änderungswerts (62, 76) eines Messsignals (54, 58, 68, 72) des einen Durchflusssensors (44)

– mit einem Änderungswert (60, 74) eines Messsignals (52, 56, 66, 70) des jeweils anderen Durchflusssensors (48) oder/

und  
– mit einem Messsignal (54, 58, 68, 72) des einen Durchflusssensors (44).



**Beschreibung**

**[0001]** Die vorliegende Erfindung betrifft eine Beatmungsvorrichtung zur künstlichen Beatmung mit

- einer Beatmungsgasquelle,
- einer zwischen der Beatmungsgasquelle und einem patientenseitigen, proximalen Ende verlaufenden Beatmungsleitungsanordnung,
- einer Ventilanordnung, umfassend ein Inspirationsventil und ein Expirationsventil,
- einer Durchflusssensoranordnung zur quantitativen Erfassung eines Gasflusses in der Beatmungsleitungsanordnung, umfassend einen weiter vom patientenseitigen Ende der Beatmungsleitungsanordnung entfernt angeordneten distalen Durchflusssensor und einen näher beim patientenseitigen Ende der Beatmungsleitungsanordnung gelegenen proximalen Durchflusssensor, und mit
- einer Steuereinrichtung wenigstens zur Verarbeitung von Messsignalen der Durchflusssensoranordnung, wobei die Steuereinrichtung dazu ausgebildet ist, auf Grundlage von Messsignalen des distalen oder/und des proximalen Sensors auf einen Fehler zu schließen.

**[0002]** Eine derartige Beatmungsvorrichtung ist beispielsweise im Markt als Produkt "SERVO-U" der Firma Maquet bekannt. Diese bekannte Beatmungsvorrichtung verwendet einen internen Sensor im Inneren eines Beatmungsgeräts als distalen Durchflusssensor. An dem Beatmungsgerät ist das distale Ende der Beatmungsleitungsanordnung angeschlossen. Weiter verwendet die bekannte Beatmungsvorrichtung einen proximalen Durchflusssensor in Form eines Heißdrahtanemometers in einem Y-Verbindungsstück, in welchem in Richtung zum Patienten hin ein inspiratorischer und ein expiratorischer Beatmungsschlauch zu einer gemeinsamen zum Patienten hin führenden Beatmungsleitung vereinigt werden. Die Bedienungsanleitung zu dieser bekannten Beatmungsvorrichtung gibt an, dass die Ausgaben von internen Druck- und Flusssensoren mit dem Messergebnis des proximalen Sensors in dem Y-Verbindungsstück verglichen werden und der proximale Sensor deaktiviert wird, wenn zwischen den zum Vergleich herangezogenen Werten eine signifikante Abweichung festgestellt wird.

**[0003]** Nachteilig an der bekannten Beatmungsvorrichtung und der dort offenbarten Fehlererfassung ist, dass die bloße Fehlererfassung aufgrund eines Vergleichs von Messwerten zweier unterschiedlicher Sensoren nur einen Teil der tatsächlich an einer Sensoranordnung auftretenden Fehler zu erfassen vermag. Außerdem liegt zwischen den beiden Sensoren die Beatmungsleitungsanordnung in Form eines elastischen Schlauches, der bei jedem Atemhub von dem ihn durchströmenden Atemgas gegen seine Elastizität gedehnt wird. Aufgrund dieser Schlauchelastizität liefern die beiden an unterschiedlichen Stellen im Atemgasstrom angeordneten Durchflusssensoren selbst bei gleichem effektiven Atemgasstrom an beiden Erfassungsstellen unterschiedliche Messwerte. Das den Schlauch dehnende Atemgas passiert nämlich den distalen Durchflusssensor, jedoch nicht den proximalen Durchflusssensor, weshalb die Messwerte des distalen Durchflusssensors in der Regel höher sind als jene des proximalen.

**[0004]** Beatmungsvorrichtungen sind für Patienten, die selbstständig nicht oder nicht in ausreichendem Maße atmen können, lebenswichtige Geräte. Ihre korrekte Funktion ist daher von entscheidender Bedeutung. Die korrekte Funktion der Beatmungsvorrichtungen hängt wiederum von der möglichst präzisen Erfassung der einem Patienten zugeführten Atemgasmenge ab.

**[0005]** Es ist daher Aufgabe der vorliegenden Erfindung, eine Beatmungsvorrichtung der eingangs genannten Art derart weiterzubilden, dass etwaige Fehlfunktionen der Durchflusssensoranordnung frühzeitig zuverlässig erkannt werden können.

**[0006]** Diese Aufgabe wird erfindungsgemäß gelöst durch eine gattungsgemäße Beatmungsvorrichtung, bei welcher die Steuereinrichtung dazu ausgebildet ist, auf einen Fehler der Durchflusssensoranordnung zu schließen auf Grundlage eines Vergleichs eines Änderungswerts eines Messsignals des einen Durchflusssensors aus proximalem und distalem Durchflusssensor mit einem Änderungswert eines Messsignals des jeweils anderen Durchflusssensors aus proximalem und distalem Durchflusssensor. Durch die Verwendung von Änderungswerten des Messsignals anstelle des Messsignals selbst können Fehler der Durchflusssensoranordnung früher oder/und zuverlässiger als bisher erfasst werden. Somit ist es beispielsweise möglich, einen Fehler bereits zu erfassen, wenn sich die Messwerte des proximalen und des distalen Durchflusssensors zwar nur sehr geringfügig, jedoch in unterschiedliche Richtungen ändern, etwa der eine Durchflusssensor eine Erhöhung der Durchflussmenge anzeigt und der jeweils andere Durchflusssensor eine Verringerung. Somit kann bereits auf einen Fehler geschlossen werden, obwohl ein Vergleich der Messwerte der beiden Durchflusssensoren miteinander noch keine signifikante Abweichung voneinander aufzeigen würde.

**[0007]** Alternativ oder zusätzlich kann der Änderungswert des Messsignals des einen Durchflusssensors aus proximalem und distalem Durchflusssensor mit einem Messsignal desselben Durchflusssensors – also wiederum des einen Durchflusssensors – verglichen werden, sodass allein aufgrund von Signalen ein und desselben Durchflusssensors: proximale oder distale Durchflusssensor, ohne Berücksichtigung der Signale des jeweils anderen Durchflusssensors auf einen Fehler des einen Durchflusssensors geschlossen werden kann, etwa wenn dessen Änderungswert bezogen auf das letzte Messsignal vor der Änderung aufgrund der vorherrschenden Betriebsbedingungen ungewöhnlich groß oder ungewöhnlich klein ist.

**[0008]** Wenn dabei Änderungswerte unterschiedlicher Sensoren miteinander verglichen werden, handelt es sich dabei um gleichzeitige oder quasi-gleichzeitige Änderungswerte, also um Änderungswerte die zum selben Zeitpunkt oder am selben Atemhub ermittelt werden.

**[0009]** Wird ein Änderungswert eines Messsignals mit einem Messsignal verglichen, handelt es sich dabei um einen Vergleich eines Änderungswerts mit einem zeitlich früher erfassten Messsignal, vorzugsweise mit einem zeitlich unmittelbar vor dem Änderungswert ermittelten Messsignal.

**[0010]** Die vorliegend erfindungsgemäß vorgeschlagene Lösung gestattet daher, Fehler in einem größeren Umfang zu erkennen, als dies für Beatmungsvorrichtungen des Standes der Technik bekannt war und gestattet überdies, Fehler eines Durchflusssensors unabhängig von Signalen eines anderen Durchflusssensors zu ermitteln.

**[0011]** Eine besonders sichere Fehlererkennung kann dabei erhalten werden, wenn die obigen Möglichkeiten zur Erkennung von Fehlern der Durchflusssensoranordnung nicht nur alternativ, sondern kumulativ angewendet werden.

**[0012]** Wie oben bereits angedeutet wurde, ist eine schnelle und effektive Fehlererkennung dann möglich, wenn die Steuereinrichtung dazu ausgebildet ist, dann auf einen Fehler der Durchflusssensoranordnung zu schließen, wenn der Änderungswert des Messsignals des einen Durchflusssensors aus distalem und proximalem Durchflusssensor eine entgegengesetzte Änderungsrichtung aufweist als der Änderungswert des jeweils anderen Durchflusssensors. Hierzu müssen nicht einmal Zahlenwerte miteinander verglichen werden, sondern es kann ein Vergleich von Vorzeichen der jeweiligen Änderungswerte miteinander ausreichen, um auf einen Fehler zu schließen.

**[0013]** An der Durchflusssensoranordnung, insbesondere am proximalen Durchflusssensor, treten nach bisherigen Erfahrungen im Wesentlichen zwei unterschiedliche Fehlerarten auf, die sich hauptsächlich durch die Zeitdauer unterscheiden, in welcher sie sich entwickeln und auf die Beatmungsvorrichtung auswirken.

**[0014]** Der eine Fehler, der nachfolgend als "Sprungfehler" bezeichnet wird, tritt plötzlich auf und führt innerhalb weniger Sekunden zu einem beträchtlichen Fehler im Messergebnis.

**[0015]** Der andere Fehler, der nachfolgend als "Driftfehler" bezeichnet wird, tritt schleichend auf und entwickelt sich über mehrere Minuten, bis hin zu einer halben Stunde oder einer Dreiviertelstunde, zu einem beträchtlichen Fehler im Messergebnis.

**[0016]** Nach bisherigen Erkenntnissen stehen diese beiden Fehler höchstwahrscheinlich mit dem Niederschlag von Kondensat im proximalen Durchflusssensor im Zusammenhang. Dadurch, dass der proximale Durchflusssensor sehr nahe am Patienten vorgesehen ist, kann dieser stärker durch die Feuchtigkeit in der Atemluft beeinflusst werden. Während der Sprungfehler vor allem bei Durchflusssensoren, die nach dem Differenzdruckprinzip arbeiten, sehr gut verstanden wird, konnte für den Driftfehler bisher lediglich phänomenologisch festgestellt werden, dass dieser verschwindet, wenn man einen mit Kondensat beschlagenen Durchflusssensor durch einen trockenen ersetzt hat, nachdem man den Driftfehler erkannt hat.

**[0017]** Wenngleich wenigstens der proximale Durchflusssensor bevorzugt ein nach dem Differenzdruckprinzip arbeitender Durchflusssensor ist, wie er etwa aus der DE 10 2010 040287 A1 bekannt ist, soll die vorliegende Erfindung nicht auf Beatmungsvorrichtungen mit einer Durchflusssensoranordnung mit wenigstens einem nach dem Differenzdruckprinzip arbeitenden Durchflusssensor beschränkt sein. Die vorliegend vorgeschlagene verbesserte Beatmungsvorrichtung mit erhöhter Genauigkeit in der Fehlererkennung bei Durchflusssensoren kann grundsätzlich jeden beliebigen Durchflusssensor nutzen, unabhängig davon, welche physikalischen Wirkprinzipien er zur Messung des Gasflusses verwendet.

**[0018]** Der Vollständigkeit halber sei erwähnt, dass nach derzeitiger Theorie der Sprungfehler in einem nach dem Differenzdruckprinzip arbeitenden proximalen Durchflusssensor gemäß der DE 10 2010 040287 A1 dann auftritt, wenn eine bewegliche Klappe, welche zwei im Sensor in Durchströmungsrichtung aufeinander folgend angeordnete Druckmesskammern trennt, in im Sensor angesammeltes Kondensat eintaucht und dadurch für ihre Bewegung einen größeren Widerstand zu überwinden hat als in einem trockenen Sensor.

**[0019]** Der Sprungfehler kann vorteilhaft dann schnell und sicher erkannt werden, wenn die Steuereinrichtung dazu ausgebildet ist, dann auf einen Fehler der Durchflusssensoranordnung zu schließen, wenn

- ein Verhältnis eines Summenwerts von nacheinander anfallenden Änderungswerten des Messsignals des proximalen Durchflusssensors zu einer ersten Bezugsgröße einen vorbestimmten Bezugsschwellenwert übersteigt und
- wenn ein Verhältnis eines Summenwerts von nacheinander anfallenden Änderungswerten des Messsignals des distalen Durchflusssensors zu einer zweiten Bezugsgröße einen vorbestimmten Bezugsschwellenwert unterschreitet.

**[0020]** Dabei werden also nacheinander anfallende Änderungswerte des Messsignals des proximalen und des distalen Durchflusssensors aufsummiert, um die über die Dauer der Summierung insgesamt auftretende Änderung des Messsignals des jeweiligen Durchflusssensors zu quantifizieren. Dieser Summenwert der Änderung des Messsignals kann dann mit einer Bezugsgröße in Bezug gesetzt werden, um zu beurteilen, ob die Durchflusssensoranordnung korrekt arbeitet oder nicht. Die Beurteilung kann anhand eines vorbestimmten Bezugsschwellenwertes erfolgen.

**[0021]** Bevorzugt werden zur Bildung des Summenwerts unmittelbar nacheinander anfallende Änderungswerte von Messsignalen aufsummiert, um den Summenwert über einen möglichst kurzen Zeitraum bilden zu können und so schnell einen entsprechenden Fehler in der Durchflusssensoranordnung ermitteln zu können. Außerdem kann so sichergestellt werden, dass kein Änderungswert eines Messsignals für die Beurteilung der Korrektheit des Betriebs der Durchflusssensoranordnung außer Betracht bleibt.

**[0022]** Gemäß einer bevorzugten Weiterbildung der vorliegenden Erfindung ist die erste oder/und die zweite Bezugsgröße ein Messsignalwert des proximalen Durchflusssensors. Dadurch können die Änderungswerte des proximalen Durchflusssensors und die Änderungswerte des distalen Durchflusssensors jeweils mit einer Summe der Änderungen des proximalen Durchflusssensors als dem fehleranfälligeren Durchflusssensor aus proximalem und distalem Durchflusssensor in Bezug gesetzt werden. Dies ist für die Beurteilung des korrekten Betriebs der Durchflusssensoranordnung häufig hilfreich, da der absolute Wert einer Änderung eines Messsignals hinsichtlich seiner Plausibilität in der Regel nur im Zusammenhang mit dem Messwert, der durch die Änderung geändert wird, sinnvoll beurteilbar ist. Dementsprechend kann die Genauigkeit der Fehlererfassung, insbesondere eines Sprungfehlers, dadurch erhöht werden, dass die erste oder/und die zweite Bezugsgröße ein Messsignalwert des proximalen Durchflusssensors bei oder unmittelbar vor dem Beginn der Aufsummierung der Änderungswerte ist. Dann stehen die Änderungen in unmittelbarem Bezug zu dem Messsignal, mit dem sie zur Beurteilung ihrer Plausibilität bzw. Richtigkeit in Beziehung gesetzt werden.

**[0023]** Die Beatmungsvorrichtung muss jedoch nicht dauerhaft eine Fehlererfassung während ihres gesamten Betriebs durchführen. Es genügt, Rechenleistung der Steuereinrichtung der Beatmungsvorrichtung dann für eine genauere Fehlererfassung bereitzustellen, wenn sich diese Notwendigkeit aus dem Betrieb der Beatmungsvorrichtung heraus abzeichnet.

**[0024]** Bevorzugt ist daher die Steuereinrichtung der Beatmungsvorrichtung dazu ausgebildet, den Betrieb der Durchflusssensoranordnung dauerhaft gemäß einem ersten, weniger Rechenleistung erfordernden Prüfverfahren auf Fehler zu überwachen, und ist weiter dazu ausgebildet, dann, wenn das erste Prüfverfahren einen Fehlerverdachtszustand der Durchflusssensoranordnung aufzeigt, den Betrieb der Durchflusssensoranordnung gemäß einem zweiten, mehr Rechenleistung erfordernden Prüfverfahren auf Fehler zu überwachen.

**[0025]** Für den oben bereits beschriebenen bevorzugten Fall eines intensiven Prüfverfahrens kann dies bedeuten, dass die Steuereinrichtung dazu ausgebildet ist, mit der Aufsummierung von Änderungswerten zu beginnen, wenn der Messsignalwert oder/und der Änderungswert des proximalen Durchflusssensors einen vorbestimmten Signalschwellenwert übersteigt. Die Prüfung, ob der Messsignalwert oder/und der Änderungswert des proximalen Durchflusssensors einen vorbestimmten Signalschwellenwert übersteigt, wird bevorzugt dauerhaft ausgeführt und entspricht dem oben abstrakt bezeichneten ersten Prüfverfahren, welches weniger Rechenleistung erfordert. Dann, wenn der Änderungswert oder/und der Messsignalwert des proximalen Durchflusssensors den vorbestimmten Signalschwellenwert übersteigt, ist ein Fehlerverdachtszustand ermittelt, so-

dass bevorzugt mit der oben beschriebenen Aufsummierung von Änderungswerten und deren Vergleich mit Bezugswerten begonnen wird.

**[0026]** Parallel kann das erste Prüfverfahren weitergeführt werden und es kann daran gedacht sein, das zweite Prüfverfahren wieder zu beenden, wenn das erste Prüfverfahren über eine vorbestimmte Anzahl von Atemzyklen keinen Fehlerverdachtszustand mehr aufzeigt, also beispielsweise wenn der Messsignalwert oder/und der Änderungswert des proximalen Durchflusssensors über eine vorbestimmte Anzahl nacheinander ausgewerteter Messsignale den vorbestimmten Signalschwellenwert nicht mehr übersteigt.

**[0027]** Es kann jedoch ebenso daran gedacht sein, das zweite, mehr Rechenleistung erfordernde Prüfverfahren bis zum Ende des Betriebs der Beatmungsvorrichtung fortzusetzen, wenn einmal ein Fehlerverdachtszustand ermittelt wurde.

**[0028]** In einer bevorzugten Ausgestaltung der Beatmungsvorrichtung kann der distale Durchflusssensor zur möglichst genauen Regelung des Atemgasflusses während eines Atemhubs dienen. Dies bedeutet, dass der Atemgasfluss während eines Atemhubs auf Grundlage des vom distalen Durchflusssensor gelieferten Messsignals verändert wird.

**[0029]** Demgegenüber kann der proximale Durchflusssensor zur Regelung des Minutenvolumens herangezogen werden, wie es etwa bei den bekannten Beatmungsmodi ASV, Intellivent-ASV und APV verwendet wird. Hierbei wird bevorzugt das Minutenvolumen nur atemhubsweise eingestellt bzw. geregelt, d. h. es erfolgt keine Veränderung des Atemgasflusses während des Atemhubs auf Grundlage des Messsignals des proximalen Durchflusssensors. Dies hat den Vorteil, dass das dem Patienten tatsächlich verabreichte Atemgasvolumen mit dem näher beim Patienten angeordneten proximalen Durchflusssensor genauer als mit dem distalen Durchflusssensor bestimmt werden kann, unter anderem auch weil die Genauigkeit des Messsignals negativ beeinflussende Effekte, wie etwa die Elastizität von Schlauchleitungen im Beatmungsschlauch, sich auf das Messsignal des proximalen Durchflusssensors nicht oder nur in sehr geringem Umfang auswirken.

**[0030]** Aufgrund der Anordnung des distalen und des proximalen Durchflusssensors wird der distale Durchflusssensor bevorzugt ausschließlich mit inspiratorischem Atemgas durchströmt, während der proximale Durchflusssensor sowohl mit inspiratorischem als auch mit expiratorischem Atemgas durchströmt wird. Auch hieraus ergibt sich eine verglichen mit jener des distalen Durchflusssensors erhöhte Fehleranfälligkeit des proximalen Durchflusssensors.

**[0031]** Da die Beatmungsvorrichtung, wenngleich sie wie oben beschrieben Atemgasflüsse auch während eines Atemhubs verändert, im Wesentlichen den Patienten mit diskreten Atemhüben beatmet, kann bevorzugt daran gedacht sein, dass auch die Steuereinrichtung dazu ausgebildet ist, die Messsignale des proximalen und des distalen Durchflusssensors atemhubsweise zu verarbeiten. Dies hat den Vorteil, dass die meisten Beatmungsparameter, welche den Betrieb der Beatmungsvorrichtung bestimmen, atemhubsweise, also auf den jeweiligen auszuführenden Atemhubs bezogen, vorliegen.

**[0032]** In diesem Fall kann gemäß einer bevorzugten Weiterbildung zur weiteren Erhöhung der Genauigkeit der Fehlererkennung daran gedacht sein, dann, wenn der Messsignalwert des proximalen Durchflusssensors den vorbestimmten Signalschwellenwert bei einem Schwellen-Atemhub übersteigt, die erste oder/und die zweite Bezugsgröße der Messsignalwert des proximalen Durchflusssensors ist, welcher dem dem Schwellen-Atemhub unmittelbar vorhergehenden Atemhub zugeordnet ist. Auch dies dient wiederum der Herstellung eines möglichst unmittelbaren zeitlichen Zusammenhangs zwischen den für die Fehlererkennung der Durchflusssensoranordnung heranzuziehenden Messsignalen oder/und Änderungswerten und der Bezugsgröße, mit der die Signale bzw. Werte in Beziehung gesetzt werden.

**[0033]** Versuche haben gezeigt, dass der Driftfehler dadurch gut erfasst werden kann, dass die Steuereinrichtung dazu ausgebildet ist, dann auf einen Fehler der Durchflusssensoranordnung zu schließen, wenn

- ein Verhältnis eines Summenwerts von nacheinander anfallenden, vorzugsweise unmittelbar aufeinanderfolgenden, Änderungswerten des Messsignals des proximalen Durchflusssensors zu einer dritten Bezugsgröße einen vorbestimmten Bezugsschwellenwert übersteigt und
  - wenn ein Verhältnis eines Summenwerts von nacheinander anfallenden, vorzugsweise unmittelbar aufeinanderfolgenden, Änderungswerten des Messsignals des distalen Durchflusssensors zu einer vierten Bezugsgröße einen vorbestimmten Bezugsschwellenwert unterschreitet,
- oder dann auf einen Fehler der Durchflusssensoranordnung zu schließen, wenn

- ein Verhältnis eines Summenwerts von nacheinander anfallenden, vorzugsweise unmittelbar aufeinanderfolgenden, Änderungswerten des Messsignals des proximalen Durchflusssensors zu einer fünften Bezugsgröße einen vorbestimmten Bezugsschwellenwert unterschreitet und
- wenn ein Verhältnis eines Summenwerts von nacheinander anfallenden, vorzugsweise unmittelbar aufeinanderfolgenden, Änderungswerten des Messsignals des distalen Durchflusssensors zu einer sechsten Bezugsgröße einen vorbestimmten Bezugsschwellenwert übersteigt.

**[0034]** Es sei an dieser Stelle klargestellt, dass die Verwendung von Ordinalzahlen zur Unterscheidung der Bezugsschwellenwerte in der vorliegenden Anmeldung die Reihenfolge der Nennung der Bezugsschwellenwerte im Anmeldungstext wiedergibt und nicht als Angabe einer Mindestanzahl an Bezugsschwellenwerten in der Beatmungsvorrichtung verstanden werden soll.

**[0035]** Zu den Vorteilen der Verwendung unmittelbar aufeinanderfolgender Änderungswerte sei auf die obigen Ausführungen zur Erfassung des Sprungfehlers verwiesen, die auch hier gelten. Die genannten Bezugsschwellenwerte lassen sich durch Versuche unter Berücksichtigung medizinischer Randbedingungen ohne nennenswerten Aufwand ermitteln.

**[0036]** Grundsätzlich kann der Driftfehler mit den vorstehend genannten Bedingungen bereits zuverlässig ermittelt werden. Eine noch höhere Genauigkeit der Erfassung des Driftfehlers kann dadurch erreicht werden, dass die Steuereinrichtung dazu ausgebildet ist, nur dann auf einen Fehler der Durchflusssensoranordnung zu schließen, wenn zusätzlich

- der Summenwert von nacheinander anfallenden, vorzugsweise unmittelbar aufeinanderfolgenden, Änderungswerten des Messsignals des proximalen Durchflusssensors einen vorbestimmten ersten Summen-schwellenwert übersteigt,
- oder/und
- der Summenwert von nacheinander anfallenden, vorzugsweise unmittelbar aufeinanderfolgenden, Änderungswerten des Messsignals des distalen Durchflusssensors einen vorbestimmten zweiten Summen-schwellenwert übersteigt.

**[0037]** Wiederum erhöht die kumulative Anwendung obiger Bedingungen die Genauigkeit. Die Aufsummierung erfolgt für beide Sensoren bevorzugt von einem gemeinsamen Beginn bis zum jeweils aktuellen Atemhub.

**[0038]** Grundsätzlich können beliebige geeignet erscheinende Bezugsgrößen für die Beurteilung der Plausibilität bzw. Korrektheit von Änderungswerten des Messsignals eines der beiden oder beider Durchflusssensoren herangezogen werden. Wie oben bereits dargelegt wurde, ist eine besonders aussagekräftige Bezugsgröße zur Bewertung von Änderungen der Messsignale oder von den Messsignalen selbst, ein Messsignalwert des proximalen Durchflusssensors. Daher kann gemäß einer vorteilhaften Weiterbildung der vorliegenden Erfindung vorgesehen sein, dass die dritte oder/und die fünfte Bezugsgröße ein Messsignalwert des proximalen Durchflusssensors ist. Um einen möglichst unmittelbaren zeitlichen Zusammenhang zwischen Bezugsgröße und zu beurteilenden Größen herzustellen, ist die dritte oder/und die fünfte Bezugsgröße bevorzugt ein Messsignalwert des proximalen Durchflusssensors bei oder unmittelbar vor dem Beginn der Aufsummierung der Änderungswerte.

**[0039]** Mit der gleichen Motivation ist bei einer bevorzugten Weiterbildung der vorliegenden Erfindung vorgesehen, dass die vierte oder/und die sechste Bezugsgröße ein Messsignalwert des distalen Durchflusssensors ist, insbesondere ein Messsignalwert des distalen Durchflusssensors bei oder unmittelbar vor dem Beginn der Aufsummierung der Änderungswerte ist.

**[0040]** Auch hier kann vorgesehen sein, dass die Aufsummierung von Änderungswerten zur Bildung von Summenwerten beginnt, wenn der Betrag des Änderungswerts des Messsignals des proximalen oder/und des distalen Durchflusssensors einen vorbestimmten Betragsschwellenwert übersteigt.

**[0041]** In diesem Falle ist wiederum der Vergleich des Betrags des Änderungswerts des Messsignals des proximalen oder/und des distalen Durchflusssensors mit einem vorbestimmten Betragsschwellenwert ein erstes, weniger Rechenleistung erforderndes Prüfverfahren im obigen Sinne, ausgehend von welchem das oben beschriebene zweite, mehr Rechenleistung erfordernde Prüfverfahren ausgelöst werden kann. Hinsichtlich der Dauer der Ausführung des mehr Rechenleistung erfordernden Prüfverfahrens zur Feststellung des Driftfehlers wird auf die obigen Ausführungen zur Ermittlung eines Sprungfehlers verwiesen, die auch vorliegend im Zusammenhang mit der Ermittlung des Driftfehlers gelten.

**[0042]** Ein erstes Prüfverfahren zur Bestimmung, ob ein zweites, mehr Rechenleistung erforderndes Prüfverfahren gestartet werden soll, kann alternativ oder zusätzlich ein Vergleich der Änderungsrichtung, also etwa der Vorzeichen, von Änderungswerten des proximalen und des distalen Durchflusssensors auf jeweils denselben Atemhub bezogen sein. Sind die Vorzeichen verschieden, ändern sich also die Messsignale von proximalem und distalem Durchflusssensor für denselben Atemhub in unterschiedliche Richtungen, dann liegt ein ausreichender Fehlerverdacht vor, um das zweite Prüfverfahren zu beginnen.

**[0043]** Um Störeffekte möglichst nicht in die Berücksichtigung der zur Fehlererkennung herangezogenen Größen einzubeziehen, kann die Steuereinrichtung dazu ausgebildet sein, die Messsignale der Durchflusssensoren durch Filterung zu glätten. Ein solcher Störeffekt kann beispielsweise die spontane Atemaktivität eines mit der Beatmungsvorrichtung beatmeten Patienten sein.

**[0044]** Eine mögliche Art der effektiven Filterung ist die gleitende Mittelwertbildung. Da der Sprungfehler schnell, d. h. innerhalb von wenigen Sekunden, auftritt, reicht es aus, den gleitenden Mittelwert über einige wenige Änderungswerte oder/und Messsignalwert zu bilden, etwa über nicht mehr als 25, vorzugsweise nicht mehr als 20, beispielsweise über 16 Werte hinweg. Bevorzugt kann ein gleitender gewichteter Mittelwert gebildet werden, um etwa zu unterschiedlichen Zeiten stattfindende Atemhübe unterschiedlich zu gewichten. So kann es beispielsweise sinnvoll sein, bei der Berücksichtigung des gleitenden Mittelwerts die zeitlich unmittelbar der aktuellen Messung vorausgehenden Werte weniger stark zu berücksichtigen als zeitlich weiter zurückliegende Werte. Ebenso kann es sich auch positiv auf die Genauigkeit der Fehlermittlung auswirken, die zu filternden Werte zum Ende des für die Filterung zu betrachtenden Zeitfensters wiederum weniger zu gewichten als etwa in der Mitte des für die Filterung zu betrachtenden Zeitfensters gelegene Werte.

**[0045]** Auch für die Bestimmung des Driftfehlers können die Messsignalwerte der beiden Durchflusssensoren jeweils durch einen gleitenden Mittelwert, insbesondere durch einen gewichteten gleitenden Mittelwert, geglättet werden.

**[0046]** Zusätzlich oder alternativ können die zu glättenden Messsignalwerte auch durch einen digitalen Filter mit einer höheren Ordnung als 1 gefiltert werden, wobei durch eine Filterung mit einer Ordnung höher als 2, besonders bevorzugt mit einem digitalen Filter vierter Ordnung noch bessere Glättungseffekte ohne Genauigkeitsverlust bei der Fehlererfassung erzielt werden. Ein derartiger digitaler Filter kommt vorzugsweise bei der Ermittlung des Driftfehlers zum Einsatz.

**[0047]** Da der Driftfehler schleichend über einen längeren Zeitraum von mehreren Minuten auftritt, werden bei der Glättung der Messsignale durch einen, gegebenenfalls gewichteten, gleitenden Mittelwert oder durch den digitalen Filter bevorzugt eine größere Anzahl an Messsignalen einbezogen als bei der Glättung für die Ermittlung des Sprungfehlers. Vorzugsweise werden für die Glättung zur Ermittlung des Driftfehlers wenigstens die letzten 50 Messwerte, besonders bevorzugt wenigstens die letzten 75 Messwerte, höchstbevorzugt wenigstens die letzten 100 Messwerte herangezogen.

**[0048]** Die Steuereinrichtung ist dann bevorzugt dazu ausgebildet ist, die Änderungswerte auf Grundlage der geglätteten Messsignale zu ermitteln.

**[0049]** Es sei an dieser Stelle klargestellt, dass unter einem digitalen Filter erster Ordnung eine rekursive Filtervorschrift unter Verwendung eines Filterkoeffizienten  $a$  gemäß folgender Struktur verstanden wird:

$$y(n) = a \cdot y(n-1) + (1-a) \cdot x(n)$$

wobei  $y(n)$  die Filterausgabe für den  $n$ -ten Atemhub ist,  $y(n-1)$  die Filterausgabe für den unmittelbar vorhergehenden  $(n-1)$ -ten Atemhub ist und  $x(n)$  das aktuelle Eingangssignal für den  $n$ -ten Atemhub ist.  $a$  ist ein für den Filter bestimmter Filterkoeffizient.

**[0050]** Ein Filter  $m$ -ter Ordnung ist dabei die  $m$ -fache Anwendung der oben bezeichneten Filterstruktur mit der Filterausgabe der  $i$ -ten Ordnung für den  $n$ -ten Atemhub als Eingangssignal des Filters der nächsthöheren  $(i+1)$ -ten Ordnung für den  $n$ -ten Atemhub, wobei  $1 \leq i \leq m$  gilt.

**[0051]** Bevorzugt arbeiten der proximale und der distale Durchflusssensor nicht kontinuierlich, sondern zeitdiskret, sodass der proximale und der distale Durchflusssensor jeweils pro Atemhub einen, vorzugsweise genau einen, Messwert liefern, welcher den diesem Atemhub zugeordneten Gasfluss repräsentiert.

**[0052]** Um nicht nur einen Fehler zu erfassen, sondern im Falle einer Fehlererfassung hieraus auch Maßnahmen ableiten zu können, ist die Steuereinrichtung vorzugsweise dazu ausgebildet, dann, wenn sie auf einen Fehler schließt, einen Alarm auszugeben. Anders als im Stand der Technik ist es jedoch nicht notwendig, einen Sensor abzuschalten. Daher ist die Steuereinrichtung bevorzugt dazu ausgebildet, die Verarbeitung von Messsignalen des proximalen Durchflusssensors fortzusetzen und insbesondere weiterhin auf das Vorliegen eines Sensorfehlers zu überprüfen.

**[0053]** Die vorliegende Erfindung wird nachfolgend anhand der beiliegenden Zeichnungen näher erläutert werden. Es stellt dar:

**[0054]** Fig. 1 eine erfindungsgemäße Ausführungsform einer Beatmungsvorrichtung der vorliegenden Erfindung,

**[0055]** Fig. 2 ein Diagramm mit Rohmesssignalen und geglätteten Messsignalen des distalen und des proximalen Durchflusssensors,

**[0056]** Fig. 3 ein Diagramm mit Änderungswerten der Messsignale des distalen und des proximalen Durchflusssensors,

**[0057]** Fig. 4 ein weiteres Diagramm mit Rohmesssignalen und geglätteten Messsignalen des distalen und des proximalen Durchflusssensors,

**[0058]** Fig. 5 ein weiteres Diagramm mit Änderungswerten der Messsignale des distalen und des proximalen Durchflusssensors,

**[0059]** Fig. 6 ein grobschematisches Diagramm zur Fehlererfassung eines Sprungfehlers,

**[0060]** Fig. 7 grobschematische Diagramme zur Fehlererfassung eines Driftfehlers.

**[0061]** In Fig. 1 ist eine erfindungsgemäße Ausführungsform einer Beatmungsvorrichtung allgemein mit **10** bezeichnet. Die Beatmungsvorrichtung **10** dient im dargestellten Beispiel zur künstlichen Beatmung eines humanen Patienten **12**.

**[0062]** Lediglich der Vollständigkeit halber sei darauf hingewiesen, dass die erfindungsgemäße Beatmungsvorrichtung **10** als mobile Beatmungsvorrichtung **10** auf einem rollbaren Gestell **13** aufgenommen sein kann.

**[0063]** Die Beatmungsvorrichtung **10** weist ein Gehäuse **14** auf, in dem – von außen wegen des blickdichten Gehäusematerials nicht erkennbar – eine Druckveränderungsanordnung **16** und eine Steuereinrichtung **18** aufgenommen sein können.

**[0064]** Die Druckveränderungsanordnung **16** ist in an sich bekannter Weise aufgebaut und kann eine Pumpe, einen Verdichter, ein Gebläse, einen Druckbehälter, ein Reduzierventil und dergleichen aufweisen. Weiter weist die Beatmungsvorrichtung **10** in an sich bekannter Weise ein Inspirationsventil **20** und ein Expirationsventil **22** auf.

**[0065]** Die Steuereinrichtung **18** ist üblicherweise als Computer oder Mikroprozessor realisiert. Sie umfasst eine in Fig. 1 nicht dargestellte Speichereinrichtung, um für den Betrieb der Beatmungsvorrichtung **10** notwendige Daten speichern und erforderlichenfalls aufrufen zu können. Die Speichereinrichtung kann bei Netzbetrieb auch außerhalb des Gehäuses **14** gelegen und durch eine Datenübertragungsverbindung mit der Steuereinrichtung **18** verbunden sein. Die Datenübertragungsverbindung kann durch eine Kabel- oder eine Funkstrecke gebildet sein. Um jedoch zu verhindern, dass Störungen der Datenübertragungsverbindung sich auf den Betrieb der Beatmungsvorrichtung **10** auswirken können, ist die Speichereinrichtung bevorzugt in die Steuereinrichtung **18** integriert oder wenigstens im selben Gehäuse **14** wie diese aufgenommen.

**[0066]** Zur Eingabe von Daten in die Beatmungsvorrichtung **10** bzw. genauer in die Steuereinrichtung **18** weist die Beatmungsvorrichtung **10** einen Dateneingang **24** auf, welcher in dem in Fig. 1 dargestellten Beispiel durch eine Tastatur repräsentiert ist. Die Steuereinrichtung **18** kann alternativ oder zusätzlich zur dargestellten Tastatur Daten über verschiedene Dateneingänge erhalten, etwa über eine Netzwerkleitung, eine Funkstrecke oder über Sensoranschlüsse **26**, auf die weiter unten im Einzelnen eingegangen wird.



**[0067]** Zur Ausgabe von Daten an den behandelnden Therapeuten kann die Beatmungsvorrichtung **10** ein Ausgabegerät **28** aufweisen, im dargestellten Beispiel einen Bildschirm.

**[0068]** Zur künstlichen Beatmung ist der Patient **12** mit der Beatmungsvorrichtung **10**, genauer mit der Druckveränderungsanordnung **16** im Gehäuse **14**, über eine Beatmungsleitungsanordnung **30** verbunden. Der Patient **12** ist hierfür intubiert.

**[0069]** Die Beatmungsleitungsanordnung **30** weist einen Inspirationsschlauch **32** auf, über welchen frisches Atemgas von der Druckveränderungsanordnung **16** in die Lunge des Patienten **12** geleitet werden kann. Der Inspirationsschlauch **32** kann unterbrochen sein und einen ersten Inspirationsteilschlauch **34** und einen zweiten Inspirationsteilschlauch **36** aufweisen, zwischen welchen eine Konditionierungseinrichtung **38** zur gezielten Befeuchtung und gegebenenfalls auch Temperierung des dem Patienten **12** zugeführten frischen Atemgases vorgesehen sein kann. Die Konditionierungseinrichtung **38** kann mit einem externen Flüssigkeitsvorrat **40** verbunden sein, über den Wasser zur Befeuchtung oder auch ein Medikament, etwa zur Entzündungshemmung oder zur Erweiterung der Atemwege, dem Atemgas zugeführt werden kann. Bei einem Einsatz der vorliegenden Beatmungsvorrichtung **10** als Anästhesie-Beatmungsvorrichtung können so volatile Anästhetika kontrolliert über die Beatmungsvorrichtung **10** an den Patienten **12** abgegeben werden. Die Konditionierungseinrichtung **38** sorgt dafür, dass das frische Atemgas dem Patienten **12** mit einem vorbestimmten Feuchtegehalt, gegebenenfalls unter Zugabe eines Medikamenten-Aerosols und mit einer vorbestimmten Temperatur zugeleitet wird.

**[0070]** Die Beatmungsleitungsanordnung **30** weist neben dem bereits erwähnten Inspirationsventil **20** ein Expirationsventil **22** und weiter einen Expirationsschlauch **42** auf, über welchen verstoffwechseltes Atemgas aus der Lunge des Patienten **12** in die Atmosphäre abgeblasen wird.

**[0071]** Der Inspirationsschlauch **32** ist mit dem Inspirationsventil **20** gekoppelt, der Expirationsschlauch **42** mit dem Expirationsventil **22**. Von den beiden Ventilen ist jeweils nur eines gleichzeitig zum Durchlass einer Gasströmung geöffnet. Die Betätigungssteuerung der Ventile **20** und **22** erfolgt ebenfalls durch die Steuereinrichtung **18**.

**[0072]** Während eines Beatmungszyklus ist zunächst für die Dauer der Inspirationsphase das Expirationsventil **22** geschlossen und das Inspirationsventil **20** geöffnet, sodass frisches Atemgas vom Gehäuse **14** zum Patienten **12** geleitet werden kann. Eine Strömung des frischen Atemgases wird durch gezielte Druckerhöhung des Atemgases durch die Druckveränderungsanordnung **16** bewirkt. Aufgrund der Druckerhöhung strömt das frische Atemgas in die Lunge des Patienten **12** und expandiert dort den lungennahen Körperbereich, also insbesondere den Brustkorb, gegen die individuelle Elastizität der lungennahen Körperteile. Hierdurch steigt auch der Gasdruck im Inneren der Lunge des Patienten **12** an.

**[0073]** Am Ende der Inspirationsphase wird das Inspirationsventil **20** geschlossen und das Expirationsventil **22** geöffnet. Es beginnt die Expirationsphase. Aufgrund des bis zum Ende der Inspirationsphase erhöhten Gasdrucks des in der Lunge des Patienten **12** befindlichen Atemgases strömt dieses nach dem Öffnen des Expirationsventils **22** in die Atmosphäre, wobei sich mit fortschreitender Strömungsdauer der Gasdruck in der Lunge des Patienten **12** verringert. Erreicht der Gasdruck in der Lunge **12** einen an der Beatmungsvorrichtung **10** eingestellten positiven end-expiratorischen Druck, also einen geringfügig höheren Druck als den Atmosphärendruck, wird die Expirationsphase mit dem Schließen des Expirationsventils **22** beendet und es schließt sich ein weiterer Beatmungszyklus an.

**[0074]** Während der Inspirationsphase wird dem Patienten **12** das sogenannte Beatmungs-Tidalvolumen zugeführt, also das Atemgas-Volumen pro Atemhub. Das Beatmungs-Tidalvolumen multipliziert mit der Anzahl an Beatmungszyklen pro Minute, also multipliziert mit der Beatmungsfrequenz, ergibt das Minutenvolumen der vorliegend durchgeführten künstlichen Beatmung.

**[0075]** Bevorzugt ist die Beatmungsvorrichtung **10**, insbesondere die Steuereinrichtung **18**, dazu ausgebildet, Beatmungs-Betriebsparameter, die den Beatmungsbetrieb der Beatmungsvorrichtung **10** kennzeichnen, während des Beatmungsbetriebs wiederholt zu aktualisieren bzw. zu ermitteln, um sicherzustellen, dass der Beatmungsbetrieb zu jedem Zeitpunkt möglichst optimal auf den jeweils zu beatmenden Patienten **12** abgestimmt ist. Besonders vorteilhaft erfolgt die Bestimmung eines oder mehrerer Beatmungs-Betriebsparameter mit der Beatmungsfrequenz, sodass für jeden Beatmungszyklus aktuelle und damit optimal an den Patienten **12** angepasste Beatmungs-Betriebsparameter bereitgestellt werden können.

**[0076]** Hierzu kann die Beatmungsvorrichtung **10** mit einem oder mehreren Sensoren datenübertragungsmäßig verbunden sein, welche den Zustand des Patienten oder/und den Betrieb der Beatmungsvorrichtung überwachen.

**[0077]** Einer dieser Sensoren ist ein proximaler Durchflusssensor **44**, welcher in einem Y-Verbindungsstück **45** die dort in der Beatmungsleitungsanordnung **30** herrschende Atemgas-Strömung erfasst. Der Durchflusssensor **44** kann mittels einer Sensor-Leitungsanordnung **46** mit den Dateneingängen **26** der Steuereinrichtung **18** gekoppelt sein. Die Sensor-Leitungsanordnung **46** kann, muss jedoch nicht, elektrische Signalübertragungsleitungen umfassen. Sie kann ebenso Schlauchleitungen aufweisen, die den in Strömungsrichtung beiderseits des Durchflusssensors **44** herrschenden Gasdruck an die Dateneingänge **26** übertragen, wo diese von in **Fig. 1** nicht dargestellten Drucksensoren quantifiziert werden. Der Durchflusssensor **44** ist vorliegend als Differenzdruck-Durchflusssensor **44** dargestellt. Der Durchflusssensor **44** ist zwar bevorzugt ein nach dem Differenzdruck-Prinzip arbeitender Durchflusssensor, kann jedoch auch ein nach einem anderen physikalischen Wirkprinzip arbeitender Durchflusssensor sein.

**[0078]** Im Gehäuse **14** ist ein weiterer Durchflusssensor **48** vorgesehen, welcher aufgrund seiner größeren Entfernung vom Patienten **12** – verglichen mit dem proximalen Durchflusssensor **44** – als distaler Durchflusssensor **48** bezeichnet ist.

**[0079]** Der distale Durchflusssensor **48** und sein Messsignal können beispielsweise zur Regelung des Atemgasflusses durch die Beatmungsleitungsanordnung **30**, im Falle des distalen Durchflusssensors **48** genauer durch den Inspirationsschlauch **32**, während einer Inspirationsphase dienen, während der proximale Durchflusssensor **44** und sein Messsignal zur Regelung des dem Patienten **12** zugeführten Minutenvolumens dienen können. Der distale Durchflusssensor **48** weist somit bevorzugt ein schnelleres Ansprechverhalten auf als der proximale Durchflusssensor **44**, da das Messsignal des distalen Durchflusssensors **48** auch zur Veränderung des Atemgasflusses während eines Atemhubs dient, während das Messsignal des proximalen Durchflusssensors **44** bevorzugt nur atemhubsweise berücksichtigt wird, somit auf dessen Grundlage keine Veränderung des Atemgasflusses durch das Y-Verbindungsstück **45** während eines Atemhubs erfolgt.

**[0080]** Aufgrund des Ortes seiner Anbringung in dem Y-Verbindungsstück **45** ist der proximale Durchflusssensor **44** im Gegensatz zum distalen Durchflusssensor **48** grundsätzlich auch in der Lage, den Fluss von expiratorischem Atemgas durch den Expirationsschlauch **42** zu erfassen.

**[0081]** Die korrekte Funktion der Durchflusssensoren **44** und **48** ist für den korrekten Betrieb der Beatmungsvorrichtung **10** und somit für die Gesundheit des Patienten **12** wesentlich.

**[0082]** Es hat sich im Betrieb gezeigt, dass gerade der proximale Durchflusssensor **48** aufgrund seiner Nähe zum Patienten **12** einem größeren Fehlerrisiko unterliegt als der distale Durchflusssensor **48**. Der proximale Durchflusssensor **44**, durch den auch expiratorisches Atemgas strömt, ist beispielsweise stärker als der distale Durchflusssensor **48** durch im Atemgas enthaltene Feuchtigkeit belastet. Dies gilt umso mehr, wenn der distale Durchflusssensor **48** wie im vorliegenden Beispiel der **Fig. 1** in Inspirationsrichtung stromaufwärts der Konditionierungseinrichtung **38** angeordnet ist und somit im Wesentlichen nur von trockenem inspiratorischem Atemgas durchströmt wird.

**[0083]** Die Steuereinrichtung **18** der erfindungsgemäßen Beatmungsvorrichtung **10** ist zur Überwachung des Betriebs der aus dem proximalen Durchflusssensor **44** und dem distalen Durchflusssensor **48** gebildeten Durchflusssensoranordnung ausgebildet, um eine Fehlfunktion der Durchflusssensoranordnung rechtzeitig erkennen zu können.

**[0084]** Gemäß der bisher gemachten Erfahrungen treten am proximalen Durchflusssensor **44** zwei sich hinsichtlich der Geschwindigkeit ihres Auftretens unterscheidende Fehlertypen auf, nämlich ein schnell innerhalb weniger Sekunden auftretender Sprungfehler und ein schleichend innerhalb mehrerer Minuten auftretender Driftfehler.

**[0085]** Zunächst soll die Erfassung des Sprungfehlers beschrieben werden.

**[0086]** In **Fig. 2** sind die Erfassungssignale des proximalen Durchflusssensors **44** als "VTProx" mit Bezugszeichen **52** und des distalen Durchflusssensors **48** als "VTServ" mit Bezugszeichen **54** dargestellt. Es handelt sich dabei um zeitdiskrete Signale in ihrer unmittelbar von den jeweiligen Sensoren **44** und **48** erfassten Form.

**[0087]** Grundsätzlich können diese Signale zur Durchführung der erfindungsgemäßen Fehlererfassung verwendet werden. Zur Erhöhung der Erkennungssicherheit von Fehlern insbesondere am proximalen Durchflusssensor **44** empfiehlt es sich jedoch, diese Signale zu glätten.

**[0088]** Für die Erfassung des spontan auftretenden Sprungfehlers ist ein Glättverfahren vorteilhaft, welches nur einige wenige Messsignale berücksichtigt und somit kurzfristig auftretende Änderungen in den Sensor-signalen nicht unterdrückt. Als vorteilhaft hierfür hat sich die Glättung durch Bildung eines gewichteten gleitenden Mittelwerts erwiesen, etwa über die letzten **16** Messwerte hinweg. Die Messsignale des proximalen Durchflusssensors **44** und des distalen Durchflusssensors **48** werden dabei vorteilhaft mit den gleichen Messverfahren und den gleichen Filterkoeffizienten geglättet. Dies muss jedoch nicht so sein. Für die Messsignale unterschiedlicher Sensoren können unterschiedliche Glättungsverfahren oder das gleiche Glättungsverfahren mit unterschiedlichen Filterkoeffizienten verwendet werden. Im vorliegenden Fall eines gewichteten gleitenden Mittelwerts sind die Filterkoeffizienten die Gewichtungsfaktoren der jeweiligen Messwerte. Dies führt zu ungefilterten Messwerten, welche für den n-ten Atemhub des distalen Durchflusssensors **48** wie folgt aussehen können:

$$VT_{Serv_{Filt}}[n] = \frac{1}{64} \sum_{i=1}^{16} a_i \cdot VT_{Serv_{Filt}}[n-1]$$

mit  $a_i = \{1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 8, 7, 6, 5, 4, 3, 2, 1\}$

**[0089]** Es werden bei dem angegebenen Beispiel die in der Mitte der **16** letzten Messwerte gelegenen Messwerte am stärksten gewichtet, mit einem linearen Anstieg vom jüngsten Messwert zu den mittleren Messwerten hin und mit einem linearen Abfall von den mittleren Messwerten zum ältesten Messwert. Entsprechend kann das zur Ermittlung eines Sprungfehlers geglättete Signal des proximalen Sensors wie folgt aussehen:

$$VT_{Prox_{Filt}}[n] = \frac{1}{64} \sum_{i=1}^{16} a_i \cdot VT_{Prox_{Filt}}[n-1]$$

wobei die Gewichtungsfaktoren dieselben sind.

**[0090]** Der gewichtete geglättete Mittelwert  $VT_{Serv_{Filt}}$  ist in **Fig. 2** mit dem Bezugszeichen **56**, der gewichtete geglättete Mittelwert  $VT_{Prox_{Filt}}$  mit dem Bezugszeichen **58** versehen. Die Abszisse des Diagramms von **Fig. 2** bezeichnet die Zeit in Minuten, die Ordinate das Volumen in Millilitern.

**[0091]** Die für die Fehlererfassung der erfindungsgemäßen Beatmungsvorrichtung wichtigen Änderungswerte werden besonders vorteilhaft als Differenzen des Werts des aktuellen Atemhubs und des unmittelbar vorhergehenden Atemhubs verwendet, wobei bevorzugt die geglätteten Werte zur Bildung der Differenzen herangezogen werden. Die Änderungswerte  $VT_{Serv_{Diff}}$  des distalen Durchflusssensors **48** und  $VT_{Prox_{Diff}}$  des proximalen Durchflusssensors **44** können daher wie folgt gebildet werden:

$$VT_{Serv_{Diff}}[n] = VT_{Serv_{Filt}}[n] - VT_{Serv_{Filt}}[n-1]$$

$$VT_{Prox_{Diff}}[n] = VT_{Prox_{Filt}}[n] - VT_{Prox_{Filt}}[n-1]$$

**[0092]** Diese Änderungswerte sind in ihrem zeitlichen Verlauf in **Fig. 3** gezeigt. Der Änderungswert des distalen Durchflusssensors **48** ist dabei mit dem Bezugszeichen **60**, jener des proximalen Durchflusssensors **44** mit dem Bezugszeichen **62** gekennzeichnet. Wiederum zeigt die Abszisse des Diagramms von **Fig. 3** die Zeit in Minuten und die Ordinate ein Volumen, diesmal das Änderungsvolumen, in Millilitern.

**[0093]** In **Fig. 3** ist mit Bezugszeichen **64** ein Schwellenwert bezeichnet, bei dessen Überschreitung durch den Änderungswert **62** des proximalen Durchflusssensors **44** die Steuereinrichtung **18** mit dem in der Beschreibungseinleitung geschilderten Fehlererfassungsverfahren beginnt. Der Start des Fehlererfassungsverfahrens ist an das Überschreiten des Schwellenwerts **64** gekoppelt, um nicht unnötig Rechenleistung der Steuereinrichtung **18** für das Fehlererfassungsverfahren aufzuwenden.

**[0094]** Wenn beim k-ten Atemhub der Änderungswert **62** des proximalen Durchflusssensors **44** der Schwellenwert **64** vom Änderungswert **62** des proximalen Durchflusssensors **44** überschritten wird, werden die Änderungswerte der beiden Durchflusssensoren **44** und **48** des unmittelbar vorhergehenden (k – 1)-ten Atemhubs jeweils als Bezugsgrößen für einen späteren Vergleich gespeichert:

$$VT_{Serv_{Bezug}} = VT_{Serv_{Filt}}[k - 1]$$

$$VT_{Prox_{Bezug}} = VT_{Prox_{Filt}}[k - 1]$$

**[0095]** Es wird dann mit einer Aufsummierung der Änderungswerte begonnen:

$$VT_{Serv_{Summe}}[n] = VT_{Serv_{Summe}}[n - 1] + VT_{Serv_{Diff}}[n]$$

$$VT_{Prox_{Summe}}[n] = VT_{Prox_{Summe}}[n - 1] + VT_{Prox_{Diff}}[n]$$

**[0096]** Für jeden Durchflusssensor **44** und **48** wird somit ein Summenwert gebildet, der für den n-ten Atemhub der Summenwert des unmittelbar vorhergehenden (n – 1)-ten Atemhubs zuzüglich des aktuellen Änderungswerts des n-ten Atemhubs ist.

**[0097]** Auf einen Sprungfehler erkennt die Steuereinrichtung **18** im dargestellten Ausführungsbeispiel dann, wenn das Verhältnis des Summenwerts des proximalen Durchflusssensors **44** zum Bezugswert

$$VT_{Prox_{Bezug}}$$

des proximalen Durchflusssensors **44** einen vorbestimmten Bezugsschwellenwert überschreitet, beispielsweise einen Bezugsschwellenwert von 0,08 überschreitet, was bedeutet, dass die Summe der Änderungswerte des proximalen Durchflusssensors seit Beginn der Aufsummierung wenigstens 8 % des Bezugswerts beträgt. Der Bezugsschwellenwert kann auch einen anderen Wert als 8 % aufweisen, jedoch haben sich in bisherigen Versuchen 8 % als sehr guter Bezugsschwellenwert erwiesen.

**[0098]** Als weitere Bedingung, welche zu der im vorhergehenden Absatz genannten hinzutreten kann, ist, dass sich der Summenwert des distalen Durchflusssensors **48** um nicht mehr als einen weiteren Bezugsschwellenwert – dieser kann beispielsweise bei 10 % liegen – vom Summenwert des proximalen Durchflusssensors **44** unterscheidet.

**[0099]** Alternativ oder zusätzlich zu der im vorhergehenden Absatz genannten weiteren Bedingung kann die Bedingung hinzutreten, dass sich der aktuelle, vorzugsweise geglättete, Wert des distalen Durchflusssensors **48** nicht mehr als um einen noch weiteren Bezugsschwellenwert von seinem Bezugswert unterscheidet. Dieser noch weitere Bezugsschwellenwert kann beispielsweise zwischen 1 und 5 % liegen. Versuche haben einen noch weiteren Bezugsschwellenwert von 2 % als zielführend herausgestellt.

**[0100]** Der Fall eines am proximalen Durchflusssensor **44** auftretenden Sprungfehlers ist in **Fig. 6** beispielhaft thematisch gezeigt.

**[0101]** Erst wenn alle für eine zuverlässige Erkennung eines Sprungfehlers vorbestimmten Bedingungen erfüllt sind, erkennt die Steuereinrichtung **18** auf Vorhandensein eines Sprungfehlers und löst beispielsweise einen entsprechenden Alarm aus.

**[0102]** Für die Erkennung eines schleichend auftretenden Driftfehlers werden ebenfalls geglättete Messwerte verwendet, wobei vorzugsweise die Glättung der Messwerte über eine größere Anzahl an zurückliegenden Messwerten erfolgt, als dies beim Sprungfehler der Fall ist. Beispielsweise kann die Glättung wieder durch Bildung eines gewichteten gleitenden Mittelwerts erfolgen, etwa über die 100 letzten Messwerte hinweg:

$$VT_{Serv_{Filt}}[n] = \sum_{i=1}^{100} b_i \cdot VT_{Serv_{Filt}}[n-1]$$

$$VT_{Prox_{Filt}}[n] = \sum_{i=1}^{100} b_i \cdot VT_{Prox_{Filt}}[n-1]$$

**[0103]** Die Gewichtungskoeffizienten  $b_i$  sind dabei so gewählt, dass die Summe aller Gewichtungskoeffizienten 1 ergibt. Alternativ oder zusätzlich können die Messwerte auch durch einen digitalen Filter höherer Ordnung, vorzugsweise wenigstens vierter Ordnung, geglättet werden.

**[0104]** In **Fig. 4** sind die Rohsignale des distalen Durchflusssensors **48** mit Bezugszeichen **66** versehen und jene des proximalen Durchflusssensors **44** mit Bezugszeichen **68**. Das geglättete Signal des distalen Durchflusssensors **48** ist dagegen mit Bezugszeichen **70** versehen, das geglättete Signal des proximalen Durchflusssensors **44** mit Bezugszeichen **72**.

**[0105]** Die Bildung der Änderungswerte der Messsignale **66** und **68** des distalen bzw. proximalen Durchflusssensors **48** bzw. **44** erfolgt wie oben bereits beschrieben, nämlich durch Bildung der Differenz zwischen dem geglätteten Messwert des jeweiligen Sensors für den aktuellen Atemhub und jenem des unmittelbar vorhergehenden Atemhubs. Es gilt also wiederum:

$$VT_{Serv_{Diff}}[n] = VT_{Serv_{Filt}}[n] - VT_{Serv_{Filt}}[n-1]$$

$$VT_{Prox_{Diff}}[n] = VT_{Prox_{Filt}}[n] - VT_{Prox_{Filt}}[n-1]$$

**[0106]** Die Änderungswerte der Messsignale des distalen Durchflusssensors **48** sind in **Fig. 5** mit Bezugszeichen **74** bezeichnet, jene des proximalen Durchflusssensors **44** mit Bezugszeichen **76**.

**[0107]** Wiederum beginnt die Fehlererfassung durch die Steuereinrichtung **18** erst, nachdem vorbestimmte Startbedingungen erfüllt sind, etwa dann, wenn einer der Änderungswerte ein in **Fig. 5** mit **78** bezeichnetes Toleranzband um 0 ml herum verlässt oder/und wenn die Änderungswerte unterschiedliche Vorzeichen aufweisen. In **Fig. 5** ist der obere Rand des Toleranzbandes nicht dargestellt, es reicht von -3 bis +3 ml. Das Änderungswerte-Toleranzband, dessen Verlassen eine Startbedingung für die Fehlererfassung durch die Steuereinrichtung **18** sein kann, ist vorzugsweise symmetrisch um den Nullpunkt herum angeordnet. Dies muss jedoch nicht so sein, es kann je nach Anwendungsfall auch betragsmäßig voneinander abweichende Grenzen haben.

**[0108]** Dann, wenn die vorbestimmte Startbedingung für die Erfassung eines Driftfehlers vorliegt, beginnt die Steuereinrichtung **18** wiederum, in der bereits oben beschriebenen Weise für die Änderungswerte eines jeden Durchflusssensors **44** bzw. **48** Summenwerte zu bilden:

$$VT_{Serv_{Summe}}[n] = VT_{Serv_{Summe}}[n-1] + VT_{Serv_{Diff}}[n]$$

$$VT_{Prox_{Summe}}[n] = VT_{Prox_{Summe}}[n-1] + VT_{Prox_{Diff}}[n]$$

**[0109]** Ebenso werden die Messwerte der beiden Sensoren **44** und **48** desjenigen Atemhubs, welcher jenem Atemhub unmittelbar vorausging, bei dem die wenigstens eine Startbedingung einer Fehlererfassung erfüllt wurde, als Bezugswerte für spätere Vergleiche gespeichert:

$$VT_{Serv_{Bezug}} = VT_{Serv_{Filt}}[k-1]$$

$$VT_{Prox_{Bezug}} = VT_{Prox_{Filt}}[k-1]$$

**[0110]** Hier unterscheidet sich die Fehlererfassung eines Driftfehlers nicht von der Fehlererfassung eines Sprungfehlers.

**[0111]** Die Steuereinrichtung **18** erkennt im vorliegenden Beispiel dann auf Vorliegen eines Driftfehlers in der Durchflusssensoranordnung, wenn das Verhältnis des Änderungssummenwerts

$$VT_{ProxSumme}[n]$$

des proximalen Durchflusssensors **44** zu dessen Bezugswert

$$VT_{ProxBezug}$$

einen vorbestimmten Bezugsschwellenwert übersteigt und wenn gleichzeitig das Verhältnis des Änderungssummenwerts

$$VT_{ServSumme}[n]$$

des distalen Durchflusssensors **48** zu dessen Bezugswert

$$VT_{ServBezug}$$

einen vorbestimmten weiteren Bezugsschwellenwert nicht übersteigt. Der Bezugsschwellenwert des proximalen Durchflusssensors **44** für die Erfassung eines Driftfehlers kann wiederum bei 8 % liegen, der weitere Bezugsschwellenwert kann beispielsweise bei 2 % liegen.

**[0112]** Ebenso erkennt die Steuereinrichtung **18** im vorliegenden Beispiel dann auf Vorliegen eines Driftfehlers in der Durchflusssensoranordnung, wenn das Verhältnis des Änderungssummenwerts

$$VT_{ServSumme}[n]$$

des distalen Durchflusssensors **48** zu dessen Bezugswert

$$VT_{ServBezug}$$

den vorbestimmten Bezugsschwellenwert übersteigt und wenn gleichzeitig das Verhältnis des Änderungssummenwerts des proximalen Durchflusssensors **44**

$$VT_{ProxSumme}[n]$$

zu dessen Bezugswert

$$VT_{ProxBezug}$$

den vorbestimmten weiteren Bezugsschwellenwert nicht übersteigt. Es gelten dabei die im vorhergehenden Absatz angegebenen beispielhaften Werte für die Bezugsschwellenwerte.

**[0113]** Da der Driftfehler sich am proximalen oder am distalen Durchflusssensor auswirken kann, sind die Bedingungen für die Erfassung des Driftfehlers bevorzugt symmetrisch bezüglich der beiden Bezugsschwellenwerte.

**[0114]** Als zusätzliche Bedingung für die Erfassung eines Driftfehlers kann hinzutreten, dass einer der beiden Änderungssummenwerte eine vorbestimmte Schwellenänderungsmenge überschreitet, beispielsweise eine Menge von 2 ml.

**[0115]** Die Bedingungen zur Erfassung eines Driftfehlers anhand der Änderungssummenwerte sind in **Fig. 7a** und **Fig. 7b** grobschematisch dargestellt. Im Falle einer Erkennung eines Driftfehlers löst die Steuereinrichtung **18** vorzugsweise einen Alarm aus, betreibt die Durchflusssensoranordnung jedoch bevorzugt weiter.

**[0116]** Mit der vorliegenden erfindungsgemäßen Beatmungsvorrichtung **10** können Fehler in der Durchflusssensoranordnung umfangreicher und zielgenauer als bisher erfasst werden.

**ZITATE ENTHALTEN IN DER BESCHREIBUNG**

*Diese Liste der vom Anmelder aufgeführten Dokumente wurde automatisiert erzeugt und ist ausschließlich zur besseren Information des Lesers aufgenommen. Die Liste ist nicht Bestandteil der deutschen Patent- bzw. Gebrauchsmusteranmeldung. Das DPMA übernimmt keinerlei Haftung für etwaige Fehler oder Auslassungen.*

**Zitierte Patentliteratur**

- DE 102010040287 A1 [0017, 0018]



## Patentansprüche

1. Beatmungsvorrichtung (10) zur künstlichen Beatmung mit
  - einer Beatmungsgasquelle (16),
  - einer zwischen der Beatmungsgasquelle (16) und einem patientenseitigen, proximalen Ende verlaufenden Beatmungsleitungsanordnung (30),
  - einer Ventilanordnung (20, 22), umfassend ein Inspirationsventil (20) und ein Expirationsventil (22),
  - einer Durchflusssensoranordnung (44, 48) zur quantitativen Erfassung eines Gasflusses in der Beatmungsleitungsanordnung (30), umfassend einen weiter vom patientenseitigen Ende der Beatmungsleitungsanordnung (30) entfernt angeordneten distalen Durchflusssensor (48) und einen näher beim patientenseitigen Ende der Beatmungsleitungsanordnung (30) gelegenen proximalen Durchflusssensor (44), und mit
  - einer Steuereinrichtung (18) wenigstens zur Verarbeitung von Messsignalen der Durchflusssensoranordnung (44, 48), wobei die Steuereinrichtung (18) dazu ausgebildet ist, auf Grundlage von Messsignalen des distalen (48) oder/und des proximalen Sensors (44) auf einen Fehler zu schließen, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Steuereinrichtung (18) dazu ausgebildet ist, auf einen Fehler der Durchflusssensoranordnung (44, 48) zu schließen auf Grundlage eines Vergleichs
  - eines Änderungswerts (62, 76) eines Messsignals (54, 58, 68, 72) des proximalen Durchflusssensors (44)
  - mit einem Änderungswert (60, 74) eines Messsignals (52, 56, 66, 70) des distalen Durchflusssensors (48) oder/und
  - mit einem Messsignal (54, 58, 68, 72) des proximalen Durchflusssensors (44), oder/und auf Grundlage eines Vergleichs
  - eines Änderungswerts (60, 74) des Messsignals (52, 56, 66, 70) des distalen Durchflusssensors (48)
  - mit einem Änderungswert (62, 76) des Messsignals (54, 58, 68, 72) des proximalen Durchflusssensors (44) oder/und
  - mit einem Messsignal (52, 56, 66, 70) des distalen Durchflusssensors (48).
  
2. Beatmungsvorrichtung nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Steuereinrichtung (18) dazu ausgebildet ist, dann auf einen Fehler der Durchflusssensoranordnung (44, 48) zu schließen, wenn der Änderungswert (62, 76 oder 60, 74) des Messsignals (54, 58, 68, 72 oder 52, 56, 66, 70) des einen Durchflusssensors (44 oder 48) aus distalem (48) und proximalem Durchflusssensor (44) eine entgegengesetzte Änderungsrichtung aufweist als der Änderungswert (60, 74 oder 62, 76, 60, 74) des jeweils anderen Durchflusssensors (48 oder 44).
  
3. Beatmungsvorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Steuereinrichtung (18) dazu ausgebildet ist, dann auf einen Fehler der Durchflusssensoranordnung (44, 48) zu schließen, wenn
  - ein Verhältnis eines Summenwerts von nacheinander anfallenden, vorzugsweise unmittelbar aufeinanderfolgenden, Änderungswerten (62, 76) des Messsignals (54, 58, 68, 72) des proximalen Durchflusssensors (44) zu einer ersten Bezugsgröße einen vorbestimmten Bezugsschwellenwert übersteigt und
  - wenn ein Verhältnis eines Summenwerts von nacheinander anfallenden, vorzugsweise unmittelbar aufeinanderfolgenden, Änderungswerten (60, 74) des Messsignals (52, 56, 66, 70) des distalen Durchflusssensors (48) zu einer zweiten Bezugsgröße einen vorbestimmten Bezugsschwellenwert unterschreitet.
  
4. Beatmungsvorrichtung nach Anspruch 3, **dadurch gekennzeichnet**, dass die erste oder/und die zweite Bezugsgröße ein Messsignalwert des proximalen Durchflusssensors (44) ist, insbesondere ein Messsignalwert des proximalen Durchflusssensors (44) bei oder unmittelbar vor dem Beginn der Aufsummierung der Änderungswerte (62, 76, 60, 74) ist.
  
5. Beatmungsvorrichtung nach einem der Ansprüche 3 oder 4, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Steuereinrichtung (18) dazu ausgebildet ist, mit der Aufsummierung von Änderungswerten (62, 76, 60, 74) zu beginnen, wenn der Messsignalwert oder/und der Änderungswert des proximalen Durchflusssensors (44) einen vorbestimmten Signalschwellenwert (64) übersteigt.
  
6. Beatmungsvorrichtung nach Anspruch 5, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Steuereinrichtung (18) dazu ausgebildet ist, die Messsignale des proximalen (44) und des distalen Durchflusssensors (48) atemhubsweise zu verarbeiten, wobei bevorzugt dann, wenn der Messsignalwert des proximalen Durchflusssensors (44) den vorbestimmten Signalschwellenwert (64) bei einem Schwellen-Atemhub übersteigt, die erste oder/und die zweite Bezugsgröße der Messsignalwert des proximalen Durchflusssensors (48) ist, welcher dem dem Schwellen-Atemhub unmittelbar vorhergehenden Atemhub zugeordnet ist.

7. Beatmungsvorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Steuereinrichtung (18) dazu ausgebildet ist, dann auf einen Fehler der Durchflusssensoranordnung (44, 48) zu schließen, wenn

- ein Verhältnis eines Summenwerts von nacheinander anfallenden, vorzugsweise unmittelbar aufeinanderfolgenden, Änderungswerten des Messsignals des proximalen Durchflusssensors (44) zu einer dritten Bezugsgröße einen vorbestimmten Bezugsschwellenwert übersteigt und
  - wenn ein Verhältnis eines Summenwerts von nacheinander anfallenden, vorzugsweise unmittelbar aufeinanderfolgenden, Änderungswerten des Messsignals des distalen Durchflusssensors (48) zu einer vierten Bezugsgröße einen vorbestimmten Bezugsschwellenwert unterschreitet,
- oder dann auf einen Fehler der Durchflusssensoranordnung (44, 48) zu schließen, wenn
- ein Verhältnis eines Summenwerts von nacheinander anfallenden, vorzugsweise unmittelbar aufeinanderfolgenden, Änderungswerten des Messsignals des proximalen Durchflusssensors (44) zu einer fünften Bezugsgröße einen vorbestimmten Bezugsschwellenwert unterschreitet und
  - wenn ein Verhältnis eines Summenwerts von nacheinander anfallenden, vorzugsweise unmittelbar aufeinanderfolgenden, Änderungswerten des Messsignals des distalen Durchflusssensors (48) zu einer sechsten Bezugsgröße einen vorbestimmten Bezugsschwellenwert übersteigt.

8. Beatmungsvorrichtung nach Anspruch 7,

**dadurch gekennzeichnet**, dass die Steuereinrichtung (18) dazu ausgebildet ist, nur dann auf einen Fehler der Durchflusssensoranordnung (44, 48) zu schließen, wenn zusätzlich

- der Summenwert von nacheinander anfallenden, vorzugsweise unmittelbar aufeinanderfolgenden, Änderungswerten des Messsignals des proximalen Durchflusssensors (44) einen vorbestimmten ersten Summen-schwellenwert übersteigt,
- oder/und
- der Summenwert von nacheinander anfallenden, vorzugsweise unmittelbar aufeinanderfolgenden, Änderungswerten des Messsignals des distalen Durchflusssensors (48) einen vorbestimmten zweiten Summen-schwellenwert übersteigt.

9. Beatmungsvorrichtung nach Anspruch 7 oder 8, **dadurch gekennzeichnet**, dass die dritte oder/und die fünfte Bezugsgröße ein Messsignalwert des proximalen Durchflusssensors (44) ist, insbesondere ein Messsignalwert des proximalen Durchflusssensors (44) bei oder unmittelbar vor dem Beginn der Aufsummierung der Änderungswerte ist.

10. Beatmungsvorrichtung nach einem der Ansprüche 7 bis 9, **dadurch gekennzeichnet**, dass die vierte oder/und die sechste Bezugsgröße ein Messsignalwert des distalen Durchflusssensors (48) ist, insbesondere ein Messsignalwert des distalen Durchflusssensors (48) bei oder unmittelbar vor dem Beginn der Aufsummierung der Änderungswerte ist.

11. Beatmungsvorrichtung nach einem der Ansprüche 7 bis 10, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Aufsummierung von Änderungswerten zur Bildung von Summenwerten beginnt, wenn der Betrag des Änderungswerts des Messsignals des proximalen (44) oder/und des distalen Durchflusssensors (48) einen vorbestimmten Betragsschwellenwert (78) übersteigt.

12. Beatmungsvorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Steuereinrichtung (18) dazu ausgebildet ist, die Messsignale der Durchflusssensoren (44, 48) durch Filterung zu glätten, insbesondere durch gleitende Mittelwertbildung, bevorzugt durch Bildung eines gleitenden gewichteten Mittelwerts, oder durch einen digitalen Filter mit einer höheren Ordnung als 1, vorzugsweise als 2, besonders bevorzugt mit einem digitalen Filter vierter Ordnung, wobei die Steuereinrichtung (18) bevorzugt weiter dazu ausgebildet ist, die Änderungswerte auf Grundlage der geglätteten Messsignale zu ermitteln.

13. Beatmungsvorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass der proximale (44) und der distale Durchflusssensor (48) jeweils pro Atemhub einen, vorzugsweise genau einen, Messwert liefern, welcher den diesem Atemhub zugeordneten Gasfluss repräsentiert.

14. Beatmungsvorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass der proximale Durchflusssensor (44) ein Differenzdrucksensor ist.

15. Beatmungsvorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Steuereinrichtung **(18)** dazu ausgebildet ist, dann, wenn sie auf einen Fehler schließt, einen Alarm auszugeben und vorzugsweise die Verarbeitung von Messsignalen des proximalen Durchflusssensors **(44)** fortsetzt.

Es folgen 7 Seiten Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

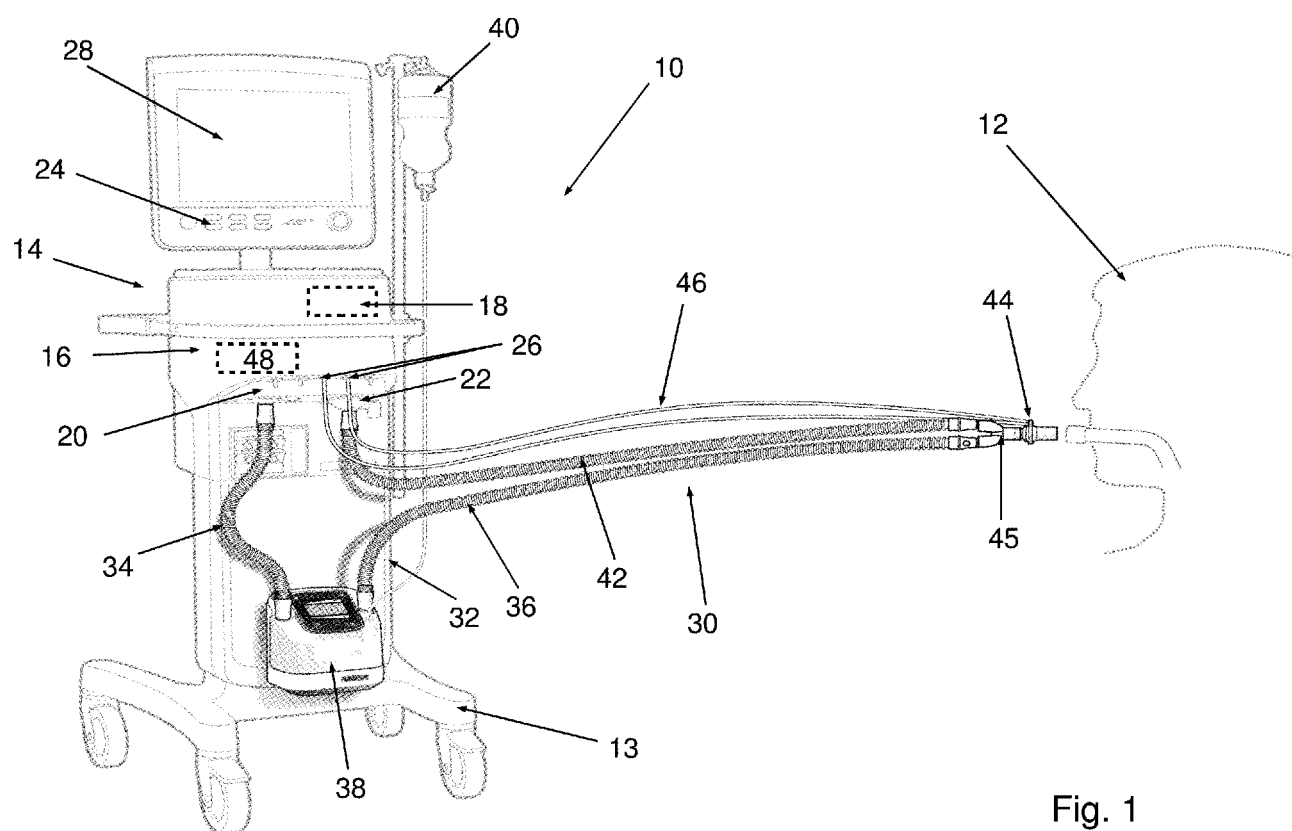


Fig. 1

Fig. 2

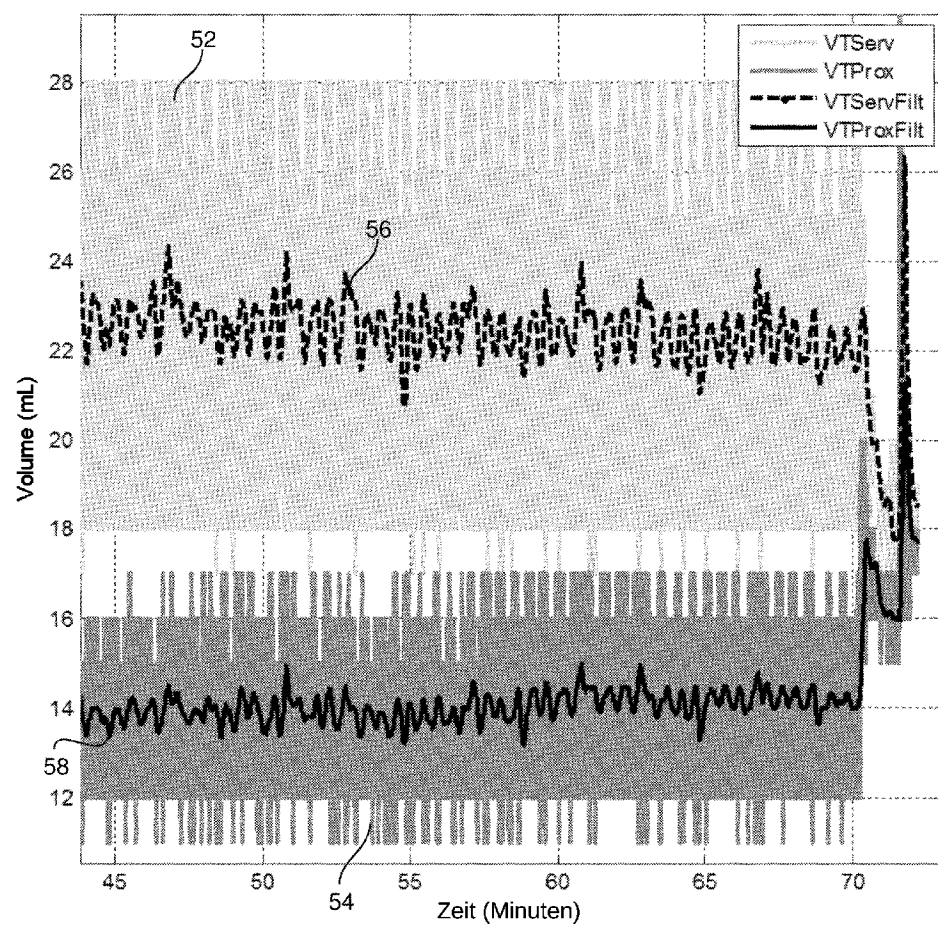


Fig. 3

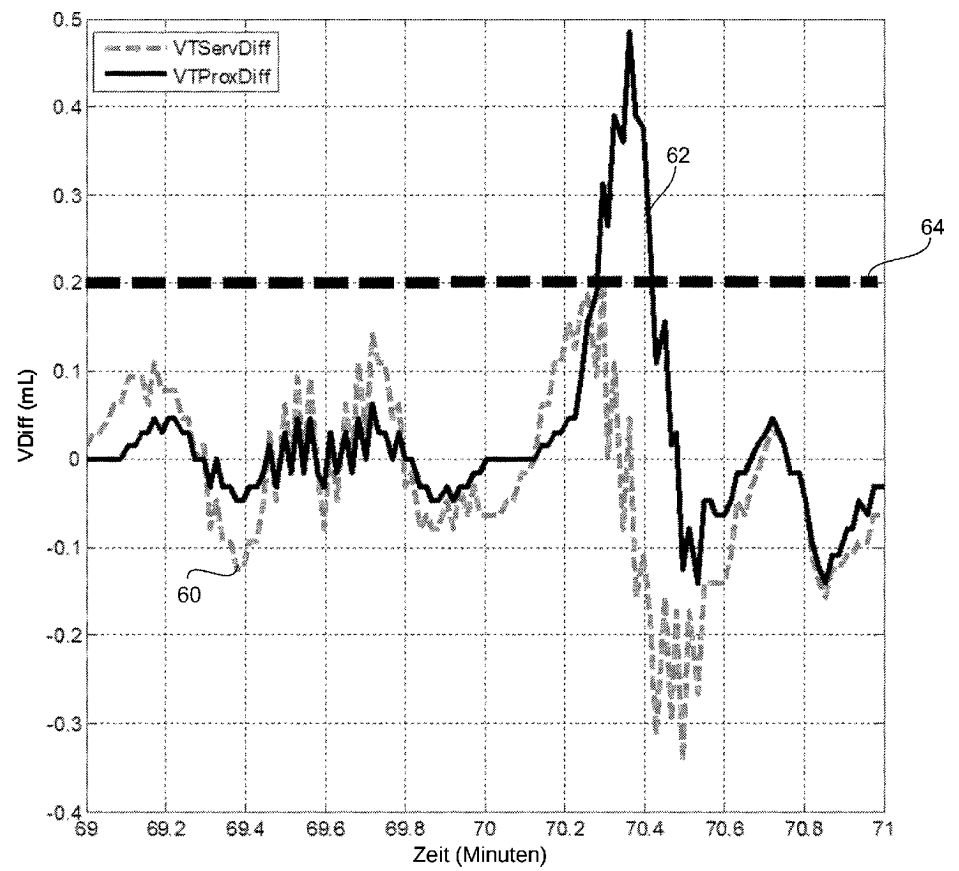


Fig. 4

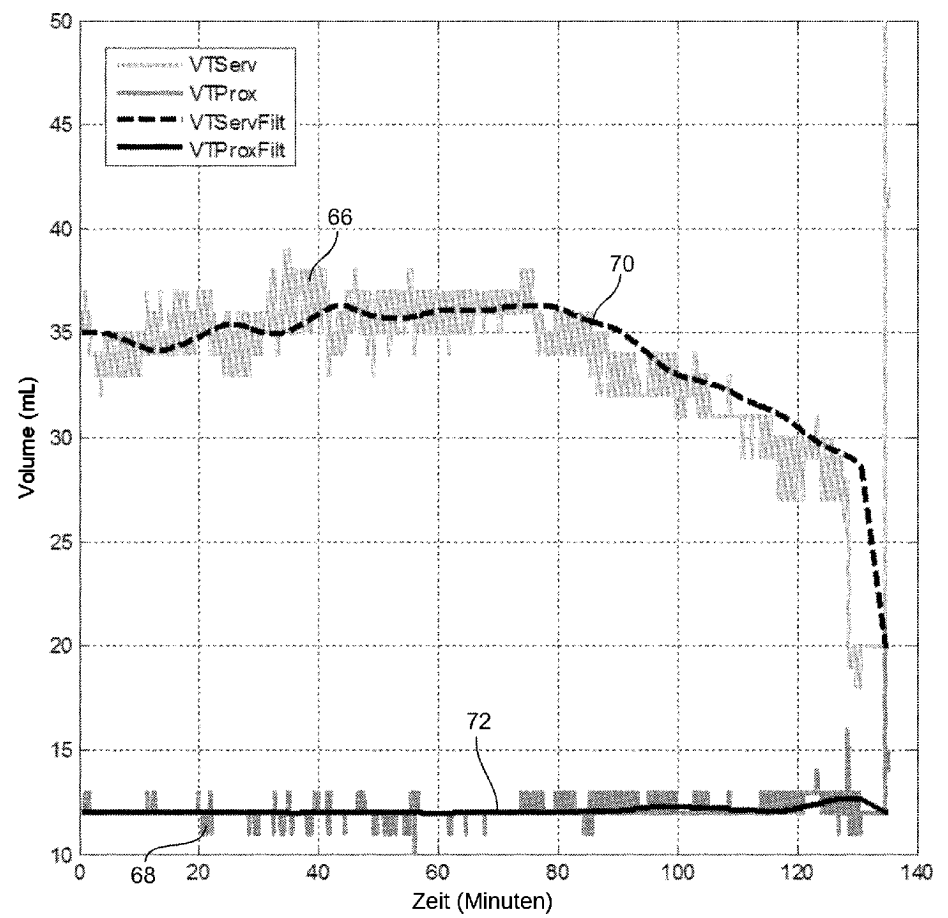


Fig. 5

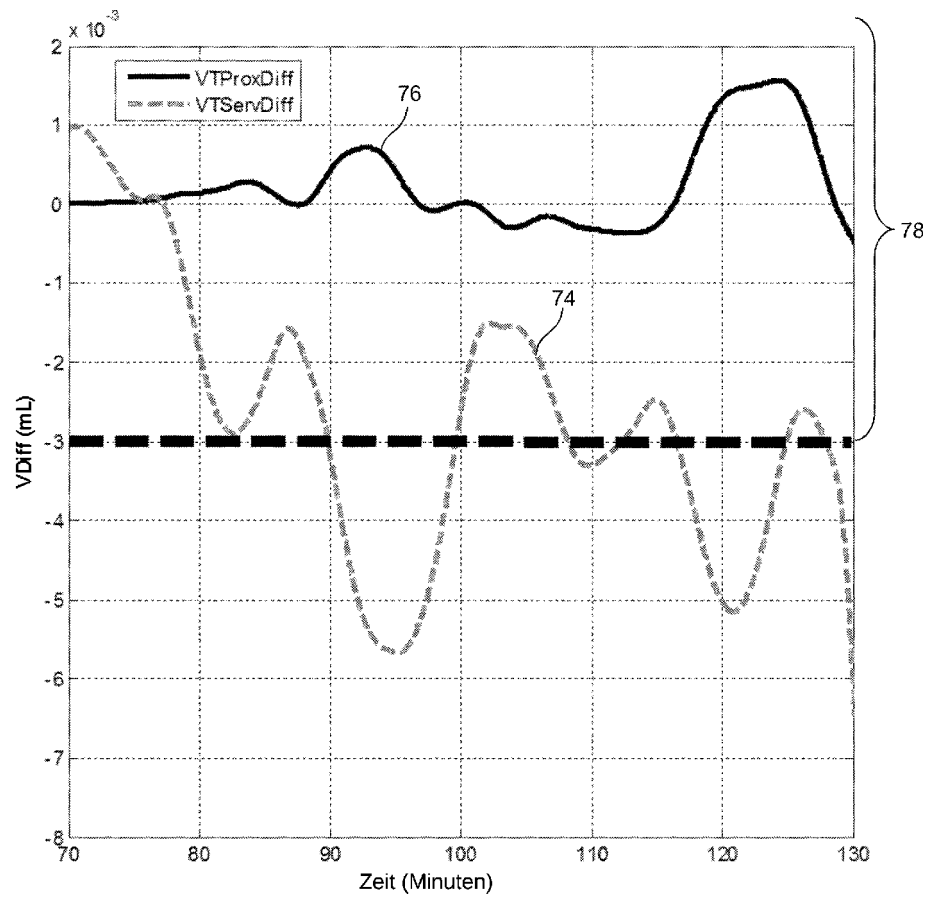




Fig. 6

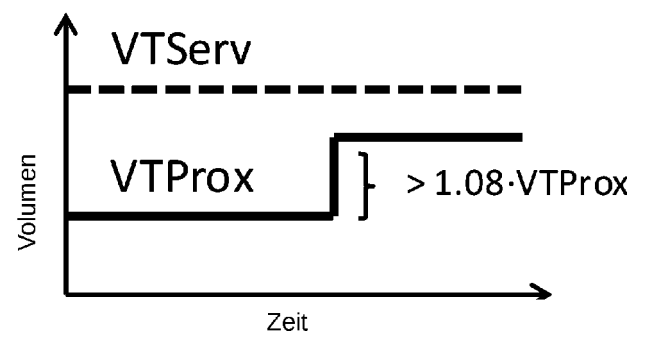
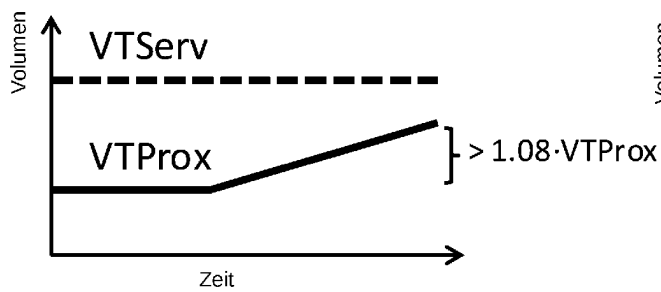


Fig. 7

a)



b)

