

(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES
PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum
Internationales Büro



(43) Internationales Veröffentlichungsdatum
20. September 2007 (20.09.2007)

PCT

(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2007/104435 A2

(51) Internationale Patentklassifikation:

F04B 43/12 (2006.01) **F04B 49/10** (2006.01)
F04B 43/08 (2006.01)

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2007/001754

(22) Internationales Anmeldedatum:
1. März 2007 (01.03.2007)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:
10 2006 011 346.2 11. März 2006 (11.03.2006) DE

(71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme von US): **FRESENIUS MEDICAL CARE DEUTSCHLAND GMBH** [DE/DE]; Else-Kröner-Strasse 1, 61352 Bad Homburg v.d.H. (DE).

(72) Erfinder; und

(75) Erfinder/Anmelder (nur für US): **KOPPERSCHMIDT,**

Pascal [DE/DE]; Am Süssberg 11, 97456 Dittelbrunn (DE).

(74) Anwälte: **OPPERMANN, Frank** usw.; John-F.-Kennedy Strasse 4, 65189 Wiesbaden (DE).

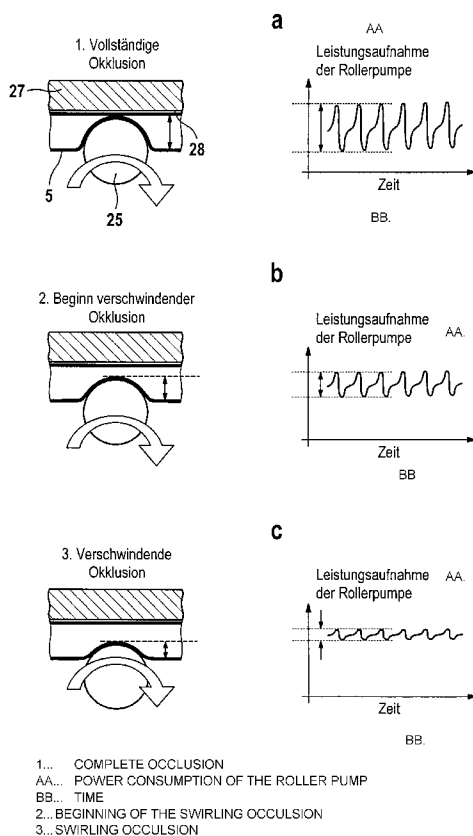
(81) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare nationale Schutzrechtsart): AE, AG, AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KM, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PG, PH, PL, PT, RO, RS, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, SV, SY, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

(84) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare regionale Schutzrechtsart): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG,

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(54) Title: METHOD AND DEVICE FOR OPERATING AN ELECTRIC PERISTALTIC HOSE PUMP

(54) Bezeichnung: VERFAHREN UND VORRICHTUNG ZUM BETRIEBEN EINER ELEKTRISCHEN PERISTALTISCHEN SCHLAUCHPUMPE



(57) Abstract: The invention relates to a method and to a device for operating an electric peristaltic hose pump, in particular a hose pump for transporting fluids in medical-technical devices, in particular extracorporeal blood treatment devices. In order to monitor the regular operation of a hose pump, the power consumption of the pump or a physical variable in correlation with the power consumption, in particular the pump flow, is monitored. According to the invention, the pump flow comprises a periodically non-altering direct component which is superimposed on a periodically altering alternating component. In order to monitor the regular operation of the hose pump, the alternating component of the power consumption in relation to the direct component of the power consumption is monitored as whether it increases and/or decreases during blood treatment.

(57) Zusammenfassung: Die Erfindung betrifft ein Verfahren und eine Vorrichtung zum Betreiben einer elektrischen peristaltischen Schlauchpumpe, insbesondere einer Schlauchpumpe zum Fördern von Flüssigkeiten in medizin-technischen Einrichtungen, insbesondere extrakorporalen Blutbehandlungsvorrichtungen. Zur Überwachung des ordnungsgemäßen Betriebs der Schlauchpumpe wird die Leistungsaufnahme der Pumpe oder eine mit der Leistungsaufnahme korrelierende physikalische Größe, insbesondere der Pumpenstrom überwacht. Die Erfindung beruht darauf, dass der Pumpenstrom einen sich periodisch nicht ändernden Gleichanteil aufweist, dem ein sich periodisch ändernder Wechselanteil überlagert ist. Zur Überwachung des ordnungsgemäßen Betriebes der Schlauchpumpe wird während der Blutbehandlung überwacht, wie der Wechselanteil der Leistungsaufnahme im Verhältnis zum Gleichanteil der Leistungsaufnahme ansteigt bzw. abfällt.



ZM, ZW), eurasisches (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), europäisches (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MT, NL, PL, PT, RO, SE, SI, SK, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Erklärung gemäß Regel 4.17:

— *Erfindererklärung (Regel 4.17 Ziffer iv)*

Veröffentlicht:

— *ohne internationalen Recherchenbericht und erneut zu veröffentlichen nach Erhalt des Berichts*

Zur Erklärung der Zweibuchstaben-Codes und der anderen Abkürzungen wird auf die Erklärungen ("Guidance Notes on Codes and Abbreviations") am Anfang jeder regulären Ausgabe der PCT-Gazette verwiesen.

Verfahren und Vorrichtung zum Betreiben einer elektrischen peristaltischen Schlauchpumpe

Die Erfindung bezieht sich auf ein Verfahren und eine Vorrichtung zum Betreiben einer elektrischen peristaltischen Schlauchpumpe zur Förderung einer Flüssigkeit in einer Schlauchleitung. Darüber hinaus betrifft die Erfindung ein Verfahren zum Betreiben einer elektrischen peristaltischen Schlauchpumpe einer extrakorporalen Blutbehandlungsvorrichtung sowie eine extrakorporale Blutbehandlungsvorrichtung mit einer Vorrichtung zum Betreiben einer peristaltischen Schlauchpumpe.

Bei einer extrakorporalen Blutbehandlung, beispielsweise einer Hämodialyse, durchströmt das zu behandelnde Blut in einem extrakorporalen Blutkreislauf die Blutkammer eines durch eine semipermeable Membran in die Blutkammer und eine Dialysierflüssigkeitskammer unterteilten Dialysators, während in einem Dialysierflüssigkeitssystem Dialysierflüssigkeit die Dialysierflüssigkeitskammer durchströmt. Der extrakorporale Blutkreislauf weist eine arterielle Schlauchleitung auf, die zu der Blutkammer führt, und eine venöse Schlauchleitung auf, die von der Blutkammer abgeht. Die bekannten Hämodialysevorrichtungen verfügen über eine Blutpumpe, die im Allgemeinen stromauf der Blutkammer des Dialysators angeordnet ist, um einen ausreichenden Blutfluss im extrakorporalen Blutkreislauf sicherzustellen.

An die Blutpumpe werden hohe technische Anforderungen gestellt. Daher kommen nur bestimmte Pumpentypen in Betracht. In der Praxis haben sich Schlauchpumpen bewährt, die das Blut des Patienten durch die arterielle und venöse Schlauchleitung fördern.

Die Schlauchpumpen werden nach ihrer Arbeitsweise auch als peristaltische Pumpen bezeichnet. Ihre Pumpwirkung basiert darauf, dass sich mindestens eine Verschlussstelle (Okklusion) längs der als Pumpenraum dienenden elastischen Schlauchleitung bewegt und dadurch die eingeschlossene Flüssigkeit in Förderrichtung verschiebt.

Bei der gebräuchlichsten Bauart der Schlauchpumpen erfolgt die Einstellung so, dass der elastische Schlauch an den bewegten Engstellen vollständig verschlossen wird. Daher werden diese Pumpen auch als okklusive Schlauchpumpen bezeichnet. Die beweglichen Eng- bzw. Verschlussstellen, die das Blut im Pumpenschlauch transportieren, können technisch auf verschiedene Weise erzeugt werden.

Es sind Rollenpumpen bekannt, bei denen der Schlauch zwischen einem Stator, der eine gebogene Rollenbahn als Widerlager bildet, und einem drehbar darin gelagerten, mit Rollen besetzten Rotor, eingefügt wird, so dass sich die Rollen in Förderrichtung auf dem Schlauch abwälzen. Vorzugsweise sind die Rollen federnd an dem Rotor gelagert, so dass sie auf den Schlauch eine Anpresskraft ausüben. Daneben sind auch Fingerpumpen bekannt, bei denen die Eng- bzw. Verschlussstellen durch eine längs des Schlauches angeordnete Reihe von beweglichen Stempeln (Fingern) erzeugt werden.

Einen Überblick über die unterschiedlichen Bauarten der Rollen- und Fingerpumpen wird in Dialysetechnik, 4. Auflage, Gesellschaft für angewandte Medizintechnik m.b.H. & Co. KG, Friedrichsdorf, 1988 gegeben.

Elektrische peristaltische Schlauchpumpen werden in den bekannten Blutbehandlungsvorrichtungen nicht nur zur Förderung des Blutes, sondern auch zur Förderung anderer Flüssigkeiten eingesetzt. An den ordnungsgemäßen Betrieb derartiger Schlauchpumpen bei der Verwendung in medizin-technischen Einrichtungen, insbesondere bei Blutbehandlungsvorrichtungen, werden hohe

Anforderungen gestellt.

Während des Betriebs der Rollenpumpen stellt sich das Problem, dass bei einer Erhöhung des Strömungswiderstandes eine vollständige Okklusion der Schlauchleitung nicht mehr gegeben ist. Vielmehr beginnen sich die Rollen von der Schlauchleitung abzuheben. Für diesen Fall ist ein ordnungsgemäßer Betrieb der Rollenpumpe nicht mehr sichergestellt.

Die US 5,629,871 beschreibt ein Verfahren und eine Vorrichtung zur Überwachung der Funktionsfähigkeit einzelner Baugruppen einer Hämodialysevorrichtung. Zu diesen zählen auch die Schlauchpumpen, wobei der Pumpenstrom oder die Spannung überwacht wird, um auf die Funktionsfähigkeit der Pumpe zu schließen. Aus der US 4,781,525 ist bekannt, den Pumpenstrom zur Bestimmung der Förderrate heranzuziehen.

Die WO 97/45150 beschreibt ein Verfahren zur Bestimmung des Förderdrucks einer Pumpe, bei dem der Pumpenstrom bestimmt wird. Da es unter bestimmten Umständen zu Abweichungen von einem linearen Zusammenhang zwischen Förderdruck und Pumpenstrom kommen kann, wird die Verwendung einer Kalibrierungskurve vorgeschlagen.

Der Erfindung liegt die Aufgabe zu Grunde, ein Verfahren und eine Vorrichtung zum Betreiben einer elektrischen peristaltischen Schlauchpumpe, insbesondere der Schlauchpumpe einer extrakorporalen Blutbehandlungsvorrichtung anzugeben, dass bzw. die eine sichere Überwachung des ordnungsgemäßen Betriebs der Schlauchpumpe erlaubt.

Diese Aufgabe wird mit den Merkmalen der Patentansprüche 1 und 9 gelöst. Vorteilhafte Ausführungsformen der Erfindung sind Gegenstände der Unteransprüche.

Der Erfindung liegt die Erkenntnis zu Grunde, dass bei vollständiger oder teilweiser Okklusion der Schlauchleitung durch die Verdrängerkörper einer elektrischen peristaltischen Pumpe, beispielsweise die Rollen einer Rollenpumpe, sich die Leistungsaufnahme der elektrischen Pumpe ändert. Die Erfindung beruht darauf, die von der Pumpe aufgenommene Leistung oder eine mit der Leistung korrelierende physikalische Größe, beispielsweise den von der Pumpe aufgenommenen Strom zu bestimmen und aus der gemessenen physikalischen Größe einen Gleichanteil, der sich nicht periodisch ändert, und einen den Gleichanteil überlagernden Wechselanteil zu bestimmen, der sich periodisch ändert. Zur Überwachung des ordnungsgemäßen Betriebes der Schlauchpumpe wird während der Blutbehandlung überwacht, wie der Wechselanteil der Leistungsaufnahme im Verhältnis zum Gleichanteil der Leistungsaufnahme ansteigt bzw. abfällt. Auf einen nicht ordnungsgemäßen Betrieb der Schlauchpumpe wird dann auf der Grundlage des Gleichanteils und Wechselanteils, insbesondere bei einer charakteristischen zeitlichen Änderung des Gleichanteils und zeitlichen Änderung des Wechselanteils geschlossen.

In einer bevorzugten Ausführungsform wird die Leistungsaufnahme dadurch ausgewertet, dass die zeitliche Änderung des Gleichanteils und die zeitliche Änderung des Wechselanteils in vorgegebenen Zeitintervallen zueinander in ein Verhältnis gesetzt werden, wobei auf der Grundlage der zeitlichen Änderung des ermittelten Verhältnisses zwischen der zeitlichen Änderung des Gleichanteils und Wechselanteils in vorgegebenen Zeitintervallen während des Betriebs der Schlauchpumpe auf einen nicht ordnungsgemäßen Betrieb der Schlauchpumpe geschlossen wird.

Die Erfindung beruht insbesondere auf der Erkenntnis, dass der Quotient aus der zeitlichen Änderung des Wechselanteils und des Gleichanteils eine charakteristische Größe dafür ist, ob die Verdrängerkörper der peristaltischen Pumpe die Schlauchleitung vollständig oder nur teilweise okkludieren. Vorzugsweise wird der Quotient während der Blutbehandlung überwacht, um für den Fall, dass der Quotient einen bestimmten Grenzwert unterschreitet, darauf zu

schließen, dass eine vollständige Okklusion nicht mehr gegeben ist. Je nach der Höhe des Grenzwertes kann das Maß der Okklusion festgelegt werden, bei dessen Unterschreiten der nicht ordnungsgemäße Betrieb der Pumpe angenommen wird. Vorteilhafterweise können auch mehrere Grenzwerte definiert werden, die schon den Beginn einer verschwindenden Okklusion erkennen lassen oder auf einen Störfall erst dann schließen lassen, wenn die Okklusion bereits zumindest teilweise aufgehoben ist.

Bei einer alternativen bevorzugten Ausführungsform wird nicht die zeitliche Änderung des Wechsel- und Gleichanteils in vorgegebenen Zeitintervallen, d.h. der Ableitung der Funktion oder der Steigung der Kurve, bestimmt, sondern der Quotient (A_{AC}/I_{DC}) des Wechselanteils ($d/dt A_{AC}$) und des Gleichanteils (I_{DC}) wird in vorgegebenen Zeitintervallen während des Betriebs der Schlauchpumpe berechnet und mit einem vorgegebenen Grenzwert verglichen, wobei auf eine nicht ausreichende Okklusion der Schlauchpumpe geschlossen wird, wenn der Quotient den vorgegebenen Grenzwert unterschreitet. Es kann aber auch der Quotient aus Gleich- und Wechselanteil bestimmt werden, wobei auf eine nicht ausreichende Okklusion der Schlauchpumpe geschlossen wird, wenn der Quotient den vorgegebenen Grenzwert überschreitet. Es können aber auch noch andere Terme für die Auswertung herangezogen werden, solange sie nur bei Beginn der Okklusion zu einer charakteristischen Änderung der Rechengröße führen.

Der Wechselanteil der gemessenen physikalischen Größe, die mit der Leistungsaufnahme der Pumpe korreliert, ist abhängig von der Bauart der Pumpe. Die Frequenz des Wechselanteils ist insbesondere abhängig von der Anzahl der Rollen der Rollenpumpe. Da die Frequenz des Rotors bekannt ist, kann der Wechselanteil leicht bestimmt werden. Hierzu bieten sich die bekannten mathematischen Verfahren an, zu denen beispielsweise die Fourieranalyse zählen.

Die erfindungsgemäße Vorrichtung verfügt über Mittel zum Bestimmen des Gleichanteils und Wechselanteils der Leistungsaufnahme bzw. der gemessenen physikalischen Größe, die mit der Leistungsaufnahme korreliert, und Mittel zur

Feststellung eines nicht ordnungsgemäßen Betriebs der Schlauchpumpe. Die erfindungsgemäße Vorrichtung kann eine separate Baugruppe bilden oder Bestandteil der bekannten Blutbehandlungsvorrichtungen sein.

Als besonders vorteilhaft hat sich die Verwendung des erfindungsgemäßen Verfahrens und der Einsatz der erfindungsgemäßen Vorrichtung in extrakorporalen Blutbehandlungsvorrichtungen, beispielsweise Hämodialysevorrichtungen zur Überwachung des ordnungsgemäßen Betriebs der im extrakorporalen Blutkreislauf angeordneten Blutpumpe erwiesen. Mit dem erfindungsgemäßen Verfahren oder der erfindungsgemäßen Vorrichtung kann aber auch der Betrieb aller anderen Schlauchpumpen in medizin-technischen Einrichtungen oder im allgemeinen Maschinenbau überwacht werden.

Im Folgenden wird ein Ausführungsbeispiel der Erfindung unter Bezugnahme auf die Zeichnungen näher erläutert.

Es zeigen:

- | | |
|-------------------|--|
| Figur 1 | eine erfindungsgemäße extrakorporale Blutbehandlungsvorrichtung, die über eine erfindungsgemäße Vorrichtung zum Betreiben einer Schlauchpumpe der Blutbehandlungsvorrichtung verfügt, |
| Figur 2 | der Gleich- und Wechselanteil der Leistungsaufnahme der Blutpumpe während einer Dialysebehandlung als Funktion der Behandlungsdauer, und |
| Figuren 3a bis 3c | die dynamischen Druckverhältnisse während des Betriebs einer Rollenpumpe bei einer vollständigen Okklusion, zu Beginn einer verschwindenden Okklusion und bei einer nicht vollständigen Okklusion der Schlauchleitung. |

Die extrakorporale Blutbehandlungsvorrichtung, insbesondere Hämodialysevorrichtung, verfügt über einen Dialysator 1, der durch eine semipermeable Membran 2 in eine Blutkammer 3 und eine Dialysierflüssigkeitskammer 4 unterteilt ist. Von einem Patienten führt eine arterielle Blutleitung 5, in die eine Blutpumpe 6 geschaltet ist, zu einem Einlass der Blutkammer 3, während von einem Auslass der Blutkammer eine venöse Blutleitung 7 über eine Tropfkammer 8 zu dem Patienten führt. In der venösen Schlauchleitung 7 ist stromab der Tropfkammer 8 ein elektromagnetisch betätigbares Absperr-Ventil 12 angeordnet.

Die frische Dialysierflüssigkeit wird in einer Dialysierflüssigkeitsquelle 12 bereitgestellt. Von der Dialysierflüssigkeitsquelle 12 führt eine Dialysierflüssigkeitszufuhrleitung 13 zu einem Einlass der Dialysierflüssigkeitskammer 4 des Dialysators 1, während eine Dialysierflüssigkeitsabfuhrleitung 14 von einem Auslass der Dialysierflüssigkeitskammer zu einem Abfluss 9 führt. In die Dialysierflüssigkeitsabfuhrleitung 14 ist eine Dialysierflüssigkeitspumpe 15 geschaltet.

Bei der Blutpumpe 6 handelt es sich um elektrisch betriebene peristaltische Schlauchpumpe, insbesondere eine Rollenpumpe, wobei die arterielle und venöse Blutleitung 5, 7 flexible Schlauchleitungen sind, die in die Rollenpumpe 6 eingelegt werden. Bei dem venösen Absperr-Ventil 12 handelt es sich um elektromagnetisch betätigbare Schlauchklemme.

Die Dialysevorrichtung verfügt über eine Steuereinheit 16, die mit der Blutpumpe 6 und der Dialysierflüssigkeitspumpe 15 über Steuerleitungen 16, 17 verbunden ist. Die Steuereinheit 16 stellt eine bestimmte Spannung bzw. einen bestimmten Strom zum Betreiben der Blutpumpe 6 und der Dialysierflüssigkeitspumpe 12 zur Verfügung, so dass Blut in den Blutleitungen 5, 7 mit einer vorgegebenen Blutflussrate Q_b und Dialysierflüssigkeit in den Dialysierflüssigkeitsleitungen 13, 14 mit einer vorgegebenen Dialysierflüssigkeitsrate Q_d strömt. Darüber hinaus

betätigt die Steuereinheit 16 über eine Steuerleitung 19 das venöse Absperrventil 12.

Neben der Steuereinheit 16 verfügt die Blutbehandlungsvorrichtung über eine Rechen- und Auswertereinheit 20, die über eine Datenleitung 21 mit der Steuereinheit 16 kommuniziert. Die Rechen- und Auswertereinheit 20 ist über eine weitere Datenleitung 22 mit einer Alarmeinheit 23 verbunden, die einen optischen und/oder akustischen Alarm gibt.

Zum Messen des Drucks in der venösen Blutleitung 7 ist ein venöser Drucksensor 24 an der Tropfkammer 8 angeordnet, der über eine Datenleitung 25 mit der Rechen- und Auswertereinheit 20 verbunden ist.

Die Dialysevorrichtung kann noch über weitere Komponenten, beispielsweise eine Bilanziereinrichtung oder Ultrafiltrationseinrichtung verfügen, die der besseren Übersichtlichkeit halber jedoch nicht dargestellt sind.

Die erfindungsgemäße Vorrichtung zum Betreiben der Blutpumpe 6 wird bei dem vorliegenden Ausführungsbeispiel als Bestandteil der extrakorporalen Blutbehandlungsvorrichtung beschrieben, wobei die Überwachung des ordnungsgemäßen Betriebs der Blutpumpe möglich ist. Grundsätzlich kann aber auch der ordnungsgemäße Betrieb anderer beteiligter Pumpen, beispielsweise der Substitutpumpe, überwacht werden.

Auch wenn die Vorrichtung zum Betreiben einer elektrischen peristaltischen Schlauchpumpe im vorliegenden Ausführungsbeispiel in Verbindung mit einer extrakorporalen Blutbehandlungsvorrichtung beschrieben wird, kann die Vorrichtung zum Betreiben der Schlauchpumpe aber auch eine selbständige Baugruppe bilden, die bei sämtlichen medizin-technischen Einrichtungen zur Überwachung des ordnungsgemäßen Betriebs von Schlauchpumpen eingesetzt werden kann.

Nachfolgend wird die Funktionsweise der Vorrichtung zum Betreiben der Blutpumpe 6 im Einzelnen erläutert.

Bei der Blutpumpe 6 handelt es sich um eine Rollenpumpe. Da Rollenpumpen allgemein bekannt sind, erübrigt sich eine detaillierte Beschreibung. Die Figuren 3a bis 3c zeigen eine Prinzipdarstellung der Funktionsweise der Rollenpumpe, wobei nur eine der Rollen 25 dargestellt ist. Die Rollen 25 sind an einem nicht dargestellten Rotor drehbar gelagert. Die Schlauchleitung, im vorliegendem Ausführungsbeispiel die arterielle Blutleitung 5, befindet sich zwischen den Rollen 25 und einem Stator 27, der eine Rollenbahn 28 als Widerlager bildet.

Die Figuren 3a bis 3c zeigen nur eine Prinzipdarstellung. Bei den Rollenpumpen erstreckt sich die Rollenbahn bogenförmig um den mit Rollen besetzten Rotor. Die Rollen 25 sind an dem Rotor gegen die Rollenbahn 28 federnd vorgespannt, so dass die Rollen von der Schlauchleitung abheben können.

Figur 3a zeigt den Fall, dass die Rollen 25 die Schlauchleitung vollständig okkludieren, Figur 3b den Fall, dass die Rollen von der Schlauchleitung abzuheben beginnen und Figur 3c den Fall, dass die Schlauchleitung von den Rollen nicht mehr vollständig okkludiert wird, so dass die Blutpumpe nicht mehr ordnungsgemäß betrieben wird.

Die Überwachung des Betriebs der Blutpumpe beruht auf der Auswertung der von der Pumpe aufgenommenen Leistung. Die Leistungsaufnahme kann aus dem Produkt der an dem Gleichstrom-Elektromotor der Blutpumpe 6 anliegenden Spannung und des in den Motor fließenden Stroms berechnet werden. Es genügt aber auch eine mit der Leistung korrelierende Größe zu bestimmen. Da die Spannung als konstant angenommen werden kann, genügt es, nur den Motorstrom zu messen. Es sei bemerkt, dass die Blutpumpe grundsätzlich auch mit einem Wechselstrommotor betrieben werden kann.

Während einer extrakorporalen Blutbehandlung kann der Strömungswiderstand im Dialysator ansteigen (Klotting). Dies führt zu einem Anstieg des Drucks in der arteriellen Blutleitung 5 stromauf der Blutpumpe 6 und stromab des Dialysators 1, welcher aber mit dem venösen Drucksensor 24 nicht gemessen werden kann. Mit steigendem arteriellen Druck nimmt die Leistungsaufnahme der Blutpumpe 6 zu.

Eine Analyse der Leistungsaufnahme zeigt, dass die von der Pumpe aufgenommene Leistung oder eine mit der Leistung korrelierende physikalische Größe sowohl einen Gleichanteil, der sich nicht periodisch ändert, als auch einen sich periodisch ändernden Wechselanteil aufweist.

Figur 2 zeigt die Leistungsaufnahme der Blutpumpe als Funktion der Zeit in Bezug auf den Gleichanteil (DC) sowie den Wechselanteil (AC).

Die Größe der AC-Leistungsaufnahme verläuft proportional mit der Größe der DC-Leistungsaufnahme, sofern die Blutpumpe vollständig okkludiert. Durch entsprechende Skalierung können die Kurven für diesen Fall zur Deckung gebracht werden. Heben die Rollen der Blutpumpe aber von dem Blutschlauchsegment ab, so dass die Förderrate der Pumpe nachlässt, verschwindet die Deckung. Dies ist in Figur 2 graphisch während einer in-vitro Dialysebehandlung mit Blutersatzstoff graphisch gezeigt. Während dieser Behandlung wurde durch exzessive Ultrafiltration der Blutersatzstoff bis zum Klotting des Dialysators eingedickt, so dass der Strömungswiderstand im Dialysator kontinuierlich stieg, bis die Widerstandskraft aufgrund des erhöhten Staudruckes die Rückstellkräfte der Rollen der Pumpe überschritten haben und die Okklusion zu verschwinden begann. Durch die Verringerung des Hubes der Pumpenrollen nimmt die Modulationsbreite der aufgenommenen Leistung des Motors ab, obwohl die mittlere Leistungsaufnahme aufgrund des hohen Strömungswiderstandes im Schlauchsegment zunimmt.

Die Figuren 3a bis 3c zeigen, dass die Amplitude der AC-Leistungsaufnahme mit dem Verschwinden der Okklusion abnimmt, während die DC-Leistungsaufnahme mit dem Verschwinden der Okklusion zunimmt.

Die erfindungsgemäße Blutbehandlungsvorrichtung arbeitet wie folgt:

Zur Vorbereitung der Dialysebehandlung stellt die Steuereinheit 16 einen Wert für die Blutflussrate Q_b ein, der so klein ist, dass der Strömungswiderstand durch den Dialysator zu vernachlässigen ist. Der Druck in der arteriellen Blutleitung 5 stromauf des Dialysators 1 entspricht dann dem Druck, den der venöse Drucksensor 24 misst. Der Strom der Pumpe 6 wird nunmehr gemessen. Der gemessene Pumpenstrom I_{p1} entspricht dem Druck P_{ven} .

$$\text{(Gleichung 1)} \quad I(p=P_{ven}(Q_b \approx 0))=I_{p1}$$

Daraufhin schließt die Steuereinheit 16 das venöse Absperr-Ventil 12 sowie weitere der besseren Übersichtlichkeit halber nicht gezeigte Ventile in der Dialysierflüssigkeitszuführ- und -abführleitung 13, 14, so dass die Blutpumpe 6 jetzt gegen den Druck arbeitet, den die Rückstellkräfte der Rollen zu erzeugen in der Lage sind. Dieser Druck liegt technisch und normbedingt bei den in der Praxis eingesetzten Rollenspumpen bei etwa 1,6 bis 1,8 bar. Damit entspricht die Stromaufnahme der Blutpumpe einem Druck von 1,6 bis 1,8 bar.

$$\text{(Gleichung 2)} \quad I(p=P_{Okk})=I_{p2}$$

Entsprechend dem linearen Zusammenhang zwischen Leistungsaufnahme und dem Druck $p(I)$ stromauf des Dialysators kann der Druck aus der Stromaufnahme I bestimmt werden:

$$\text{(Gleichung 3)}$$

$$I_p(p) = \frac{I_{p2} - I_{p1}}{P_{Okk} - P_{ven}(Q_b = 0)} (p - P_{ven}(Q_b = 0)) + I_{p1}$$

$$\Rightarrow p(I) = \frac{P_{Okk} - P_{ven}(Q_b = 0)}{I_{p2} - I_{p1}} (I - I_{p1}) + P_{ven}(Q_b = 0)$$

Der Rechen- und Auswertereinheit 20 stehen die in Gleichung 3 angegebenen Größen zur Verfügung. Der venöse Druck P_{ven} wird mit dem venösen Druckmesser 24 gemessen, während die Blutpumpe 6 mit minimaler Förderrate betrieben wird, wobei der Strom I_{p1} von der Steuereinheit 16 gemessen bzw. vorgegeben wird. Der Druck in der arteriellen Blutleitung 6 P_{Okk} , der abhängig vom Pumpentyp ist, wird mit einem Wert angenommen, der zwischen 1,6 und 1,8 bar liegt.

Während der Blutbehandlung wird der arterielle Druck in der arteriellen Blutleitung 5 fortlaufend von der Rechen- und Auswertereinheit 20 nach Gleichung 3 berechnet.

Darüber hinaus bestimmt die Rechen- und Auswertereinheit 20 während der Blutbehandlung aus der Leistungsaufnahme oder einer mit der Leistungsaufnahme korrelierenden physikalischen Größe, insbesondere aus dem Pumpenstrom, fortlaufend den Gleichanteil (DC-Leistungsaufnahme) und Wechselanteil (AC-Leistungsaufnahme). Für den Wechselanteil wird die sich aus dem Produkt von Rotorfrequenz und Rollenzahl sich ergebende Frequenz zu Grunde gelegt. Solange die Blutpumpe die Schlauchleitung vollständig okkludiert, ist der Quotient der zeitlichen Änderung der Amplitude der AC-Leistungsaufnahme A_{AC} und der zeitlichen Änderung der DC-Leistungsaufnahme I_{DC} konstant, d.h. die Steigungen der Amplitudenmodulation A_{AC} und des Wertes der mittleren Gleichstromaufnahme I_{DC} verlaufen in einem linearen Verhältnis zueinander.

(Gleichung 4)

$$\frac{\frac{d}{dt} A_{AC}}{\frac{d}{dt} I_{DC}} = \frac{dA_{AC}}{dI_{DC}} = const,$$

wobei mit T als Periodizität der Blutpumpe normiert auf die Anzahl der Rollen und φ als Normierung der Phasenlage, d.h. die Phasenschiebung zwischen der Modulation A_{AC} und der im Integrationsintervall verwendeten trigonometrischen Funktion $\sin(x)$, gilt:

$$(Gleichung 5) \quad I_{DC} = \frac{1}{T} \int_T I(t) dt$$

$$(Gleichung 6) \quad A_{AC} = \frac{1}{T} \int_T I(t) \sin(2\pi \frac{t}{T} + \varphi) dt$$

Wenn das in Gleichung 4 angegebene Verhältnis nicht mehr konstant ist, sondern gegen Null zu tendieren beginnt, nimmt die Okklusion der Blutpumpe ab, d.h. die Rollen der Blutpumpe heben von dem Schlauchsegment ab. Dies ist insbesondere dann der Fall, wenn das Verhältnis ein negatives Vorzeichen bekommt.

$$(Gleichung 7) \quad \frac{\frac{d}{dt} A_{AC}}{\frac{d}{dt} I_{DC}} = \frac{dA_{AC}}{dI_{DC}} \leq 0$$

Bei vollständiger Aufhebung der Okklusion gilt dann:

$$(Gleichung 8) \quad \frac{d}{dt} I_{DC} = 0,$$

$$(Gleichung 9) \quad \frac{d}{dt} A_{AC} = 0$$

Die Rechen- und Auswertereinheit 20 berechnet fortlaufend während der Behandlung den Quotienten der zeitlichen Änderung der AC-Leistungsaufnahme A_{AC} und der DC-Leistungsaufnahme I_{DC} nach Gleichung 4. Zur Durchführung der erforderlichen Rechenoperationen, insbesondere zur Bildung der Differentiale verfügt die Rechen- und Auswertereinheit 20 über einen Mikroprozessor.

Den ermittelten Quotienten vergleicht die Rechen- und Auswerteinheit 20 mit vorgegebenen Grenzwerten. Für den Fall, dass der ermittelte Quotient größer als ein erster vorgegebener Grenzwert ist, d.h. konstant ist (Gleichung 4), wird angenommen, dass die Blutpumpe 6 die arterielle Blutleitung 5 vollständig okkludiert (Fig. 3a). Wenn aber der erste Grenzwert unterschritten wird, erzeugt die Rechen- und Auswerteinheit 20 ein erstes Alarmsignal, so dass die Alarmeinheit 23 einen ersten optischen und/oder akustischen Alarm gibt, der signalisiert, dass die Rollen der Blutpumpe von der Schlauchleitung abzuheben beginnen (Fig. 3b). Wird ein weiterer zweiter Grenzwert, der kleiner als der erste Grenzwert ist, unterschritten, erzeugt die Rechen- und Auswerteinheit ein zweites Alarmsignal, so dass die Alarmeinrichtung einen zweiten Alarm gibt, der signalisiert, dass die Blutpumpe die Schlauchleitung nicht mehr vollständig okkludiert (Fig. 3c). Dann ist ein ordnungsgemäßer Betrieb der Schlauchpumpe nicht mehr gegeben, da der Druck in der arteriellen Blutleitung 5 aufgrund einer Erhöhung des Strömungswiderstandes im Dialysator 1 einen vorgegebenen Grenzwert überschritten hat.

Eine alternative Ausführungsform sieht vor, den Quotienten nicht mit einem Grenzwert zu vergleichen, sondern die zeitliche Änderung des Gleich- und Wechselanteils der Leistungsaufnahme in vorgegebenen Zeitintervallen, d.h. das Maß des Ansteigens (Steigung) der Größen logisch miteinander wie folgt zu verknüpfen.

Wenn sowohl der Gleichanteil als auch der Wechselanteil der Leistungsaufnahme ansteigt, wird darauf geschlossen, dass der arterielle Druck ansteigt. Wenn nur der Gleichanteil der Leistungsaufnahme ansteigt, der Wechselanteil der Leistungsaufnahme jedoch stagniert, wird darauf geschlossen, dass die Okklusion der Blutpumpe abzunehmen beginnt. Wenn der Wechselanteil der Leistungsaufnahme bei ansteigendem Gleichanteil der Leistungsaufnahme zu sinken beginnt, wird darauf geschlossen, dass die Rollen der Blutpumpe von der Schlauchleitung abgehoben haben. Für den Fall, dass nach dem Abheben der

Pumpenrollen sowohl Gleich- als auch Wechselanteil der Leistungsaufnahme stagnieren, stellt die Rechen- und Auswerteinheit 20 fest, dass die Blutpumpe 6 nicht mehr fördert.

Grundsätzlich ist es auch möglich, beide Auswertverfahren miteinander zu verknüpfen, wobei sowohl das Über- bzw. Unterschreiten vorgegebener Grenzwerte als auch eine logische UND-Verknüpfung des Gleich- und Wechselanteils der Leistungsaufnahme Berücksichtigung finden.

Es ist auch möglich, nur den Quotienten von Gleichanteil und Wechselanteil zu überwachen. Wie aus Fig. 2 ersichtlich ist, bleibt dieser Quotient in einem gewissen Bereich konstant, solange die Pumpe nicht okkludierend arbeitet. Die Abweichung der Kurvenform zu einem späteren Zeitpunkt führt jedoch zu einer Veränderung (Verkleinerung) des Quotienten, die als Störfall detektiert wird.

Patentansprüche:

1. Verfahren zum Betreiben einer elektrischen peristaltischen Schlauchpumpe zur Förderung einer Flüssigkeit in einer Schlauchleitung, bei dem während des Betriebs der Pumpe die von der Pumpe aufgenommene Leistung oder eine mit der Leistung korrelierende physikalische Größe bestimmt wird, dadurch gekennzeichnet, dass aus der gemessenen physikalischen Größe ein Gleichanteil, der sich nicht periodisch ändert, und ein dem Gleichanteil überlagerter Wechselanteil bestimmt werden, der sich periodisch ändert, wobei auf der Grundlage des Gleichanteils und des Wechselanteils während des Betriebs der Schlauchpumpe auf einen nicht ordnungsgemäßen Betrieb der Schlauchpumpe geschlossen wird.
2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass während des Betriebs der Schlauchpumpe die zeitliche Änderung des Gleichanteils ($d/dt I_{DC}$) und die zeitliche Änderung des Wechselanteils ($d/dt A_{AC}$) in vorgegebenen Zeitintervallen zueinander in ein Verhältnis gesetzt werden, wobei auf der Grundlage der zeitlichen Änderung des ermittelten Verhältnisses zwischen der zeitlichen Änderung des Gleichanteils und Wechselanteils in vorgegebenen Zeitintervallen während des Betriebs der Schlauchpumpe auf einen nicht ordnungsgemäßen Betrieb der Schlauchpumpe geschlossen wird.
3. Verfahren nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, dass der Quotient ($dA_{AC}/d I_{DC}$) aus der zeitlichen Änderung des Wechselanteils ($d/dt A_{AC}$) und des Gleichanteils ($d/dt I_{DC}$) in vorgegebenen Zeitintervallen berechnet und mit einem vorgegebenen Grenzwert verglichen wird, wobei auf eine nicht ausreichende Okklusion der Schlauchpumpe geschlossen wird, wenn der Quotient den vorgegebenen

Grenzwert unterschreitet.

4. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass der Quotient (A_{AC}/I_{DC}) des Wechselanteils (A_{AC}) und des Gleichanteils (I_{DC}) in vorgegebenen Zeitintervallen berechnet und mit einem vorgegebenen Grenzwert verglichen wird, wobei auf eine nicht ausreichende Okklusion der Schlauchpumpe geschlossen wird, wenn der Quotient den vorgegebenen Grenzwert unterschreitet.
5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, dass die Schlauchpumpe eine okklusive Rollenpumpe ist, wobei die Schlauchleitung zwischen einem Stator, der eine Rollenbahn als Widerlager bildet, und einem mit drehbar gelagerten Rollen besetzten Rotor angeordnet ist.
6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, dass aus der mit der Leistung korrelierenden physikalischen Größe der Druck stromab der Schlauchpumpe bestimmt wird.
7. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, dass eine elektrische peristaltische Schlauchpumpe einer extrakorporalen Blutbehandlungsvorrichtung betrieben wird.
8. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 7, dadurch gekennzeichnet, dass die peristaltische Schlauchpumpe in einer arteriellen Schlauchleitung angeordnet ist, die zu einer Blutbehandlungseinheit führt, von der eine venöse Schlauchleitung abgeht, wobei die arterielle und venöse Schlauchleitung zusammen mit der Blutbehandlungseinheit einen extrakorporalen Blutkreislauf bilden.
9. Vorrichtung zum Betreiben einer elektrischen peristaltischen Schlauchpumpe zur Förderung einer Flüssigkeit in einer Schlauchleitung,

mit

Mitteln (16, 20) zum Bestimmen der während des Betriebs der Pumpe von der Pumpe aufgenommenen Leistung oder einer mit der Leistung korrelierenden physikalischen Größe,

dadurch gekennzeichnet, dass die Vorrichtung aufweist:

Mittel (16, 20) zum Bestimmen eines Gleichanteils, der sich nicht periodisch ändert, und eines Wechselanteils, der sich periodisch ändert, aus der gemessenen physikalischen Größe, und

Mittel (16, 20) zur Feststellung eines nicht ordnungsgemäßen Betriebs der Schlauchpumpe, die derart ausgebildet sind, dass auf der Grundlage des Gleichanteils und des Wechselanteils während des Betriebs der Schlauchpumpe auf einen nicht ordnungsgemäßen Betrieb der Schlauchpumpe geschlossen wird.

10. Vorrichtung nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, dass die Mittel (16, 20) zur Feststellung eines nicht ordnungsgemäßen Betriebs der Schlauchpumpe derart ausgebildet sind, dass die zeitliche Änderung des Gleichanteils ($d/dt I_{DC}$) und die zeitliche Änderung des Wechselanteils ($d/dt A_{AC}$) in vorgegebenen Zeitintervallen während des Betriebs der Schlauchpumpe zueinander in ein Verhältnis gesetzt werden, wobei auf der Grundlage der zeitlichen Änderung des ermittelten Verhältnisses zwischen der zeitlichen Änderung des Gleichanteils und Wechselanteils in vorgegebenen Zeitintervallen während des Betriebs der Schlauchpumpe auf einen nicht ordnungsgemäßen Betrieb der Schlauchpumpe geschlossen wird.

11. Vorrichtung nach Anspruch 10, dadurch gekennzeichnet, dass die Mittel (16, 20) zur Feststellung eines nicht ordnungsgemäßen Betriebs

der Schlauchpumpe derart ausgebildet sind, dass der Quotient (dA_{AC}/dI_{DC}) aus der zeitlichen Änderung des Wechselanteils $(d/dt A_{AC})$ und des Gleichanteils $(d/dt I_{DC})$ in vorgegebenen Zeitintervallen während des Betriebs der Schlauchpumpe berechnet und mit einem vorgegebenen Grenzwert verglichen wird, wobei auf eine nicht ausreichende Okklusion der Schlauchpumpe geschlossen wird, wenn der Quotient den vorgegebenen Grenzwert unterschreitet.

12. Vorrichtung nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, dass die Mittel (16, 20) zur Feststellung eines nicht ordnungsgemäßen Betriebs der Schlauchpumpe derart ausgebildet sind, dass der Quotient (A_{AC}/I_{DC}) des Wechselanteils (A_{AC}) und des Gleichanteils (I_{DC}) in vorgegebenen Zeitintervallen während des Betriebs der Schlauchpumpe berechnet und mit einem vorgegebenen Grenzwert verglichen wird, wobei auf eine nicht ausreichende Okklusion der Schlauchpumpe geschlossen wird, wenn der Quotient den vorgegebenen Grenzwert unterschreitet.

13. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 9 bis 12, dadurch gekennzeichnet, dass die Schlauchpumpe eine okklusive Rollenpumpe (6) ist, wobei die Schlauchleitung zwischen einem Stator, der eine Rollenbahn als Widerlager bildet, und einem mit drehbar gelagerten Rollen besetzten Rotor angeordnet ist.

14. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 9 bis 13, dadurch gekennzeichnet, dass die Vorrichtung Mittel (13) zum Bestimmen des Drucks stromab der Schlauchpumpe aufweist, die derart ausgebildet sind, dass aus der mit der Leistung korrelierenden physikalischen Größe der Druck stromab der Schlauchpumpe bestimmt wird.

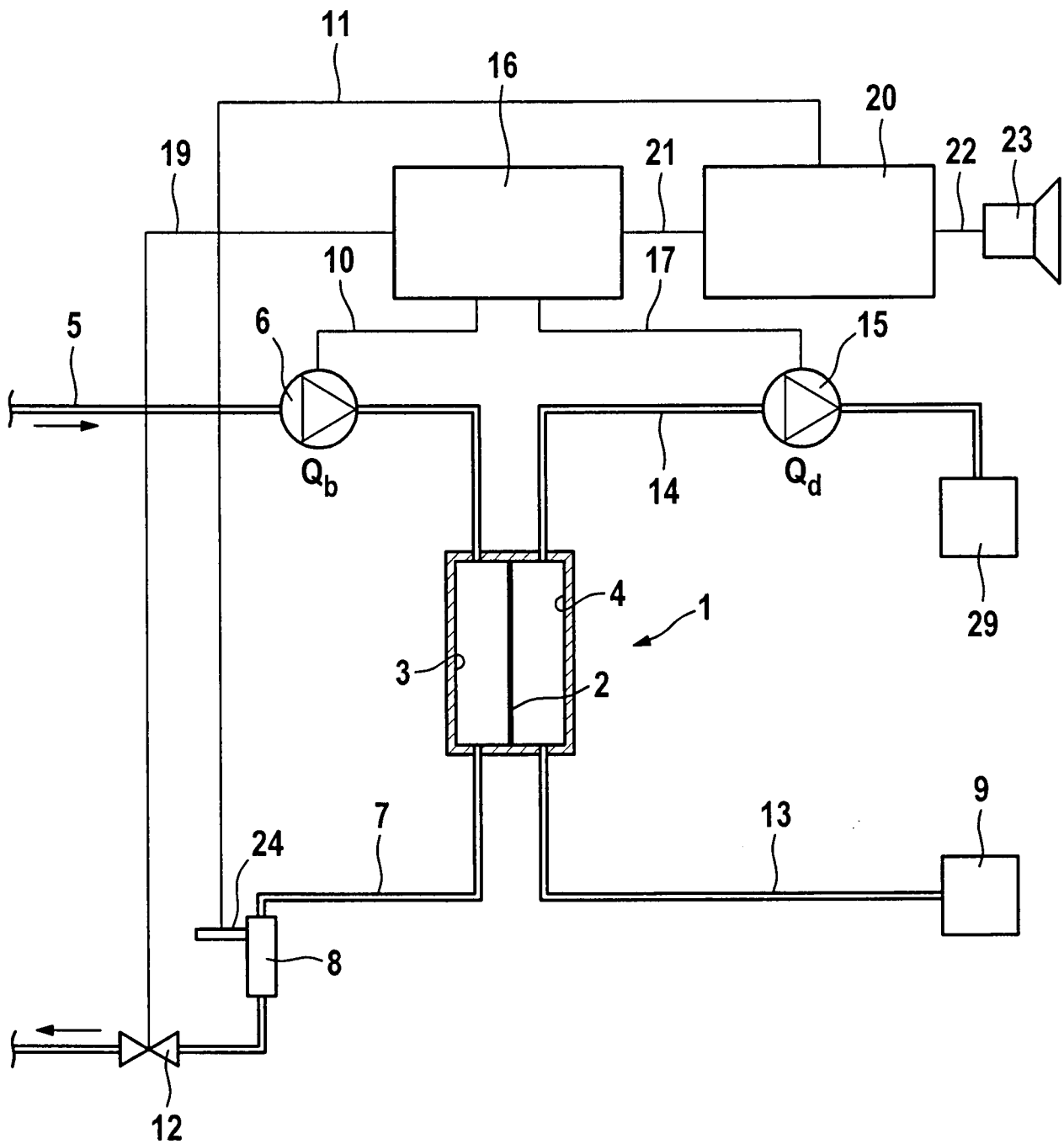
15. Blutbehandlungsvorrichtung mit einer elektrischen peristaltischen Schlauchpumpe (6), dadurch gekennzeichnet, dass die

Blutbehandlungsvorrichtung eine Vorrichtung nach einem der Ansprüche 9 bis 14 zum Betreiben der peristaltischen Schlauchpumpe (6) aufweist.

16. Blutbehandlungsvorrichtung nach Anspruch 15, dadurch gekennzeichnet, dass die Blutbehandlungsvorrichtung eine Blutbehandlungseinheit (1) aufweist, zu der eine arterielle Schlauchleitung (5) führt und von der eine venöse Schlauchleitung (7) abgeht, wobei die elektrische peristaltische Schlauchpumpe (6) in der arteriellen Schlauchleitung (5) angeordnet ist.

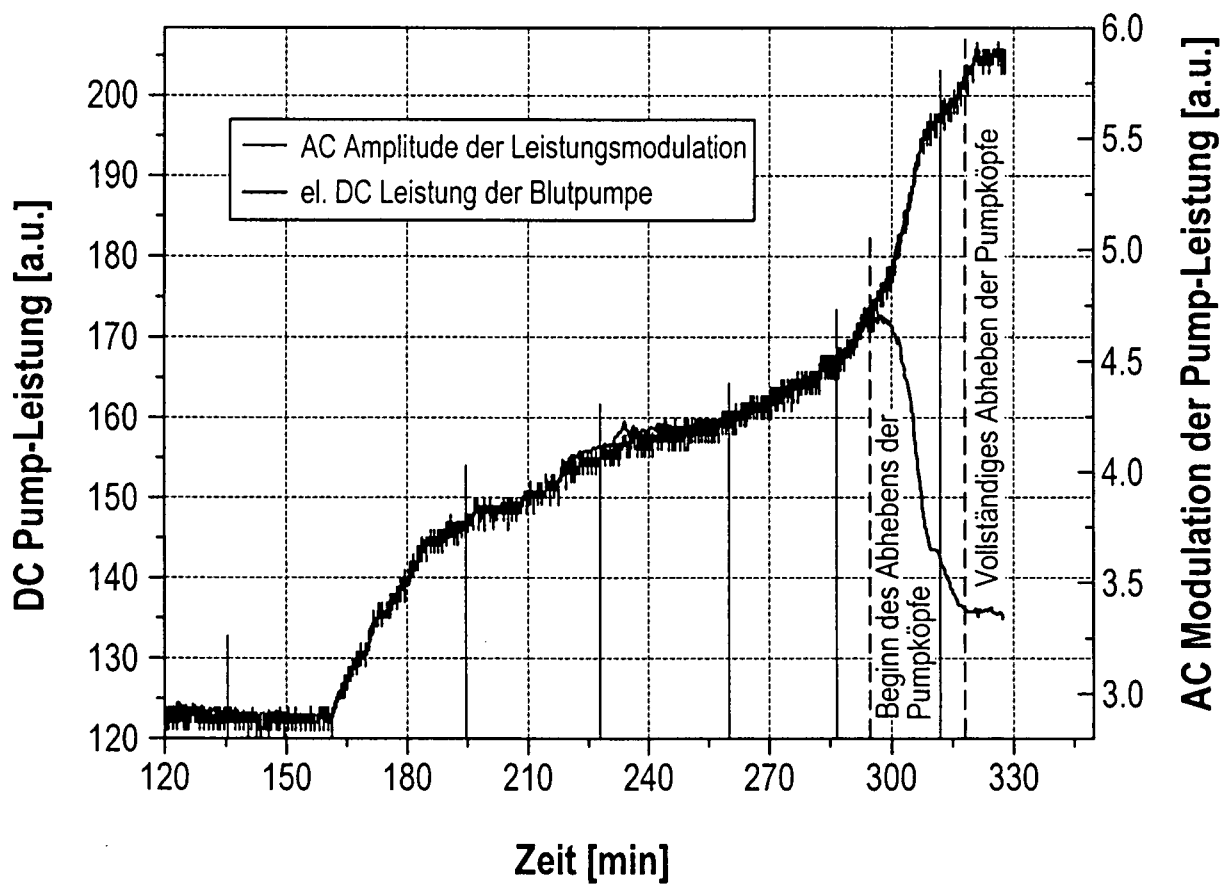
1 / 3

Fig. 1

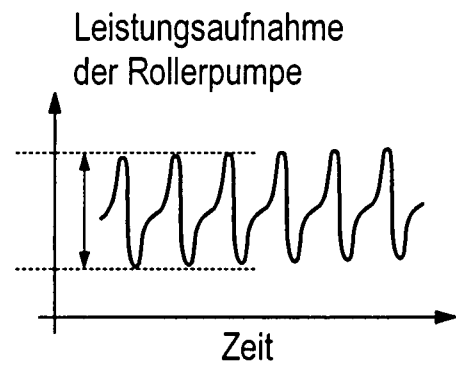
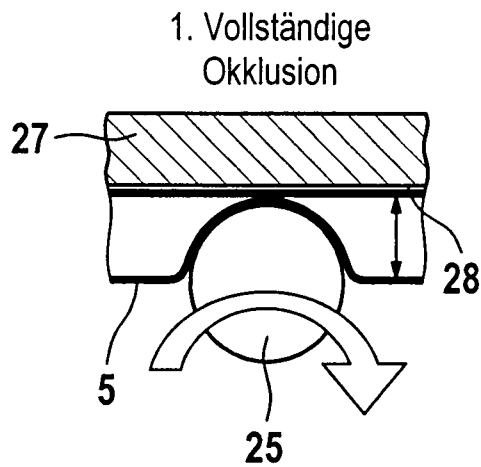


2 / 3

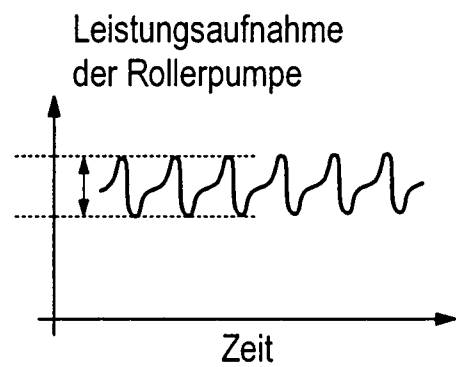
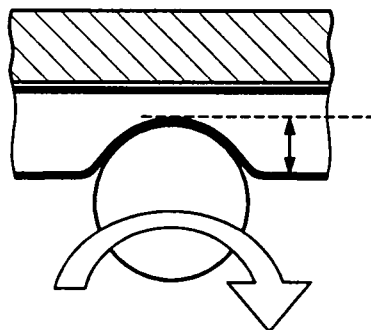
Fig. 2



3 / 3

Fig. 3a**Fig. 3b**

2. Beginn verschwindender Okklusion

**Fig. 3c**

3. Verschwindende Okklusion

