



(12) **EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG**

(43) Veröffentlichungstag:
13.11.2024 Patentblatt 2024/46

(51) Internationale Patentklassifikation (IPC):
F04D 15/00^(2006.01)

(21) Anmeldenummer: **24165437.5**

(52) Gemeinsame Patentklassifikation (CPC):
F04D 15/0088

(22) Anmeldetag: **22.03.2024**

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

- **Schewalje, Alex**
44263 Dortmund (DE)
- **Toews, Andreas**
44263 Dortmund (DE)
- **Otto, Alfred**
44263 Dortmund (DE)
- **Meraz, Alvaro**
44263 Dortmund (DE)

(30) Priorität: **10.05.2023 BE 202305388**

(74) Vertreter: **Michalski Hüttermann & Partner**
Patentanwälte mbB
Kaistraße 16A
40221 Düsseldorf (DE)

(71) Anmelder: **WILO SE**
44263 Dortmund (DE)

(72) Erfinder:
• **Räbiger, Klaus**
44263 Dortmund (DE)

(54) **VERFAHREN ZUM ERKENNEN EINES BETRIEBSZUSTANDS EINER KREISELPUMPE UND KREISELPUMPE**

(57) Gegenstand der Erfindung ist ein Verfahren zum Erkennen eines Betriebszustands einer Kreiselpumpe (1) aufweisend ein Pumpengehäuse (2) mit einer in dem Pumpengehäuse (2) angeordneten Welle (4), einem auf der Welle (4) sitzenden Laufrad (6) sowie einen die Welle (4) antreibenden Motor (5), mit den Schritten:
während eines Förderns von Flüssigkeit mit einem möglichem Feststoffanteil mit der Kreiselpumpe (1), Erfassen eines zeitlichen Beschleunigungs-, eines Druck- und/oder eines Motorstrom-Signals der Kreiselpumpe (1),
Fourier-Transformieren des Beschleunigungs-, des Druck- und/oder des Motorstrom-Signals zum Erhalten eines Frequenzspektrums und/oder eines Spektrogramms, und
Analysieren des Frequenzspektrums und/oder des Spektrogramms hinsichtlich eines spektralen Musters zum Erkennen des Betriebszustands.

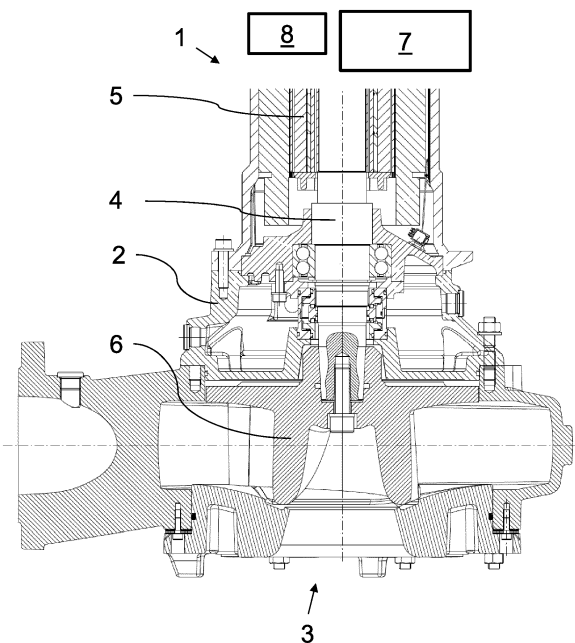


Fig. 1

Beschreibung

Technisches Gebiet

5 **[0001]** Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Erkennen eines Betriebszustands einer Kreiselpumpe aufweisend ein Pumpengehäuse mit einer in dem Pumpengehäuse angeordneten Welle, einem auf der Welle sitzenden Laufrad sowie einen die Welle antreibenden Motor, mit dem Schritt, während eines Förderns von Flüssigkeit mit einem möglichem Feststoffanteil mit der Kreiselpumpe, Erfassen eines zeitlichen Beschleunigungs-, eines Druck- und/oder eines Motorstrom-Signals der Kreiselpumpe. Die Erfindung betrifft zudem eine Kreiselpumpe aufweisend ein Pumpengehäuse mit
10 einer in dem Pumpengehäuse angeordneten Welle, einem auf der Welle sitzenden Laufrad, einen die Welle antreibenden Motor sowie einer Steuerung, wobei die Steuerung eingerichtet ist, während eines Förderns von Flüssigkeit mit einem möglichem Feststoffanteil mit der Kreiselpumpe, ein zeitliches Beschleunigungs-, eines Druck- und/oder eines Motorstrom-Signal der Kreiselpumpe zu erfassen.

15 Hintergrund der Erfindung

[0002] Kreiselpumpen sind aus dem Stand der Technik bekannt und dienen zum Fördern einer Flüssigkeit mittels einer Drehbewegung eines Laufrades. Die zu fördernde Flüssigkeit tritt über eine Saugöffnung in einen Pumpenraum der Kreiselpumpe ein, wird von dem rotierenden Laufrad erfasst und in der Folge in einem Druckstutzen befördert.

20 **[0003]** In der Flüssigkeit enthaltene Feststoffanteile können sich im Bereich des Laufrades sowie an einer Innenseite eines Pumpengehäuses absetzen und derart einen hydraulischen und/oder mechanischen Wirkungsgrad der Kreiselpumpe negativ bis hin zu einem Verstopfen und Ausfall der Kreiselpumpe beeinflussen.

[0004] Obwohl aus dem Stand der Technik mehrere Verfahren zum Erkennen eines Betriebszustands und insbesondere zum Lösen von Verstopfungen von Kreiselpumpen bekannt sind, zeigt die derzeitige Praxis, dass die bekannten
25 Verfahren nicht ideal sind, um eine Kreiselpumpe vor Beschädigung aufgrund einer solchen möglicherweise nicht rechtzeitig erkannten Verstopfung in sicherer und verlässlicher Weise zu schützen, und insbesondere einen entsprechenden Betriebszustand der Kreiselpumpe verlässlich zu erfassen.

Beschreibung der Erfindung

30 **[0005]** Ausgehend von dieser Situation ist es eine Aufgabe der vorliegenden Erfindung, ein Verfahren zum Erkennen eines Betriebszustands einer Kreiselpumpe sowie eine entsprechende Kreiselpumpe anzugeben, welche gegenüber den aus dem Stand der Technik bekannten Lösungen verlässlicher und schneller den Betriebszustand, und insbesondere eine Verstopfung erkennen und entsprechend schneller beispielsweise Maßnahmen zum Lösen der Verstopfung einleiten können.

[0006] Die Aufgabe der Erfindung wird durch die Merkmale der unabhängigen Ansprüche gelöst. Vorteilhafte Ausgestaltungen sind in den Unteransprüchen angegeben.

[0007] Demnach wird die Aufgabe gelöst durch ein Verfahren zum Erkennen eines Betriebszustands einer Kreiselpumpe aufweisend ein Pumpengehäuse mit einer in dem Pumpengehäuse angeordneten Welle, einem auf der Welle
40 sitzenden Laufrad sowie einen die Welle antreibenden Motor, mit den Schritten:

während eines Förderns von Flüssigkeit mit einem möglichem Feststoffanteil mit der Kreiselpumpe, Erfassen eines zeitlichen Beschleunigungs-, eines Druck- und/oder eines Motorstrom-Signals der Kreiselpumpe, Fourier-Transformieren des Beschleunigungs-, des Druck- und/oder des Motorstrom-Signals zum Erhalten eines
45 Frequenzspektrums und/oder eines Spektrogramms, wobei insbesondere Frequenzen des Frequenzspektrums und/oder des Spektrogramms insbesondere mittels einer Drehzahl der Kreiselpumpe normiert sind, und Analysieren des Frequenzspektrums und/oder des Spektrogramms insbesondere mittels eines durch maschinelles Lernen trainierten Bildanalysealgorithmus hinsichtlich wenigstens eines spektralen Musters zum Erkennen des Betriebszustands.

50 **[0008]** Ein wesentlicher Punkt der vorgeschlagenen Lehre liegt darin, dass insbesondere mittels des maschinell trainierten Bildanalysealgorithmus aus dem im Fourier-transformierten Beschleunigungs-, Druck- und/oder Motorstrom-Signal erhaltenen spektralen Muster der Betriebszustand der Kreiselpumpe in verlässlicher und reproduzierbarer Weise ableitbar ist. Aufgrund dieses überraschenden technischen Effektes lässt sich beispielsweise erkennen, wie experimentell verifiziert, ob die Kreiselpumpe verstopft ist, ob ein Wartungszyklus für die Kreiselpumpe notwendig ist, wie hoch der Feststoffanteil in der Flüssigkeit ist, ob ein abnormaler Betriebszustand oder ein Lagerfehler der Kreiselpumpe vorliegt. Durch den derart bestimmten Betriebszustand kann insofern beispielsweise früher auf die sich anbahnende Verstopfung reagiert werden, so dass Beschädigungen der Kreiselpumpe durch den Feststoffanteil reduziert oder ver-

mieden werden. Das vorgeschlagene Verfahren eröffnet gegenüber den aus dem Stand der Technik bekannten Methoden einen völlig neuartigen Ansatz, um den Betriebszustand der Kreiselpumpe zu erkennen, beispielsweise an eine nachgelagerte Steuerung zu signalisieren und/oder aufgrund des erkannten Betriebszustands entsprechende Maßnahmen einzuleiten. Das Analysieren des Frequenzspektrums und/oder des Spektrogramms kann anstelle des durch ma-

schinelles Lernen trainierten Bildanalysealgorithmus ebenso oder zusätzlich durch ein Schwellwertverfahren hinsichtlich des wenigstens einen spektralen Musters zum Erkennen des Betriebszustands erfolgen.

[0009] Als Kreiselpumpe wird im Allgemeinen eine Strömungsmaschine bezeichnet, die eine Drehbewegung und dynamische Kräfte zur Förderung überwiegend von Flüssigkeiten als Fluid nutzt. Bevorzugt ist die Kreiselpumpe als Abwasserpumpe ausgestaltet. Bei der Kreiselpumpe wird neben einer tangentialen Beschleunigung der Flüssigkeit in

radialer Strömung auftretende Fliehkraft zur Förderung genutzt, so dass solche Pumpen ebenso als Zentrifugalpumpen bezeichnet werden. Bevorzugt lässt sich die Kreiselpumpe für eine hydraulische Anlage eines Gebäudes oder sonstige Anwendungen verwenden.

[0010] Im regulären Betrieb der Kreiselpumpe kann ein Gehäuse des Motors der Kreiselpumpe oberhalb des Pumpengehäuses angeordnet sein, in welchem das von dem Motor über die Welle angetriebenes Laufrad zum Fördern der Flüssigkeit vorgesehen ist, wobei das Gehäuse des Motors mit dem Pumpengehäuse ortsfest verbunden und/oder einteilig gestaltet sein kann. Ebenso kann die Kreiselpumpe und der Motor jeweils eine eigene Welle aufweisen, wobei die Wellen über eine Kupplung miteinander verbindbar sind. Bevorzugt ragt die Welle an einer Antriebsseite aus dem Gehäuse des Motors in das Pumpengehäuse hinein und/oder ist an der Antriebsseite des Laufrads ortsfest mit der Welle verbunden. Entsprechend kann ein Einlass für die zu fördernde Flüssigkeit bevorzugt unterhalb oder unten an dem Pumpengehäuse angeordnet.

[0011] Die Flüssigkeit umfasst bevorzugt Wasser oder ein sonstiges flüssiges Medium wie beispielsweise Abwasser. Die Flüssigkeit kann als möglichem Feststoffanteil Feststoffe wie beispielsweise Verunreinigungen oder Müll jeglicher Art, insbesondere Fäkalien, Sedimente, Dreck, Sand, oder auch kleinere Holz-, Gestrüpp-, Textilien- oder Lappenteile oder dergleichen umfassen. Bevorzugt ist das Gehäuse des Motors und/oder das Pumpengehäuse aus Metall, insbesondere aus Gusseisen oder Edelstahl, Keramik, und/oder Kunststoff gestaltet. Der Betriebszustand umfasst insbesondere einen normalen Betriebszustand, also einen regulären Betrieb der Kreiselpumpe, oder einen abnormalen Betriebszustand, insbesondere eine Störung und/oder eine Verstopfung, und/oder Informationen beispielsweise über die Menge des Feststoffanteils, einen erforderlichen Wartungszyklus oder einen Lagerfehler.

[0012] Der Ausdruck während des Förderns von Flüssigkeit' meint insbesondere einen regulären Betrieb der Kreiselpumpe, nämlich wenn die Kreiselpumpe ein Fluid als Flüssigkeit fördert, welches mit vorgenannten Feststoffanteil versetzt sein kann. Entsprechend kann durch das Betreiben des Motors in der ersten und/oder der zweiten Drehrichtung das Laufrad vorwärts und/oder rückwärts insbesondere zum Fördern der Flüssigkeit, oder von Frischwasser wie nachfolgend beschrieben, angetrieben werden. Flüssigkeit mit möglichem Feststoffanteil meint insofern insbesondere, dass im regulären Betrieb einerseits nur Flüssigkeit gefördert wird, die Flüssigkeit jedoch mit dem in der Regel ungewünschten Feststoffanteil versetzt sein kann, beispielsweise zum Teil oder auch Großteils.

[0013] Als zeitliches Beschleunigungs-, Druck- und/oder Motorstrom-Signal wird insbesondere ein die Kreiselpumpe im Betrieb charakterisierendes Signal verstanden, beispielsweise der von der Kreiselpumpe aufgenommene elektrische Strom und/oder die vom Motor während des Förderns der Flüssigkeit aufgenommene elektrische Leistung, eine Drehzahl und/oder ein Drehmoment des Motors. Durch Fourier-Transformieren des Beschleunigungs-, des Druck- und/oder des Motorstrom-Signals, im Rahmen der Anmeldung ebenso abgekürzt als Signal bezeichnet, wird insbesondere eine Translations-Invarianz des Signals in Zeit-Richtung und Frequenz-Richtung erhalten. Als Fourier-Transformation, genauer insbesondere kontinuierliche Fourier-Transformation, wird in der Regel eine Methode aus dem Bereich der Fourier-Analyse, mit der aperiodische Signale in ein kontinuierliches Spektrum zerlegt werden, verstanden. Die Funktion, die dieses Spektrum beschreibt, wird auch als Fourier-Transformierte oder Spektralfunktion bezeichnet, die über eine Integraltransformation erhalten wird.

[0014] Als Frequenzspektrum eines Signals, meist einfach Spektrum genannt, lässt sich eine Zusammensetzung des Signals aus verschiedenen Frequenzen erkennen. Als Spektrogramm wird in der Regel eine bildliche Darstellung des zeitlichen Verlaufs des Frequenzspektrums des Signals verstanden. Das maschinelle Lernen erfolgt bevorzugt mittels eines neuronalen Netzes, insbesondere eines künstlichen neuronalen Netzes. Der Bildanalysealgorithmus kann auf einem Computer bzw. mittels eines Prozessors und/oder durch eine Steuerung wie weiter unten beschrieben durchgeführt werden. Der Begriff maschinelles Lernen soll bevorzugt auch derart verstanden werden, dass beispielsweise ein Erkennen von äquidistant verteilten Peaks im Frequenzspektrum mit umfasst ist.

[0015] Gemäß einer bevorzugten Weiterbildung ist das spektrale Muster zum Erkennen der Betriebszustands durch Überschreiten eines Beschleunigungs-, Druck- und/oder Motorstrom-Schwellwertes insbesondere einer ganzzahligen und/oder halben Ordnung des Signals gekennzeichnet. Als Ordnung bzw. Ordnungsanalyse wird in der Regel eine Analyse des Signals verstanden, bei welcher ein Energiegehalt des Signals über der Ordnung aufgetragen wird. Der Schwellwert kann grundsätzlich beliebig definiert sein, beträgt beispielsweise bei einem abnormalen Betriebszustand 10, 20 oder 30% mehr als bei einem regulären Betriebszustand, insbesondere als Abweichung bzw. Relation zu einem

Mittelwert aller anderen Regionen im Frequenzspektrum und/oder Spektrogramm. Sofern also insbesondere das Fourier-transformierte Signal insbesondere der ganzzahligen und/oder halben Ordnung des Signals den Schwellwert überschreitet, kann auf eine Abweichung des Betriebszustands von dem regulären Betriebszustand geschlossen werden, und die Abweichung beispielsweise signalisiert und/oder durch Lösen einer Verstopfung behoben werden.

[0016] Nach einer weiteren bevorzugten Ausgestaltung ist das spektrale Muster zum Erkennen der Betriebszustands durch Überschreiten einer vordefinierten zeitlichen Dauer insbesondere eines gleitenden Mittelwertes des Beschleunigungs-, Druck- und/oder Motorstrom-Schwellwertes gekennzeichnet. In einer bildlichen Gestaltung kann das spektrale Muster derart als waagerechte "Sprossen" einer "Leiter" gekennzeichnet sein, also wenn insbesondere die ganzzahlige und/oder halbe Ordnung des Signals über die vordefinierte zeitliche Dauer den Schwellwert überschreiten. Der Schwellwert kann beispielsweise 1, 2, 5, 10, 20, 30 oder 60 Sekunden betragen. Diese sogenannte spektrale Leiter, insbesondere bestehend aus einer Mehrzahl Sprossen, im Spektrogramm insbesondere als horizontale Linien, entsprechend von Ordnungen und Halbordnungen dargestellt, sowie meist zwei Holmen, im Spektrogramm insbesondere als vertikale Linien, beispielsweise entsprechend einem zeitlichen Beginn und Ende einer Verstopfung dargestellt, treten visuell insbesondere als deutlicher Farbunterschied zu einer lokalen Umgebung zu Tage. Der Farbunterschied ergibt sich insbesondere durch sich ändernde Amplitudenwerte entsprechend einer dritten Achse des Spektrogramms, insbesondere orthogonal zur Bildebene, die durch eine Farbkarte wiedergegeben werden kann. Je nach Wahl der Farbkarte sowie von Farbrepräsentanten der minimalen und maximalen Amplitudenwerte kann sich ein entsprechender Farbunterschied ergeben.

[0017] Gemäß einer anderen bevorzugten Weiterbildung umfasst das Verfahren den Schritt:

Analysieren Frequenzspektrums und/oder des Spektrogramms in einem Bereich zwischen 3. und 9. Ordnung, insbesondere zwischen 3. und 5., 6., 7. oder 8. Ordnung des Signals.

[0018] Nach einer weiteren bevorzugten Ausgestaltung erfolgt das maschinelle Lernen mittels eines neuronalen Netzes, insbesondere eines Convolutional Neural Network, CNN. Als Convolutional Neural Network wird in der Regel ein künstliches neuronales Netz verstanden, wobei klassische Convolutional Neural Networks aus einem oder mehreren Convolutional Layer, insbesondere jeweils gefolgt von einem Pooling Layer und einem oder mehreren Fully Connection Layer bestehen können. Bei dem Convolutional Layer liegt eine Eingabe, Input, oftmals als ein-, zwei- oder dreidimensionale Matrix, beispielsweise als Pixel eines Graustufen- oder Farbbildes, vor.

[0019] Gemäß einer anderen bevorzugten Weiterbildung umfasst das Verfahren den Schritt:

Analysieren des Frequenzspektrums und/oder des Spektrogramms mittels des durch maschinelles Lernen trainierten Bildanalysealgorithmus hinsichtlich mehrerer und/oder verschiedener spektraler Muster zum Erkennen des Betriebszustands.

[0020] Insbesondere durch derartige Nutzung mehrerer CNN-Farbkanäle, insbesondere mehrerer paralleler CNN-Input-Kanäle, für weitere Bilder können aus dem Frequenzspektrums und/oder des Spektrogramms unterschiedlicher Zeit-Signale unterschiedliche physikalische Bedeutungen abgeleitet werden, beispielsweise mehrere spektrale Muster zum Erkennen des Betriebszustands erstellt werden. Derart lässt sich der Betriebszustand wesentlich detaillierter erfassen.

[0021] Nach einer weiteren bevorzugten Ausgestaltung weist das Verfahren die Schritte auf:

Analysieren des spektralen Musters hinsichtlich einer Verstopfung als Betriebszustands der Kreislpumpe, bei Erkennen der Verstopfung als Betriebszustand, Lösen der Verstopfung durch Betreiben des Motors in wenigstens einer ersten Drehrichtung zum Fördern der Flüssigkeit entgegengesetzten zweiten Drehrichtung.

[0022] Zum Lösen der Verstopfung können grundsätzlich aus dem Stand der Technik bekannte, sogenannte Entblockungsroutinen verwendet werden, die in der Regel ein zeitlich begrenztes und/oder wiederholendes, insbesondere in Intervallen wiederholendes und/oder abwechselndes Betreiben des Motors in der ersten und/oder der zweiten Drehrichtung, insbesondere in Vorwärts- und/oder Rückwärtsrichtung beinhalten.

[0023] Gemäß einer anderen bevorzugten Weiterbildung umfasst das Verfahren die Schritte:

bei Erkennen der Verstopfung als Betriebszustand, Analysieren des spektralen Musters hinsichtlich einer Klassifikation der Verstopfung der Kreislpumpe, und
Lösen der Verstopfung durch Betreiben des Motors in Abhängigkeit von der Klassifikation der Verstopfung.

[0024] Gemäß dieser Ausgestaltung lässt sich die Verstopfung in wesentlich effektiverer Weise im Vergleich zum Stand der Technik lösen, da das Lösen der Verstopfung, insbesondere eine dazu eingeleitete Entblockungsroutine, in Abhängigkeit der zuvor festgestellten Klassifikation der Verstopfung ausgewählt wird. Denn anhand des spektralen Musters lässt sich erkennen, welche Art von Verstopfung vorliegt, wie sich experimentell gezeigt hat. Beispielsweise deutetein ‚klareres‘ bzw. ‚deutlicheres‘ Muster darauf hin, dass in dem einen Fall größere oder stärkere Verunreinigungen in dem Laufrad hängen geblieben sind als bei einem ‚undeutlicheren‘ Muster. Ebenso lässt sich anhand des spektralen

Musters ein bzw. der Ort einer Verstopfung lokalisieren. Zum Lösen lässt sich eine entsprechende Entblockungsroutine auswählen, die in dem einen Fall auf größere oder härtere Verunreinigungen und in dem anderen Fall auf kleinere und weichere Verunreinigungen zugeschnitten ist, oder auf den Ort der Verstopfung zugeschnitten ist. Derartige Entblockungsroutinen können durch geringere/höhere Drehzahlen, geringere/höhere Beschleunigungen und/oder weniger/mehr Intervalle gekennzeichnet sein.

[0025] Nach einer weiteren bevorzugten Ausgestaltung weist das Verfahren den Schritt auf:

Erfassen des Signals mittels eines Beschleunigungs- und/oder eines Vibrationssensors, insbesondere mittels eines 3-Achsen Beschleunigungs- und/oder eines Vibrationssensors, mittels eines Drucksensors und/oder mittels eines Stromsensors.

[0026] Derartige Sensoren können grundsätzlich, wie aus dem Stand der Technik bekannt, gestaltet sein, beispielsweise als uni-axial und/oder tri-axial messender Beschleunigungssensor. Der Beschleunigungs- und/oder Vibrationssensor ist bevorzugt berührend und/oder unmittelbar benachbart an bzw. zu dem Pumpengehäuse, der Welle, dem Laufrad, dem Motor und/oder einem Motorgehäuse des Motors vorgesehen. Der Drucksensor kann saugseitig und/oder druckseitig vorgesehen sein. Der Stromsensor ist bevorzugt im Strompfad des Motors insbesondere an einem Anschlusskabel des Motors, angeordnet.

[0027] Gemäß einer anderen bevorzugten Weiterbildung umfasst das Verfahren den Schritt:

Erhalten des Frequenzspektrums mittels schneller Fourier-Transformation und/oder des Spektrogramms mittels Kurzzeit-Fourier-Transformation.

[0028] Als schnelle Fourier-Transformation, englisch fast Fourier transform, FFT, wird in der Regel ein Algorithmus zur effizienten Berechnung der diskreten Fourier-Transformation, DFT, verstanden, mit dem das zeitdiskrete Signal in seine Frequenzanteile zerlegt und dadurch analysiert werden kann. Die Kurzzeit-Fourier-Transformation, englisch short-time Fourier transform, kurz STFT, lässt sich verwenden, um die zeitliche Änderung des Frequenzspektrums des Signals darzustellen. Während die Fourier-Transformation keine Informationen über die zeitliche Veränderung des Spektrums bereitstellt, ist STFT auch für solche Signale geeignet, deren Frequenzeigenschaften sich im Laufe der Zeit verändern.

[0029] Nach einer weiteren bevorzugten Ausgestaltung weist das Verfahren den Schritt auf:

Trainieren des Bildanalysealgorithmus mittels einer Vielzahl Einzelbilder mit wenigstens zum Teil unterschiedlichen Betriebszuständen zum Erhalten eines jeweiligen Vektors mit Wahrscheinlichkeiten eines regulären Betriebszustands und eines abnormalen Betriebszustands, insbesondere einer Nicht-Verstopfung und Verstopfung.

[0030] In vorteilhafter Weise erfolgt ein derartiges Trainieren mittels einer Mehrzahl Einzelbilder, insbesondere mittels einigen Hundert Einzelbildern, beispielsweise 800, 1000 oder 1500 Einzelbildern, wobei sich an das Trainieren eine Testphase mit einigen weiteren insbesondere Hundert Einzelbildern anschließen kann oder die Testphase während des Trainierens stattfindet. Die Einzelbilder beinhalten bevorzugt entsprechende spektrale Muster des regulären Betriebszustandes sowie des abnormalen Betriebszustandes, beispielsweise wenn die Kreiselpumpe nicht verstopft sowie verstopft ist. Die zum Training genutzten Muster können für das menschliche Auge nicht in jedem Fall wahrnehmbar sein.

[0031] Gemäß einer anderen bevorzugten Weiterbildung umfasst das Verfahren den Schritt:

Trainieren des Bildanalysealgorithmus beim Fördern von Klarwasser als Flüssigkeit und mit einem definierten Feststoffanteil versehener Flüssigkeit.

[0032] Derart lässt sich erkennen, wie das spektrale Muster im regulären Betriebszustand der Kreiselpumpe aussieht, so dass davon abweichende spektrale Muster als abnormale Betriebszustände klassifizierbar sind. Dazu wird der Feststoffanteil vorzugsweise gerade derart definiert, dass eine Verstopfung als abnormaler Betriebszustand vorliegt. Ebenso kann der Feststoffanteil durch einen oder mehrere Lappen, insbesondere einer vorbestimmten Größe, Form etc. und/oder pro Zeiteinheit definiert sein.

[0033] Grundsätzlich existieren verschiedene Möglichkeiten, das vorgeschlagene Verfahren zu triggern, beispielsweise aufgrund eines zeitlichen Ereignisses und/oder eines Resultats eines weiteren Verfahrens. Nach einer besonders bevorzugten Ausgestaltung weist das Verfahren jedoch die Schritte auf:

während des Förderns von Flüssigkeit mit dem möglichem Feststoffanteil, Erfassen einer Steigung und/oder einer Krümmung eines zeitlichen Verlaufs des Signals der Kreiselpumpe, und

wenn die Steigung und/oder die Krümmung des zeitlichen Verlaufs des Signals einen Verstopfungsschwellwert übersteigt, Fourier-Transformieren des Signals.

[0034] Durch Nutzung einer derartigen Gradienteninformation und/oder Krümmung des zeitlichen Verlaufs des Signals lässt sich ein quasi geschätzter Blick in eine nahe Zukunft erhalten. Mit anderen Worten lässt sich durch die Steigung und/oder der Krümmung des zeitlichen Verlaufs des Signals schätzen, wie sich das Signal in unmittelbarer Zukunft, beispielsweise in den nächsten Millisekunden, ändert. Mit noch anderen Worten stellt die vorgeschlagene Weiterbildung eine Art Trendanalyse für das Signal bereit, so dass bereits ein Trend hin zu einer Änderung des Betriebszustands der Kreiselpumpe innerhalb von wenigen Millisekunden erkannt werden kann, um in der Folge den Betriebszustand mittels der Fourier-Transformation detailliert erkennen zu können. Durch den derart erkannten Trend kann früher beispielsweise

auf die sich anbahnende Verstopfung reagiert werden, so dass Beschädigungen der Abwasserpumpe durch Verunreinigungen reduziert oder vermieden werden.

[0035] Als Steigung wird insbesondere eine erste zeitliche Ableitung des zeitlichen Verlaufs des Signals, insbesondere von den drehenden Motor charakterisierender elektrischer Betriebswerte, beispielsweise den vom Motor während des Förderns aufgenommenen elektrischen Strom und/oder die vom Motor während des Förderns aufgenommene elektrische Leistung, Drehzahl oder eines Drehmoments, insbesondere die Änderungsrate des zeitlichen Verlaufs der den drehenden Motor charakterisierenden elektrischen Betriebswerte. Gemeinhin wird die erste Ableitung als df/dt beschrieben.

[0036] Als Krümmung wird insbesondere eine zeitliche Ableitung der Steigung des zeitlichen Verlaufs des Signals oder die zweifache Ableitung des zeitlichen Verlaufs des Signals, insbesondere von den drehenden Motor charakterisierenden elektrischen Betriebswerten nach der Zeit verstanden. Den drehenden Motor charakterisierende elektrische Betriebswerte sind beispielsweise der vom Motor während des Förderns der Flüssigkeit aufgenommene elektrische Strom und/oder die vom Motor während des Förderns der Flüssigkeit aufgenommene elektrische Leistung oder das Drehmoment des Motors.

[0037] Als zeitlicher Verlauf wird im Rahmen der Erfindung insbesondere eine zeitlich geordnete Folge des Signals, insbesondere von Signalwerten, insbesondere den Motor charakterisierender Betriebswerte, wie beispielsweise Leistung, Drehmoment, Drehzahl oder Strom, verstanden, insbesondere eine Zeitreihe. Der zeitliche Verlauf kann gemittelt, insbesondere quadratisch gemittelt, und/oder geglättet sein. Der zeitliche Verlauf kann eine kontinuierliche und/oder diskrete Folge des Signals umfassen. Besonders bevorzugt umfasst die Steigung und/oder die Krümmung des zeitlichen Verlaufs eine approximierte Ableitung von diskreten Zeitsignalen durch Differenzenquotienten einer ersten und/oder zweiten Ordnung des Betriebswerte.

[0038] Gemäß einer anderen bevorzugten Weiterbildung weist das Verfahren den Schritt auf: Erfassen des Signals mit einer Abtastfrequenz von ≥ 10 kHz und ≤ 60 kHz.

[0039] Bevorzugt beträgt die Abtastfrequenz 20, 30, 40 oder 50 kHz. Daneben sind auch kleinere untere Frequenzgrenzen wie 1, 2, 5 oder 8 kHz denkbar.

[0040] Die Aufgabe der Erfindung wird weiterhin gelöst durch eine Kreislumpumpe aufweisend ein Pumpengehäuse mit einer in dem Pumpengehäuse angeordneten Welle, einem auf der Welle sitzenden Laufrad, einen die Welle antreibenden Motor sowie einer Steuerung, wobei

die Steuerung eingerichtet ist, während eines Förderns von Flüssigkeit mit einem möglichem Feststoffanteil mit der Kreislumpumpe, ein zeitliches Beschleunigungs-, eines Druck- und/oder eines Motorstrom-Signal der Kreislumpumpe zu erfassen, das Signal zum Erhalten eines Frequenzspektrums und/oder eines Spektrogramms Fourier zu transformieren, wobei insbesondere Frequenzen des Frequenzspektrums und/oder des Spektrogramms insbesondere mittels einer Drehzahl der Kreislumpumpe normiert sind, und das Frequenzspektrum und/oder das Spektrogramm insbesondere mittels eines durch maschinelles Lernen trainierten Bildanalysealgorithmus hinsichtlich wenigstens eines spektralen Musters zum Erkennen eines Betriebszustands der Kreislumpumpe zu analysieren.

[0041] Die Steuerung weist bevorzugt einen Mikroprozessor oder dergleichen auf, durch welchen das Signal erfassbar, das Signal Fourier-transformierbar und/oder das Frequenzspektrum und/oder das Spektrogramm analysierbar ist. Die Steuerung kann integraler Bestandteil der Kreislumpumpe sein, an der Kreislumpumpe vorgesehen sein, beispielsweise an einem Gehäuse der Kreislumpumpe, entfernt von der Kreislumpumpe angeordnet sein und/oder Teil einer insbesondere von der Kreislumpumpe entfernten 'cloud' sein. Zum Erfassen des Signals kann ein, direkt oder indirekt, an den Motor, an die Welle, das Laufrad und/oder an die Kreislumpumpe, insbesondere an ein Gehäuse, ein Motorgehäuse und/oder ein Pumpengehäuse, der Kreislumpumpe, angeschlossener und/oder den Motor, die Welle, das Laufrad und/oder die Kreislumpumpe überwachender Sensor, beispielsweise ein Beschleunigungs-, eines Druck- und/oder Stromsensor, vorgesehen sein.

[0042] Weitere Ausgestaltungen und Vorteile der Kreislumpumpe ergeben sich für den Fachmann in Analogie zu dem oben beschriebenen Verfahren.

Kurze Beschreibung der Zeichnungen

[0043] Nachfolgend wird die Erfindung unter Bezugnahme auf die anliegenden Zeichnungen anhand bevorzugter Ausführungsbeispiele näher erläutert.

[0044] In den Zeichnungen zeigen

Fig. 1 eine schematische Ansicht einer Kreislumpumpe zum Ausführen des vorgeschlagenen Verfahrens gemäß

einem bevorzugten Ausführungsbeispiel der Erfindung,

Fig. 2 ein Ablaufdiagramm zum Ausführen des vorgeschlagenen Verfahrens gemäß dem bevorzugten Ausführungsbeispiel der Erfindung,

Fig. 3a zeigt ein Spektrogramm von mit einer Drehzahl der Kreislaspumpe der Fig. 1 normierten Frequenzen eines zeitlichen Signals gemäß dem bevorzugten Ausführungsbeispiel der Erfindung,

Fig. 3b zeigt ein Ausschnitt des Spektrogramms der Fig. 3a gemäß dem bevorzugten Ausführungsbeispiel der Erfindung,

Fig. 4 zeigt das Spektrogramm von mit einer Drehzahl der Kreislaspumpe der Fig. 1 normierten Frequenzen des zeitlichen Signals gemäß dem bevorzugten Ausführungsbeispiel der Erfindung in einer weiteren Ansicht,

Fig. 5 zeigt oben einem von einem Motor der Kreislaspumpe der Fig. 1 aufgenommenen Motorstrom, in der Mitte das Spektrogramm von einem Beschleunigungs-Signal sowie unten eine Wahrscheinlichkeit einer Verstopfung der Kreislaspumpe gemäß dem bevorzugten Ausführungsbeispiel der Erfindung,

Fig. 6 einen Ausschnitt aus einem Leistungs-/Zeitdiagramm beim Ausführen des vorgeschlagenen Verfahrens gemäß dem bevorzugten Ausführungsbeispiel der Erfindung, und

Fig. 7 ein Leistungs-/Kreisfrequenzdiagramm beim Ausführen des vorgeschlagenen Verfahrens gemäß dem bevorzugten Ausführungsbeispiel der Erfindung.

Detaillierte Beschreibung der Ausführungsbeispiele

[0045] Fig. 1 zeigt eine schematische Ansicht einer Kreislaspumpe 1 zum Ausführen eines nachfolgend beschriebenen Verfahrens zum Bestimmen eines Betriebszustands und insbesondere zum Lösen einer Verstopfung der Kreislaspumpe 1 gemäß einem bevorzugten Ausführungsbeispiel der Erfindung.

[0046] Die Kreislaspumpe 1 weist in herkömmlicher Weise ein Pumpengehäuse 2 mit einer, in der Figur an dem Pumpengehäuse 2 unten angeordneten Saugöffnung 3 als Einlass auf. In dem Pumpengehäuse 2 ist eine Welle 4 vorgesehen, die sich in der Zeichnung vertikal erstreckt. Die Welle 4 wird von einem Motor 5 angetrieben, nur ansatzweise dargestellt, der entgegengesetzt zu der Saugöffnung 3 angeordnet ist. Der Saugöffnung 3 zugewandt ist ein Laufrad 6 vorgesehen, welches über die Welle 4 durch den Motor 5 angetrieben ist. Ferner weist die Kreislaspumpe 1 eine mikroprozessorbasierte Steuerung 7 auf, in Fig. 1 nur angedeutet.

[0047] Schließlich weist die Kreislaspumpe 1 einen Sensor 8 zum Erfassen eines zeitlichen Beschleunigungs-, eines Druck- und/oder eines Motorstrom-Signals der Kreislaspumpe 1 auf. Der Sensor 8 ist entsprechend als Beschleunigungs- und/oder Vibrationssensor, insbesondere als 3-Achsen Beschleunigungs- und/oder Vibrationssensor, als Drucksensor und/oder als Stromsensor ausgestaltet. Im Falle einer Ausgestaltung als Beschleunigungs- und/oder Vibrationssensor ist der Sensor 8 insbesondere berührend, unmittelbar benachbart und/oder starr, beispielsweise auf einer Metallplatte, an dem Motor 5, zugeordnet zu der Welle 4, an dem Pumpengehäuse 2, an einem Motorgehäuse des Motors 5 und/oder zugeordnet zu dem Laufrad 6 vorgesehen. Im Falle eines Drucksensors ist der Sensor 8 druckseitig und/oder saugseitig insbesondere an der Saugöffnung 3 vorgesehen. Im Falle eines Stromsensors misst der Sensor 8 einen von dem Motor 5 aufgenommenen Motorstrom.

[0048] Das vorgeschlagene Verfahren zum Erkennen eines Betriebszustand der Kreislaspumpe 1 erfasst in einem ersten Schritt 100 während eines Förderns von Flüssigkeit mit einem möglichem Feststoffanteil mit der Kreislaspumpe 1 das zeitliche Beschleunigungs-, Druck- und/oder Motorstrom-Signal der Kreislaspumpe 1. Dazu wird das Signal mit einer Abtastfrequenz von ≥ 10 kHz und ≤ 60 kHz, insbesondere 30 kHz, diskontinuierlich über die Zeit erfasst. Die Abtastfrequenz kann ebenso kleiner oder größer vorbeschrieben sein.

[0049] Das derart über die Zeit erfasste Beschleunigungs-, Druck- und/oder Motorstrom-Signal wird in einem zweiten Schritt 200 mittels Fourier-Transformation analysiert, um ein Frequenzspektrum und/oder ein Spektrogramm, dargestellt in Fig. 3a, zu erhalten, wobei Frequenzen des Frequenzspektrums und/oder des Spektrogramms mittels einer Drehzahl der Kreislaspumpe 1 normiert sind. Konkret wird das Frequenzspektrum mittels schneller Fourier-Transformation und/oder des Spektrogramms mittels Kurzzeit-Fourier-Transformation erhalten.

[0050] In einem folgenden dritten Schritt 300 wird das Frequenzspektrum und/oder das Spektrogramm mittels eines durch maschinelles Lernen trainierten Bildanalysealgorithmus hinsichtlich eines spektralen Musters zum Erkennen des Betriebszustands analysiert. Dazu wird, wie exemplarisch dargestellt in Fig. 3b, das Spektrogramm in einem Bereich zwischen 3. und 9. Ordnung des Signals betrachtet. Im Falle einer Verstopfung der Kreislaspumpe 1, beispielsweise weil

der Feststoffanteil das Laufrad 6 verstopft, verklemmt oder einen zusätzlichen Reibanteil darstellt, ergibt sich eine in Fig. 3b dargestellte spektrale "Leiter" mit ganzzahligen und halben Ordnungen des Signals, markiert durch Pfeile, als waagerechte "Leitersprossen".

[0051] Diese spektrale "Leiter" als spektrales Muster stellt einerseits ein relatives Überschreiten eines Beschleunigungs-, Druck- und/oder Motorstrom-Schwellwertes der ganzzahligen und/oder halben Ordnung des Signals dar, was in Fig. 3a und Fig. 3b als farblicher Unterschied dargestellt ist bzw. als Sichtbarkeit des Fourier-transformierten Signals bezüglich der Frequenzachse erkennbar ist. Zudem ist eine "Leitersprosse" als waagerechte Linie dieses Signals aufgrund des Überschreitens einer vordefinierten zeitlichen Dauer und/oder des Beschleunigungs-, Druck- und/oder Motorstrom-Schwellwertes ausgebildet ist bzw. Sichtbarkeit des Fourier-transformierten Signals bezüglich der Zeitachse erkennbar ist. Das derart entstandene spektrale Muster charakterisiert den Betriebszustand der Kreiselpumpe 1 vorliegend als Verstopfung.

[0052] Mit anderen Worten kann zum Erkennen der Leiter im Frequenzspektrum als Vorarbeit zunächst ein Umwandeln eines beliebig farblich dargestellten Spektrogramms in ein schwarz-weißes Spektrogramm erfolgen bzw. liegt eigentlich bereits als solches vor. Dabei erfolgt eine Festlegung einer Schwarz-Weiß-Skala nach dem folgenden Schema: Pures Schwarz, d.h. relativer Farbwert gleich 0, entsprechend dem niedrigsten absoluten Wert im Spektrogramm sowie pures Weiß, d.h. relativer Farbwert gleich 1, entsprechend dem höchsten absoluten Wert im Spektrogramm. Zudem wird ein zeitliches Analysefenster, welcher in der Zeit verschiebbar ist, von beispielsweise 1 oder 2 oder 3 Sekunden festgelegt, d.h. das Analysefenster ist kleiner als die Zeitspanne eines Einzelbildes.

[0053] Um zu erkennen, ob eine Leiter im Frequenzspektrum vorliegt, wird in Fig. 4 angedeutet, werden alle ganzen und halben Ordnungen zwischen der 3. und 9. die beiden Grenzen eingeschlossen Ordnung betrachtet, d.h. die Ordnungen $3 / 3.5 / 4 / 4.5 / 5 \dots 8 / 8.5 / 9$, innerhalb des Analysefensters, im Folgenden Max-Linien genannt. Innerhalb des Analysefensters werden die jeweiligen Linien betrachtet, die eine Viertel-Ordnung unter und über allen Max-Linien liegen, im Folgenden Min-Linien genannt, sprich im Fall der Ordnung 3 die Linien der Ordnungen 2.75 und 3.25, im Fall der Ordnung 3.5 die Linien der Ordnungen 3.25 und 3.75 usw. bis im Fall der Ordnung 9 die Linien der Ordnungen 8.75 und 9.25.

[0054] Um jede Min-Linie sowie Max-Linie werden einzelne Flächen bzw. Streifen mit einer Breite gleich dem Analysefenster und den Halb-Höhen von beispielsweise ± 0.02 Ordnungen über sowie unter der jeweiligen Linie definiert, d.h. jede Fläche hat eine Höhe H von insgesamt 0.04 Ordnungen und ist um die jeweilige Linie zentriert. Für jede Fläche wird ein durchschnittlicher relativer Farbwert berechnet, im Folgenden Flächenwert genannt. Abschließend werden für alle Max-Linien sowie die beiden jeweils unmittelbar benachbarten Min-Linien die Flächenwerte untereinander verglichen und abgefragt, ob der Flächenwert der Max-Linie die Flächenwerte der beiden benachbarten Min-Linien deutlich übersteigt. Als Schwellenwert für die Differenz der Flächenwerte, im Maß eines relativen Farbwertes, wird ein Wert von beispielsweise 0.1 vorgesehen. Mit anderen Worten wird nach einer Art Zick-Zack-Muster gesucht, welches als Kriterium für eine Leiterstruktur dient. Das Vorbeschriebene ist analog für ein Frequenzspektrum anwendbar.

[0055] In vorbereitenden Schritten zum Ausführen des zuvor beschriebenen Verfahrens zum Erkennen des Betriebszustands der Kreiselpumpe 1 wird der Bildanalysealgorithmus zunächst mittels einer Vielzahl Einzelbilder maschinell trainiert. Dargestellt in Fig. 5 sind oben der vom Motor 5 aufgenommene Motorstrom, in der Mitte das Spektrogramm sowie unten als Ergebnis eine Wahrscheinlichkeit der Verstopfung. Beispielsweise wurde im Zeitraum zwischen etwa 550 bis 650 Sekunde eine Verstopfung durch Training mittels entsprechender Einzelbilder simuliert, so dass sich im mittleren Spektrogramm die spektrale "Leiter" ausgebildet hat und entsprechend unten als Ergebnis die Wahrscheinlichkeit der Verstopfung bei 100% liegt.

[0056] Das maschinelle Lernen erfolgt durch ein Convolutional Neural Networks, CNN, also mittels eines künstlichen neuronalen Netzes. Die Einzelbilder, Matrixobjekte mit einer Auflösung NxN Pixel, beispielsweise 60x60 oder 120x120 Pixel, beinhalten als Input für das CNN unterschiedliche Betriebszustände, beispielsweise regulärer Betriebszustand und abnormaler Betriebszustand, insbesondere einer Nicht-Verstopfung und Verstopfung oder normaler Lagerzustand und Lagerschaden der Kreiselpumpe 1. Ein Output des CNN ist ein Vektor mit zwei oder mehr Einträgen entsprechend den Wahrscheinlichkeiten für den regulären Betriebszustand und den abnormalen Betriebszustand, insbesondere Nicht-Verstopfung und Verstopfung oder normaler Lagerzustand und Lagerschaden, mit in Summe 1.

[0057] Das spektrale Muster lässt sich aus standardisierten Ausschnitten der derart berechneten Spektrogramme ableiten, insbesondere durch Anpassung und Vereinheitlichung der Bildauflösung auf NxN Pixeln, beispielsweise 60x60 oder 120x120 Pixel, und Berechnung von zahlreichen Bildern, oder als Ausschnitte aus Spektrogrammen mit und ohne Merkmale einer Verstopfung bzw. des abnormalen Betriebszustand für das Training, etwaige Zwischentests und die anschließende finale Validierung. Beispielsweise lässt sich der Bildanalysealgorithmus des CNN beim Fördern von Klarwasser als Flüssigkeit, mit einem definierten maximalen Feststoffanteil versehener Flüssigkeit, die noch einen regulären Betrieb der Kreiselpumpe ermöglicht, sowie bei einer Verstopfung der Kreiselpumpe 1 trainieren.

[0058] In Fortführung des zuvor beschriebenen Verfahrens kann in einem weiteren Schritt 400 das spektrale Muster dahingehend analysiert werden, ob ein verstopfter Betriebszustand der Kreiselpumpe 1 vorliegt. Dazu kann das Frequenzspektrum und/oder das Spektrogramm mittels des durch maschinelles Lernen trainierten Bildanalysealgorithmus

hinsichtlich mehrerer und/oder verschiedener spektraler Muster zum Erkennen einer konkreten Art des Betriebszustands untersucht werden. Durch Nutzung mehrerer CNN-Input-Kanäle könne unterschiedliche physikalische Bedeutungen eruiert werden, beispielsweise die Art der Verstopfung detektiert werden. Ebenso kann neben einem generellen Betriebszustand beispielsweise die Menge des Feststoffanteils, ein erforderlicher Wartungszyklus oder ein Lagerfehler erkannt werden.

[0059] Insofern kann bei Erkennen des verstopften Betriebszustands in einem folgenden Schritt 500 das spektrale Muster hinsichtlich einer Klassifikation der Verstopfung der Kreiselpumpe analysiert werden. In der Folge kann in einem wieder darauffolgenden Schritt 600 der verstopfte Betriebszustand durch Betreiben des Motors 5 in Abhängigkeit von der Klassifikation des verstopften Betriebszustands gelöst werden. Ein derartiges Lösen erfolgt beispielsweise durch Betreiben des Motors 5 in wenigstens einer ersten Drehrichtung zum Fördern der Flüssigkeit entgegengesetzten zweiten Drehrichtung.

[0060] Das vorbeschriebene Verfahren lässt sich insbesondere dann initiieren, wenn während des Förderns von Flüssigkeit mit dem möglichem Feststoffanteil eine Steigung und/oder einer Krümmung eines zeitlichen Verlaufs des Signals der Kreiselpumpe 1, also die erste und/oder die zweite zeitliche Ableitung des Signals, einen Verstopfungsschwellwert übersteigt, so dass in diesem Fall das Fourier-Transformieren des Signals erfolgt.

[0061] In dazu vorbereitenden Schritten zum Ausführen kann der Motor 5 während des Förderns von Klarwasser wiederholt in Vorwärts- und/oder Rückwärtsrichtung, also in ein der ersten Drehrichtung und/oder in der ersten Drehrichtung entgegengesetzten zweiten Drehrichtung, betrieben sowie in Vorwärts- und/oder Rückwärtsrichtung beschleunigt werden. Während dieses Betriebes des Motors 5 mittels einer durch die Steuerung 7 vorgegebenen Drehzahl-Zeit Funktion werden durch den Sensor 8 mehrere diskrete den drehenden Motor charakterisierende elektrische Klarwasserbetriebswerte in Abhängigkeit der Zeit erfasst.

[0062] Mittels der Steuerung 7 wird sodann die Steigung und/oder die Krümmung des zeitlichen Verlaufs der so gewonnenen Klarwasserbetriebswerte, also die erste und die zweite zeitliche Ableitung der so gewonnenen Klarwasserbetriebswerte, bestimmt. Da der Motor 5 mit unterschiedlichen Drehzahlen, Beschleunigungen und Drehrichtungen betrieben wurde, lassen sich derart charakteristische Widerstandskurven für den Betrieb der Kreiselpumpe 1 mit Klarwasser bestimmen und in einem Speicher der Steuerung 7 hinterlegen. Diese Widerstandskurven stellen das grundsätzliche Betriebsverhalten der Kreiselpumpe 1 mit von Verunreinigungen unbelastetem Klarwasser dar.

[0063] Beim Fördern von Flüssigkeit mit Feststoffanteil mit der Kreiselpumpe 1, also mit Verunreinigungen unterschiedlicher Art versetztem Wasser, benötigt die Kreiselpumpe 1 regelmäßig mehr elektrische Energie als beim Fördern von Klarwasser. Entsprechend liegen eine während des Förderns von Flüssigkeit mit Feststoffanteil erfasste Steigung und/oder Krümmung des zeitlichen Verlaufs von den drehenden Motor charakterisierenden elektrischen Abwasserbetriebswerten im aktuellen Betrieb über der entsprechenden Steigung und/oder Krümmung des zeitlichen Verlaufs der Klarwasserbetriebswerte. Die Abwasserbetriebswerte lassen sich wiederum mit dem Sensor 8 erfassen.

[0064] Sofern die Kreiselpumpe 1 verstopft, beispielsweise eine Verunreinigung die Drehzahl des Laufrads 6 reduziert oder das Laufrad 6 gar verklemmt und derart stoppt, ändert sich die Abwasserbetriebswerte, nämlich die Steigung und/oder die Krümmung des zeitlichen Verlaufs der Abwasserbetriebswerte. Überschreitet die Steigung und/oder die Krümmung des zeitlichen Verlaufs der Abwasserbetriebswerte einen vorgegebenen Verstopfungsschwellwert, erkennt die Steuerung 7 das Verstopfen der Kreiselpumpe 1.

[0065] Der Verstopfungsschwellwert ist zweckmäßigerweise aus einem Maximum der um einen Faktor erhöhten Steigung und/oder Krümmung des zeitlichen Verlaufs der Klarwasserbetriebswerte gebildet, beträgt beispielsweise das 1,3-Fache der maximalen Steigung und/oder Krümmung des zeitlichen Verlaufs der Klarwasserbetriebswerte. Nimmt die Kreiselpumpe 1 beim Fördern von Klarwasser beispielsweise 1000 W auf, liegt die reguläre Leistung beim Fördern von Flüssigkeit mit Feststoffanteil beispielsweise bei 1050 W. Sobald die Abwasserpumpe 1 jedoch 1300 W verbraucht, stellt die Steuerung 7 die Verstopfung bzw. eine Änderung des Betriebszustands fest, und beginnt mit der Fourier-Transformation des Signals.

[0066] Exemplarisch dazu sind in Fig. 6 ein Ausschnitt aus einem Leistungs-/Zeitdiagramm und in Fig. 7 ein Leistungs-/Kreisfrequenzdiagramm beim Ausführen des vorgeschlagenen Verfahrens dargestellt. In Fig. 6 ist illustriert, wie aus der Leistungs-Zeit-Funktion und/oder aus der Leistungs-Kreisfrequenz-Funktion als Abwasserbetriebswert die Steigung gewonnen wird. Aus der Steigung kann die Steuerung 7 das Verstopfen der Kreiselpumpe 1 dann erkennen, wenn ein Verstopfungsschwellwert überschritten wird. Fig. 7 illustriert verschiedene Leistungs-/Kreisfrequenzkurven. Die flachere durchgezogene Leistungs-/Drehzahlkurve stellt ein Beschleunigungsverhalten der Kreiselpumpe 1 ohne Verstopfung beim Fördern von Klarwasser dar, mit jeweiligen unteren und oberen gestrichelt gezeichneten Verstopfungsschwellwerten. Die steilere durchgezogene Leistungs-/Drehzahlkurve stellt das Betriebsverhalten der Kreiselpumpe 1 während der Verstopfung dar.

[0067] Die beschriebenen Ausführungsbeispiele sind lediglich Beispiele, die im Rahmen der Ansprüche auf vielfältige Weise modifiziert und/oder ergänzt werden können. Jedes Merkmal, das für ein bestimmtes Ausführungsbeispiel beschrieben wurde, kann eigenständig oder in Kombination mit anderen Merkmalen in einem beliebigen anderen Ausführungsbeispiel genutzt werden. Jedes Merkmal, das für ein Ausführungsbeispiel einer bestimmten Kategorie beschrieben

wurde, kann auch in entsprechender Weise in einem Ausführungsbeispiel einer anderen Kategorie eingesetzt werden.

Bezugszeichenliste

5	[0068]	
	Abwasserpumpe	1
	Pumpengehäuse	2
	Saugöffnung	3
10	Welle	4
	Motor	5
	Lauftrad	6
	Steuerung	7
15	Sensor	8
	Erfassen eines zeitlichen Beschleunigungs-, eines Druck- und/oder eines Motorstrom-Signals der Kreislpumpe	100
	Fourier-Transformieren des Signals zum Erhalten eines Frequenzspektrums und/oder eines Spektrogramms	200
20	Analysieren des Frequenzspektrums und/oder des Spektrogramms mittels eines durch maschinelles Lernen trainierten Bildanalysealgorithmus hinsichtlich wenigstens eines spektralen Musters zum Erkennen des Betriebszustands	300
	Analysieren des wenigstens einen spektralen Musters hinsichtlich einer Verstopfung als Betriebszustand der Kreislpumpe	400
25	bei Erkennen der Verstopfung, Analysieren des spektralen Musters hinsichtlich einer Klassifikation der Verstopfung der Kreislpumpe	500
	Lösen der Verstopfung durch Betreiben des Motors in Abhängigkeit von der Klassifikation der Verstopfung	600

Patentansprüche

1. Verfahren zum Erkennen eines Betriebszustands in einer Kreislpumpe (1) aufweisend ein Pumpengehäuse (2) mit einer in dem Pumpengehäuse (2) angeordneten Welle (4), einem auf der Welle (4) sitzenden Lauftrad (6) sowie einen die Welle (4) antreibenden Motor (5), mit den Schritten:
 - 35 während eines Förderns von Flüssigkeit mit einem möglichem Feststoffanteil mit der Kreislpumpe (1), Erfassen eines zeitlichen Beschleunigungs-, eines Druck- und/oder eines Motorstrom-Signals der Kreislpumpe (1) (100), Fourier-Transformieren des Beschleunigungs-, des Druck- und/oder des Motorstrom-Signals zum Erhalten eines Frequenzspektrums und/oder eines Spektrogramms (200), und
 - 40 Analysieren des Frequenzspektrums und/oder des Spektrogramms hinsichtlich wenigstens eines spektralen Musters zum Erkennen des Betriebszustands (300).
2. Verfahren nach dem vorhergehenden Anspruch, wobei das Analysieren des Frequenzspektrums und/oder des Spektrogramms mittels eines durch maschinelles Lernen trainierten Bildanalysealgorithmus erfolgt.
3. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei das spektrale Muster zum Erkennen der Betriebszustands durch Überschreiten eines Beschleunigungs-, Druck- und/oder Motorstrom-Schwellwertes einer ganzzahligen und/oder halben Ordnung des Beschleunigungs-, des Druck- und/oder des Motorstrom-Signals gekennzeichnet ist.
4. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei das spektrale Muster zum Erkennen der Betriebszustands durch Überschreiten einer vordefinierten zeitlichen Dauer insbesondere eines gleitenden Mittelwertes des Beschleunigungs-, Druck- und/oder Motorstrom-Schwellwertes gekennzeichnet ist.
5. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, mit dem Schritt:
 - 55 Analysieren Frequenzspektrums und/oder des Spektrogramms in einem Bereich zwischen 3. und 9. Ordnung des Beschleunigungs-, des Druck- und/oder des Motorstrom-Signals.

6. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche und nach Anspruch 2, wobei das maschinelle Lernen mittels eines neuronalen Netzes, insbesondere eines Convolutional Neural Network, CNN, erfolgt.
- 5 7. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche und nach Anspruch 2, mit dem Schritt:
Analysieren des Frequenzspektrums und/oder des Spektrogramms mittels des durch maschinelles Lernen trainierten Bildanalysealgorithmus hinsichtlich mehrerer und/oder verschiedener spektraler Muster zum Erkennen des Betriebszustands.
- 10 8. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, mit den Schritten:
Analysieren des spektralen Musters hinsichtlich einer Verstopfung als Betriebszustand der Kreiselpumpe (1) (400),
bei Erkennen der Verstopfung, Lösen der Verstopfung durch Betreiben des Motors (5) in wenigstens einer einer ersten Drehrichtung zum Fördern der Flüssigkeit entgegengesetzten zweiten Drehrichtung.
- 15 9. Verfahren nach dem vorhergehenden Anspruch, mit den Schritten:
bei Erkennen der Verstopfung, Analysieren des spektralen Musters hinsichtlich einer Klassifikation der Verstopfung der Kreiselpumpe (500), und
20 Lösen der Verstopfung durch Betreiben des Motors (5) in Abhängigkeit von der Klassifikation der Verstopfung (600).
- 25 10. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, mit dem Schritt:
Erfassen des Beschleunigungs-, des Druck- und/oder des Motorstrom-Signals mittels eines Beschleunigungs- und/oder eines Vibrationssensors (8), insbesondere mittels eines 3-Achsen Beschleunigungs- und/oder eines Vibrationssensors, mittels eines Drucksensors (8) und/oder mittels eines Stromsensors (8).
- 30 11. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, mit dem Schritt:
Erhalten des Frequenzspektrums mittels schneller Fourier-Transformation und/oder des Spektrogramms mittels Kurzzeit-Fourier-Transformation.
- 35 12. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, mit dem Schritt:
Trainieren des Bildanalysealgorithmus mittels einer Vielzahl Einzelbilder mit wenigstens zum Teil unterschiedlichen Betriebszuständen zum Erhalten eines jeweiligen Vektors mit Wahrscheinlichkeiten eines regulären Betriebszustands und eines abnormalen Betriebszustands, insbesondere einer Nicht-Verstopfung und Verstopfung.
- 40 13. Verfahren nach dem der vorhergehenden Anspruch, mit dem Schritt:
Trainieren des Bildanalysealgorithmus beim Fördern von Klarwasser als Flüssigkeit und mit einem definierten Feststoffanteil versehener Flüssigkeit.
- 45 14. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, mit den Schritten:
während des Förderns von Flüssigkeit mit dem möglichem Feststoffanteil, Erfassen einer Steigung und/oder einer Krümmung eines zeitlichen Verlaufs des Beschleunigungs-, des Druck- und/oder des Motorstrom-Signals der Kreiselpumpe (1), und
wenn die Steigung und/oder die Krümmung des zeitlichen Verlaufs des Beschleunigungs-, des Druck- und/oder des Motorstrom-Signals einen Verstopfungsschwellwert übersteigt, Fourier-Transformieren des Signals.
- 50 15. Kreiselpumpe (1) aufweisend ein Pumpengehäuse (2) mit einer in dem Pumpengehäuse (2) angeordneten Welle (4), einem auf der Welle (4) sitzenden Laufrad (6), einen die Welle (4) antreibenden Motor (5) sowie einer Steuerung (7), wobei
die Steuerung (7) eingerichtet ist,
während eines Förderns von Flüssigkeit mit einem möglichem Feststoffanteil mit der Kreiselpumpe (1), ein
55 zeitliches Beschleunigungs-, ein Druck- und/oder ein Motorstrom-Signal der Kreiselpumpe (1) zu erfassen, das Beschleunigungs-, das Druck- und/oder das Motorstrom-Signal zum Erhalten eines Frequenzspektrums und/oder eines Spektrogramms Fourier zu transformieren, und das Frequenzspektrum und/oder das Spektrogramm hinsichtlich wenigstens eines spektralen Musters zum

EP 4 461 964 A1

Erkennen eines Betriebszustands der Kreislumppe (1) zu analysieren.

5

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

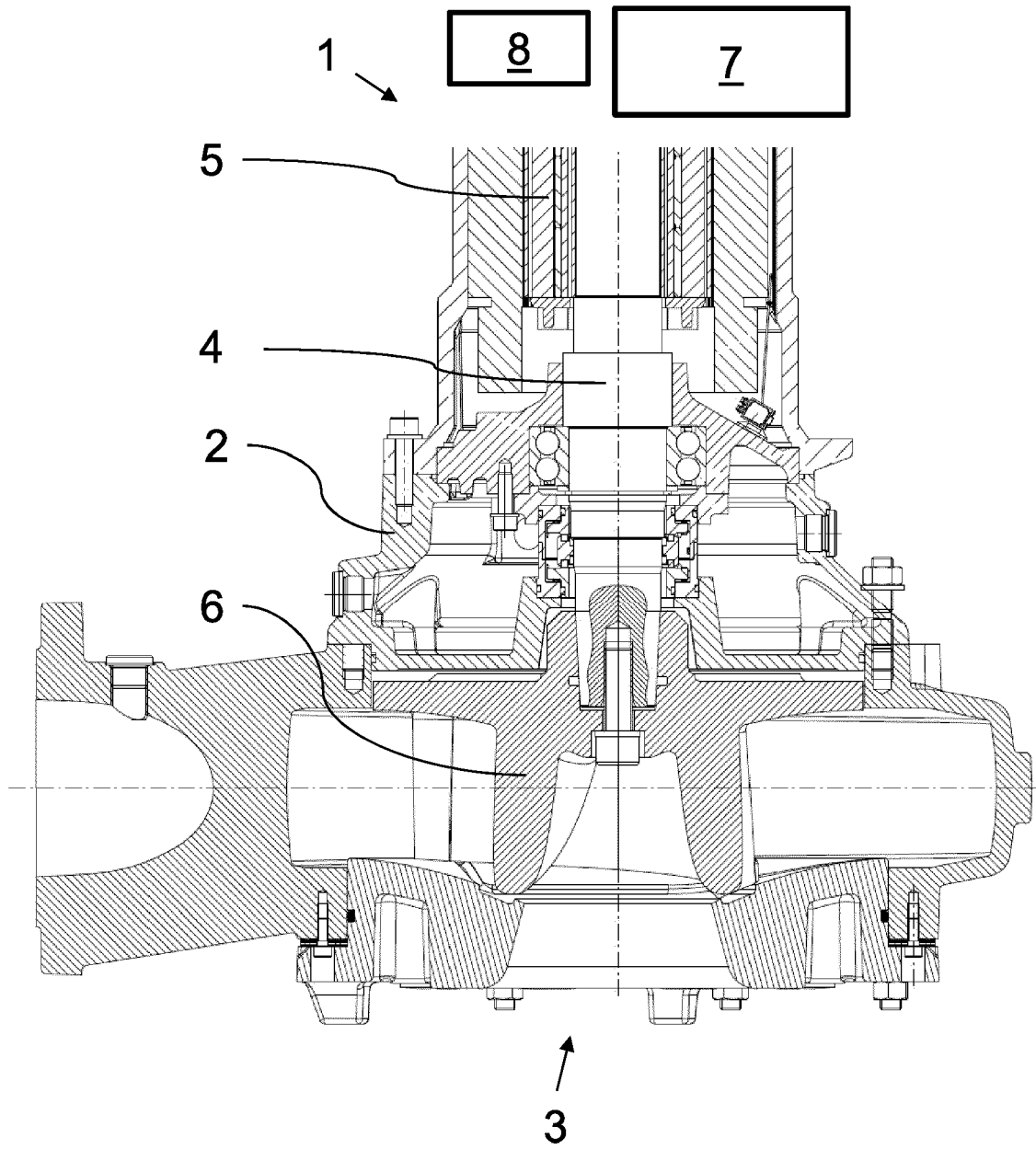


Fig. 1

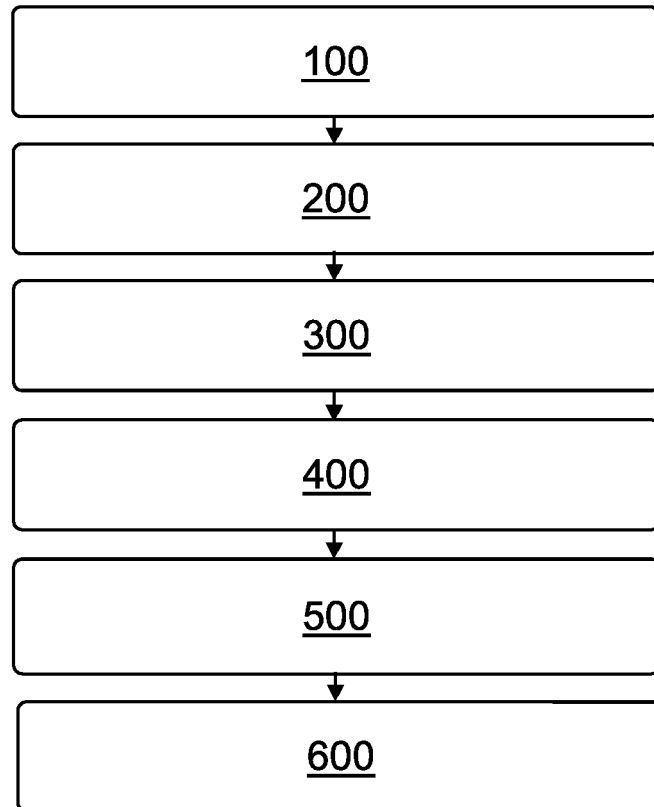


Fig. 2

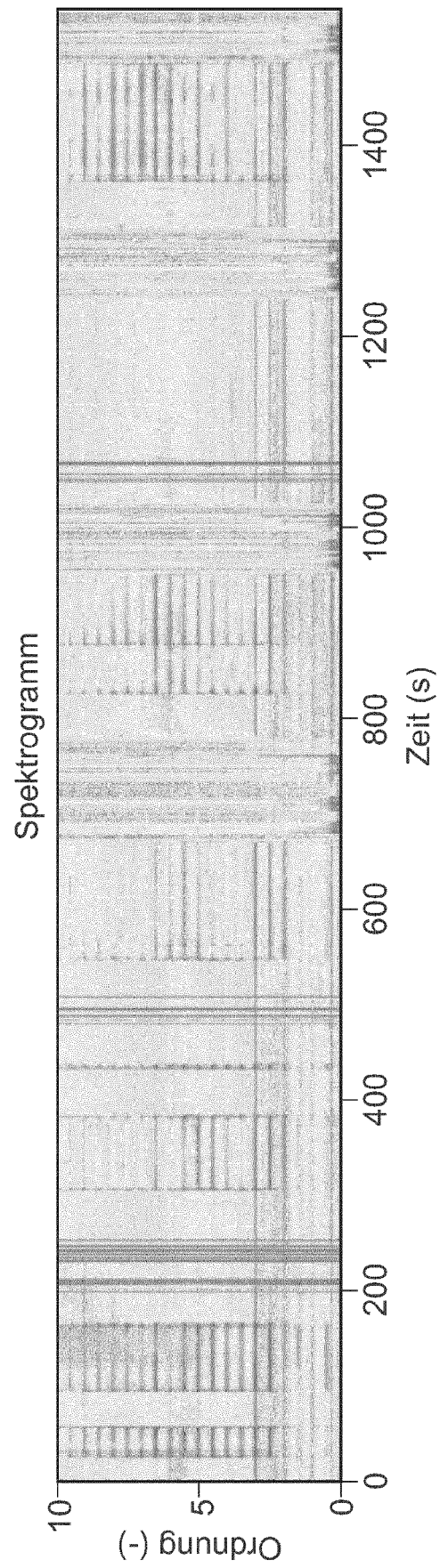


Fig. 3a

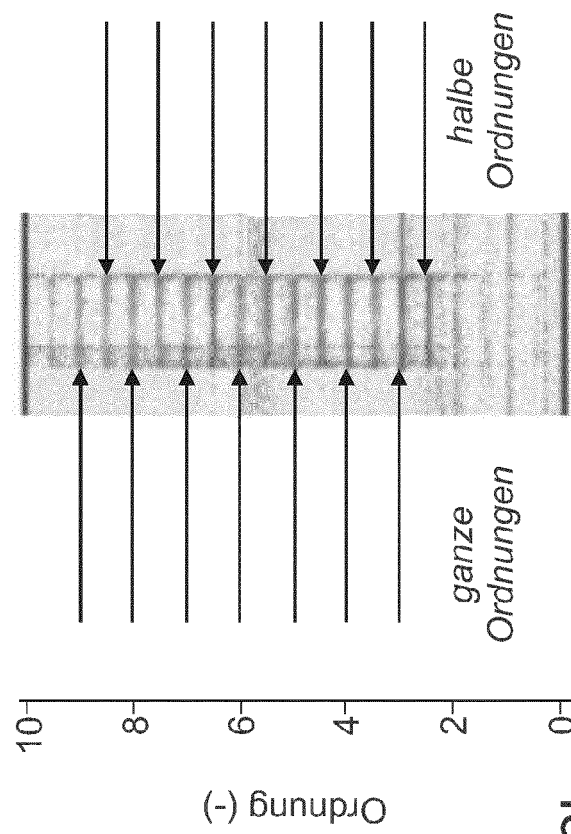


Fig. 3b

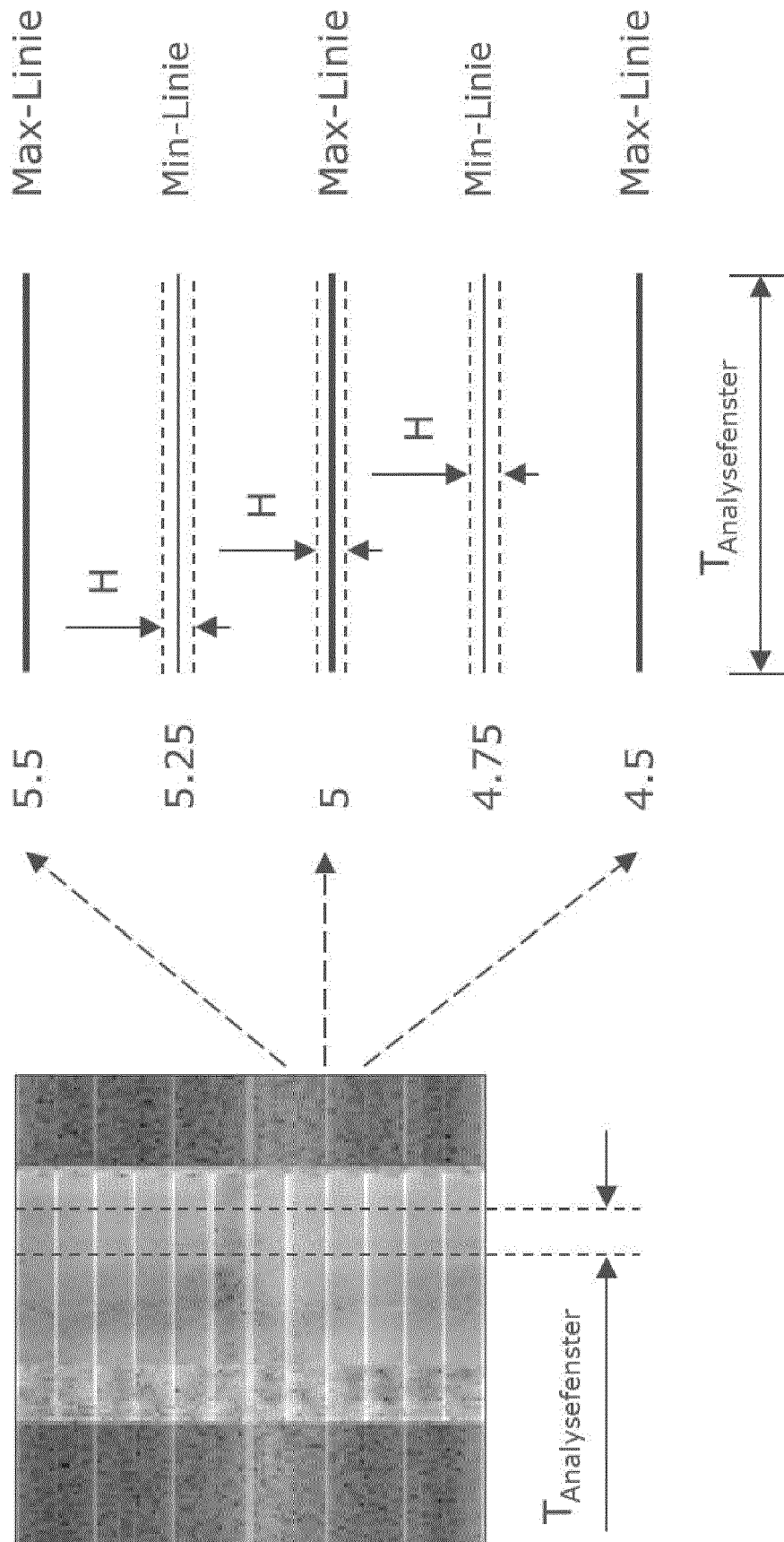


Fig. 4

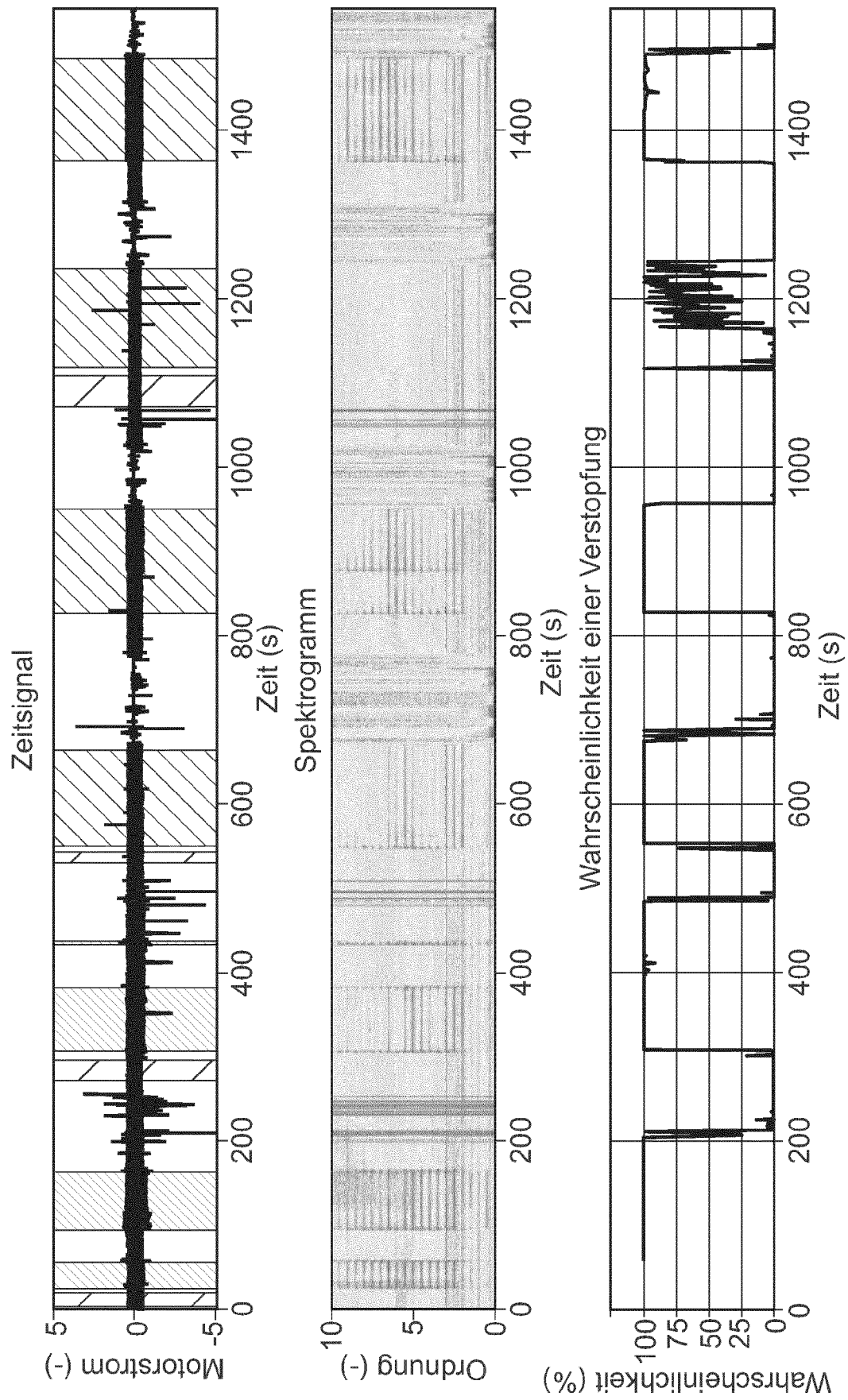


Fig. 5

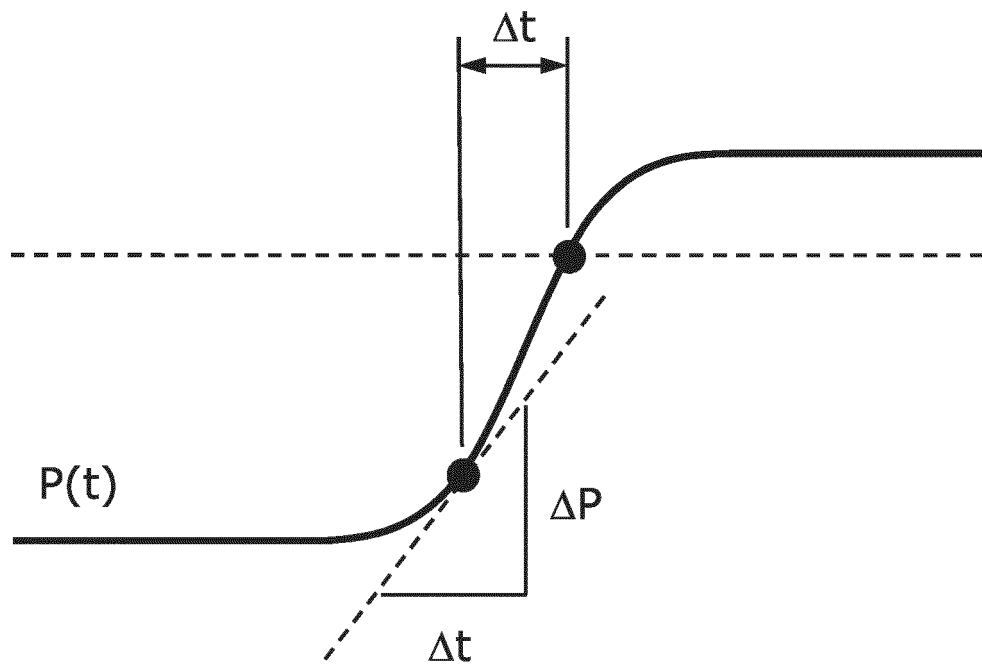


Fig. 6

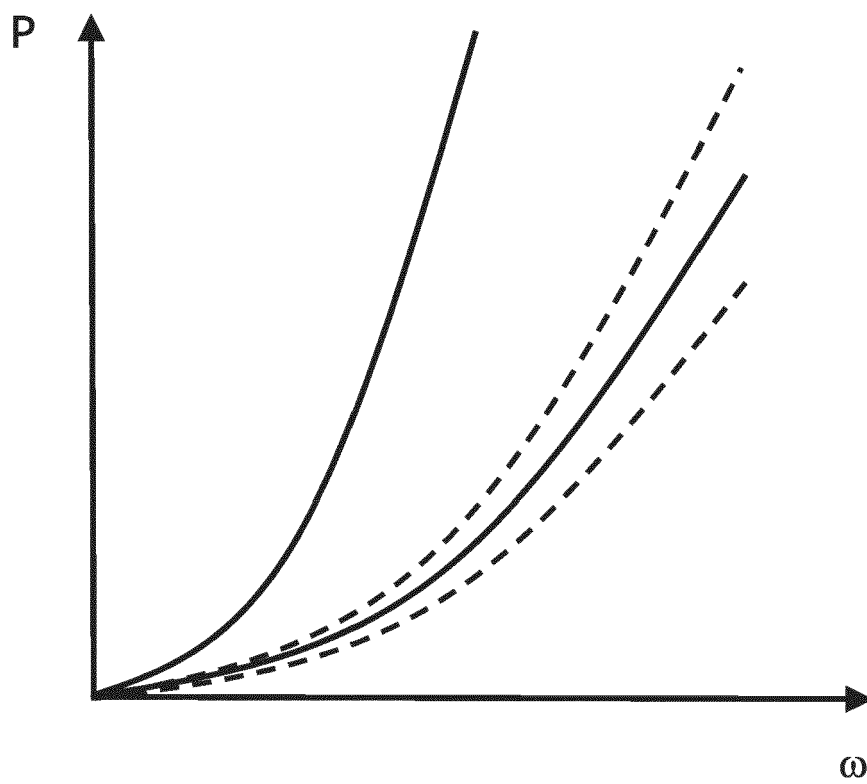


Fig. 7



EUROPÄISCHER RECHERCHENBERICHT

Nummer der Anmeldung

EP 24 16 5437

5

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

1

EPO FORM 1503 03.82 (F04C03)

EINSCHLÄGIGE DOKUMENTE			
Kategorie	Kennzeichnung des Dokuments mit Angabe, soweit erforderlich, der maßgeblichen Teile	Betrifft Anspruch	KLASSIFIKATION DER ANMELDUNG (IPC)
X	US 7 389 278 B2 (ROCKWELL AUTOMATION TECH INC [US]) 17. Juni 2008 (2008-06-17)	1-8, 10-13, 15	INV. F04D15/00
A	* Abbildung 11 * * Ansprüche 1,3,4,7,10,11 * * Spalte 11, Zeilen 2-7 * * Spalte 10, Zeilen 17-40 *	9,14	
X	US 2022/318616 A1 (KAMBLE ATISH P [US] ET AL) 6. Oktober 2022 (2022-10-06)	1-8, 10-13	
A	* Abbildung 4 * * Absätze [0060] - [0069] * * Absatz [0067] *	9,14	
X	EP 3 933 355 A1 (ALFA LAVAL CORP AB [SE]) 5. Januar 2022 (2022-01-05)	1,4,5, 10,11,15	
A	* Abbildung 10 * * Anspruch 1 *		
X	CN 115 238 785 A (NINGBO INSTITUTE OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE SHANGHAI JIAOTONG UNIV ET) 25. Oktober 2022 (2022-10-25)	1-3	RECHERCHIERTE SACHGEBIETE (IPC)
A	* Ansprüche 6,10 *		F04D F04C
X	CH 718 585 B1 (UNIV JIANGSU [CN]) 14. April 2023 (2023-04-14)	1-3	
A	* Abbildung 1 * * Anspruch 1 *		
Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt			
Recherchenort Den Haag		Abschlußdatum der Recherche 19. August 2024	Prüfer Ingelbrecht, Peter
KATEGORIE DER GENANNTEN DOKUMENTE			
X : von besonderer Bedeutung allein betrachtet Y : von besonderer Bedeutung in Verbindung mit einer anderen Veröffentlichung derselben Kategorie A : technologischer Hintergrund O : nichtschriftliche Offenbarung P : Zwischenliteratur		T : der Erfindung zugrunde liegende Theorien oder Grundsätze E : älteres Patentdokument, das jedoch erst am oder nach dem Anmeldedatum veröffentlicht worden ist D : in der Anmeldung angeführtes Dokument L : aus anderen Gründen angeführtes Dokument & : Mitglied der gleichen Patentfamilie, übereinstimmendes Dokument	

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

EP 24 16 5437

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

19-08-2024

10	Im Recherchenbericht angeführtes Patentedokument		Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
	US 7389278	B2	17-06-2008	US 6757665 B1	29-06-2004
				US 2004199480 A1	07-10-2004
				US 2006071666 A1	06-04-2006
15	US 2022318616	A1	06-10-2022	KEINE	
	EP 3933355	A1	05-01-2022	EP 3933355 A1	05-01-2022
				WO 2022002548 A1	06-01-2022
20	CN 115238785	A	25-10-2022	KEINE	
	CH 718585	B1	14-04-2023	CH 718585 B1	14-04-2023
				CN 113048072 A	29-06-2021
25				WO 2022193436 A1	22-09-2022
30					
35					
40					
45					
50					
55					

EPO FORM P0461

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