



(12) **EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG**

(43) Veröffentlichungstag:
20.04.2022 Patentblatt 2022/16

(51) Internationale Patentklassifikation (IPC):
E21B 47/009 (2012.01)

(21) Anmeldenummer: **20202024.4**

(52) Gemeinsame Patentklassifikation (CPC):
E21B 47/009; E21B 2200/22

(22) Anmeldetag: **15.10.2020**

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

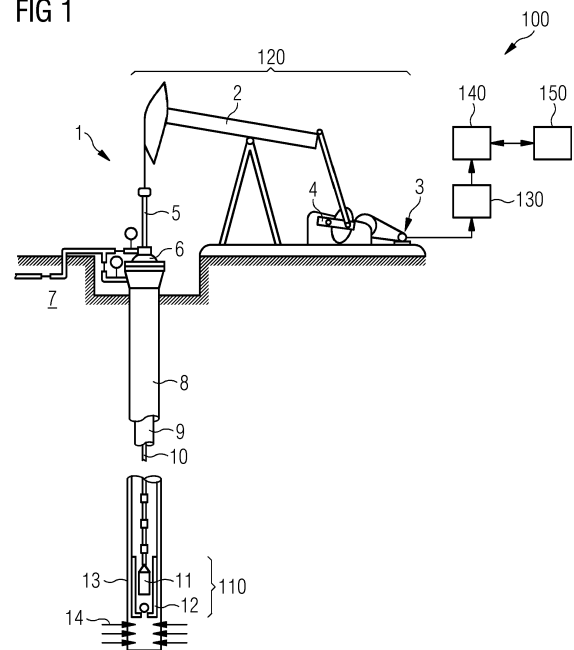
(71) Anmelder: **Siemens Energy Global GmbH & Co. KG**
81739 München (DE)

(72) Erfinder: **Die Erfindernennung liegt noch nicht vor**

(54) **COMPUTER-IMPLEMENTIERTES VERFAHREN ZUR BESTIMMUNG EINER BETRIEBSEIGENSCHAFT EINER GESTÄNGE-TIEFPUMPE, ANALYSEVORRICHTUNG UND PUMPSYSTEM HIERFÜR**

(57) Computer-implementiertes Verfahren zur Bestimmung einer Betriebseigenschaft einer Gestänge-Tiefpumpe (1), wobei ein Last-Weg-Diagramm für die Förder-Pumpe (1) ermittelt und als Betriebs-Last-Weg-Diagramm (DC1-DC5) mit Betriebs-Kurvenpunkten bereitgestellt wird, wobei in einem Trainings-Modus ein Last-Weg-Diagramm-Modell auf Basis maschinellen Lernens erzeugt und trainiert wird, und im Last-Weg-Diagramm-Modell zumindest zwei vordefinierte Analyse-Bereiche (Q1-Q4), welche die Modell-Kurvenpunkte zumindest teilweise umfassen, bestimmt werden, und aus den Modell-Kurvenpunkten zumindest eines Bereichs der Analyse-Bereiche ein Referenzpunkt (C21-C24, C31-C36, C41-C48, C51-C58) ermittelt wird, und in einem Betriebs-Modus für das Betriebs-Last-Weg-Diagramm geprüft wird, ob innerhalb der durch die Betriebs-Kurvenpunkte eingeschlossenen Fläche der zumindest eine, im Trainings-Modus bestimmte Referenzpunkt eingeschlossen ist, und falls zutreffend, die Betriebseigenschaft der Förder-Pumpe daraus bestimmt wird.

FIG 1



Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein computer-implementiertes Verfahren zur Bestimmung einer Betriebseigenschaft einer Gestänge-Tiefpumpe, wobei die Pumpe einen Pump-Kopf aufweist, welcher über ein Gestänge mit einem Kinematik-Wandler verbunden ist, und der Kinematik-Wandler im Betrieb von einem Motor angetrieben wird und ein Last-Weg-Diagramm mit Kurvenpunkten für die Förder-Pumpe mithilfe eines Erfassungsmittels von einer Analysevorrichtung ermittelt und als Betriebs-Last-Weg-Diagramm mit Betriebs-Kurvenpunkten bereitgestellt wird.

[0002] Ferner betrifft die Erfindung ein Computerprogramm, einen elektronisch lesbaren Datenträger und ein Datenträgersignal.

[0003] Außerdem betrifft die Erfindung eine Analysevorrichtung mit einem Speicher und ein Pumpsystem zur Bestimmung einer Betriebseigenschaft einer Gestänge-Tiefpumpe.

[0004] Tiefpumpen werden als Fördereinrichtungen zur Gewinnung von unterirdisch lagernden Flüssigkeiten eingesetzt, wenn der Lagerstättendruck nicht ausreicht, dass sie selbständig bzw. in ausreichender Menge an die Oberfläche gelangen. Zumeist wird mit ihnen Erdöl gefördert. Weitere Einsatzgebiete sind die Förderung von Sole und Heilwässern.

[0005] Das Bild der meisten Ölfelder wird von Gestänge-Tiefpumpen geprägt, die wegen ihres Aussehens und ihrer Bewegung auch Pferdekopfpumpen, Nickesel oder Nicker genannt werden. Dabei befindet sich der eigentliche Pumpmechanismus - ein Kolben mit Rückschlagventilen - in einem eigenen Rohrstrang im Bohrloch nahe der ölführenden Schicht. Der Kolben wird mittels einer verschraubbaren Stange von einem an der Erdoberfläche befindlichen Pumpenbock in eine kontinuierliche Auf- und Abbewegung versetzt. Dies wird durch den sogenannten Pferdekopf bewerkstelligt. Dieser besteht aus einem am Ende eines als Balancier angeordneten Kreisbogensegments, an dem ein Stahlseil- oder Kettenpaar oben angeklemt ist.

[0006] Der Antrieb erfolgt zumeist elektrisch. Beim Vorhandensein von ausreichend im Erdöl gelösten energiehaltigen Gasen kann jedoch ein Teil dieser Gase an Ort und Stelle mittels eines Degasers vom Fördergut abgetrennt und einem Gasmotor, der die Pumpe antreibt, zugeführt werden.

[0007] Je nach Pumpenbauart und -größe beträgt der Arbeitshub 1 bis 5 m. Pro Minute sind zweieinhalb bis zwölf Hübe üblich. Die Gestänge-Tiefpumpe kann bis zu Fördertiefen von etwa 2500 m wirtschaftlich eingesetzt werden. Für größere Tiefen sind aufgrund des großen Gewichts der zu hebenden Flüssigkeitssäule andere Pumpensysteme besser geeignet.

[0008] Der Pumpentyp "Mark II" des texanischen Herstellers Lufkin Industries eignet sich durch seine spezielle Bewegungsgeometrie besonders für hohe Förderraten aus großen Tiefen.

[0009] Der Pumpentyp "Sucker Rod" weist eine Saugstange auf, das heißt eine Stahlstange mit einer typischen Länge zwischen 25 und 30 Fuß und einem Gewinde an beiden Enden, die in der Ölindustrie verwendet wird, um die Oberflächen- und Bohrlochkomponenten einer in einer Ölquelle installierten Hubkolbenpumpe miteinander zu verbinden.

[0010] Ein äußerst wertvolles Instrument zur Analyse der Bohrlochleistung ist ein Bohrlochprüfstand, welcher die Belastung der polierten Stange im Verhältnis zur Position der polierten Stange misst.

[0011] Mit Dynamometern können Stangenposition und Stangenlast über der Zeit aufgezeichnet werden. Der lastmessende Teil des Dynamometers ist an der polierten Stange angebracht, damit die Last erfasst und an einen Rekorder gesendet werden kann. Ein Begleitteil des am Hubbalken angebrachten Leistungsprüfstands erfasst die Position der polierten Stange und sendet sie an denselben Rekorder. Die erzeugte Grafik wird als Dynagraph oder häufiger als Dynamometer oder Dynagraph-Karte bezeichnet und entspricht einem Last-Weg-Diagramm.

[0012] An der Oberfläche entnommene Dynamometerkarten können selten direkt zur Erfassung der Betriebsbedingungen der Bohrlochpumpe verwendet werden, da sie auch alle Kräfte (statisch und dynamisch) widerspiegeln, die von der Pumpe bis zum Bohrlochkopf auftreten. Befindet sich jedoch ein Dynamometer direkt über der Pumpe, ist die aufgezeichnete Karte ein echter Indikator für den Pumpenbetrieb. Dies gelang Gilberts Dynagraph (ein mechanisches Dynamometer) in den 1930er Jahren. Stablasten unmittelbar über der Pumpe, die als Funktion der Pumpenposition aufgezeichnet werden, geben Dynagraph-Karten einen Namen, mit dem sie von Oberflächenkarten unterschieden werden. Obwohl die Anwendung von Gilberts Dynagraph eine direkte Untersuchung von Pumpproblemen ermöglichte, hatten die praktischen Auswirkungen, die mit der Notwendigkeit verbunden waren, das Instrument im Bohrloch laufen zu lassen, seine Vorteile bei weitem überwogen.

[0013] Bisher werden zur Erfassung der Betriebsbedingungen einer Gestänge-Tiefpumpe Sensoren eingesetzt, welche die wirkenden Kräfte beziehungsweise die aktuelle Lage (Inklination) des Laufbalkens (englisch "beam" bzw. "cranck arm") erfassen, beispielsweise durch Kraft-Sensoren, Hall-Sensoren oder Näherungssensoren. Daraus wird die Position des Gestänges berechnet. Dabei ist es jedoch aufwändig, die jeweiligen Sensoren miteinander zu kalibrieren. Außerdem können durch eine ungenaue Kalibrierung Fehler entstehen, welche die Messdatenauswertung ungünstig beeinflussen können.

[0014] Es ist Aufgabe der Erfindung ein Verfahren und eine Vorrichtung zur Bestimmung von Betriebseigenschaften einer Gestänge-Tiefpumpe bereitzustellen, wobei die Bestimmung der Betriebsbedingungen auf eine einfache und zuverlässige Weise, sowie mit hoher Genauigkeit erfolgt, sodass eine umfassende Diagnose eines Betriebszustands

erfolgen kann.

[0015] Die erfindungsgemäße Aufgabe wird durch ein Verfahren eingangs genannter Art gelöst, wobei von der Analysevorrichtung

[0016] in einem Trainings-Modus zumindest ein Last-Weg-Diagramm-Modell für die Pumpe mit Modell-Kurvenpunkten auf Basis maschinellen Lernens erzeugt und trainiert wird, und im zumindest einen Last-Weg-Diagramm-Modell zumindest zwei vordefinierte Analyse-Bereiche, welche die Modell-Kurvenpunkte zumindest teilweise umfassen, bestimmt werden, und aus den Modell-Kurvenpunkten zumindest eines Bereichs der Analyse-Bereiche ein Referenzpunkt ermittelt wird, und in einem Betriebs-Modus für das Betriebs-Last-Weg-Diagramm geprüft wird, ob innerhalb der durch die Betriebs-Kurvenpunkte eingeschlossenen Fläche der zumindest eine, im Trainings-Modus bestimmte Referenzpunkt eingeschlossen ist, und falls zutreffend, die Betriebseigenschaft der Förder-Pumpe daraus bestimmt wird.

[0017] Mit anderen Worten wird ein, von den Betriebs-Kurvenpunkten gebildeten Fläche als "eingeschlossen" oder "umgebenen" erkannter Referenzpunkt dazu herangezogen, die Betriebseigenschaft der Förder-Pumpe zu bestimmen.

[0018] Als Analyse-Bereiche können Flächen im Last-Weg-Diagramm definiert werden, beispielsweise Quadranten bei vier Analyse-Bereichen.

[0019] Auf besonders einfache Weise können Bereiche beispielsweise entlang der Diagramm-Achsen die Analyse-Bereiche definieren.

[0020] Natürlich können alternativ auch komplexere Bereiche, welche beispielsweise durch Polygone definiert sind, als Analyse-Bereiche angewandt werden.

[0021] Es können ein oder auch mehrere Last-Weg-Diagramm-Modell erzeugt und trainiert werden, wobei jedes Modell zumindest einen Bereich und zumindest einen Referenzpunkt aufweist, um beispielsweise im Anschluss verschiedene Betriebseigenschaften zu bestimmen.

[0022] Dazu können im Betriebs-Modus ein oder mehrere Prüfungen zwischen Last-Weg-Diagramm-Modell mit Modell-Kurvenpunkten und dem Betriebs-Last-Weg-Diagramm stattfinden.

[0023] Abweichungen des Betriebs-Last-Weg-Diagramms vom Last-Weg-Diagramm-Modell, das heißt vom Trainings-Modell, können beispielsweise als unerwünschte Betriebseigenschaft der Pumpe selbst erkannt werden.

[0024] Ebenso kann ein aktuell erfasstes Pumpmedium, welches von der Pumpe gefördert wird, erkannt werden, indem mit einem entsprechenden Trainings-Modell verglichen wird, das eben dieses Medium beschreibt.

[0025] Folglich kann sowohl der Betrieb der Pumpe mit ihren Komponenten, als auch das geförderte Pumpmedium effizient und zuverlässig analysiert werden.

[0026] Das Pumpmedium ist meist ein Gemisch aus Gas, Sand/ Gesteinspartikel, Wasser, Öl und teilweise auch chemischen Additiven.

[0027] Dadurch wird erreicht, dass die Betriebsbedingungen der Pumpe auf eine einfache und zuverlässige Weise erfolgen kann, indem unter Verwendung von maschinellern Lernen ein Pumpen-Modell verwendet werden kann, welches Erfahrungswerte und Prognosen anderer Pumpen in der Analyse einbezieht.

[0028] Dadurch kann die Genauigkeit bei der Bestimmung und eine Diagnose eines Betriebszustands verbessert werden.

[0029] In einer Weiterbildung der Erfindung ist es vorgesehen, dass bei Bestimmung des Referenzpunkts der geometrische Schwerpunkt der Fläche, die durch die Modell-Kurvenpunkte des jeweiligen Bereichs definiert ist, herangezogen wird.

[0030] Insbesondere bei Analyse-Bereichen, die durch Polygone definiert sind, bietet die Anwendung des geometrischen Schwerpunkts auf die durch ein Polygon eingeschlossene Fläche eine einfache Weise zur Bestimmung eines Referenzpunkts, da dieser automatisiert bestimmt werden kann.

[0031] Mit anderen Worten ist es also günstig, wenn zumindest ein Analyse-Bereich durch ein Polygon definiert ist.

[0032] Es ist vorteilhaft, wenn als Referenzpunkt der geometrische Schwerpunkt der Fläche des jeweiligen Analyse-Bereichs direkt oder ein davon abgeleiteter Punkt verwendet wird.

[0033] Dadurch kann auf eine einfache Weise ein Referenzpunkt festgelegt werden, der bei der Bestimmung des aktuellen Last-Weg-Diagramms eine hohe Aussagekraft über die diesbezüglichen Betriebseigenschaften aufweist.

[0034] Alternativ kann beispielsweise auch ein Mittelwert der jeweiligen Koordinaten innerhalb des Analyse-Bereichs als Referenzpunkt bestimmt werden, wodurch eine besonders einfache Berechnung des Referenzpunktes ermöglicht wird.

[0035] In einer Weiterbildung der Erfindung ist es vorgesehen, dass für jeden Bereich ein Referenzpunkt bestimmt wird.

[0036] Dadurch kann die Genauigkeit bei der Bestimmung der Betriebseigenschaft weiter verbessert werden.

[0037] In einer Weiterbildung der Erfindung ist es vorgesehen, dass zumindest vier, bevorzugt zumindest sechs oder besonders bevorzugt acht und mehr Bereiche bestimmt werden, welche vorzugsweise aneinander angrenzen.

[0038] Dadurch kann die Genauigkeit bei der Bestimmung der Betriebseigenschaft weiter verbessert werden.

[0039] In einer Weiterbildung der Erfindung ist es vorgesehen, dass sich die Bereiche zumindest teilweise gegenseitig überlappen.

[0040] Dadurch kann die Genauigkeit bei der Bestimmung der Betriebseigenschaft weiter verbessert werden.

[0041] In einer Weiterbildung der Erfindung ist es vorgesehen, dass zumindest ein Bereich definiert wird, für welchen vorgesehen ist, dass kein eingeschlossener Kurvenpunkt bei der nachfolgenden Prüfung berücksichtigt wird.

[0042] Dadurch kann die Genauigkeit bei der Bestimmung der Betriebseigenschaft weiter verbessert werden.

[0043] In einer Weiterbildung der Erfindung ist es vorgesehen, dass aus dem Last-Weg-Diagramm-Modell abgeleitete Kurvendaten und aus dem Betriebs-Last-Weg-Diagramm (DC1-DC5) zugrunde liegenden Betriebs-Kurvenpunkte für die Prüfung im Betriebs-Modus zueinander normiert werden.

[0044] Durch die Normierung des Last-Weg-Diagramm-Modells, welches durch ein entsprechendes Diagramm beschrieben werden kann, und des Betriebs-Last-Weg-Diagramm, kann der gegenseitige Vergleich einfach und akkurat durchgeführt werden.

[0045] Bei der Normierung wird eine Achs-Anpassung im Last-Weg-Diagramm durchgeführt, wie dem Fachmann geläufig, sodass ein Vergleich der Kurvenform direkt möglich ist.

[0046] Dadurch ist es möglich, Daten anderer Pumpen und andere Pump-Typen im Last-Weg-Diagramm-Modell zu berücksichtigen und somit sehr rasch nach einer Inbetriebnahme einer neuen Pumpe ein entsprechendes Last-Weg-Diagramm-Modell verfügbar ist.

[0047] Durch Bildung eines "sub-surface dynacharts", also eines Betriebs-Last-Weg-Diagramms für den unterirdisch arbeitenden Pump-Kopf ist es möglich, die Abhängigkeit des verwendeten Pump-Typs, also unterschiedlicher Pumpen-Bauart gegenüber dem im vorher angeführten angewandten Verfahren zu eliminieren.

[0048] Dies kann beispielsweise durch Anwendung einer Finite Elemente-Rechnung und einer FFT auf ein "surface dynachart", also eines Betriebs-Last-Weg-Diagramms des gesamten Pumpsystems erfolgen.

[0049] Dadurch kann ein langwieriges Trainieren des Last-Weg-Diagramm-Modells vor Ort reduziert werden oder auch gänzlich darauf verzichtet werden.

[0050] In einer Weiterbildung der Erfindung ist es vorgesehen, dass der Motor elektrisch betrieben wird und ferner ein Erfassungsmittel vorgesehen ist, die Leistungsaufnahme des Motors während dessen Betrieb zu erfassen, aus welcher die Betriebseigenschaften der Förder-Pumpe bestimmt werden.

[0051] Dadurch kann die Erfassung des Last-Weg-Diagramms vereinfacht werden, gleichzeitig die Genauigkeit bei der Bestimmung der Kurvenpunkte erhöht und durch die Kombination mit dem genannten Analyse-Verfahren insgesamt die Genauigkeit bei der Bestimmung der Betriebseigenschaft weiter verbessert werden.

[0052] In einer Weiterbildung der Erfindung ist es vorgesehen, dass die Mess-Kurvenpunkte und die Modell-Kurvenpunkte zwischen zwei benachbarten Punkten auf den jeweiligen Kurven jeweils Abstände aufweisen, welche durchschnittlich zumindest 50%, bevorzugt zumindest 80% und besonders bevorzugt zumindest 95% des größten Abstands zwischen zwei benachbarten Punkten der jeweiligen Kurve beträgt.

[0053] Mit anderen Worten ist es vorteilhaft, wenn die Mehrheit der Punkte äquidistant zu den jeweiligen benachbarten, also unmittelbar in deren Abfolge nacheinander folgenden Kurven-Punkten ist.

[0054] Als äquidistante Abstände der Kurven-Punkte können Abstandsabweichungen von bis zu 20% eines jeweiligen Abstands zwischen zwei nacheinander folgenden Punkten angesehen werden.

[0055] Die Abfolge der Kurven-Punkte ergibt sich beispielsweise bei deren Erfassung.

[0056] Dadurch können Singularitäten von Kurven-Punkten für das Last-Weg-Diagramm reduziert werden, wodurch der Referenzpunkt stabiler und genauer bestimmt werden kann und die Genauigkeit bei der Bestimmung der Betriebseigenschaft weiter verbessert werden kann.

[0057] Die erfindungsgemäße Aufgabe wird durch ein Computerprogramm gelöst, umfassend Befehle, welche bei deren Ausführung durch einen Computer diesen veranlassen, das erfindungsgemäße Verfahren auszuführen.

[0058] Die erfindungsgemäße Aufgabe wird durch einen elektronisch lesbaren Datenträger mit darauf gespeicherten lesbaren Steuerinformationen gelöst, welche zumindest das erfindungsgemäße Computerprogramm umfassen und derart ausgestaltet sind, dass sie bei Verwendung des Datenträgers in einer Recheneinrichtung das erfindungsgemäße Verfahren durchführen.

[0059] Die erfindungsgemäße Aufgabe wird durch ein Datenträgersignal gelöst, welches das erfindungsgemäße Computerprogramm überträgt.

[0060] Die erfindungsgemäße Aufgabe wird auch durch eine Analysevorrichtung mit einem Speicher eingangs genannter Art gelöst, welche dazu eingerichtet ist, ein bereitgestelltes Betriebs-Last-Weg-Diagramm mit dem erfindungsgemäßen Verfahren zu analysieren, und daraus die Betriebseigenschaft zu ermitteln.

[0061] Die Analysevorrichtung weist zwei Betriebsmodi auf, nämlich einen Trainings-Modus und einen Betriebs-Modus.

[0062] Der Trainings-Modus dient zum Erzeugen und Trainieren eines Last-Weg-Diagramm-Modells der Pumpe, wobei für mehrere Betriebsmodi der Pumpe eigene Last-Weg-Diagramm-Modelle trainiert werden können, um diese Modi dementsprechend zu erkennen.

[0063] Der Trainings-Modus wird zu Beginn des Betriebs des Pumpsystems durchlaufen, um ein oder mehrere Last-Weg-Diagramm-Modelle auf Basis von "machine learning" (ML) für den nachfolgenden Betriebs-Modus verfügbar zu machen, in welchem der laufende Betrieb des Pumpsystems durch die Analysevorrichtung fortlaufend überwacht werden

kann.

[0064] Der Betriebs-Modus dient dazu, einen aktuell erfassten Datensatz in Form von durch ein Erfassungsmittel erfassten Messpunkten beispielsweise mit einem ausgewählten Last-Weg-Diagramm-Modell zu vergleichen und bei Übereinstimmung mit dem Last-Weg-Diagramm-Modell diesem Modell zugeordneten Betriebsmodus zu erkennen.

[0065] Ferner kann eine Änderung in der erkannten Betriebseigenschaft Hinweis auf einen weiteren Parameter für die Betriebseigenschaft geben.

[0066] So kann beispielsweise eine Abfolge in der Änderung erkannter Betriebsmedien Aufschluss darüber geben, ob eine Material-Inhomogenität im Medium vorliegt.

[0067] Es könnte zu m Beispiel auch erkannt werden, ob ein Gebrechen in Komponenten der Pumpe vorliegt, wenn ein geändertes Bewegungsmuster des Pumpkopfs nur in Aufwärts-Bewegungen erkannt wurde.

[0068] Die erfindungsgemäße Aufgabe wird auch durch ein Pumpsystem eingangs genannter Art gelöst, wobei die Pumpe einen Pump-Kopf aufweist, welcher über ein Gestänge mit einem Kinematik-Wandler verbunden ist, und der Kinematik-Wandler im Betrieb von einem Motor angetrieben wird, und ein Erfassungsmittel, welches dazu eingerichtet ist, ein Last-Weg-Diagramm der Pumpe mit Kurvenpunkten zu erfassen und bereitzustellen, sowie die erfindungsgemäße Analysevorrichtung mit einem Speicher, welche dazu eingerichtet ist, aus dem bereitgestellten Betriebs-Last-Weg-Diagramm die Betriebseigenschaft zu ermitteln.

[0069] Die Erfindung wird nachfolgend anhand eines in den beigefügten Zeichnungen dargestellten Ausführungsbeispiels näher erläutert. In den Zeichnungen zeigt:

Fig. 1 ein Ausführungsbeispiel eines erfindungsgemäßen Systems mit einer Gestänge-Tiefpumpe,

Fig. 2 ein Ausführungsbeispiel für einen Pump-Kopf einer Gestänge-Tiefpumpe,

Fig. 3 ein Ausführungsbeispiel für ein Flussdiagramm eines Verfahrens zur Bestimmung eines Last-Weg-Diagramms aus der Leistungsaufnahme eines elektrisch betriebenen Pumpenmotors,

Fig. 4 ein erstes Ausführungsbeispiel für ein Last-Weg-Diagramm,

Fig. 5 Last-Weg-Diagramme für eine Pumpe bei verschiedenen Leistungen,

Fig. 6 Last-Weg-Diagramme für eine Pumpe bei verschiedenen Lasten und Betriebsmodi,

Fig. 7 eine zeitliche Darstellung eines Stromverlaufs eines elektrischen Antriebsmotors für eine Gestänge-Tiefpumpe,

Fig. 8-12 Beispiele für Betriebs-Last-Weg-Diagramme mit Kurvenpunkten.

[0070] Fig. 1 zeigt ein Ausführungsbeispiel eines erfindungsgemäßen Pumpsystems 100 mit einer Gestänge-Tiefpumpe 1 vom Typ einer Sucker-Rod-Pumpe.

[0071] Das Pumpsystem 100 umfasst einen Pump-Kopf 110, welcher über ein Gestänge 5, 10 mit einem Kinematik-Wandler 120 verbunden ist.

[0072] Das Gestänge 5, 10 bildet eine sogenannte "Stabschnur" und verläuft durch einen Bohrlochkopf 6, mit welchen eine Durchflussleitung 7 zur Ableitung eines geförderten Mediums 14 verbunden ist.

[0073] An den Bohrlochkopf 6 grenzt ein Mantel 8 an, in welchem eine Röhre 9 verläuft, die das Gestänge 5 bzw. 10 führt.

[0074] Am unteren Ende des Gestänges 10 ist der Pump-Kopf 110 befestigt, der einen Kolben 11 in einem Lauf 12 beinhaltet. Eine Bewegung des Kolbens 11 führt zu einem Abpumpen des Fördermediums 14.

[0075] Der Mantel 8 ist in einem Bohrloch 13 gebildet.

[0076] Der Kinematik-Wandler 120 wird beispielsweise von einer Antriebsmaschine in Form eines elektrischen Motors 3 über ein Untersetzungsgetriebe 4 angetrieben. Der Kinematik-Wandler 120 kann zusätzlich einen hydraulischen Kraftverstärker umfassen.

[0077] Die mechanische Anbindung des Kinematik-Wandler 120 erfolgt in diesem Beispiel über einen Laufbalken 2, kann je nach verwendetem Pumpentyp aber variieren.

[0078] Dem Fachmann sind derartige Kinematik-Wandler geläufig, ebenso deren Beschreibung in Form von "Eigenschaften eines Kinematik-Wandlers" durch die Transformations-Funktion von mechanischen Bewegungen und Kräften.

[0079] Der Kinematik-Wandler 120 konvertiert eine Drehbewegung des Motors 3 in eine Linearbewegung des Gestänges 5, 10.

[0080] Die Eigenschaften des Kinematik-Wandler 120 können beispielsweise über Hebelwirkungen und Übersetzungen, sowie über die elektrische Antriebsleistung und bewegte Massen beschrieben werden. Dabei ist zu beachten, dass

die Position einer Schwungmasse entlang einer Drehbewegung und die korrespondierende Krafteinwirkung am Gestänge 10 in einem zeitlichen Zusammenhang steht, welche als Bezugsphasenwinkel bezeichnet wird. Für eine jeweilige Pumpenanordnung kann ein Bezugsphasenwinkel unter Anwendung der Kinematik-Prinzipien der Mechanik bestimmt werden, wie dem Fachmann bekannt.

[0081] Ferner ist ein Erfassungsmittel 110 vorgesehen, das dazu eingerichtet ist, die Stromaufnahme und die Betriebsspannung der einzelnen Phasen des Motors 3 während dessen Betrieb zu erfassen. Dies kann beispielsweise durch ein Amperemeter beziehungsweise Voltmeter erfolgen, welches insbesondere zeitlich hochauflösend diskrete Messpunkte mit Strom- beziehungsweise Spannungswerten erfasst.

[0082] Durch die erfassten Strom- und Betriebsspannungswerte kann die effektive Leistungsaufnahme und die Scheinleistungsaufnahme bestimmt werden.

[0083] Ferner ist eine Analyse- beziehungsweise Rechenvorrichtung 140 mit einem Speicher 150 vorgesehen, welche dazu eingerichtet ist, das erfindungsgemäße Verfahren mithilfe des Erfassungsmittels 130 auszuführen.

[0084] Es ist dem Fachmann bekannt, wie ein Bezugsphasenwinkel für den Kinematik-Wandler 120 mithilfe der Eigenschaften des Kinematik-Wandlers 120 und der Leistungsaufnahme 72 des Motors 3, welcher den Zusammenhang zwischen dem Maximum 83 der Leistungsaufnahme 72 und dem Maximum der auf das Gestänge der Tiefpumpe 1 wirkenden Kraft beschreibt, ermittelt werden kann.

[0085] Es ist dem Fachmann auch bekannt, wie ein Drehmoment-Verlauf aus der Leistungsaufnahme 72 des Motors 3 mithilfe der Eigenschaften des Kinematik-Wandlers 120 ermittelt werden kann.

[0086] Das Erfassungsmittel 130 ist dazu eingerichtet, ein Betriebs-Last-Weg-Diagramm der Pumpe 1 mit Kurvenpunkten zu erfassen und der Rechen- beziehungsweise Analysevorrichtung 140 mit dem Speicher 150 bereitzustellen.

[0087] Die Analysevorrichtung 140 ist dazu eingerichtet, das bereitgestellte Betriebs-Last-Weg-Diagramm mit dem erfindungsgemäßen Verfahren zu analysieren, und daraus die Betriebseigenschaft zu ermitteln.

[0088] Das erfindungsgemäße Verfahren kann als Computerprogramm implementiert werden, das Befehle umfasst, welche bei deren Ausführung durch einen Computer 140 diesen veranlassen, das erfindungsgemäße Verfahren auszuführen.

[0089] Ferner kann das erfindungsgemäße Verfahren als elektronisch lesbarer Datenträger mit darauf gespeicherten lesbaren Steuerinformationen verfügbar sein, welche zumindest das erfindungsgemäße Computerprogramm umfassen und derart ausgestaltet sind, dass sie bei Verwendung des Datenträgers in einer Recheneinrichtung 140 das erfindungsgemäße Verfahren durchführen.

[0090] Das erfindungsgemäße Verfahren kann auch als Datenträgersignal verfügbar sein, das das erfindungsgemäße Computerprogramm überträgt.

[0091] Fig. 2 zeigt ein weiteres, detaillierteres Beispiel für einen Pump-Kopf 111 nach dem Stand der Technik.

[0092] Die Stabschnur bzw. das Gestänge 10 wird entsprechend der Fig. 1 angetrieben und in eine Auf- und Ab-Linearbewegung versetzt.

[0093] In der gezeigten Variante des Pumpkopfs 111 ist im Bohrloch 13 eine Deckröhre 15 mit vertikalen Rillen angeordnet, welche innerhalb der Deckröhre 15 über eine Haltevorrichtung 16 und ein selbstausrichtendes Lager 17 eine drehende Röhre 18 mit Spiralrillen führt.

[0094] Eine Aufnahmeröhre 19 ist über eine Flügelmutter 20 mit einer Kolbenanordnung 21 verbunden, welche in einer Pumpenauskleidung 22 gelegen ist.

[0095] Eine kalibrierte Stange 23 ist über einen Stift 24 und eine Haltevorrichtung 25 mit dem Gestänge 10 verbunden, welche die Kolbenanordnung durch die Linearbewegung antreibt.

[0096] Fig. 3 zeigt ein Ausführungsbeispiel für ein Flussdiagramm eines Verfahrens zur Bestimmung eines Last-Weg-Diagramms aus der Leistungsaufnahme eines elektrisch betriebenen Pumpenmotors mit folgenden Schritten:

a) Erfassen der Stromaufnahme und der Betriebsspannung des Motors 3 mit einer Abtastfrequenz über zumindest einen Pumpzyklus, welcher jeweils vier Betriebsphasen der Tiefpumpe 1 zugeordnet werden kann, in Form von diskreten Messpunkten mit Stromwerten, und daraus Bestimmen der Leistungsaufnahme 72 des Motors 3 mit Leistungswerten,

b) Bestimmen für einen Pumpzyklus einer Periodendauer 85 und eines Maximums 82 der Leistungsaufnahme 72, welches dem Drehmoment-Maximum der Tiefpumpe 1 entspricht,

c) Bestimmen eines Bezugsphasenwinkels für den Kinematik-Wandler 120 mithilfe der Eigenschaften des Kinematik-Wandlers 120 und der Leistungsaufnahme des Motors 3, welcher den Zusammenhang zwischen dem Maximum 82 der Leistungsaufnahme und dem Maximum der auf das Gestänge der Tiefpumpe 1 wirkenden Kraft beschreibt,

d) Ermitteln eines Drehmoment-Verlaufs aus der Leistungsaufnahme des Motors 3 mithilfe der Eigenschaften des Kinematik-Wandlers 120,

e) Bestimmen der Betriebseigenschaften der Förder-Pumpe 1 aus dem im Schritt d) ermittelten Drehmoment-Verlauf unter Verwendung der im Schritt b) bestimmten Periodendauer und dem im Schritt c) bestimmten Bezugsphasenwinkel.

[0097] Die Leistungswerte können durch das Produkt von den diskreten Stromwerten und der Betriebsspannung bestimmt werden.

[0098] Die Periodendauer 85 kann beispielsweise mithilfe eines approximierten Polynoms 80 durch die Leistungswerte der Messpunkte ermittelt werden.

[0099] Die Periodendauer 85 kann beispielsweise aber auch mithilfe eines Polynoms 80 ermittelt werden, welches für Stützpunkte des Polynoms statistische Mittelwerte der Leistungswerte der jeweiligen Messpunkte über zumindest fünf, bevorzugt zumindest zehn, besonders bevorzugt zumindest fünfzig Pumpzyklen berücksichtigt.

[0100] Für die Messpunkte kann ein Referenzwert 81 ermittelt werden, bei welchem für die Änderung des jeweiligen Leistungswerts zwischen zwei unmittelbar aufeinander folgenden Messpunkten ein Maximum vorliegt, und die Periodendauer 85 mithilfe des Referenzwerts 81 ermittelt wird.

[0101] Das Bestimmen der Betriebseigenschaften der Förder-Pumpe 1 kann mithilfe eines Last-Weg-Diagramms 30, 50, 54, 57, 60-65 erfolgen, welches aus dem im Schritt d) ermittelten Drehmoment-Verlauf unter Verwendung der im Schritt b) bestimmten Periodendauer und dem im Schritt c) bestimmten Bezugsphasenwinkel ermittelt wird.

[0102] Der Bezugsphasenwinkel kann bezüglich des absoluten Maximums der Leistungswerte der Messpunkte innerhalb eines Pumpzyklus bestimmt werden.

[0103] Fig. 4 bis Fig. 6 zeigen Beispiele für Last-Weg-Diagramme, welche häufig dazu verwendet werden, um die Betriebseigenschaften von Gestänge-Tiefpumpen zu bestimmen.

[0104] In Fig. 4 ist ein Last-Weg-Diagramm 30 dargestellt.

[0105] Auf der x-Achse ist die Position 31 der polierten Stange aufgetragen, und auf der y-Achse die Last 32 der polierten Stange.

[0106] Es ist ein tiefster Punkt des Pumpenhubs 33 und ein höchster Punkt des Pumpenhubs 34 erkennbar.

[0107] Ferner ist eine Spitze der polierten Stange 35 (PPRI) dargestellt.

[0108] Strichliert ist eine Karte 36 der polierten Stange für Pumpgeschwindigkeit gleich Null eingezeichnet.

[0109] Ferner ist eine Karte 37 der polierten Stange für Pumpgeschwindigkeit größer als Null.

[0110] Es ist eine minimale Last der polierten Stange 38 (MPRL) dargestellt.

[0111] Es kann auch eine Bruttokolbenlast 39 abgelesen werden.

[0112] Außerdem kann ein Gewicht der Stangen im Fluid 40 bestimmt werden, sowie Kräfte 41 und 42, und ein Pump-Hub bzw. Pump-Weg 43.

[0113] In Fig. 5 sind Last-Weg-Diagramme 50 mit Stangenlast bei Sollwert als Funktion der Last 32 der polierten Stange über die jeweilige Position 31 der polierten Stange gezeigt.

[0114] Ein Last-Weg-Diagramm 51 zeigt den Betrieb bei voller Pumpenleistung.

[0115] Ein Last-Weg-Diagramm 52 zeigt den Betrieb bei leergepumpten Fördermedium.

[0116] Ein jeweiliger Sollwert 53 ist erkennbar.

[0117] Ferner sind Last-Weg-Diagramme 54 mit Stangenlast bei einem Betriebswechsel als Funktion der Last 32 der polierten Stange über die jeweilige Position 31 der polierten Stange gezeigt, wobei jeweilige Winkel 55, 56 ablesbar sind.

[0118] Ferner sind Last-Weg-Diagramme 57 mit Stangenlast mit der jeweiligen mechanischen Arbeit der Stangen dargestellt.

[0119] In Fig. 6 sind Last-Weg-Diagramme 60-65 für verschiedene Betriebszustände dargestellt.

[0120] Diagramm 60 zeigt Last-Weg-Diagramme bei einem normalen Betrieb.

[0121] Diagramm 61 zeigt Last-Weg-Diagramme bei einem Fluid-Lager.

[0122] Diagramm 62 zeigt Last-Weg-Diagramme bei Gas-Einwirkung im unterirdischen Lager.

[0123] Diagramm 63 zeigt ein Last-Weg-Diagramm bei einem feststeckenden Kolben.

[0124] Diagramm 64 zeigt Last-Weg-Diagramm bei einem Leck durch ein stehendes Ventil.

[0125] Ein Diagramm 65 zeigt ein Last-Weg-Diagramm bei einem Leck durch ein bewegtes Ventil.

[0126] Fig. 7 zeigt ein Beispiel für eine zeitliche Darstellung eines Leistungsverlaufs eines elektrischen Antriebsmotors für eine Gestänge-Tiefpumpe, welche aus der Stromaufnahme und Betriebsspannung des Motors 3 ermittelt wurde.

[0127] Die Darstellung weist eine Zeitachse 70 und eine Achse 71 für Amplitude der Strom- bzw. Leistungsaufnahme auf.

[0128] Es ist eine Leistungsaufnahme 72 gezeigt, für welche ein Nullpunkt bzw. Nullachse 80, sowie ein Polynom für gemittelte Leistungsaufnahme 81 bestimmt werden kann.

[0129] Für das Polynom 80 können ein Maximalwert der gemittelten Leistungsaufnahme 82, sowie Nulldurchgänge der gemittelten Leistungsaufnahme 83, 84 ermittelt werden.

[0130] Ferner kann für das Polynom 80 eine Periodendauer 85 der gemittelten Leistungsaufnahme bestimmt werden.

[0131] Daraus kann ein Phasenwinkel 86 der gemittelten Leistungsaufnahme ermittelt werden, welcher den Zusammenhang zwischen der Drehbewegung des Motors 3 und dem Gestänge 10 der Pumpe 1 beschreibt.

[0132] Aus der ermittelten Werten kann ein entsprechendes Last-Weg-Diagramm ermittelt werden, um daraus auf einfache Weise die Betriebseigenschaften der Gestänge-Tiefpumpe 1 abzuleiten. Es ist erkennbar, dass der Absolutwert der Periodendauer 85 in der weiteren Berechnung des Last-Weg-Diagramms nicht berücksichtigt werden muss.

[0133] Mit anderen Worten ist es für die Bestimmung der Leistungsaufnahme nicht notwendig, dass die Antriebsfrequenz des Pumpenmotors berücksichtigt wird.

[0134] Die gewünschten Betriebseigenschaften der Gestänge-Tiefpumpe 1 können durch ein oder mehrere entsprechende Last-Weg-Diagramme im Sinne von "Soll-Werten" festgelegt werden, welche in einen Trainings-Modus als, auf maschinellern Lernen beruhenden Modell erzeugt und trainiert werden. Dabei kann auch auf Last-Weg-Diagramme anderer Pumpen zurückgegriffen werden.

[0135] Beispielsweise kann eine Frage nach dem Gasgehalt in einem Öl-Wasser-Gas-Gemisch einer Förderstätte beantwortet werden, indem ein Trainingsmodell für ein bekanntes Gemisch erstellt und trainiert wird.

[0136] Für verschiedene Fragestellung hinsichtlich des Zustands der Pumpe und deren Komponenten, sowie der Zusammensetzung des Förder-Gemischs können unterschiedliche Trainings-Modelle erzeugt werden.

[0137] Dieses Trainings-Modell dient als Referenz zu einem Betriebs-Last-Weg-Diagramm.

[0138] Abweichungen des Betriebs-Last-Weg-Diagramm vom Trainings-Modell können als unerwünschte Betriebseigenschaft erkannt werden.

[0139] In einem Trainings-Modus wird ein Last-Weg-Diagramm-Modell mit Modell-Kurvenpunkten auf Basis maschinellen Lernens von der Analysevorrichtung 140 erzeugt und trainiert.

[0140] Im Last-Weg-Diagramm-Modell werden dann zumindest zwei vordefinierte Analyse-Bereiche, welche die Modell-Kurvenpunkte zumindest teilweise umfassen, bestimmt.

[0141] Aus den Modell-Kurvenpunkten wird dann für zumindest einen Bereich der Analyse-Bereiche ein Referenzpunkt ermittelt, welcher beispielsweise dem geometrischen Schwerpunkt der Kurvenpunkte des jeweiligen Bereichs beziehungsweise durch die Kurvenpunkte und die Bereichsgrenzen, beispielsweise die Diagramm-Achsen, gebildeten Fläche entspricht.

[0142] In einem Betriebs-Modus wird für das Betriebs-Last-Weg-Diagramm von der Analysevorrichtung 140 geprüft, ob innerhalb der durch die Betriebs-Kurvenpunkte eingeschlossenen Fläche der zumindest eine, im Trainings-Modus bestimmte Referenzpunkt eingeschlossen ist.

[0143] Falls dies zutrifft, wird die Betriebseigenschaft der Förder-Pumpe 1 aus dem als "eingeschlossen" erkannten Referenzpunkt bestimmt.

[0144] Fig. 8 zeigt ein Beispiel für ein Betriebs-Last-Weg-Diagramm DC1 mit Kurvenpunkten.

[0145] Es sind vier Bereiche Q1-Q2 in Form von Quadranten gezeigt, welche durch einen Wert 2 für den Weg 31 und einen Wert 0.5 für die Last 32 getrennt sind.

[0146] Die Bereiche können beispielsweise unmittelbar aneinander angrenzen, sodass keine Bereiche mit darin eingeschlossenen Kurvenpunkten ohne Zuordnung zu Referenzpunkten entstehen.

[0147] Falls gewünscht, können jedoch Bereiche auch ausgeschlossen werden, um beispielsweise zu verhindern, dass Bereiche mit häufig fehleranfälligen Kurvenpunkten gezielt ausgeschlossen werden, um eine Verbesserung der Stabilität bei der Bestimmung der Betriebseigenschaft der Pumpe zu erreichen.

[0148] Bereichsgrenzen können beispielsweise auch überlappen, sodass ein Kurvenpunkt mehreren Bereichen zugeordnet werden kann.

[0149] Die Mess-Kurvenpunkte und die Modell-Kurvenpunkte zwischen zwei benachbarten Punkten auf den jeweiligen Kurven können jeweils Abstände aufweisen, welche durchschnittlich zumindest 50%, bevorzugt zumindest 80% und besonders bevorzugt zumindest 95% des größten Abstands zwischen zwei benachbarten Punkten der jeweiligen Kurve beträgt.

[0150] Daraus können sich annähernd gleiche Abstände zwischen Mess-Kurvenpunkten ergeben.

[0151] Fig. 9 zeigt ein Beispiel für ein Betriebs-Last-Weg-Diagramm DC2 mit Kurvenpunkten.

[0152] Es ist für vier Bereiche, analog zur vorhergehenden Figur, jeweils ein Centroiden-Punkt C21-C24 eingezeichnet, welcher dem geometrischen Schwerpunkt der Kurvenpunkte des jeweiligen Bereichs beziehungsweise durch die Kurvenpunkte und die Bereichsgrenzen, beispielsweise die Diagramm-Achsen, gebildeten Fläche entspricht.

[0153] Es kann vorteilhaft sein, wenn sich die Bereiche zumindest teilweise gegenseitig überlappen, um einen Referenzpunkt des Bereichs besser zu definieren, falls beispielsweise in einem Bereich zu wenige Kurven-Punkte enthalten sind.

[0154] Ferner kann beispielsweise zumindest ein Bereich definiert werden, für welchen vorgesehen ist, dass kein eingeschlossener Kurvenpunkt bei der nachfolgenden Prüfung berücksichtigt wird.

[0155] Mit anderen Worten kann ein Bereich von der näheren Betrachtung ausgeschlossen werden.

[0156] Die kann vorteilhaft sein, wenn beispielsweise ein Bereich als besonders stör anfällig bekannt ist und/oder für bestimmte Aussagen hinsichtlich der Betriebseigenschaften nicht oder nur wenig relevant ist.

[0157] Bei Anwendung des erfindungsgemäßen Verfahrens kann es beispielsweise auch vorgesehen sein, mehrere, voneinander unabhängige Prüfungen von Betriebseigenschaften sequenziell oder parallel durchzuführen.

[0158] Natürlich kann auch eine iterative Prüfung durch Anwendung des erfindungsgemäßen Verfahrens vorgesehen sein, um bestimmte Verdachtsmomente hinsichtlich einer vermuteten Betriebseigenschaft schrittweise zu erhärten, indem die Kriterien hinsichtlich der Trainings-Modells angepasst werden.

[0159] Dabei können beispielsweise sukzessive die Genauigkeitsanforderungen durch eine Erhöhung von Referenzpunkten im jeweils nachfolgenden Trainings-Modell erhöht werden, oder auch alternative Referenzpunkte untersucht werden, um beispielsweise mittels einer Kombination von zwei unterschiedlichen Trainings-Modellen weitere Schlüsse für die zu untersuchende Betriebseigenschaft zu ziehen.

[0160] Fig. 10 zeigt ein Beispiel für ein Betriebs-Last-Weg-Diagramm DC3 mit Kurvenpunkten.

[0161] Es ist für vier Bereiche, analog zur vorhergehenden Figur, jeweils ein Centroiden-Punkt C31-C34 eingezeichnet, welcher dem geometrischen Schwerpunkt der Kurvenpunkte des jeweiligen Bereichs entspricht.

[0162] Fig. 11 zeigt ein Beispiel für ein Betriebs-Last-Weg-Diagramm DC4 mit Kurvenpunkten.

[0163] In diesem Beispiel sind acht Bereiche gezeigt, welche durch einen Wert 2 für den Weg 31 und einen Wert größer oder kleiner als 0.5 für die Last 32 getrennt sind, wobei für den Wert 0.5 auf der Last-Achse 32 zwei weitere Bereiche vorgesehen sind.

[0164] Es ist für die acht Bereiche jeweils ein Centroiden-Punkt C41-C48 eingezeichnet, welcher dem geometrischen Schwerpunkt der Kurvenpunkte des jeweiligen Bereichs entspricht.

[0165] Fig. 12 zeigt ein Beispiel für ein Betriebs-Last-Weg-Diagramm DC5 mit Kurvenpunkten.

[0166] Es ist für acht Bereiche, analog zur vorhergehenden Figur, jeweils ein Centroiden-Punkt C51-C58 eingezeichnet, welcher dem geometrischen Schwerpunkt der Kurvenpunkte des jeweiligen Bereichs entspricht.

Bezugszeichen:

[0167]

1	Gestänge-Tiefpumpe
2	Laufbalken
3	Antriebsmaschine, Motor
4	Untersetzungsgetriebe
5	polierte Stange
6	Bohrlochkopf
7	Durchflussleitung
8	Mantel
9	Röhre
10	Stabschnur
11	Kolben
12	Lauf
13	Bohrloch
14	Fördermedium
15	Deckröhre mit vertikalen Rillen
16, 25	Haltevorrichtung
17	selbstausrichtendes Lager
18	drehende Röhre mit Spiralrillen
19	Aufnahmeröhre
20	Flügelmutter
21	Kolbenanordnung
22	Pumpenauskleidung
23	kalibrierte Stange
24	Stift
30	Last-Weg-Diagramm
31	Position der polierten Stange
32	Last der polierten Stange
33	Tiefster Punkt des Pumpenhubs
34	Höchster Punkt des Pumpenhubs
35	Spitze der polierten Stange, PPRI
36	Karte der polierten Stange für Pumpgeschwindigkeit gleich Null
37	Karte der polierten Stange für Pumpgeschwindigkeit größer als Null
38	Minimale Last der polierten Stange, MPRL
39	Bruttokolbenlast
40	Gewicht der Stangen im Fluid
41, 42	Kraft
43	Weg

EP 3 985 223 A1

50	Last-Weg-Diagramm mit Stangenlast bei Sollwert
51	Pumpe, volle Leistung
52	leergepumpt
53	Sollwert
5 54	Last-Weg-Diagramm mit Stangenlast beim Betriebswechsel
55, 56	Winkel
57	Last-Weg-Diagramm mit mechanischer Arbeit der Stangen
60	Last-Weg-Diagramm im normalen Betrieb
61	Last-Weg-Diagramm bei einem Fluid-Lager
10 62	Last-Weg-Diagramm bei Gas-Einwirkung
63	Last-Weg-Diagramm bei feststeckendem Kolben
64	Last-Weg-Diagramm bei einem Leck durch ein stehendes Ventil
65	Last-Weg-Diagramm bei einem Leck durch ein bewegtes Ventil
70	Zeitachse
15 71	Achse für Amplitude der Strom- bzw. Leistungsaufnahme
72	Leistungsaufnahme
80	gewählter Nullpunkt bzw. Nullachse
81	Polynom für gemittelte Leistungsaufnahme
82	Maximalwert der gemittelten Leistungsaufnahme
20 83, 84	Nulldurchgang der gemittelten Leistungsaufnahme
85	Periodendauer der gemittelten Leistungsaufnahme
86	ermittelter Phasenwinkel der gemittelten Leistungsaufnahme
100	Pumpsystem
110, 111	Pumpkopf
25 120	Kinematik-Wandler
130	Erfassungsmittel, Erfassungsvorrichtung
140	Rechenvorrichtung, Analysevorrichtung
150	Speicher
Q1-Q4	Bereich, Quadrant
30 C21-C24, C31-C36, C41-C48 C51-C58	geometrischer Schwerpunkt, Centroid
DC1-DC5	Last-Weg-Diagramm, Dynacard

Patentansprüche

- 35
1. Computer-implementiertes Verfahren zur Bestimmung einer Betriebseigenschaft einer Gestänge-Tiefpumpe (1), wobei die Pumpe (1) einen Pump-Kopf (110, 111) aufweist, welcher über ein Gestänge (5, 10) mit einem Kinematik-Wandler (120) verbunden ist, und der Kinematik-Wandler (120) im Betrieb von einem Motor (3) angetrieben wird und ein Last-Weg-Diagramm mit Kurvenpunkten für die Förder-Pumpe (1) mithilfe eines Erfassungsmittels (130) von einer Analysevorrichtung (140) ermittelt und als Betriebs-Last-Weg-Diagramm (DC1-DC5) mit Betriebs-Kurvenpunkten bereitgestellt wird,
40 **dadurch gekennzeichnet, dass** von der Analysevorrichtung (140) in einem Trainings-Modus zumindest ein Last-Weg-Diagramm-Modell für die Pumpe (1) mit Modell-Kurvenpunkten auf Basis maschinellen Lernens erzeugt und trainiert wird, und im zumindest einen Last-Weg-Diagramm-Modell zumindest zwei vordefinierte Analyse-Bereiche (Q1-Q4), welche die Modell-Kurvenpunkte zumindest teilweise umfassen, bestimmt werden, und aus den Modell-Kurvenpunkten zumindest eines Bereichs der Analyse-Bereiche ein Referenzpunkt (C21-C24, C31-C36, C41-C48, C51-C58) ermittelt wird,
45 und in einem Betriebs-Modus für das Betriebs-Last-Weg-Diagramm (DC1-DC5) geprüft wird, ob innerhalb der durch die Betriebs-Kurvenpunkte eingeschlossenen Fläche der zumindest eine, im Trainings-Modus bestimmte Referenzpunkt (C21-C24, C31-C36, C41-C48, C51-C58) eingeschlossen ist, und falls zutreffend, die Betriebseigenschaft der Förder-Pumpe (1) daraus bestimmt wird.
 2. Verfahren nach dem vorhergehenden Anspruch,
50 wobei bei Bestimmung des Referenzpunkts (C21-C24, C31-C36, C41-C48, C51-C58) der geometrische Schwerpunkt jener Fläche, die durch die Modell-Kurvenpunkte des jeweiligen Bereichs definiert ist, herangezogen wird.
 3. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche,
55 wobei für jeden Bereich als Referenzpunkt (C21-C24, C31-C36, C41-C48, C51-C58) bestimmt wird.

4. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche,
wobei zumindest ein Analyse-Bereich durch ein Polygon definiert ist.
- 5 5. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche,
wobei zumindest vier, bevorzugt zumindest sechs oder besonders bevorzugt acht und mehr Bereiche bestimmt
werden, welche vorzugsweise aneinander angrenzen.
6. Verfahren nach dem vorhergehenden Anspruch,
wobei sich die Bereiche zumindest teilweise gegenseitig überlappen.
10 7. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche,
wobei zumindest ein Bereich definiert wird, für welchen vorgesehen ist, dass kein eingeschlossener Kurvenpunkt
bei der nachfolgenden Prüfung berücksichtigt wird.
- 15 8. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche,
wobei aus dem Last-Weg-Diagramm-Modell abgeleitete Kurvendaten und aus dem Betriebs-Last-Weg-Diagramm
(DC1-DC5) zugrunde liegenden Betriebs-Kurvenpunkte für die Prüfung im Betriebs-Modus zueinander normiert
werden.
- 20 9. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche,
wobei der Motor (3) elektrisch betrieben wird und das Erfassungsmittel (130) dazu eingerichtet ist, die elektrische
Leistungsaufnahme des Motors (3) während dessen Betrieb zu erfassen, aus welcher die Betriebseigenschaften
der Förder-Pumpe (1) bestimmt werden.
- 25 10. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche,
wobei die Mess-Kurvenpunkte und die Modell-Kurvenpunkte zwischen zwei benachbarten Punkten auf den jewei-
ligen Kurven jeweils Abstände aufweisen, welche durchschnittlich zumindest 50%, bevorzugt zumindest 80% und
besonders bevorzugt zumindest 95% des größten Abstands zwischen zwei benachbarten Punkten der jeweiligen
Kurve beträgt.
30 11. Computerprogramm,
umfassend Befehle, welche bei deren Ausführung durch einen Computer diesen veranlassen, das Verfahren nach
einem der vorhergehenden Ansprüche auszuführen.
- 35 12. Elektronisch lesbarer Datenträger mit darauf gespeicherten lesbaren Steuerinformationen, welche zumindest ein
Computerprogramm nach dem vorhergehenden Anspruch umfassen und derart ausgestaltet sind, dass sie bei
Verwendung des Datenträgers in einer Recheneinrichtung ein Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 10 durch-
führen.
- 40 13. Datenträgersignal, welches das Computerprogramm nach Anspruch 10 überträgt.
14. Analysevorrichtung (140) mit einem Speicher (150) zur Bestimmung einer Betriebseigenschaft einer Gestänge-
Tiefpumpe (1), welche dazu eingerichtet ist, ein bereitgestelltes Betriebs-Last-Weg-Diagramm (DC1-DC5) mit dem
Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 10 zu analysieren, und daraus die Betriebseigenschaft zu ermitteln.
45 15. Pumpsystem (100) zur Bestimmung einer Betriebseigenschaft einer Gestänge-Tiefpumpe (1), wobei die Pumpe (1)
einen Pump-Kopf (110, 111) aufweist, welcher über ein Gestänge (5, 10) mit einem Kinematik-Wandler (120) ver-
bunden ist, und der Kinematik-Wandler (120) im Betrieb von einem Motor (3) angetrieben wird, und ein Erfassungs-
mittel (130), welches dazu eingerichtet ist, ein Last-Weg-Diagramm der Pumpe (1) mit Kurvenpunkten zu erfassen
und bereitzustellen, sowie eine Analysevorrichtung (140) mit einem Speicher (150) nach dem vorhergehenden
Anspruch, welche dazu eingerichtet ist, aus dem bereitgestellten Betriebs-Last-Weg-Diagramm (DC1-DC5) die
Betriebseigenschaft zu ermitteln.
50 55

FIG 1

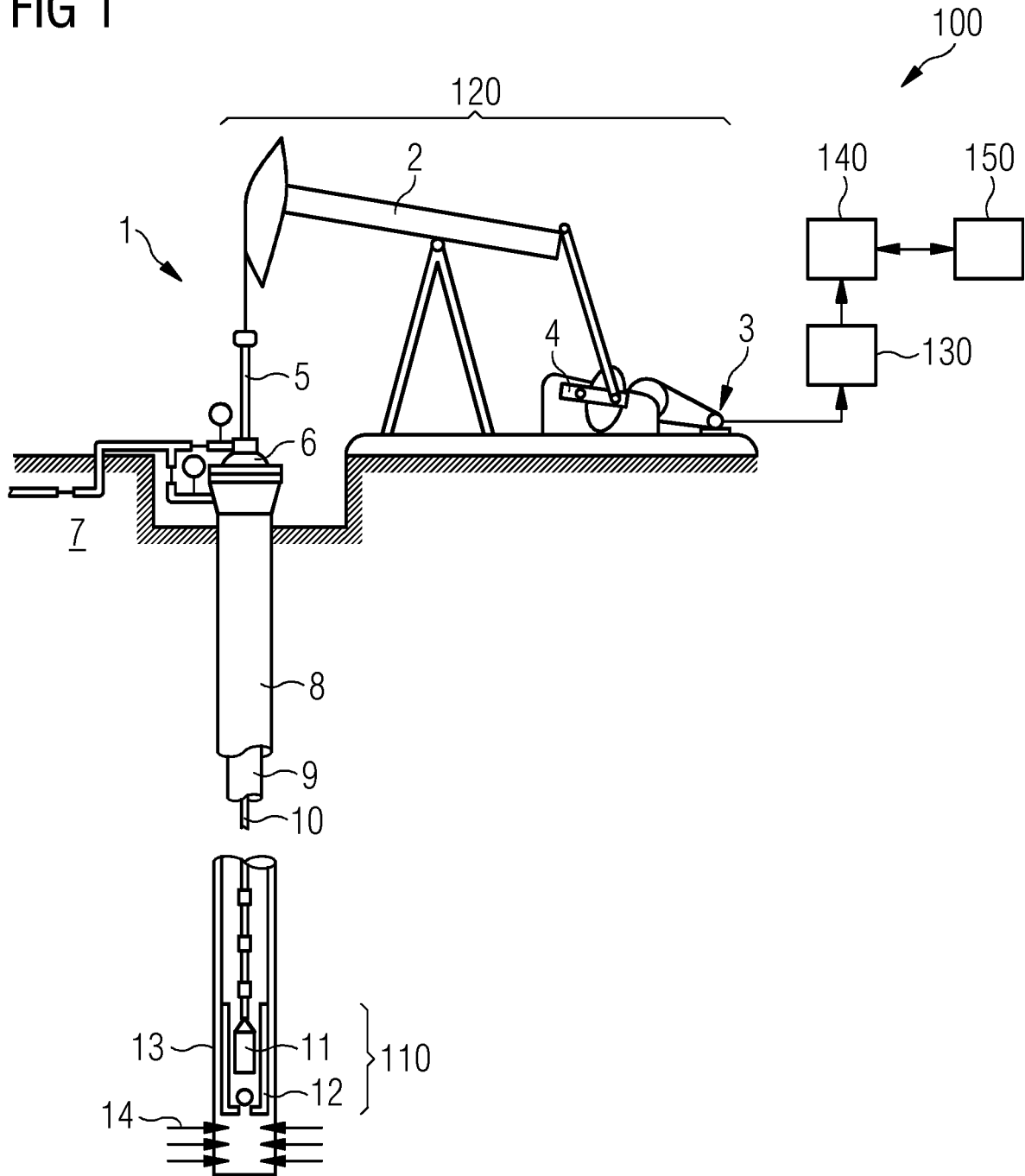


FIG 2

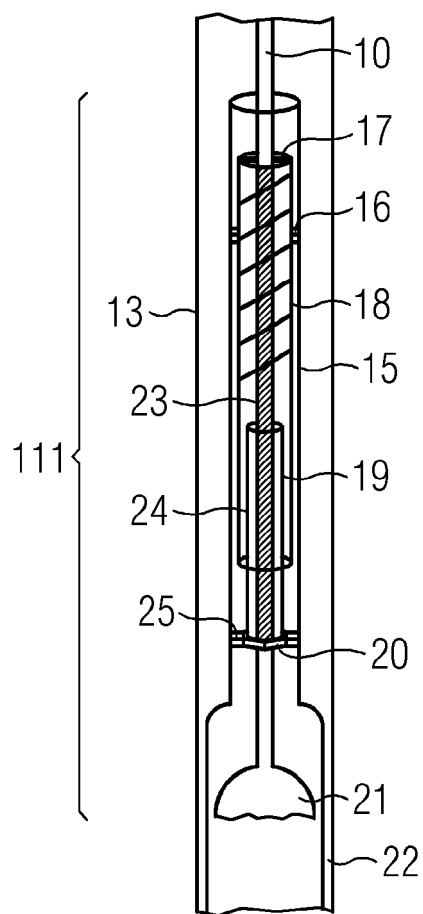


FIG 3

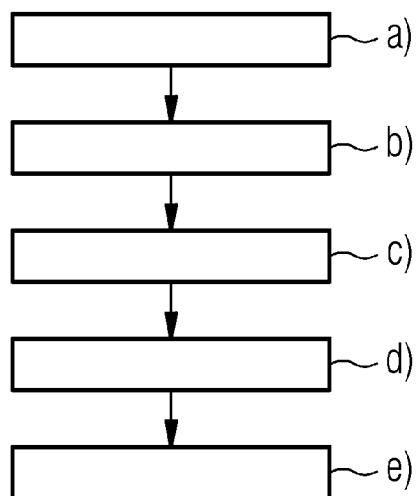


FIG 4

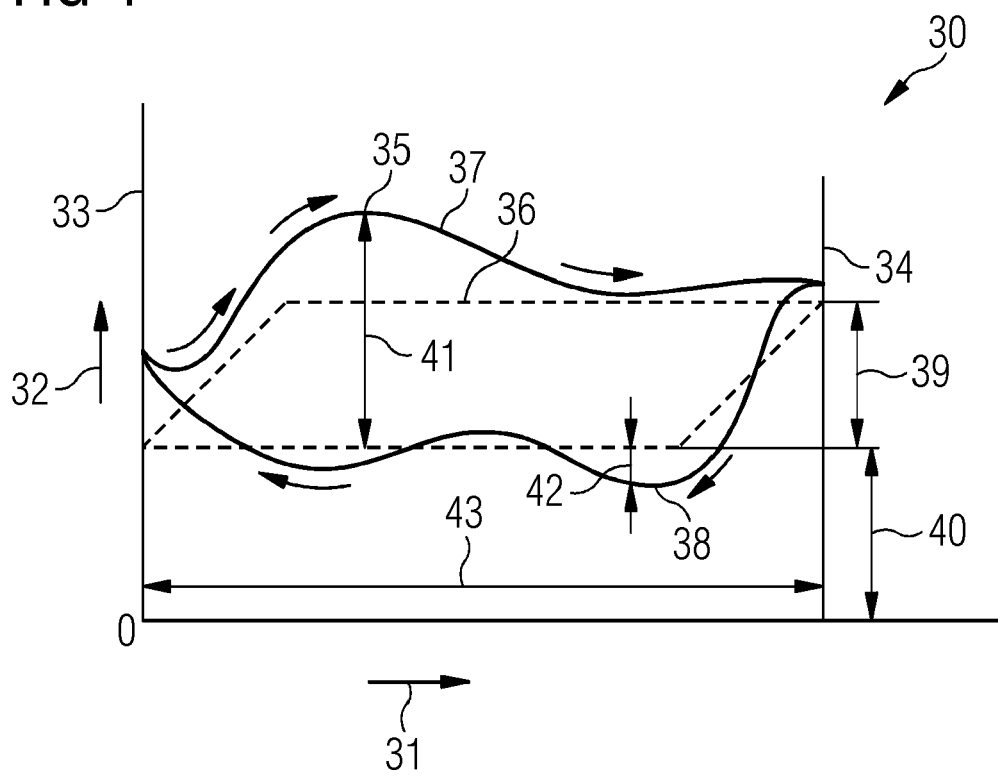


FIG 5

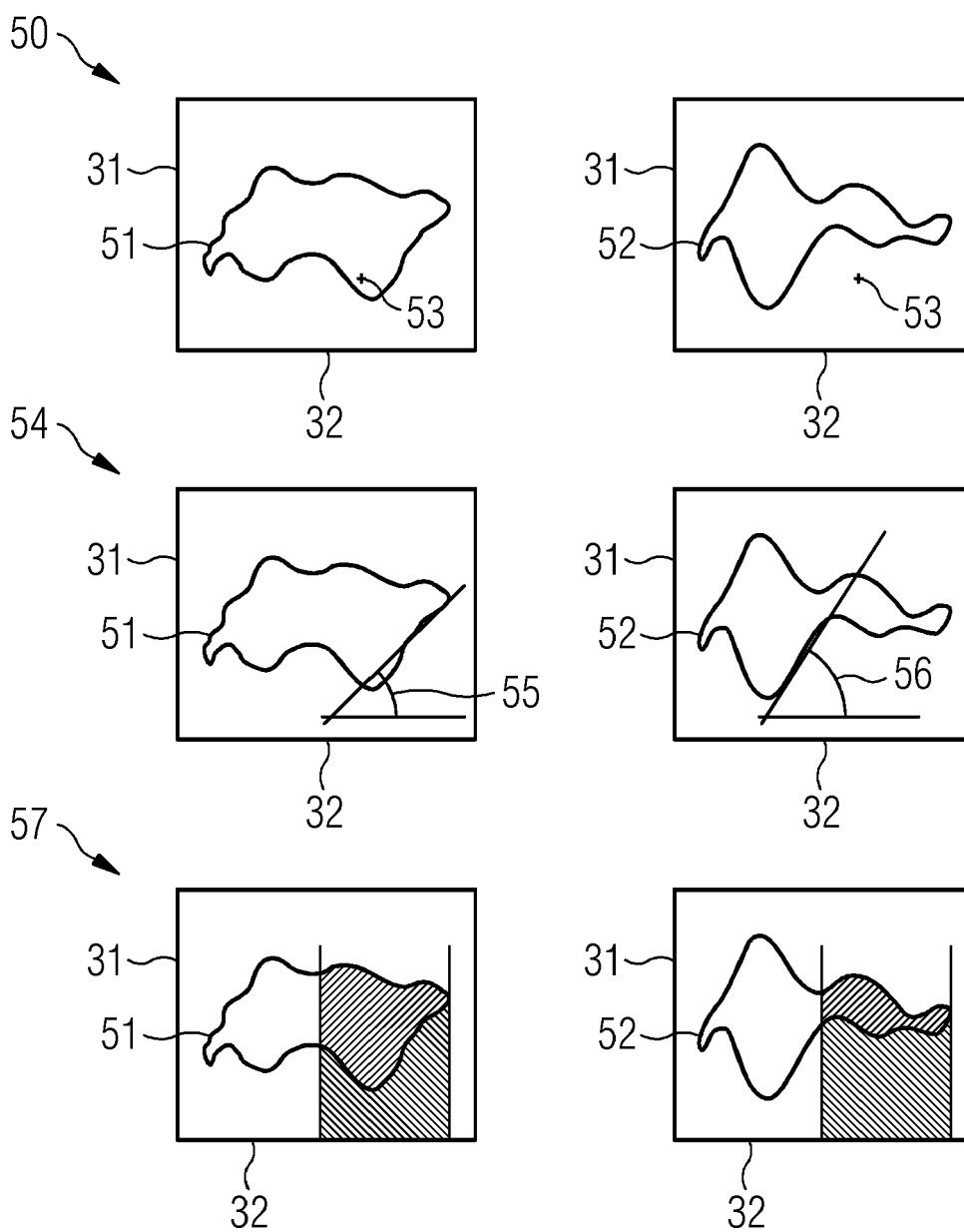


FIG 6

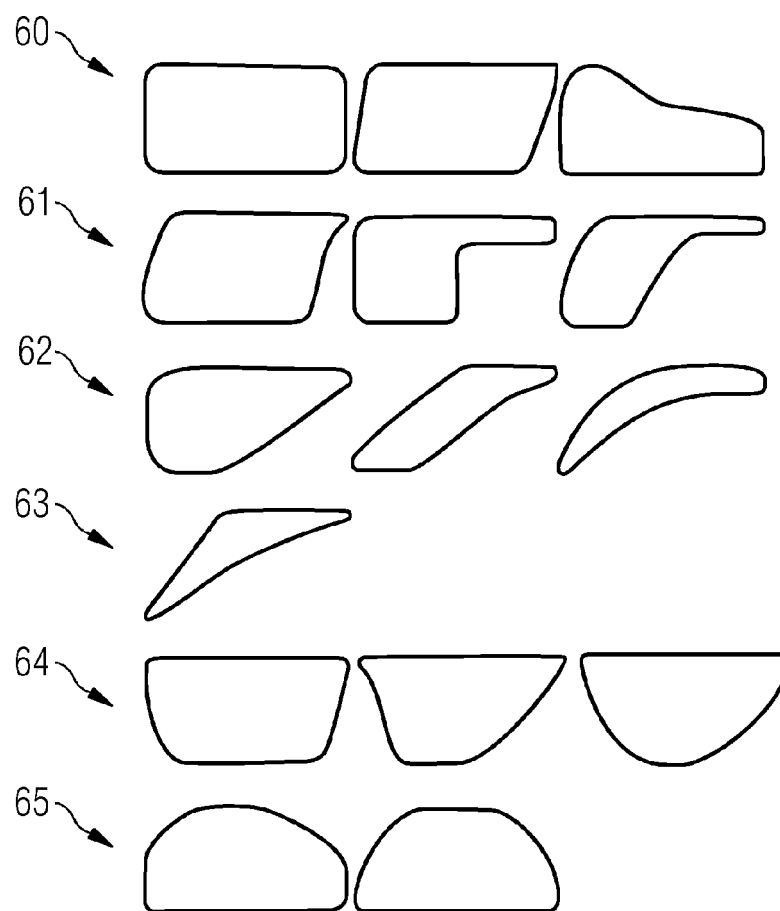


FIG 7

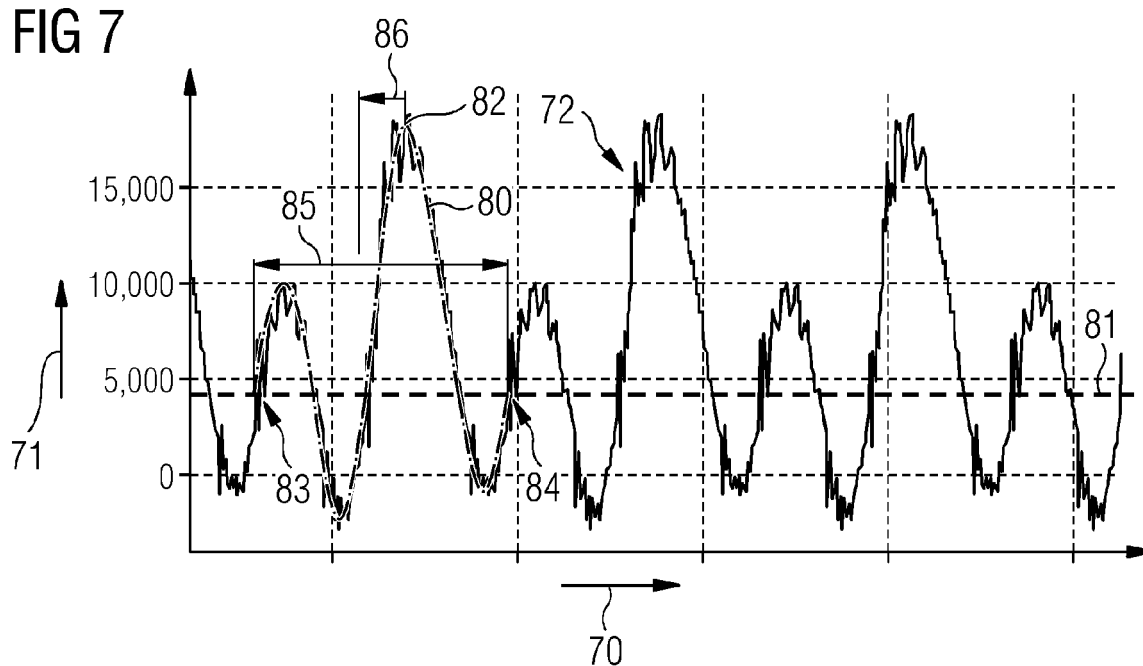


FIG 8

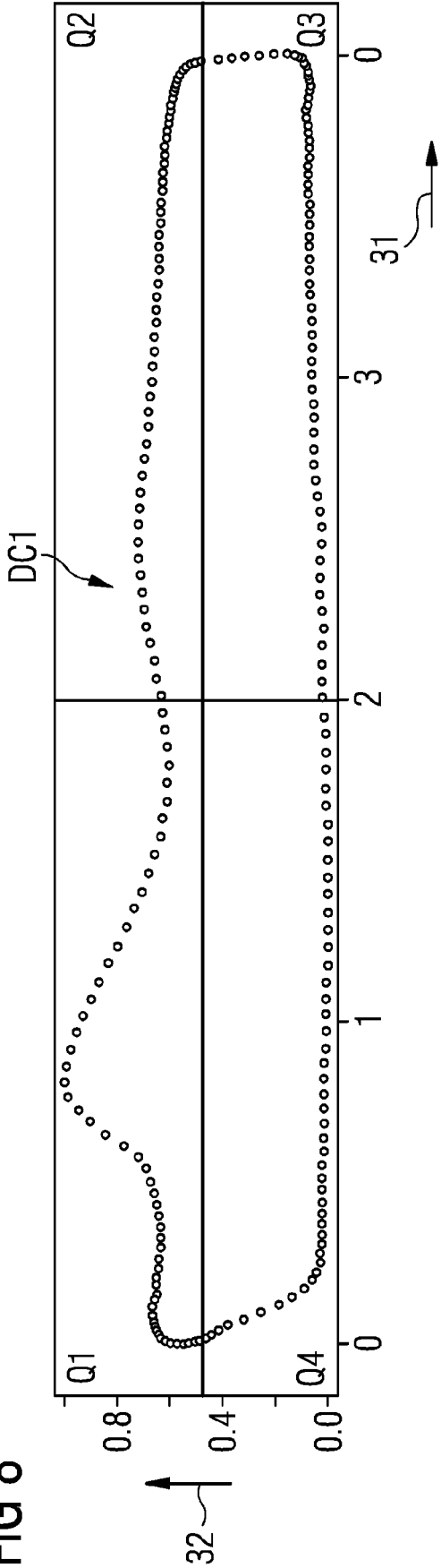


FIG 9

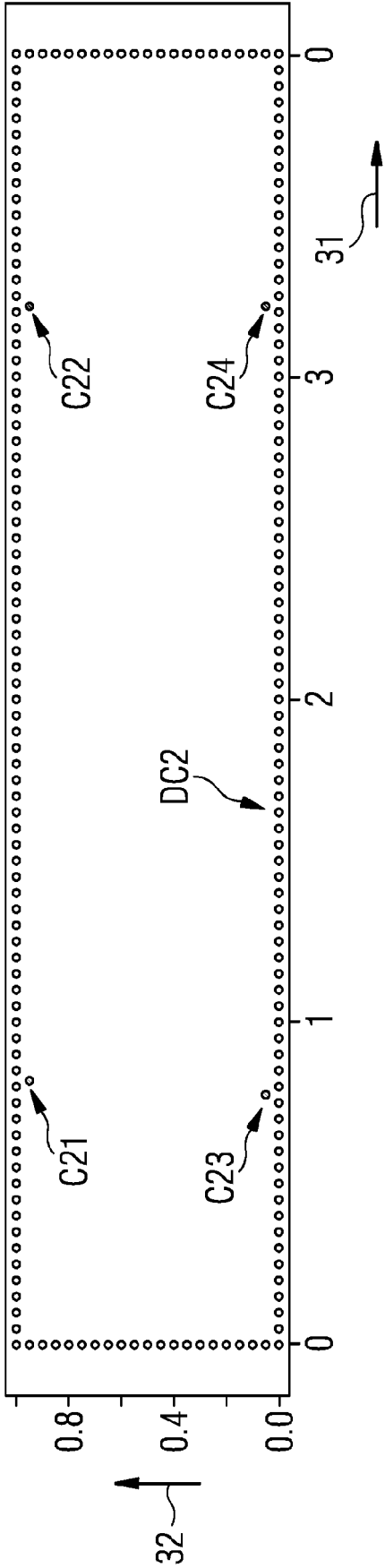


FIG 10

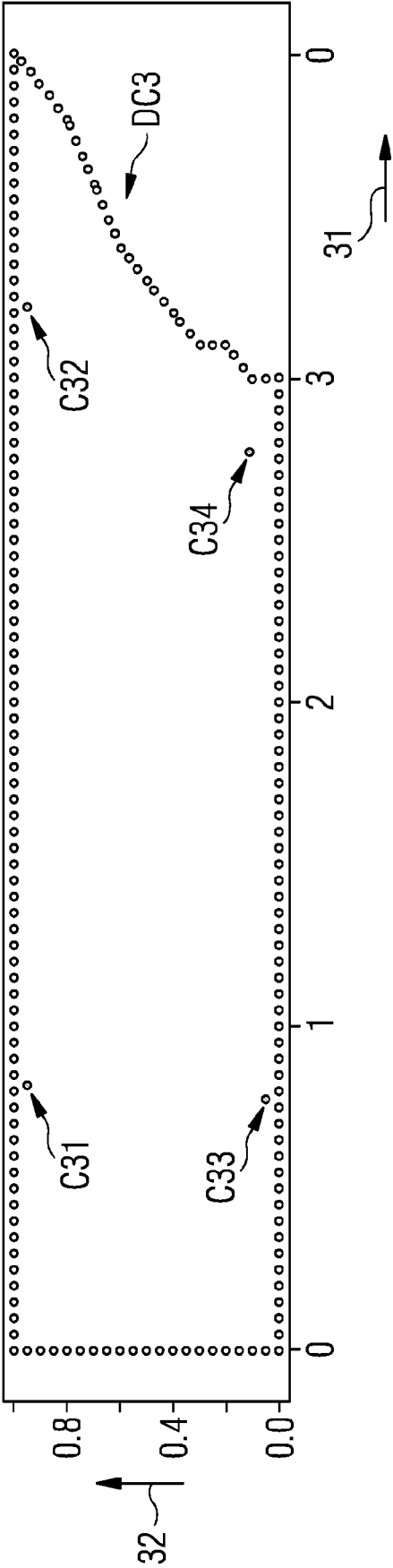


FIG 11

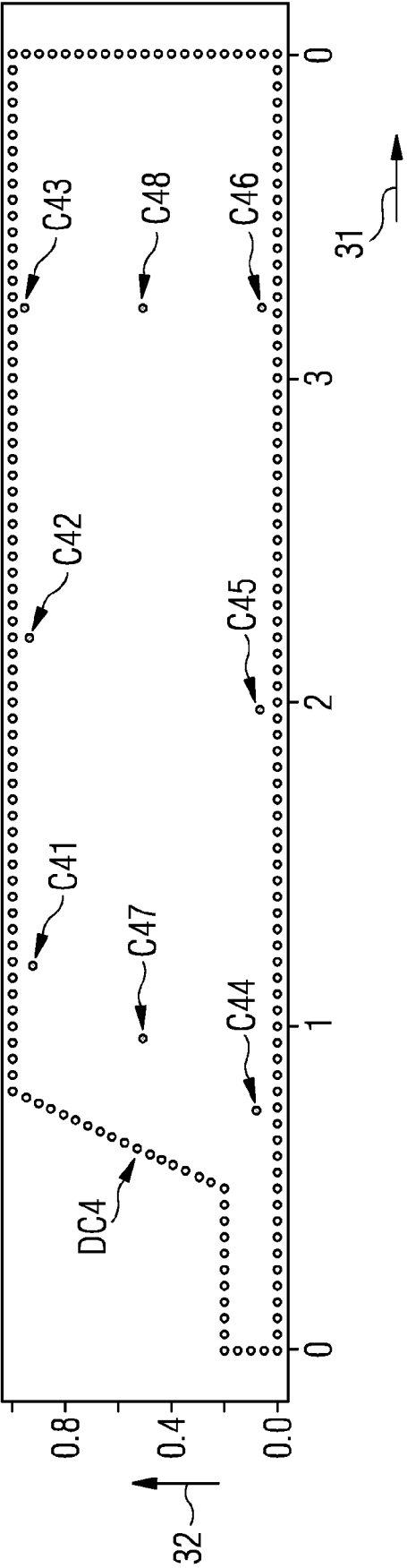
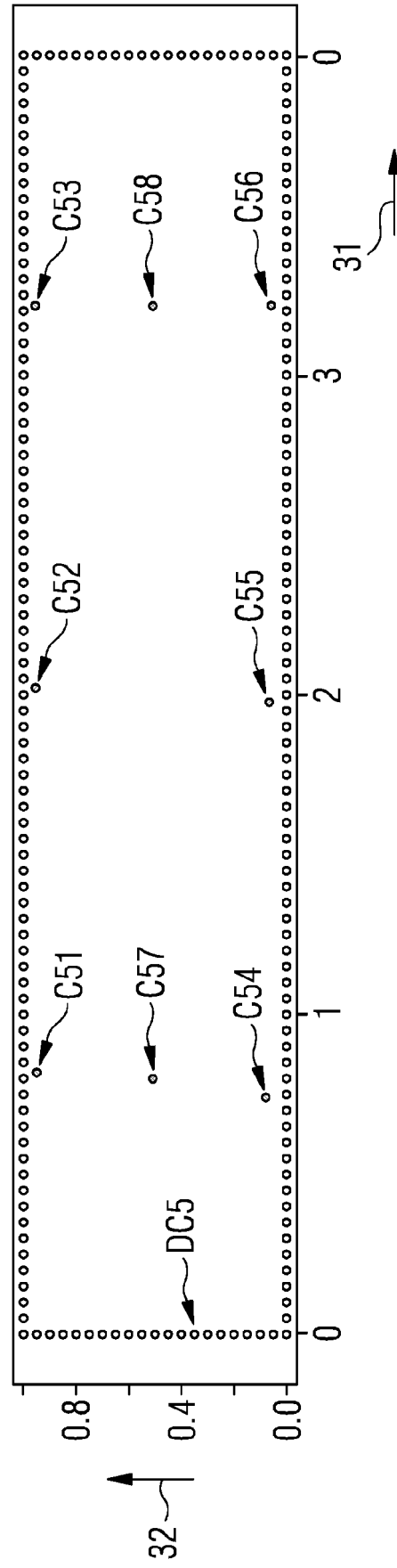


FIG 12





EUROPÄISCHER RECHERCHENBERICHT

Nummer der Anmeldung
EP 20 20 2024

5

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

EINSCHLÄGIGE DOKUMENTE			
Kategorie	Kennzeichnung des Dokuments mit Angabe, soweit erforderlich, der maßgeblichen Teile	Betrifft Anspruch	KLASSIFIKATION DER ANMELDUNG (IPC)
A	LI KUN ET AL: "Using the curve moment and the PSO-SVM method to diagnose downhole conditions of a sucker rod pumping unit", PETROLEUM SCIENCE, CHINA UNIVERSITY OF PETROLEUM (BEIJING), HEIDELBERG, Bd. 10, Nr. 1, 7. Februar 2013 (2013-02-07), Seiten 73-80, XP036358969, ISSN: 1672-5107, DOI: 10.1007/S12182-013-0252-Y [gefunden am 2013-02-07] * Zusammenfassung * * Chapters 1, 2, 3 and 6 * -----	1-15	INV. E21B47/009
A	US 6 343 656 B1 (VAZQUEZ MANUEL [VE] ET AL) 5. Februar 2002 (2002-02-05) * Spalte 2, Zeile 32 - Spalte 3, Zeile 19 * * Spalte 5, Zeilen 13-24 * * Spalte 6, Zeilen 20-33 * * Spalte 7, Zeilen 7-12; Abbildungen 1-3 * -----	1-15	RECHERCHIERTE SACHGEBIETE (IPC)
A	XU XIAOMA ET AL: "Binary Histogram of Oriented Gradients Based Dynamometer Card Recognition", 2017 13TH INTERNATIONAL CONFERENCE ON COMPUTATIONAL INTELLIGENCE AND SECURITY (CIS), IEEE, 15. Dezember 2017 (2017-12-15), Seiten 111-114, XP033318396, DOI: 10.1109/CIS.2017.00032 [gefunden am 2018-02-08] * Chapter 1: Introduction * -----	1-15	E21B
Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt			
Recherchenort Den Haag		Abschlußdatum der Recherche 26. März 2021	Prüfer Jucker, Chava
KATEGORIE DER GENANNTEN DOKUMENTE X : von besonderer Bedeutung allein betrachtet Y : von besonderer Bedeutung in Verbindung mit einer anderen Veröffentlichung derselben Kategorie A : technologischer Hintergrund O : mündliche Offenbarung P : Zwischenliteratur		T : der Erfindung zugrunde liegende Theorien oder Grundsätze E : älteres Patentedokument, das jedoch erst am oder nach dem Anmeldedatum veröffentlicht worden ist D : in der Anmeldung angeführtes Dokument L : aus anderen Gründen angeführtes Dokument & : Mitglied der gleichen Patentfamilie, übereinstimmendes Dokument	

EPO FORM 1503 03.82 (P04C03)

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

EP 20 20 2024

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

26-03-2021

10	Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
15	US 6343656	B1	05-02-2002	KEINE
20	-----			
25				
30				
35				
40				
45				
50				
55				

EPO FORM P0461

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