

(19)



(11)

EP 3 048 305 B1

(12)

EUROPÄISCHE PATENTSCHRIFT

(45) Veröffentlichungstag und Bekanntmachung des
Hinweises auf die Patenterteilung:
21.08.2019 Patentblatt 2019/34

(51) Int Cl.:
F04D 15/00 ^(2006.01) **E03B 5/00** ^(2006.01)

(21) Anmeldenummer: **16000069.1**

(22) Anmeldetag: **13.01.2016**

**(54) REDUZIERUNG DES ENERGIEVERBRAUCHS EINER DREHZAHLGEREGELTEN
WASSERPUMPE UNTER BERÜCKSICHTIGUNG DER MOMENTANEN SYSTEMLAST**

REDUCTION OF THE ENERGY CONSUMPTION OF A VARIABLE SPEED WATER PUMP TAKING
INTO ACCOUNT THE CURRENT SYSTEM LOAD

RÉDUCTION DE LA CONSOMMATION D'ÉNERGIE D'UNE POMPE À EAU À VITESSE VARIABLE
EN TENANT COMPTE DE LA CHARGE INSTANTANÉE DU SYSTÈME

(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**

(30) Priorität: **20.01.2015 DE 102015000373**
08.09.2015 DE 102015011487

(43) Veröffentlichungstag der Anmeldung:
27.07.2016 Patentblatt 2016/30

(73) Patentinhaber: **Magnussen EMSR-Technik GmbH**
25541 Brunsbüttel (DE)

(72) Erfinder:
• **Magnussen, Jens-Christian**
25541 Brunsbüttel (DE)
• **Bülow, Jörg**
25704 Nindorf (DE)

(74) Vertreter: **Thomas, Götz**
Breitenburgerstrasse 31
25524 Itzehoe (DE)

(56) Entgegenhaltungen:
EP-A1- 2 610 693 EP-A1- 2 944 821
EP-A2- 0 150 068 JP-A- S54 122 401

EP 3 048 305 B1

Anmerkung: Innerhalb von neun Monaten nach Bekanntmachung des Hinweises auf die Erteilung des europäischen Patents im Europäischen Patentblatt kann jedermann nach Maßgabe der Ausführungsordnung beim Europäischen Patentamt gegen dieses Patent Einspruch einlegen. Der Einspruch gilt erst als eingelegt, wenn die Einspruchsgebühr entrichtet worden ist. (Art. 99(1) Europäisches Patentübereinkommen).

Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Reduzierung des Energieverbrauchs einer Förderpumpe gemäß dem Oberbegriff des Anspruchs 1 und eine Anlage zum Fördern von Wasser aus mindestens einem Brunnen in ein Leitungsnetz gemäß dem Oberbegriff des Anspruchs 10.

[0002] Verfahren und Anlagen der eingangs genannten Art werden vor allem in Wasserwerken eingesetzt, um aus Trinkwasserbrunnen Trinkwasser in ein Wasserleitungsnetz zu fördern, können jedoch auch in Industrieanlagen eingesetzt werden, die große Frischwassermengen benötigen.

[0003] Bei den Förderpumpen handelt es sich zumeist um elektrische Kreispumpen, die als Tauchpumpen innerhalb des Brunnens eingesetzt werden. Die Förderpumpen liegen entweder direkt am Netz oder sind mit einem Frequenzumrichter ausgestattet, mit dem die Antriebsdrehzahl der Förderpumpe entsprechend einer Soll-Durchflussmenge geregelt wird.

[0004] Während bei direkt am Netz liegenden Förderpumpen der Energieverbrauch überhaupt nicht beeinflussbar ist, stellt er bei Förderpumpen mit Frequenzumrichter zumeist nur einen zweitrangigen Faktor bei der Steuerung oder Regelung der Pumpen dar.

[0005] Da jedoch Förderpumpen zum Fördern von Wasser aus Brunnen einen großen Energiebedarf besitzen, bietet eine Reduzierung des Energieverbrauchs durch einen verbrauchsoptimierten Betrieb der Förderpumpen ein erhebliches Energieeinsparungspotenzial.

[0006] Die EP 2 610 693 A1 offenbart ein Verfahren zur Optimierung der Energieeffizienz einer Pumpanlage mit mindestens einer den Flüssigkeitsspiegel eines Speichers steuernden Pumpe. Das Verfahren umfasst zwei Stadien, ein Identifizierungs-Stadium und ein Energieoptimierungs-Stadium. Im ersten Stadium wird die Pumpe mit einer Reihe von Strömungsbedingungen betrieben, um Datenpunkte zu bestimmen, auf deren Basis dann Energieeffizienz-Optimierungseigenschaften ermittelt werden. Im nachfolgenden zweiten Stadium wird eine aktuelle geodätische Höhe bestimmt und auf der Grundlage derselben sowie der Optimierungseigenschaften ein Energieverbrauchsminimierungswert für die Pumpensteuerung gewählt.

[0007] Die EP 2 944 821 A1 offenbart ein Verfahren zur energieoptimierten Drehzahlregelung eines Pumpenaggregats. In Abhängigkeit von einer vorgegebenen Anlagenkennlinie wird durch Auswertung einer mathematischen Funktion, die einer Soll-Durchflussmenge den dafür benötigten volumenstromspezifischen Energieverbrauch des Pumpenaggregats zuordnet, diejenige Drehzahl berechnet, bei der dieser volumenstromspezifische Energieverbrauch minimal ist, und dann das Pumpenaggregat mit dieser Drehzahl betrieben.

[0008] Aus der JP S54 122401 A ist eine hocheffiziente Steuerung für Entwässerungspumpen bekannt, bei dem die aktuelle Förderhöhe berechnet und dieser entspre-

chende analoge Signale in einen funktionalen Operator gegeben werden, in dem eine Kennlinie eines maximalen Wirkungsgrades gespeichert ist. Der Operator berechnet dann unter Zugrundelegung der aktuellen Förderhöhe die Pumpendrehzahl für einen Betrieb mit maximalem Wirkungsgrad.

[0009] Die EP 0 150 068 A2 offenbart ein Verfahren und eine Vorrichtung zur Regelung von verschiedenen Betriebsparametern von Pumpen. Die Regelung erfolgt nach Kennlinien, für deren Beschreibung die Drehzahl und der Leistungsbedarf als elektrische Messgrößen verwendet werden.

[0010] Ausgehend hiervon liegt der Erfindung die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren und eine Anlage der eingangs genannten Art dahingehend zu verbessern, dass die Förderpumpe möglichst nahe bei oder in ihrem energetisch günstigsten Betriebspunkt arbeitet.

[0011] Diese Aufgabe wird bei dem erfindungsgemäßen Verfahren durch die Verfahrensschritte des Anspruchs 1 und bei der erfindungsgemäßen Anlage durch die Merkmale des Anspruchs 10 gelöst.

[0012] Die erfindungsgemäße Lösung gestattet es auch in komplexeren Brunnenanlagen, im Betrieb für jede Förderpumpe einzeln und unabhängig von den anderen Förderpumpen den zu einem gegebenen Zeitpunkt energetisch günstigsten Betriebspunkt zu ermitteln und diesen Betriebspunkt dann durch eine Veränderung der Antriebsdrehzahl der jeweiligen Förderpumpe einzustellen, um den Energieverbrauch jeder Förderpumpe separat zu minimieren.

[0013] Dazu ist es lediglich erforderlich, für jede Förderpumpe die Absenkung des Wasserspiegels im Brunnen sowie den Druck und die Förder- oder Durchflussmenge am Ausgang der Pumpe zu ermitteln, wobei die letztere zur Steuerung bzw. Regelung der Förderpumpe und zur Verifizierung der Berechnung benötigt wird.

[0014] Vorzugsweise handelt es sich bei der Förderpumpe um eine mit einem Frequenzumrichter ausgestattete elektrische Förderpumpe, deren Antriebsdrehzahl mittels des Frequenzumrichters gesteuert oder geregelt wird, indem die Frequenz des am Antriebsmotor der Förderpumpe anliegenden Wechselstroms und damit die Antriebsdrehzahl der Förderpumpe verändert oder eingestellt wird. Dabei wird die Soll-Durchflussmenge des energetisch günstigsten Betriebspunkts an die Steuer- oder Regeleinheit übertragen, welche die Soll-Durchflussmenge mit einer gemessenen Ist-Durchflussmenge vergleicht und aus der Differenz der beiden Durchflussmengen einen Stellwert für den Frequenzumrichter generiert. Daraufhin verändert der Frequenzumrichter die Frequenz des Wechselstroms so lange, bis die Ist-Durchflussmenge der Soll-Durchflussmenge entspricht.

[0015] Grundsätzlich lässt sich der Energieverbrauch der Förderpumpe mit jeder der beiden Durchflussmengen Q1 oder Q2 bereits beträchtlich reduzieren. Um eine maximale Reduzierung des Energieverbrauchs zu erzielen, werden jedoch erfindungsgemäß beide Durchflussmengen Q1 und Q2 ermittelt und miteinander verglichen,

um die jeweils optimale Soll-Durchflussmenge zu erhalten. Bei diesem Vergleich sind grundsätzlich drei Ergebnisse möglich:

1) Die Durchflussmenge Q1 im Betriebspunkt der Förderpumpe mit dem geringsten spezifischen Leistungs- oder Energiebedarf ist identisch mit der Durchflussmenge Q2 im berechneten Schnittpunkt der Pumpenwirkungsgradkennlinie mit hohem Wirkungsgrad und der dynamischen Anlagenkennlinie. In diesem Fall stellt diese identische Durchflussmenge die Soll-Durchflussmenge dar, an welche die Ist-Durchflussmenge der Förderpumpe durch Veränderung von deren Antriebsdrehzahl herangeführt wird.

2) Die Durchflussmenge Q1 im Betriebspunkt der Förderpumpe mit dem geringsten spezifischen Leistungs- oder Energiebedarf ist größer als die Durchflussmenge Q2 im berechneten Schnittpunkt der Pumpenwirkungsgradkennlinie mit hohem Wirkungsgrad und der dynamischen Anlagenkennlinie. In diesem Fall wird die Durchflussmenge im Betriebspunkt der Förderpumpe mit dem geringsten spezifischen Leistungs- oder Energiebedarf als Soll-Durchflussmenge gewählt, an welche die Ist-Durchflussmenge der Förderpumpe herangeführt wird, weil dann der spezifische Leistungs- oder Energiebedarf trotz der größeren Durchflussmenge Q1 geringer ist.

3) Die Durchflussmenge Q1 im Betriebspunkt der Förderpumpe mit dem geringsten spezifischen Leistungs- oder Energiebedarf ist kleiner als die Durchflussmenge Q2 im berechneten Schnittpunkt einer Pumpenwirkungsgradkennlinie mit hohem Wirkungsgrad und der dynamischen Anlagenkennlinie. In diesem Fall wird wie folgt vorgegangen: Solange die Durchflussmenge Q1 erreicht wird, wird die Ist-Durchflussmenge der Förderpumpe an diese Durchflussmenge Q1 als Soll-Durchflussmenge herangeführt. Wenn hingegen die Durchflussmenge Q1 von der Förderpumpe nicht mehr erreicht wird, dann wird die Ist-Durchflussmenge der Förderpumpe an die Durchflussmenge Q2 als Soll-Durchflussmenge herangeführt.

[0016] Bei dem Betriebspunkt mit dem geringsten spezifischen Leistungs- oder Energiebedarf handelt es sich um denjenigen Betriebspunkt der Förderpumpe, in dem eine Kennlinie des spezifischen Leistungs- oder Energiebedarfs der Förderpumpe, vorzugsweise einschließlich des Antriebsmotors, eines zur Regelung der Förderpumpe dienenden Frequenzumrichters und einer zur Stromzufuhr zum Antriebsmotor dienenden Stromleitung ein Minimum aufweist. Bei der Durchflussmenge, die bei dem Minimum des spezifischen Leistungs- oder Energiebedarfs von der Förderpumpe in die Leitung oder das Leitungsnetz gefördert wird, handelt es

sich um die Durchflussmenge Q1.

[0017] Zur Ermittlung des Betriebspunkts mit dem geringsten spezifischen Leistungs- oder Energiebedarf der Förderpumpe wird eine Kennlinie berechnet, die den jeweiligen spezifischen Leistungs- oder Energiebedarf der Förderpumpe in Abhängigkeit von der dynamischen Anlagenkennlinie angibt, die wiederum aus der geodätischen Höhe, der Absenkung des Wasserspiegels im Brunnen und Leitungsverlusten in der Leitung oder im Leitungsnetz berechnet wird. Das Minimum dieser berechneten Kennlinie stellt den Betriebspunkt mit dem geringsten spezifischen Leistungs- oder Energiebedarf dar.

[0018] Zweckmäßig werden die Kennlinie des spezifischen Leistungs- oder Energiebedarfs der Förderpumpe, die Pumpenwirkungsgradkennlinie und die dynamische Anlagenkennlinie in einem zur Kennzeichnung von Förderpumpen in Brunnenanlagen üblichen Diagramm oder Koordinatensystem dargestellt, in dem auf der Abszisse die Förder- oder Durchflussmenge der Förderpumpe und auf der Ordinate die Förderhöhe der Förderpumpe aufgetragen sind, wobei die erstere zweckmäßig in m^3/h und die letztere zweckmäßig in mWS (Meter Wassersäule) angegeben wird.

[0019] In diesem Diagramm oder Koordinatensystem gibt die Kennlinie des spezifischen Leistungs- oder Energiebedarfs den zur Förderung von einem m^3 Wasser aus dem Brunnen in die Leitung oder das Leitungsnetz erforderlichen fördermengenbezogenen Leistungs- oder Energiebedarf an, der zweckmäßig in kWh pro m^3 ausgedrückt wird. Bei dieser Kennlinie handelt es sich um eine Kurve, die mit zunehmender Durchflussmenge in der Art einer relativ steilen Parabel bis zu einem Minimum abfällt und dann in Form einer relativ flachen Parabel wieder ansteigt.

[0020] Die nachfolgend auch vereinfacht als Wirkungsgradkennlinie bezeichnete Pumpenwirkungsgradkennlinie ist eine "statische" Kennlinie, die einen bestimmten Wirkungsgrad der Förderpumpe in Abhängigkeit von der Durchflussmenge am Ausgang der Förderpumpe und deren Förderhöhe anzeigt. Die Pumpenwirkungsgradkennlinie ist eine mit zunehmender Förder- oder Durchflussmenge und zunehmender Förderhöhe ansteigende Kurve, deren Steigung mit zunehmender Förder- oder Durchflussmenge und zunehmender Förderhöhe größer wird. Bei der Pumpenwirkungsgradkennlinie handelt es sich bevorzugt um die Wirkungsgradkennlinie für den maximalen Wirkungsgrad der Förderpumpe, der bei Förderpumpen für Brunnenanlagen, wie Kreiselpumpen, gewöhnlich im Bereich von etwa 70 bis 80 Prozent liegt, so dass der energetisch günstigste Betriebspunkt eingestellt werden kann. Beiderseits von der bevorzugten Wirkungsgradkennlinie finden sich jeweils Paare von Wirkungsgradkennlinien, bei denen die Pumpe mit gleichem aber geringerem Wirkungsgrad arbeitet. Wenn eine Wirkungsgradkennlinie verwendet wird, die in einem Toleranzbereich von weniger als etwa 5 Prozent von der Wirkungsgradkennlinie für den maximalen Wirkungsgrad gelegen ist, ist zumeist auch noch

eine Energieeinsparung möglich, jedoch ist die Energieeinsparung dann nicht mehr optimal.

[0021] Die dynamische Anlagenkennlinie stellt den Widerstand der Leitung oder des Leitungsnetzes bei einer bestimmten Förder- oder Durchflussmenge am Ausgang der Förderpumpe dar. Die dynamische Anlagenkennlinie ist ebenfalls eine gekrümmte, mit zunehmender Förder- oder Durchflussmenge und zunehmender Förderhöhe ansteigende Kurve, ist jedoch flacher als die Pumpenwirkungsgradkennlinie und schneidet diese.

[0022] Das erfindungsgemäße Verfahren wird bevorzugt durch eine geeignete Software implementiert, auf die von der Steuer- oder Regeleinheit zugegriffen wird. Da Wirkungsgradkennlinien von Förderpumpen von den Herstellern der Förderpumpen zumeist in Form von gezeichneten Diagrammen bereitgestellt werden, die von der Software nicht direkt verarbeitet werden können, wird die gewünschte Pumpenwirkungsgradkennlinie aus der entsprechenden gezeichneten Pumpenwirkungsgradkennlinie des Herstellers in eine elektronische Form überführt, die sich mittels der Software auswerten bzw. verarbeiten lässt. Dazu werden gemäß einer bevorzugten Ausgestaltung der Erfindung aus der Pumpenwirkungsgradkennlinie des Herstellers, vorzugsweise aus der Pumpenwirkungsgradkennlinie für den maximalen Wirkungsgrad, Wertepaare extrahiert und mittels einer Polynomregression (polynomiale Regression) in eine für die Berechnung und Anzeige verwendbare elektronische Form umgewandelt. In entsprechender Weise werden auch andere nachfolgend beschriebene Kennlinien in eine mittels der Software auswertbare bzw. zu verarbeitende elektronische Form gebracht.

[0023] Gemäß einer vorteilhaften Ausgestaltung der Erfindung wird zur Berechnung der Kennlinie des spezifischen Leistungs- oder Energiebedarfs eine Gesamtwirkungsgradkennlinie berechnet, die den Gesamtwirkungsgrad der Förderpumpe einschließlich des Antriebsmotors, des Frequenzumrichters und der Stromleitung in Abhängigkeit von der aktuellen Anlagenkennlinie anzeigt oder wiedergibt.

[0024] Aus dieser Gesamtwirkungsgradkennlinie wird für jede Durchflussmenge bzw. für eine Mehrzahl von inkrementalen Durchflussmengenstützpunkten die jeweilige Gesamtleistung berechnet. Zur Berechnung der Kennlinie des spezifischen Leistungs- oder Energiebedarfs braucht die jeweilige Gesamtleistung nur noch durch die jeweils zugehörige Durchflussmenge dividiert werden, um die Kennlinie bzw. eine Mehrzahl von inkrementalen Stützpunkten der Kennlinie zu erhalten.

[0025] Die Berechnung der Gesamtwirkungsgradkennlinie erfolgt bevorzugt im mehreren Schritten, wobei in einem ersten Schritt aus einer in der Regel vom Hersteller der Förderpumpe zur Verfügung gestellten Pumpenkennlinie für die maximale Frequenz oder Drehzahl Pumpenkennlinien für eine Reihe von anderen Frequenzen oder Drehzahlen abgeleitet werden. Bevorzugt werden dabei Pumpenkennlinien der Förderpumpe für etwa fünf bis zehn verschiedene Frequenzen ermittelt. Diese

Frequenzen umfassen zweckmäßig die maximale Frequenz, die vom Frequenzumrichter am Antriebsmotor angelegt wird, sowie eine Reihe von weiteren Frequenzen in vorbestimmten Frequenzabständen zwischen der maximalen Frequenz und der niedrigsten, vom Frequenzumrichter einstellbaren Frequenz, bei der die Förderpumpe noch arbeiten darf. Bei einer Förderpumpe, die für eine maximale Frequenz von 100 Hz ausgelegt ist, beträgt die maximale Frequenz 100 Hz, während die niedrigste Frequenz etwa 65 Hz beträgt.

[0026] In einem zweiten Schritt werden dann die Schnittpunkte der aktuellen Anlagenkennlinie mit den im ersten Schritt berechneten Pumpenkennlinien berechnet und für jeden dieser Schnittpunkte die zugehörige Durchflussmenge ermittelt.

[0027] In einem dritten Schritt werden aus einer in der Regel vom Hersteller der Förderpumpe zur Verfügung gestellten Pumpenwirkungsgradkennlinie für die maximale Frequenz oder Drehzahl Pumpenwirkungsgradkennlinien für eine Reihe von anderen Frequenzen oder Drehzahlen abgeleitet, wie zuvor für die Pumpenkennlinie beschrieben.

[0028] In einem vierten Schritt wird aus jeder der im zweiten Schritt ermittelten Durchflussmengen und aus der zugehörigen im dritten Schritt ermittelten Pumpenwirkungsgradkennlinie der Pumpenwirkungsgrad η bei der jeweiligen Frequenz ermittelt.

[0029] In einem fünften Schritt wird aus den erhaltenen Wertepaaren von Durchflussmenge und Pumpenwirkungsgrad η eine Pumpenwirkungsgradkennlinie zu der aktuellen Anlagenkennlinie berechnet. Diese Berechnung erfolgt vorzugsweise durch Polynomregression (polynomiale Regression).

[0030] Aus der Pumpenwirkungsgradkennlinie wird dann in einem sechsten Schritt eine aktuelle, ebenfalls von der Anlagenkennlinie abhängige Gesamtwirkungsgradkennlinie berechnet, in die neben der Pumpenwirkungsgradkennlinie vorzugsweise auch Wirkungsgradkennlinien des elektrischen Antriebsmotors, des Frequenzumrichters und ggf. der Stromleitung eingehen. Die Berechnung der Gesamtwirkungsgradkennlinie erfolgt durch Multiplikation der Pumpenwirkungsgradkennlinie mit den anderen zu berücksichtigenden Wirkungsgradkennlinien.

[0031] Die Wirkungsgradkennlinien des elektrischen Antriebsmotors der Förderpumpe, des Frequenzumrichters und der zur Stromzufuhr zum Antriebsmotor dienenden Stromleitung sind in der Regel von den Herstellern dieser Komponenten erhältlich, so dass sie nicht berechnet werden brauchen.

[0032] Die aus der Anlagenkennlinie abgeleiteten bzw. von der Anlagenkennlinie abhängigen Kennlinien, wie zum Beispiel die Gesamtwirkungsgradkennlinie und die Kennlinie des spezifischen Leistungs- oder Energiebedarfs werden wie die Anlagenkennlinie ständig neu berechnet, vorzugsweise in kurzen Zeitabständen und/oder immer dann, wenn sich die Anlagenkennlinie verändert. Dies ist zum Beispiel dann der Fall, wenn sich die Ab-

senkung des Wasserspiegels im Brunnen oder Leitungsverluste in der Leitung oder im Leitungsnetz verändern.

[0033] Die Ermittlung der dynamischen Anlagenkennlinie aus der geodätischen Höhe, der Absenkung des Wasserspiegels im Brunnen und den Rohrleitungsverlusten im Leitungsnetz erfolgt vorzugsweise, indem die Kennlinien dieser Größen in dem oben genannten Diagramm oder Koordinatensystem durch die verwendete Software elektronisch addiert werden.

[0034] Bei der Anlagenkennlinie handelt es sich um eine "dynamische" Kennlinie, in deren Berechnung die konstante geodätische Höhe sowie eine "dynamische" Kennlinie der Absenkung des Wasserspiegels im Brunnen und eine "dynamische" Kennlinie der Leitungsverluste im Leitungsnetz einfließen. Aus der Anlagenkennlinie lässt sich entnehmen, welchen Widerstand das Leitungsnetz der Pumpe bei einer bestimmten Förder- oder Durchflussmenge entgegengesetzt, wodurch wiederum berechnet werden kann, welcher Druck notwendig ist, um die bestimmte Förder- oder Durchflussmenge durch das Leitungsnetz zu fördern. Aus der aktuellen Anlagenkennlinie lässt sich entnehmen, welchen Widerstand das Leitungsnetz der Pumpe bei der aktuellen Förder- oder Durchflussmenge entgegengesetzt.

[0035] Bei der geodätischen Höhe handelt es sich um die Höhendifferenz zwischen dem höchstgelegenen Punkt des Leitungsnetzes, in das die Förderpumpe fördert, und dem Ruhewasserspiegel in dem Brunnen, aus dem die Förderpumpe fördert. Der Ruhewasserspiegel ist der Wasserspiegel, der sich in dem Brunnen einstellt, wenn kein Wasser aus dem Brunnen gefördert wird. Die geodätische Höhe ist ein konstanter Wert, der von der Förder- oder Durchflussmenge unabhängig ist. In dem oben genannten Diagramm oder Koordinatensystem ist die nachfolgend auch vereinfacht als geodätische Kennlinie bezeichnete Kennlinie der geodätischen Höhe daher eine parallel zur Abszisse verlaufende Gerade.

[0036] Die nachfolgend auch vereinfacht als Absenkungskennlinie bezeichnete Kennlinie der Absenkung des Wasserspiegels im Brunnen ist eine "dynamische" Kennlinie, die für jeden Brunnen im Normal- oder Regelbetrieb der Förderpumpe durch schrittweise oder bevorzugt kontinuierliche Messungen ermittelt wird. Dabei wird der Ist-Wasserstand im Brunnen zum Beispiel mittels eines Druckmessers am Boden des Brunnens oder in Höhe der Tauchpumpe ermittelt und vom Ruhewasserstand subtrahiert. Die "dynamische" Kennlinie zeigt den Verlauf der Absenkung des Wasserspiegels in Abhängigkeit von der Förder- oder Durchflussmenge und der Förderhöhe der Förderpumpe an. In dem oben genannten Diagramm oder Koordinatensystem ist die Absenkung des Wasserspiegels im Brunnen eine von der Förder- oder Durchflussmenge abhängige Kennlinie, die in der Regel mit der Förder- oder Durchflussmenge linear ansteigt.

[0037] Die Leitungsverluste des Leitungsnetzes werden für jede Förderpumpe aus dem am Ausgang der Pumpe herrschenden Druck abgeleitet, der während des Normal- oder Regelbetriebs der Pumpe schrittweise oder

bevorzugt kontinuierlich ermittelt wird. Bei der nachfolgend auch vereinfacht als Leitungskennlinie bezeichneten Kennlinie der Leitungsverluste handelt es sich um eine "dynamische" Kennlinie, die in dem oben genannten Diagramm oder Koordinatensystem eine gekrümmte Kurve ist, die mit zunehmender Förder- oder Durchflussmenge und mit zunehmender Förderhöhe ansteigt, wobei die Steigung zunimmt.

[0038] Bei Brunnenanlagen mit einer einzigen Förderpumpe steigen die Leitungsverluste des Leitungsnetzes gewöhnlich im Quadrat der Förder- oder Durchflussmenge an. Um die Ermittlung der Leitungsverluste aus dem Druck am Ausgang der Förderpumpe zu erleichtern, wird bevorzugt der Druck in der Leitung vor der ersten Verzweigung des Leitungsnetzes hinter der Förderpumpe gemessen. Das Höhenniveau, in dem der Druck im Leitungsnetz gemessen wird, fließt in die Berechnung ein, wenn der Druck nicht unmittelbar am Ausgang der Förderpumpe gemessen wird, sondern zum Beispiel am Brunnenkopf, der bei Tauchpumpen auf einem höheren Niveau als der Ausgang der Pumpe gelegen ist. Die Messung des Drucks am Brunnenkopf wird bevorzugt, weil sich die Leitung dort noch nicht verzweigt hat und weil die Messung des Drucks dort einfacher als innerhalb des Brunnens am Ausgang der Förderpumpe ist.

[0039] Während bei bisherigen Verfahren zum Betrieb von Brunnenanlagen mit Förderpumpen der Absenkung des Wasserspiegels im Brunnen "statisch" durch Pumpversuche ermittelt wird und die Leitungsverluste aus Tabellen oder Diagrammen entnommen werden, werden die Kennlinien der Absenkung des Wasserspiegels und der Leitungsverluste des Leitungsnetzes bei dem erfindungsgemäßen Verfahren "dynamisch" durch Messung von Größen ermittelt, aus denen sich die momentane Absenkung des Wasserspiegels und die momentanen Leitungsverluste des Leitungsnetzes für jede Förderpumpe getrennt ableiten lassen.

[0040] Anders als die bekannte statische Ermittlung der Absenkung des Wasserspiegels im Brunnen durch Pumpversuche gestattet es die erfindungsgemäße dynamische Ermittlung der Absenkung darüber hinaus auch noch, eine Verstopfung des Brunnens zu erkennen. Eine solche Verstopfung, bei der nicht ausreichend Wasser in den Brunnen nachströmen kann, macht sich in der Regel dadurch bemerkbar, dass sich im Betrieb der Förderpumpe nicht nach einiger Zeit ein konstanter Förderwasserspiegel einstellt, bei dem sich die Förder- oder Durchflussmenge der Förderpumpe und der Zufluss in den Brunnen die Waage halten, sondern dass der Förderwasserspiegel immer weiter absinkt.

[0041] Wie bereits angegeben, werden für jede Förderpumpe neben der Absenkung des Wasserspiegels im zugehörigen Brunnen noch der Druck und die Förder- oder Durchflussmenge am Ausgang der Pumpe ermittelt. Wie der Druck braucht jedoch auch die Förder- oder Durchflussmenge nicht direkt am Ausgang der Förderpumpe gemessen werden. Stattdessen kann die Messung an einer beliebigen Stelle vor der ersten Verzwei-

gung der Leitung erfolgen und erfolgt bevorzugt am Brunnenkopf. Die Messung der Förder- oder Durchflussmenge wird vorzugsweise mittels eines induktiven Messgeräts vorgenommen und erfolgt gemäß einer weiteren vorteilhaften Ausgestaltung der Erfindung wie die Messung der Absenkung des Wasserspiegels und des Drucks schrittweise oder bevorzugt kontinuierlich.

[0042] Eine weitere bevorzugte Ausgestaltung der Erfindung sieht vor, dass auf einem Bildschirm die Kennlinie des spezifischen Leistungs- oder Energiebedarfs der Förderpumpe, die Pumpenwirkungsgradkennlinie, die momentane Anlagenkennlinie und eine Pumpenkennlinie für die momentane Antriebsdrehzahl der Förderpumpe sowie angezeigt werden.

[0043] Bei der Pumpenkennlinie handelt es sich um eine "dynamische" Kennlinie, die für eine bestimmte Antriebsdrehzahl oder Frequenz der Förderpumpe in dem oben genannten Diagramm oder Koordinatensystem deren Betriebspunkte in Form einer Förder- oder Durchflussmenge der Förderpumpe in Abhängigkeit von der Förderhöhe zeigt. Die Pumpenkennlinien sind in dem oben genannten Diagramm oder Koordinatensystem gekrümmte, mit zunehmender Förder- oder Durchflussmenge und zunehmender Förderhöhe abfallende Kurven, deren Steigung zumeist mit zunehmender Förder- oder Durchflussmenge und zunehmender Förderhöhe größer wird. Die Pumpenkennlinien werden wie die Pumpenwirkungsgradkennlinie aus gezeichneten Diagrammen der Hersteller durch Extraktion von Wertepaaren und Polynomregression in elektronische Form umgewandelt, so dass sie sich mittels der Software auf dem Bildschirm darstellen lassen. Die Darstellung erfolgt für die jeweilige Antriebsdrehzahl der Förderpumpe, so dass die zugehörige Frequenz benötigt wird.

[0044] Zusammen mit den genannten Kennlinien werden auf dem Bildschirm zweckmäßig auch das Minimum der Kennlinie des spezifischen Leistungs- oder Energiebedarfs sowie der Schnittpunkt der Pumpenkennlinie mit der momentanen Anlagenkennlinie und der Schnittpunkt der Pumpenwirkungsgradkennlinie mit der momentanen Anlagenkennlinie angezeigt.

[0045] Damit kann vom Bedienungspersonal am Minimum der Kennlinie des spezifischen Leistungs- oder Energiebedarfs die Durchflussmenge Q1 abgelesen werden, bei welcher der spezifische Leistungs- oder Energiebedarf der Förderpumpe am geringsten ist. Am Schnittpunkt der Pumpenwirkungsgradkennlinie mit der Anlagenkennlinie kann weiter die Durchflussmenge Q2 abgelesen werden. Durch die Anzeige des Schnittpunkts der Pumpenkennlinie mit der Anlagenkennlinie, der den berechneten momentanen Ist-Betriebspunkt der Förderpumpe darstellt, ist zudem ersichtlich, ob dieser Ist-Betriebspunkt mit dem erfindungsgemäß ermittelten Soll-Betriebspunkt übereinstimmt oder sich im Falle einer Abweichung an diesen annähert, was eine Kontrolle erleichtert.

[0046] Außerdem kann das Bedienungspersonal am Bildschirm unmittelbar vergleichen, ob die Durchfluss-

menge am Minimum der Kennlinie des spezifischen Leistungs- oder Energiebedarfs oder diejenige am Schnittpunkt der Pumpenwirkungsgradkennlinie mit der Anlagenkennlinie größer oder kleiner ist, um danach eine der zuvor unter 2) bzw. 3) genannten Alternativen zu wählen.

[0047] Der aus dem Schnittpunkt der Pumpenkennlinie mit der Anlagenkennlinie berechnete Ist-Betriebspunkt, der aus dem Schnittpunkt der Pumpenwirkungsgradkennlinie mit der Anlagenkennlinie berechnete Soll-Betriebspunkt und der Betriebspunkt mit dem geringsten spezifischen Leistungs- oder Energiebedarf der Förderpumpe werden jeweils in Form einer Förder- oder Durchflussmenge ausgegeben, wobei der erstere die Ist-Förder- oder Durchflussmenge und die letzteren energetisch günstigere Soll-Förder- oder Durchflussmengen darstellen. Eine dieser Soll-Förder- oder Durchflussmengen wird der Steuer- oder Regeleinheit zugeführt, wie zuvor bereits beschrieben, die daraus einen Stellwert für den Frequenzumrichter erzeugt.

[0048] Im Betrieb einer Brunnenanlage mit einer oder mehreren Brunnen, aus denen jeweils eine Förderpumpe fördert, verändert sich in der Regel die Anlagenkennlinie jeder Förderpumpe dauernd, zum Beispiel wenn der Wasserspiegel im zugehörigen Brunnen absinkt oder sich die Leitungsverluste im Leitungsnetz verändern oder bei Brunnenanlagen mit mehreren Brunnen eine oder mehrere Förderpumpen zu- oder abgeschaltet werden. Die Veränderung der Anlagenkennlinie bewirkt eine Verschiebung der Anlagenkennlinie in dem oben genannten Diagramm oder Koordinatensystem. Dadurch ergeben sich auch eine andere Kennlinie des spezifischen Leistungs- oder Energiebedarfs sowie neue Schnittpunkte der Anlagenkennlinie mit der Pumpenwirkungsgradkennlinie. Die Steuer- oder Regeleinheit ermittelt dann erfindungsgemäß das neue Minimum der Kennlinie des spezifischen Leistungs- oder Energiebedarfs sowie die neuen Schnittpunkte und stellt diese auf dem Bildschirm dar. Zugleich ermittelt sie die zugehörige Soll-Förder- oder Durchflussmenge und vergleicht sie mit der gemessenen Ist-Förder- oder Durchflussmenge, um den Sollwert für den Frequenzumrichter zu erzeugen. Dieser ändert daraufhin die Frequenz und die Antriebsdrehzahl der Förderpumpe, wodurch sich die Pumpenkennlinie und damit der momentane Betriebspunkt der Förderpumpe in dem oben genannten Diagramm oder Koordinatensystem so weit verschiebt, bis die Ist-Förder- oder Durchflussmenge der Soll-Förder- oder Durchflussmenge entspricht. Dies ist dann der Fall, wenn entweder die Ist-Förder- oder Durchflussmenge der Durchflussmenge am Minimum der Kennlinie des spezifischen Leistungs- oder Energiebedarfs entspricht oder wenn der Schnittpunkt der Pumpenkennlinie und der Anlagenkennlinie mit dem Schnittpunkt der Pumpenwirkungsgradkennlinie und der Anlagenkennlinie zusammenfällt.

[0049] Somit wirkt entweder das Minimum der Kennlinie des spezifischen Leistungs- oder Energiebedarfs oder der Schnittpunkt der Pumpenwirkungsgradkennlinie mit hohem Wirkungsgrad und der Anlagenkennlinie

als Führungsgröße bei der Steuerung oder Regelung der Förderpumpe, wobei das energetische Einsparpotenzial darin liegt, dass der jeweilige als Ist-Durchflussmenge ausgedrückte momentane Betriebspunkt der Förderpumpe diesem Minimum oder Schnittpunkt nachgeführt wird.

[0050] Im Folgenden wird die Erfindung anhand von zwei in der Zeichnung dargestellten Ausführungsbeispielen näher erläutert.

Fig. 1 zeigt eine schematische Darstellung einer erfindungsgemäßen Brunnenanlage mit einem Brunnen und einer Förderpumpe;

Fig. 2 zeigt eine schematische Darstellung einer erfindungsgemäßen Brunnenanlage mit mehreren Brunnen und mehreren Förderpumpen;

Fig. 3 zeigt ein Diagramm der aus einer geodätischen Kennlinie, einer Absenkungskennlinie und einer Leitungskennlinie zusammengesetzten Anlagenkennlinie der Brunnenanlage aus Fig. 1 in Abhängigkeit von der Förder- oder Durchflussmenge und der Förderhöhe der Förderpumpe;

Fig. 4 zeigt ein entsprechendes Diagramm der Anlagenkennlinie aus Fig. 3 sowie einer Pumpenwirkungsgradkennlinie und zwei Pumpenkennlinien der Förderpumpe der Brunnenanlage aus Fig. 1;

Fig. 5 zeigt ein entsprechendes Diagramm der Anlagenkennlinie, der Pumpenwirkungsgradkennlinie und zwei Pumpenkennlinien der Förderpumpe, von denen eine mittels des erfindungsgemäßen Verfahrens so verschoben worden ist, dass sie durch den Schnittpunkt der Pumpenwirkungsgradkennlinie und der Anlagenkennlinie verläuft;

Fig. 6 zeigt ein Diagramm entsprechend Fig. 4, das auf einem Bildschirm eines Rechners einer Leitwarte der Brunnenanlage dargestellt wird;

Fig. 7 zeigt ein Diagramm entsprechend Fig. 4 und Fig. 6, das jedoch zusätzlich eine Kennlinie des spezifischen Leistungs- oder Energiebedarfs der Förderpumpe sowie die Förder- oder Durchflussmenge im Minimum dieser Kennlinie und die Förder- oder Durchflussmenge am Schnittpunkt der Pumpenwirkungsgradkennlinie und der Anlagenkennlinie anzeigt;

Fig. 8 zeigt ein Diagramm mit Pumpenkennlinien bei verschiedenen Frequenzen sowie der Anlagenkennlinie zur Berechnung von Wirkungsgradkennlinien der Förderpumpe;

Fig. 9 zeigt ein Diagramm mit den berechneten Wirkungsgradkennlinien der Förderpumpe bei ver-

schiedenen Frequenzen, den Wirkungsgradkennlinien eines Antriebsmotors und eines Frequenzumrichters der Förderpumpe, der Wirkungsgradkennlinie einer Stromleitung zum Antriebsmotor, sowie einer Gesamtwirkungsgradkennlinie, die zur Berechnung der Kennlinie des spezifischen Leistungs- oder Energiebedarfs dient und auf dem Bildschirm dargestellt werden kann.

[0051] Die in Fig. 1 dargestellte Brunnenanlage 10 besteht im Wesentlichen aus einem einzigen Trinkwasserbrunnen 12 und einer im Brunnen 12 installierten Förderpumpe 14, die Trinkwasser aus dem Brunnen 12 durch eine Leitung 18 in einen Vorratsbehälter 16 pumpt.

[0052] Bei der Pumpe 14 handelt es sich um eine Tauchpumpe, die innerhalb des Brunnens 12 im Wasser untergetaucht und zum Beispiel als Kreiselpumpe mit einem elektrischen Antriebsmotor 15 ausgebildet ist. Der Vorratsbehälter 16 kann beispielsweise ein Hochreservoir oder eine Verdüsung sein.

[0053] Die Brunnenanlage 10 umfasst weiter Mittel 20 zum kontinuierlichen Ermitteln der Absenkung des Wasserspiegels im Brunnen 12, ein am Brunnenkopf 22 angeordnetes Druckmessgerät 24 zur kontinuierlichen Messung des Wasserdrucks in der Leitung 18 hinter der Pumpe 14 und ein ebenfalls am Brunnenkopf 22 angeordnetes Durchflussmengen-Messgerät 26 zur kontinuierlichen Messung der Förder- oder Durchflussmenge der Pumpe 14.

[0054] Die Mittel 20 umfassen ein Druckmessgerät 28, das etwa in Höhe der Pumpe 14 im Brunnen 12 angeordnet ist und kontinuierlich den hydrostatischen Druck der Wassersäule oberhalb des Druckmessgeräts 28 erfasst. Wie in Fig. 1 durch eine schraffierte Fläche dargestellt, schwankt die Höhe der Wassersäule im Brunnen zwischen einem Ruhewasserspiegel H_0 , der sich einstellt, wenn die Pumpe 14 längere Zeit kein Wasser aus dem Brunnen 12 fördert, und einem Betriebswasserspiegel H_1 , der sich im Betrieb der Förderpumpe 14 einstellt, wenn sich die von der Pumpe 14 geförderte Wassermenge und der Wasserzustrom aus der Umgebung in den Brunnen 12 die Waage halten. Aus dem hydrostatischen Druck der Wassersäule im Brunnen lässt sich die jeweilige Absenkung des Wasserspiegels H_{Abs} (Fig. 1) ermitteln, die der Höhendifferenz ΔH zwischen dem Ruhewasserspiegel H_0 und dem momentanen Ist-Wasserspiegel H_{Ist} entspricht und in der Regel zwischen den beiden Werten H_0 und H_1 liegt.

[0055] Darüber hinaus umfasst die Brunnenanlage 10 eine Steuer- und Regeleinheit 30 zum Steuern und Regeln der Antriebsdrehzahl der Förderpumpe 14. Die Steuer- und Regeleinheit 30 ist durch Signalleitungen 32 mit den Messgeräten 24, 26 und den Mitteln 20 verbunden. Außerdem kommuniziert die Steuer- und Regeleinheit 30 einerseits mit einem Rechner 34 einer Leitwarte 36 der Brunnenanlage 10 und andererseits mit einem Frequenzumrichter 38, der durch eine Stromleitung 40 mit dem Antriebsmotor 15 der Förderpumpe 14 ver-

bunden ist. Der Rechner 34 umfasst einen Bildschirm 42, auf dem Kennlinien der Brunnenanlage 10 und der Förderpumpe 14 sowie das Ergebnis der Steuerung und Regelung der Antriebsdrehzahl zur visuellen Überprüfung dargestellt werden können. Mittels des Frequenzumrichters 38 kann die Frequenz der am Antriebsmotor 15 der Pumpe 14 anliegenden Wechselspannung verändert und damit die Antriebsdrehzahl der Pumpe 14 stufenlos von der vom Hersteller vorgegebenen Mindest- drehzahl bis zur Nenndrehzahl verändert werden, ohne dass das Antriebsdrehmoment absinkt.

[0056] Das am Brunnenkopf 22 angeordnete Druckmessgerät 24 misst den Wasserdruck in der Leitung 18 in Höhe des Brunnenkopfs 22. Der gemessene Wasserdruck in der Leitung 18 wird über die Steuer- und Regelungseinheit 30 zum Rechner 34 übertragen, wo der gemessene Druck und der hydrostatische Druck der Wassersäule zwischen dem Ausgang der Förderpumpe 14 und der Messstelle am Brunnenkopf 22 addiert werden, um den Druck am Ausgang der Förderpumpe 14 zu berechnen. Die Leitungsverluste in der Leitung 18 stehen in einer definierten Beziehung zum Druck am Ausgang der Förderpumpe 14 und können vom Rechner 34 aus dem vom Druckmessgerät 24 gemessenen Druck berechnet werden.

[0057] Bei dem Durchflussmengen-Messgerät 26 handelt es sich um ein induktives Messgerät, von dem aus die gemessene Förder- oder Durchflussmenge in der Leitung zur Steuer- und Regelungseinheit 30 und zum Rechner 34 übertragen wird. Da sich die Leitung 18 vor dem Brunnenkopf 22 nicht verzweigt, entspricht die gemessene Förder- oder Durchflussmenge der Förder- oder Durchflussmenge am Ausgang der Pumpe 14.

[0058] Der vom Druckmessgerät 28 gemessene Druck der Wassersäule wird zur Steuer- und Regelungseinheit und von dort zum Rechner übertragen, der aus dem gemessenen Druck die Absenkung des Wasserspiegels H_{Abs} berechnet.

[0059] Für die Steuerung bzw. Regelung der Förderpumpe 14 wird weiter die geodätische Höhe H_{geod} benötigt, d.h. die Höhendifferenz zwischen dem Ruhewasserspiegel H_0 und dem höchsten Punkt der Steigleitung, wie in Fig. 1 dargestellt.

[0060] Der Rechner 34 erzeugt aus der geodätischen Höhe H_{geod} , der momentanen Absenkung des Wasserspiegels H_{Abs} und dem momentanen Druck am Ausgang der Förderpumpe 14 jeweils eine Kennlinie dieser Größen. Zum besseren Verständnis sind diese Kennlinien in Fig. 3 in einem Diagramm oder Koordinatensystem dargestellt, in dem die Abszisse die Förder- oder Durchflussmenge der Förderpumpe in m^3/h und die Ordinate die Förderhöhe der Förderpumpe 14 in mWS angibt.

[0061] Da es sich bei der geodätischen Höhe H_{geod} um eine Konstante handelt, ist die Kennlinie eine zur Abszisse parallele Gerade, die in Fig. 3 durch eine punktierte Linie A dargestellt ist. Bei der Kennlinie der Absenkung des Wasserspiegels handelt es sich ebenfalls um eine Gerade, die aber proportional zur Förder- oder

Durchflussmenge der Förderpumpe 14 ansteigt, wie in Fig. 3 durch eine unterbrochene Linie B dargestellt. Die Kennlinie der Leitungsverluste ist eine gekrümmte Kurve, die aufgrund des steigenden Leitungswiderstands entsprechend dem Quadrat der Förder- oder Durchflussmenge ansteigt, wie in Fig. 3 durch eine strichpunktierte Linie C dargestellt.

[0062] Aus diesen drei Kennlinien A, B und C wird vom Rechner 34 als Summe der drei Kennlinien A, B und C eine Anlagenkennlinie berechnet, die in Fig. 3 durch eine durchgezogene Linie D dargestellt ist. Die Anlagenkennlinie D ist eine dynamische Kennlinie, die sich bei jeder Veränderung des Drucks am Ausgang der Pumpe 14 und jeder Veränderung der Absenkung des Wasserspiegels im Diagramm verschiebt.

[0063] Im Rechner 34 sind für dasselbe Diagramm oder Koordinatensystem eine Pumpenwirkungsgradkennlinie mit maximalem Wirkungsgrad und eine Pumpenkennlinie gespeichert, von denen die erstere eine parabolisch ansteigende Kurve ist, wie in Fig. 4 durch eine unterbrochene Linie E dargestellt, und die letztere eine abfallende gekrümmte Kurve ist, wie in Fig. 4 durch eine punktierte Linie F dargestellt. Neben diesen beiden Kurven E und F zeigt Fig. 4 auch die Anlagenkennlinie D.

[0064] Die Pumpenwirkungsgradkennlinie E ist eine statische Kennlinie, die den maximalen Wirkungsgrad der Pumpe 14 in Abhängigkeit von der Förder- oder Durchflussmenge und von der Förderhöhe angibt. Bei einer als Kreiselpumpe ausgebildeten Förderpumpe 14 beträgt der maximale Wirkungsgrad zum Beispiel etwa 72 bis 78 %. Die Pumpenkennlinie F ist eine dynamische Kennlinie, die für eine bestimmte Frequenz oder Antriebsdrehzahl der Förderpumpe 14 deren Betriebspunkte in Form einer Förder- oder Durchflussmenge in Abhängigkeit von der Förderhöhe zeigt.

[0065] Da sowohl Pumpenwirkungsgradkennlinien und Pumpenkennlinien in der Regel nicht in einer Form vorliegen, die eine Verarbeitung der Kennlinien durch Software zulässt, sondern vom jeweiligen Pumpenhersteller in Form von gezeichneten Diagrammen geliefert werden, ist es erforderlich, diese Kennlinien in eine zur elektronischen Verarbeitung geeignete Form umzuwandeln. Wie in Fig. 4 für eine Hersteller-Pumpenkennlinie G für die maximale Frequenz oder Antriebsdrehzahl schematisch dargestellt ist, erfolgt dies dadurch, dass aus der gezeichneten Kennlinie eine Reihe von Wertepaaren X extrahiert und anschließend durch Polynomregression eine Kurve erzeugt wird, die von der im Rechner 34 implementierten Software verarbeitet und auf Bildschirm 42 dargestellt werden kann und in Fig. 4 als strichpunktierte Linie G dargestellt ist. Bei der genannten Polynomregression handelt es sich um ein bekanntes Verfahren, das daher hier nicht näher beschrieben werden braucht.

[0066] Um die Förderpumpe 14 stets in einem energetisch günstigsten Betriebspunkt zu betreiben, werden vom Rechner kontinuierlich die Schnittpunkte S1 und S2 der momentanen Anlagenkennlinie D mit der Pumpen-

kennlinie F für die momentane Antriebsdrehzahl oder Frequenz sowie mit der Pumpenwirkungsgradkennlinie E für den maximalen Wirkungsgrad berechnet. Der Schnittpunkt S1 in Fig. 4 und 5 stellt den momentanen Betriebspunkt der Pumpe 14 dar, während der Schnittpunkt S2 in Fig. 4 und 5 einen energetisch günstigeren Betriebspunkt darstellt.

[0067] Darüber hinaus berechnet der Rechner 34 kontinuierlich eine Kennlinie, die den jeweiligen spezifischen Leistungs- oder Energiebedarf der Förderpumpe 14 einschließlich ihres Antriebsmotors 15, ihres Frequenzumrichters 38 und ihrer Stromleitung 40 in Abhängigkeit von der Förder- oder Durchflussmenge am Ausgang der Förderpumpe 14 und von der Förderhöhe angibt. Das Minimum dieser Kennlinie stellt den Betriebspunkt mit dem geringsten spezifischen Leistungs- oder Energiebedarf dar. Diese Kennlinie ist in Fig. 7 durch die Kurve J dargestellt.

[0068] Die Kennlinie J wird vom Rechner 34 in mehreren Schritten berechnet:

Im ersten Schritt wird aus einer gezeichneten Hersteller-Pumpenkennlinie für eine maximale Pumpenfrequenz von 100 Hz eine Reihe von Wertepaaren X extrahiert und anschließend durch Polynomregression eine Kurve G100 erzeugt, die von der im Rechner 34 implementierten Software verarbeitet und auf Bildschirm 42 dargestellt werden kann. Aus dieser Kurve G100 in Fig. 8 werden dann weitere Pumpenkennlinien G95, G90, G85, G80, G75, G70 und G65 für niedrigere Frequenzen von 95 Hz, 90 Hz, 85 Hz, 80 Hz, 75 Hz, 70 Hz und 65 Hz abgeleitet, wie in Fig. 8 dargestellt. Die genannten Frequenzen sind nur Beispiele. Es können auch andere Frequenzen verwendet werden.

[0069] Im zweiten Schritt werden dann die Schnittpunkte S100, S95, S90, S85, S80, S75, S70 und S65 der aktuellen Anlagenkennlinie D mit den Pumpenkennlinien G100, G95, G90, G85, G80, G75, G70 und G65 berechnet und für jeden dieser Schnittpunkte S100, S95, S90, S85, S80, S75, S70 und S65 die zugehörige Durchflussmenge Q100, Q95, Q90, Q85, Q80, Q75, Q70 und Q65 ermittelt, die auf der Abszisse unterhalb des jeweiligen Schnittpunkts S100, S95, S90, S85, S80, S75, S70 und S65 abgelesen werden kann.

[0070] Im dritten Schritt wird aus einer gezeichneten Hersteller-Pumpenwirkungsgradkennlinie für die maximale Pumpenfrequenz von 100 Hz eine Reihe von Wertepaaren X extrahiert und anschließend durch Polynomregression eine Kurve K100 erzeugt, die von der im Rechner 34 implementierten Software verarbeitet und auf dem Bildschirm 42 in einem Diagramm dargestellt werden kann, wobei die Abszisse die Durchflussmenge und die Ordinate den Wirkungsgrad in % angibt. Wie in Fig. 9 dargestellt, werden aus dieser Kurve K100 dann weitere Pumpenwirkungsgradkennlinien K95, K90, K85, K80, K75, K70 und K65 für die Frequenzen von 95 Hz, 90 Hz, 85 Hz, 80 Hz, 75 Hz, 70 Hz und 65 Hz abgeleitet.

[0071] Im vierten Schritt wird aus jeder der Durchflussmengen Q100, Q95, Q90, Q85, Q80, Q75, Q70 und Q65

und der zugehörigen Pumpenwirkungsgradkennlinie K100, K95, K90, K85, K80, K75, K70 und K65 der Pumpenwirkungsgrad η_{100} , η_{95} , η_{90} , η_{85} , η_{80} , η_{75} , η_{70} und η_{65} (nicht dargestellt) bei der jeweiligen Frequenz von 100 Hz, 95 Hz, 90 Hz, 85 Hz, 80 Hz, 75 Hz, 70 Hz und 65 Hz ermittelt.

[0072] Im fünften Schritt wird aus den erhaltenen Wertepaaren Q100, η_{100} ; Q95, η_{95} ; Q90, η_{90} ; Q85, η_{85} ; Q80, η_{80} ; Q75, η_{75} sowie Q65, η_{65} von Durchflussmenge Q und Pumpenwirkungsgrad η durch Polynomregression eine zugehörige Pumpenwirkungsgradkennlinie (nicht dargestellt) berechnet, die ebenfalls von der aktuellen Anlagenkennlinie D abhängig ist.

[0073] Im sechsten Schritt wird aus dieser Pumpenwirkungsgradkennlinie sowie einer Wirkungsgradkennlinie KM des elektrischen Antriebsmotors 15, einer Wirkungsgradkennlinie KU des Frequenzumrichters 38 und einer Wirkungsgradkennlinie KL der Stromleitung 40 Multiplikation eine Gesamtwirkungsgrad-Kennlinie M berechnet, die den Gesamtwirkungsgrad der Förderpumpe 14 einschließlich ihres Antriebsmotors 15, ihres Frequenzumrichters 38 und ihrer Stromleitung 40 in Abhängigkeit von momentanen Anlagenkennlinie D darstellt. Die Kennlinien KM, KU und KL werden entweder vom Hersteller der jeweiligen Komponente 15, 38 bzw. 40 geliefert oder aus gezeichneten Herstellerkennlinien durch Extraktion von Wertepaaren und anschließende Polynomregression in eine Form überführt, die von der Software verarbeitet und auf dem Bildschirm 42 dargestellt werden kann.

[0074] Im siebenten Schritt wird aus der Gesamtwirkungsgrad-Kennlinie M für eine Mehrzahl von Durchflussmengenstützpunkten, zum Beispiel 60 m³/h, 65 m³/h, 70 m³/h, ... 130 m³/h, 135 m³/h, 140 m³/h die jeweils zugehörige Gesamtleistung berechnet.

[0075] Im achten Schritt wird daraus die Kennlinie J des spezifischen Leistungs- oder Energiebedarfs berechnet, indem für jeden Durchflussmengenstützpunkt die zugehörige Gesamtleistung durch die zugehörige Durchflussmenge dividiert wird und die resultierenden Werte zu der Kennlinie J interpoliert werden.

[0076] Zur Ermittlung des energetisch günstigsten Betriebspunkts der Förderpumpe 14 berechnet dann der Rechner 34 die Förder- oder Durchflussmenge am Minimum der Kennlinie J des spezifischen Leistungs- oder Energiebedarfs und zeigt diese auf dem Bildschirm 42 durch eine vertikale Linie Q1 an. Gleichzeitig berechnet der Rechner 34 auch die Förder- oder Durchflussmenge im Schnittpunkt S2 der Pumpenwirkungsgradkennlinie E mit der Anlagenkennlinie D und zeigt diese durch eine vertikale Linie Q2 ebenfalls auf dem Bildschirm an, wie in Fig. 7 dargestellt.

[0077] Anschließend vergleicht der Rechner 34 die beiden auf diese Weise berechneten Förder- oder Durchflussmengen Q1 und Q2. Wenn der Vergleich ergibt, dass die Förder- oder Durchflussmengen Q1 und Q2 identisch sind, dann übermittelt der Rechner 34 eine dieser Förder- oder Durchflussmengen Q1, Q2 als Soll-

Durchflussmenge an die Steuer- und Regeleinheit 30. Wenn der Vergleich ergibt, dass die Förder- oder Durchflussmenge Q1 größer ist als die Förder- oder Durchflussmenge Q2, übermittelt der Rechner 34 die Förder- oder Durchflussmenge Q1 als Soll-Durchflussmenge an die Steuer- und Regeleinheit 30. Wenn der Vergleich ergibt, dass die Förder- oder Durchflussmenge Q1 kleiner ist als die Förder- oder Durchflussmenge Q2, wie in Fig. 7 dargestellt, dann übermittelt der Rechner 34 die Förder- oder Durchflussmenge Q1 als Soll-Durchflussmenge an die Steuer- und Regeleinheit 30, solange diese Förder- oder Durchflussmenge Q1 von der Förderpumpe 14 erreicht wird. Wenn die Förderpumpe 14 diese Förder- oder Durchflussmenge Q1 nicht mehr erreicht, weil die spezifischen Gesamtdruckverhältnisse in der Leitung 18 oder dem Leitungsnetz 52 der Brunnenanlage 10 dies nicht mehr ermöglichen, dann übermittelt der Rechner 34 die Förder- oder Durchflussmenge Q2 als Soll-Durchflussmenge an die Steuer- und Regeleinheit 30.

[0078] In der Steuer- und Regeleinheit 30 wird die vom Rechner 34 übermittelte Soll-Durchflussmenge mit der vom Durchflussmengen-Messgerät 26 gemessenen und an die Steuer- und Regeleinheit 30 übermittelten momentanen Ist-Durchflussmenge verglichen. Die Steuer- und Regeleinheit 30 erzeugt dann aus einer eventuellen Differenz der beiden Werte einen Stellwert für den Frequenzumrichter 38, der daraufhin durch eine entsprechende Frequenzänderung die Antriebsdrehzahl der Förderpumpe 14 so lange verändert, bis die Ist-Durchflussmenge mit der Soll-Durchflussmenge übereinstimmt. Je nachdem, ob der Rechner 34 die Förder- oder Durchflussmenge Q1 oder Q2 als Soll-Durchflussmenge an die Steuer- und Regeleinheit 30 übermitteln hat, verschiebt sich durch die Veränderung der Frequenz die Pumpenkennlinie F, bis ihr Schnittpunkt S1 mit der Anlagenkennlinie D entweder genau oberhalb des Minimums der Kennlinie J liegt oder mit dem Schnittpunkt S2 zusammenfällt. Das letztere ist in Fig. 5 für die bei der neuen Frequenz berechnete Pumpenkennlinie H dargestellt.

[0079] Zur Überwachung der Brunnenanlage 10 und der energieoptimalen Steuerung bzw. Regelung der Förderpumpe 14 wird außerdem das in Fig. 7 dargestellte Diagramm auf dem Bildschirm 42 des Rechners 34 angezeigt. Auf diese Weise kann das Bedienungspersonal einerseits auch visuell vergleichen, welche der Förder- oder Durchflussmengen Q1 oder Q2 größer ist. Zum anderen kann das Bedienungspersonal sehen, ob der Schnittpunkt S1 der Pumpenkennlinie F mit der Anlagenkennlinie D wie gewünscht genau oberhalb des Minimums der Kennlinie J liegt oder mit dem Schnittpunkt S2 zusammenfällt bzw. ob der Schnittpunkt S1 wie gewünscht dem Minimum oder dem Schnittpunkt S2 nachgeführt wird, wenn sich der gemessene Druck am Ausgang der Pumpe 14 und/oder die Absenkung des Wasserspiegels im Brunnen 12 verändern und sich dadurch die Anlagenkennlinie D verschiebt.

[0080] Neben den in Fig. 4 und 5 dargestellten Kenn-

linien D, E, F und H werden auf dem Bildschirm 42 des Rechners 36 auch die gemessene Ist-Durchflussmenge und die Soll-Durchflussmenge am Ausgang der Pumpe 14 als Zahlenwerte nebeneinander angezeigt. Auf diese Weise kann das Bedienungspersonal die beiden Werte auf einen Blick miteinander vergleichen.

[0081] Darüber hinaus werden auch der momentane spezifische Leistungs- oder Energiebedarf der Förderpumpe 14, der gemessene Druck am Ausgang der Förderpumpe 14, der momentane Wasserspiegel im Brunnen 12, die Ist-Frequenz des zur Förderpumpe 14 zugeführten Wechselstroms und die Förder- oder Durchflussmenge am Ausgang der Förderpumpe 14 als Zahlenwerte angezeigt.

[0082] Die Brunnenanlage 50 in Fig. 2 unterscheidet sich von der zuvor beschriebenen Brunnenanlage 10 dadurch, dass sie mehrere Brunnen 12 und mehrere Förderpumpen 14 umfasst, die durch ein gemeinsames Leitungsnetz 52 in den Vorratsbehälter 16 fördern, jedoch mittels einer einzigen Steuer- und Regeleinheit 30 und eines einzigen Rechners 34 gesteuert bzw. geregelt werden. Die Förderpumpen 14 können bei Bedarf einzeln zu- oder abgeschaltet werden, wenn die zu fördernde Wassermenge vergrößert oder verkleinert werden soll. Durch die Zu- oder Abschaltung einzelner Förderpumpen 14 ergeben sich für die anderen momentan im Betrieb befindlichen Förderpumpen 14 ständig neue Anlagenkennlinien D, die vom Rechner 34 mit Hilfe der Software kontinuierlich berechnet werden.

[0083] Die Berechnung erfolgt für jede im Betrieb befindliche Förderpumpe 14 separat und unabhängig von den jeweils anderen im Betrieb befindlichen Förderpumpen 14 in der zuvor beschriebenen Art und Weise, indem für jede einzelne der im Betrieb befindlichen Förderpumpen 14 kontinuierlich eine zugehörige Anlagenkennlinie D berechnet wird, indem danach die Kennlinie J des spezifischen Leistungs- oder Energiebedarfs und deren Minimum sowie darüber hinaus auch ggf. die Schnittpunkte S1 und S2 der berechneten Anlagenkennlinie D mit der zugehörigen Pumpenkennlinie F und mit der zugehörigen Pumpenwirkungsgradkennlinie E für den maximalen Wirkungsgrad ermittelt werden und indem schließlich die Ist-Durchflussmenge im Schnittpunkt S1 der berechneten Anlagenkennlinie D mit der zugehörigen Pumpenkennlinie F durch Veränderung der Frequenz und der Antriebsdrehzahl der Pumpe 14 mittels der Steuer- und Regeleinheit und des zugehörigen Frequenzumrichters 38 an die Soll-Durchflussmenge Q1 bzw. Q2 im Minimum der Kennlinie J oder im Schnittpunkt S2 der berechneten Anlagenkennlinie D mit der zugehörigen Pumpenwirkungsgradkennlinie E herangeführt wird.

[0084] Da die Ermittlung des Drucks am Ausgang jeder Förderpumpe 14 und die momentane Absenkung des Wasserspiegels in jedem Brunnen 12 sowie die Berechnung für jede Förderpumpe 14 unabhängig von den anderen Brunnen 12 bzw. Förderpumpen 14 vorgenommen wird, kann das zuvor beschriebene Verfahren auch zur Steuerung oder Regelung komplexer Brunnenanlagen

50 eingesetzt werden, indem bei allen Förderpumpen 14 der Brunnenanlage 50 auf die zuvor beschriebene Art und Weise kontinuierlich der berechnete energetisch günstigste Betriebspunkt eingestellt wird.

Patentansprüche

1. Verfahren zur Reduzierung des Energieverbrauchs einer Förderpumpe (14), die Wasser aus einem Brunnen (12) in eine Leitung (18) oder ein Leitungsnetz (52) fördert, wobei die Ist-Durchflussmenge der Förderpumpe (14) durch Veränderung der Antriebsdrehzahl eines elektrischen Antriebsmotors (15) der Förderpumpe (14) an eine Soll-Durchflussmenge herangeführt wird, wobei die Soll-Durchflussmenge entweder der hiernach als "erste Durchflussmenge" gekennzeichneten Durchflussmenge (Q1) im Betriebspunkt der Förderpumpe (14) mit dem geringsten spezifischen Leistungs- oder Energiebedarf entspricht, zu dessen Ermittlung eine Kennlinie (J) des jeweiligen spezifischen Leistungs- oder Energiebedarfs der Förderpumpe (14) in Abhängigkeit von einer dynamischen Anlagenkennlinie (D) berechnet wird, oder der hiernach als "zweite Durchflussmenge" gekennzeichneten Durchflussmenge (Q2) im berechneten Schnittpunkt (S2) einer Pumpenwirkungsgradkennlinie (E) mit hohem Wirkungsgrad und der dynamischen Anlagenkennlinie (D), wobei die dynamische Anlagenkennlinie (D) aus der geodätischen Höhe (H_{geod}), der Absenkung des Wasserspiegels (H_{Abs}) im Brunnen (12) und Leitungsverlusten in der Leitung (18) oder im Leitungsnetz (52) berechnet wird und wobei die Pumpenwirkungsgradkennlinie (E) mit hohem Wirkungsgrad innerhalb eines Toleranzbereichs von 5 % von einer Wirkungsgradkennlinie für den maximalen Wirkungsgrad liegt, wobei die erste Durchflussmenge (Q1) mit der zweiten Durchflussmenge (Q2) verglichen wird, wobei, wenn die erste Durchflussmenge (Q1) größer ist als die zweite Durchflussmenge (Q2), die erste Durchflussmenge (Q1) als Soll-Durchflussmenge gewählt wird, und wobei, wenn die erste Durchflussmenge (Q1) kleiner ist als die zweite Durchflussmenge (Q2), die Ist-Durchflussmenge der Förderpumpe (14) an die erste Durchflussmenge (Q1) herangeführt wird, solange die erste Durchflussmenge (Q1) erreicht wird, und die Ist-Durchflussmenge der Förderpumpe (14) an die zweite Durchflussmenge (Q2) herangeführt wird, wenn die erste Durchflussmenge (Q1) nicht mehr erreicht wird.
2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** in Abhängigkeit von der dynamischen Anlagenkennlinie (D) ein Minimum der Kenn-

linie (J) des spezifischen Leistungs- oder Energiebedarfs der Förderpumpe (14) berechnet wird.

3. Verfahren nach Anspruch 2, **dadurch gekennzeichnet, dass** zur Berechnung der Kennlinie (J) des spezifischen Leistungs- oder Energiebedarfs der Förderpumpe (14) eine von der Anlagenkennlinie (D) abhängige Gesamtwirkungsgrad-Kennlinie (M) berechnet wird.
4. Verfahren nach Anspruch 2 oder 3, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Kennlinie (J) des spezifischen Leistungs- oder Energiebedarfs der Förderpumpe (14) kontinuierlich, in kurzen Zeitabständen oder bei jeder Veränderung der Anlagenkennlinie (D) neu berechnet wird.
5. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Leitungsverluste in der Leitung (18) oder im Leitungsnetz (52) im Betrieb der Förderpumpe (14) aus dem kontinuierlich oder schrittweise ermittelten Druck am Ausgang der Förderpumpe (14) abgeleitet werden.
6. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Absenkung (H_{Abs}) des Wasserspiegels im Betrieb der Förderpumpe (14) kontinuierlich oder schrittweise aus einem Ruhewasserspiegel (H_0) und einem Ist-Wasserstand im Brunnen (12) abgeleitet wird.
7. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Pumpenwirkungsgradkennlinie (E) eine dynamische Pumpenwirkungsgradkennlinie ist, die aus einer gezeichneten Pumpenwirkungsgradkennlinie abgeleitet wird, indem aus der gezeichneten Pumpenwirkungsgradkennlinie Wertepaare extrahiert und mittels Polynomregression umgewandelt werden.
8. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Ist-Durchflussmenge am Ausgang der Förderpumpe (14) ermittelt und mit der Soll-Durchflussmenge im Betriebspunkt der Förderpumpe (14) mit dem geringsten spezifischen Leistungs- oder Energiebedarf oder mit der Soll-Durchflussmenge im berechneten Schnittpunkt (S2) der Pumpenwirkungsgradkennlinie (E) und der dynamischen Anlagenkennlinie (D) verglichen wird und dass die Antriebsdrehzahl der Förderpumpe (14) mittels eines Frequenzumrichters (38) geregelt wird, dem ein aus der Differenz der Soll-Durchflussmenge und der Ist-Durchflussmenge berechneter Stellwert zugeführt wird.
9. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** auf einem Bildschirm (42) die Pumpenwirkungsgradkennlinie

(E), die momentane Anlagenkennlinie (D) und eine Pumpenkennlinie (F) für die momentane Antriebsdrehzahl der Förderpumpe (14), der Schnittpunkt (S1) der Pumpenkennlinie (F) mit der momentanen Anlagenkennlinie (D) und der Schnittpunkt (S2) der Pumpenwirkungsgradkennlinie (E) mit der momentanen Anlagenkennlinie (D) sowie die Kennlinie (J) des spezifischen Leistungs- oder Energiebedarfs der Förderpumpe (14) zusammen mit der Durchflussmenge (Q1) im Minimum der Kennlinie (J) angezeigt werden.

10. Brunnenanlage (10, 50) mit mindestens einer Förderpumpe (14) zum Fördern von Wasser aus einem Brunnen (12) in eine Leitung (18) oder ein Leitungsnetz (52), mit einer Steuer- oder Regeleinheit (30); die eine Ist-Durchflussmenge der Förderpumpe (14) durch Veränderung der Antriebsdrehzahl eines elektrischen Antriebsmotors (15) der Förderpumpe (14) an eine Soll-Durchflussmenge heranführt, wobei die Soll-Durchflussmenge entweder der hiernach als "erste Durchflussmenge" gekennzeichneten Durchflussmenge (Q1) im Betriebspunkt der Förderpumpe (14) mit dem geringsten spezifischen Leistungs- oder Energiebedarf entspricht, zu dessen Ermittlung eine Kennlinie (J) des jeweiligen spezifischen Leistungs- oder Energiebedarfs der Förderpumpe (14) in Abhängigkeit von einer dynamischen Anlagenkennlinie (D) berechnet wird, oder der hiernach als "zweite Durchflussmenge" gekennzeichneten Durchflussmenge (Q2) im berechneten Schnittpunkt (S2) einer Pumpenwirkungsgradkennlinie (E) mit hohem Wirkungsgrad und der dynamischen Anlagenkennlinie (D), wobei die dynamische Anlagenkennlinie (D) aus der geodätischen Höhe (H_{geod}), der Absenkung des Wasserspiegels (H_{Abs}) im Brunnen (12) und Leitungsverlusten in der Leitung (18) oder im Leitungsnetz (52) berechnet wird und wobei die Pumpenwirkungsgradkennlinie (E) mit hohem Wirkungsgrad innerhalb eines Toleranzbereichs von 5 % von einer Wirkungsgradkennlinie für den maximalen Wirkungsgrad liegt, wobei ein mit der Steuer- und Regeleinheit (30) kommunizierender Rechner (34) die erste Durchflussmenge (Q1) mit der zweiten Durchflussmenge (Q2) vergleicht, wobei, wenn die erste Durchflussmenge (Q1) größer ist als die zweite Durchflussmenge (Q2), der Rechner (34) die erste Durchflussmenge (Q1) als Soll-Durchflussmenge wählt, wobei, wenn die erste Durchflussmenge (Q1) kleiner ist als die zweite Durchflussmenge (Q2), der Rechner (34) die erste Durchflussmenge (Q1) als Soll-Durchflussmenge wählt, solange die Förderpumpe (14) die erste Durchflussmenge (Q1) erreicht, und die zweite Durchflussmenge (Q2) wählt, wenn die Förderpumpe (14) die erste Durchflussmenge (Q1) nicht mehr erreicht.

11. Brunnenanlage nach Anspruch 10, **gekennzeichnet durch** mehrere Förderpumpen (14), wobei die Steuer- oder Regeleinheit (30) die Ist-Durchflussmenge von jeder der Förderpumpen (14) durch Veränderung der Antriebsdrehzahl ihres elektrischen Antriebsmotors (15) an eine Soll-Durchflussmenge heranführt, wobei die Soll-Durchflussmenge der Durchflussmenge (Q1) im Betriebspunkt der jeweiligen Förderpumpe (14) mit dem geringsten spezifischen Leistungs- oder Energiebedarf oder der Durchflussmenge (Q2) im berechneten Schnittpunkt (S2) einer Pumpenwirkungsgradkennlinie (E) mit hohem Wirkungsgrad und einer dynamischen Anlagenkennlinie (D) entspricht.

12. Brunnenanlage nach Anspruch 10 oder 11, **gekennzeichnet durch** Mittel (24, 34) zur kontinuierlichen oder schrittweisen Ermittlung des Drucks am Ausgang der Förderpumpe (14) oder Förderpumpen (14).

Claims

1. Method for reducing the energy consumption of a delivery pump (14) which delivers water from a well (12) into a line (18) or a line network (52), wherein the actual throughflow rate of the delivery pump (14) is brought to a target throughflow rate by changing of the drive rotational speed of an electric drive motor (15) of the delivery pump (14), wherein the target throughflow rate corresponds either to the throughflow rate (Q1), indicated hereinafter as "first throughflow rate", at the operating point of the delivery pump (14) with the lowest specific power or energy requirement, a characteristic curve (J) of the respective specific power or energy requirement of the delivery pump (14) being calculated in dependence on a dynamic system characteristic curve (D) for the purpose of determining said operating point, or to the throughflow rate (Q2), indicated hereinafter as "second throughflow rate", at the calculated point of intersection (S2) of a pump efficiency characteristic curve (E) with high efficiency and the dynamic system characteristic curve (D), wherein the dynamic system characteristic curve (D) is calculated from the geodetic height (H_{geod}), the drop in the water level (H_{drop}) in the well (12) and line losses in the line (18) or in the line network (52), and wherein the pump efficiency characteristic curve (E) with high efficiency lies within a tolerance range of 5% of an efficiency characteristic curve for the maximum efficiency, wherein the first throughflow rate (Q1) is compared with the second throughflow rate (Q2), wherein, if the first throughflow rate (Q1) is greater than the second throughflow rate (Q2), the first throughflow rate (Q1) is selected as the target

throughflow rate,

and wherein, if the first throughflow rate (Q1) is less than the second throughflow rate (Q2), the actual throughflow rate of the delivery pump (14) is brought to the first throughflow rate (Q1) as long as the first throughflow rate (Q1) is reached, and the actual throughflow rate of the delivery pump (14) is brought to the second throughflow rate (Q2) if the first throughflow rate (Q1) is no longer reached.

2. Method according to Claim 1, **characterized in that** a minimum of the characteristic curve (J) of the specific power or energy requirement of the delivery pump (14) is calculated in dependence on the dynamic system characteristic curve (D).

3. Method according to Claim 2, **characterized in that**, for the purpose of calculating the characteristic curve (J) of the specific power or energy requirement of the delivery pump (14), an overall efficiency characteristic curve (M), which depends on the system characteristic curve (D), is calculated.

4. Method according to Claim 2 or 3, **characterized in that** the characteristic curve (J) of the specific power or energy requirement of the delivery pump (14) is recalculated continuously, at short time intervals or whenever the system characteristic curve (D) is changed.

5. Method according to one of the preceding claims, **characterized in that** the line losses in the line (18) or in the line network (52) during the operation of the delivery pump (14) are derived from the pressure at the outlet of the delivery pump (14), which pressure is determined continuously or in steps.

6. Method according to one of the preceding claims, **characterized in that** the drop (H_{drop}) in the water level during the operation of the delivery pump (14) is derived continuously or in steps from a still water level (H_0) and an actual water level in the well (12).

7. Method according to one of the preceding claims, **characterized in that** the pump efficiency characteristic curve (E) is a dynamic pump efficiency characteristic curve which is derived from a displayed pump efficiency characteristic curve **in that** value pairs are extracted from the displayed pump efficiency characteristic curve and subjected to transformation by means of polynomial regression.

8. Method according to one of the preceding claims, **characterized in that** the actual throughflow rate at the outlet of the delivery pump (14) is determined and is compared with the target throughflow rate at the operating point of the delivery pump (14) with the lowest specific power or energy requirement or with

the target throughflow rate at the calculated point of intersection (S2) of the pump efficiency characteristic curve (E) and the dynamic system characteristic curve (D), and **in that** the drive rotational speed of the delivery pump (14) is regulated by means of a frequency converter (38), which is supplied with an adjustment value calculated from the difference between the target throughflow rate and the actual throughflow rate.

9. Method according to one of the preceding claims, **characterized in that** the pump efficiency characteristic curve (E), the instantaneous system characteristic curve (D) and a pump characteristic curve (F) for the instantaneous drive rotational speed of the delivery pump (14), the point of intersection (S1) of the pump characteristic curve (F) and the instantaneous system characteristic curve (D) and the point of intersection (S2) of the pump efficiency characteristic curve (E) and the instantaneous system characteristic curve (D), and the characteristic curve (J) of the specific power or energy requirement of the delivery pump (14), together with the throughflow rate (Q1) at the minimum of the characteristic curve (J), are displayed on a screen (42).

10. Well system (10, 50) having at least one delivery pump (14) for delivering water from a well (12) into a line (18) or a line network (52), having a control or regulating unit (30) which brings an actual throughflow rate of the delivery pump (14) to a target throughflow rate by changing of the drive rotational speed of an electric drive motor (15) of the delivery pump (14), wherein the target throughflow rate corresponds either to the throughflow rate (Q1), indicated hereinafter as "first throughflow rate", at the operating point of the delivery pump (14) with the lowest specific power or energy requirement, a characteristic curve (J) of the respective specific power or energy requirement of the delivery pump (14) being calculated in dependence on a dynamic system characteristic curve (D) for the purpose of determining said operating point, or to the throughflow rate (Q2), indicated hereinafter as "second throughflow rate", at the calculated point of intersection (S2) of a pump efficiency characteristic curve (E) with high efficiency and the dynamic system characteristic curve (D), wherein the dynamic system characteristic curve (D) is calculated from the geodetic height (H_{geod}), the drop in the water level (H_{drop}) in the well (12) and line losses in the line (18) or in the line network (52), and wherein the pump efficiency characteristic curve (E) with high efficiency lies within a tolerance range of 5% of an efficiency characteristic curve for the maximum efficiency, wherein a processor (34) which communicates with the control and regulating unit (30) compares the first throughflow rate (Q1) with the second throughflow

rate (Q2),
 wherein, if the first throughflow rate (Q1) is greater than the second throughflow rate (Q2), the processor (34) selects the first throughflow rate (Q1) as the target throughflow rate,
 and wherein, if the first throughflow rate (Q1) is less than the second throughflow rate (Q2), the processor (34) selects the first throughflow rate (Q1) as the target throughflow rate as long as the delivery pump (14) reaches the first throughflow rate (Q1), and selects the second throughflow rate (Q2) if the delivery pump (14) no longer reaches the first throughflow rate (Q1).

11. Well system according to Claim 10, **characterized by** multiple delivery pumps (14), wherein the control or regulating unit (30) brings the actual throughflow rate of each of the delivery pumps (14) to a target throughflow rate by changing of the drive rotational speed of the electric drive motor (15) thereof, wherein the target throughflow rate corresponds to the throughflow rate (Q1) at the operating point of the respective delivery pump (14) with the lowest specific power or energy requirement or to the throughflow rate (Q2) at the calculated point of intersection (S2) of a pump efficiency characteristic curve (E) with high efficiency and a dynamic system characteristic curve (D).
12. Well system according to Claim 10 or 11, **characterized by** means (24, 34) for determining continuously or in steps the pressure at the outlet of the delivery pump (14) or delivery pumps (14).

Revendications

1. Procédé de réduction de la consommation d'énergie d'une pompe d'alimentation (14) qui alimente en eau une canalisation (18) ou un réseau de canalisations (52) à partir d'un puits (12), dans lequel le débit réel de la pompe d'alimentation (14) est amené à tendre vers un débit nominal en modifiant le régime d'entraînement d'un moteur électrique d'entraînement (15) de la pompe d'alimentation (14), dans lequel le débit nominal correspond soit au débit (Q1), désigné ci-après "premier débit", au point de fonctionnement de la pompe d'alimentation (14) pour la puissance spécifique ou le besoin en énergie spécifique le plus faible, pour la détermination duquel une courbe caractéristique (J) de la puissance spécifique ou du besoin en énergie spécifique de la pompe d'alimentation (14) est calculée en fonction d'une courbe caractéristique dynamique du système (D), soit au débit (Q2), désigné ci-après "second débit", au point d'intersection (S2) calculé d'une courbe caractéristique de pompe (E) à haut rendement et de la courbe caractéristique dy-

namique du système (D), dans lequel la courbe caractéristique dynamique du système (D) est calculée à partir de la hauteur géodésique (H_{geod}), de l'abaissement du niveau d'eau (H_{Abs}) dans le puits (12) et de pertes de canalisation dans la canalisation (18) ou dans le réseau de canalisations (52) et dans lequel la courbe caractéristique de rendement de pompe (E) à haut rendement se situe dans une plage de tolérance de 5% d'une courbe caractéristique de rendement pour le rendement maximal, dans lequel le premier débit (Q1) est comparé au second débit (Q2), dans lequel, lorsque le premier débit (Q1) est supérieur au second débit (Q2), le premier débit (Q1) est sélectionné comme débit nominal et dans lequel, lorsque le premier débit (Q1) est inférieur au second débit (Q2), le débit réel de la pompe d'alimentation (14) est amené à tendre vers le premier débit (Q1) tant que le premier débit (Q1) est atteint et le débit réel de la pompe d'alimentation (14) est amené à tendre vers le second débit (Q2) lorsque le premier débit (Q1) n'est plus atteint.

2. Procédé selon la revendication 1, **caractérisé en ce qu'un** minimum de la courbe caractéristique (J) de la puissance spécifique ou du besoin en énergie spécifique de la pompe d'alimentation (14) est calculé en fonction de la courbe caractéristique dynamique du système (D).
3. Procédé selon la revendication 2, **caractérisé en ce que**, pour calculer la courbe caractéristique (J) de la puissance spécifique ou du besoin en énergie spécifique de la pompe d'alimentation (14), on calcule une courbe caractéristique de rendement global (M) qui dépend de la courbe caractéristique du système (D).
4. Procédé selon la revendication 2 ou 3, **caractérisé en ce que** la courbe caractéristique (J) du besoin en énergie spécifique de la pompe d'alimentation (14) est recalculée en continu, à des intervalles de temps courts ou à chaque modification de la courbe caractéristique du système (D).
5. Procédé selon l'une des revendications précédentes, **caractérisé en ce que** les pertes de canalisation dans la canalisation (18) ou dans le réseau de canalisations (52) pendant le fonctionnement de la pompe d'alimentation (14) sont déduites de la pression déterminée en continu ou par étapes à la sortie de la pompe d'alimentation (14).
6. Procédé selon l'une des revendications précédentes, **caractérisé en ce que** l'abaissement (H_{Abs}) du niveau d'eau pendant le fonctionnement de la pompe d'alimentation (14) est déduit en continu ou par étapes d'un niveau d'eau au repos (H_0) et d'un niveau d'eau réel dans le puits (12).

7. Procédé selon l'une des revendications précédentes, **caractérisé en ce que** la courbe caractéristique de rendement de pompe (E) est une courbe caractéristique de rendement de pompe dynamique qui est déduite d'une courbe caractéristique de rendement de pompe en extrayant des paires de valeurs de la caractéristique de rendement de pompe **caractérisée** et en les transformant par régression polynomiale.
8. Procédé selon l'une des revendications précédentes, **caractérisé en ce que** le débit réel à la sortie de la pompe d'alimentation (14) est déterminé et est comparé au débit nominal au point de fonctionnement de la pompe d'alimentation (14) pour la puissance spécifique ou le besoin en énergie spécifique ou pour le débit nominal au point d'intersection (S2) calculé de la courbe caractéristique de rendement (E) et de la courbe caractéristique dynamique du système (D) et **en ce que** le régime d'entraînement de la pompe d'alimentation (14) est réglé au moyen d'un convertisseur de fréquence (38) auquel est fournie une valeur de réglage calculée à partir de la différence entre le débit nominal et le débit réel.
9. Procédé selon l'une des revendications précédentes, **caractérisé en ce que** la courbe caractéristique de rendement de pompe (E), la courbe caractéristique instantanée du système (D) et une courbe caractéristique de pompe (F) pour le régime d'entraînement instantané de la pompe d'alimentation (14), le point d'intersection (S1) de la courbe caractéristique de pompe (F) avec la courbe caractéristique instantanée du système (D), et le point d'intersection (S2) de la courbe caractéristique de rendement de pompe (E) avec la courbe caractéristique instantanée du système (D) et la courbe caractéristique (J) de la puissance spécifique ou du besoin en énergie spécifique de la pompe d'alimentation (14) sont affichés sur un écran d'affichage (42) avec le débit (Q1) au minimum de la courbe caractéristique (J).
10. Installation de puits (10, 50) comportant au moins une pompe d'alimentation (14) pour l'alimentation en eau une canalisation (18) ou un réseau de canalisations (52) à partir d'un puits (12), comportant une unité de commande ou de régulation (30) qui fait tendre un débit réel de la pompe d'alimentation (14) vers un débit nominal en modifiant le régime d'entraînement d'un moteur d'entraînement électrique (15) de la pompe d'alimentation (14), dans lequel le débit nominal correspond soit au débit (Q1), désigné ci-après "premier débit", au point de fonctionnement de la pompe d'alimentation (14) pour la puissance spécifique ou le besoin en énergie spécifique le plus faible, pour la détermination duquel une courbe caractéristique (J) de la puissance spécifique ou du besoin en énergie spécifique de la pompe d'alimentation (14) est calculée en fonction d'une courbe caractéristique dynamique du système (D), soit au débit (Q2), désigné ci-après "second débit", au point d'intersection (S2) calculé d'une courbe caractéristique de pompe (E) à haut rendement et de la courbe caractéristique dynamique du système (D), dans lequel la courbe caractéristique dynamique du système (D) est calculée à partir de la hauteur géodésique (H_{geod}), de l'abaissement du niveau d'eau (H_{Abs}) dans le puits (12) et de pertes de canalisation dans la canalisation (18) ou dans le réseau de canalisations (52) et dans lequel la courbe caractéristique de rendement de pompe (E) à haut rendement se situe dans une plage de tolérance de 5% d'une courbe caractéristique de rendement pour le rendement maximal, dans lequel un ordinateur (34) communiquant avec l'unité de commande (30) compare le premier débit (Q1) au second débit (Q2), dans lequel, lorsque le premier débit (Q1) est supérieur au second débit (Q2), l'ordinateur (34) sélectionne le premier débit (Q1) comme débit nominal, dans lequel, lorsque le premier débit (Q1) est inférieur au second débit (Q2), l'ordinateur (34) sélectionne le premier débit (Q1) comme débit nominal tant que la pompe d'alimentation (14) atteint le premier débit (Q1) et sélectionne le second débit (Q2) lorsque la pompe d'alimentation (14) n'atteint plus le premier débit (Q1).
11. Installation de puits selon la revendication 10, **caractérisée par** plusieurs pompes d'alimentation (14), dans lequel l'unité de commande ou de régulation (30) fait tendre le débit réel de chacune des pompes d'alimentation (14) vers un débit nominal en faisant varier le régime d'entraînement de son moteur d'entraînement électrique (15), dans lequel le débit nominal correspond au débit (Q1) au point de fonctionnement de la pompe d'alimentation (14) respective pour la puissance spécifique ou le besoin énergétique spécifique le plus faible ou au débit (Q2) au point d'intersection calculé (S2) d'une courbe caractéristique de rendement de pompe (E) pour un rendement élevé et d'une courbe caractéristique dynamique du système (D).
12. Installation de puits selon la revendication 10 ou 11, **caractérisée par** des moyens (24, 34) destinés à déterminer en continu ou par étapes la pression à la sortie de la pompe d'alimentation (14) ou des pompes d'alimentation (14).

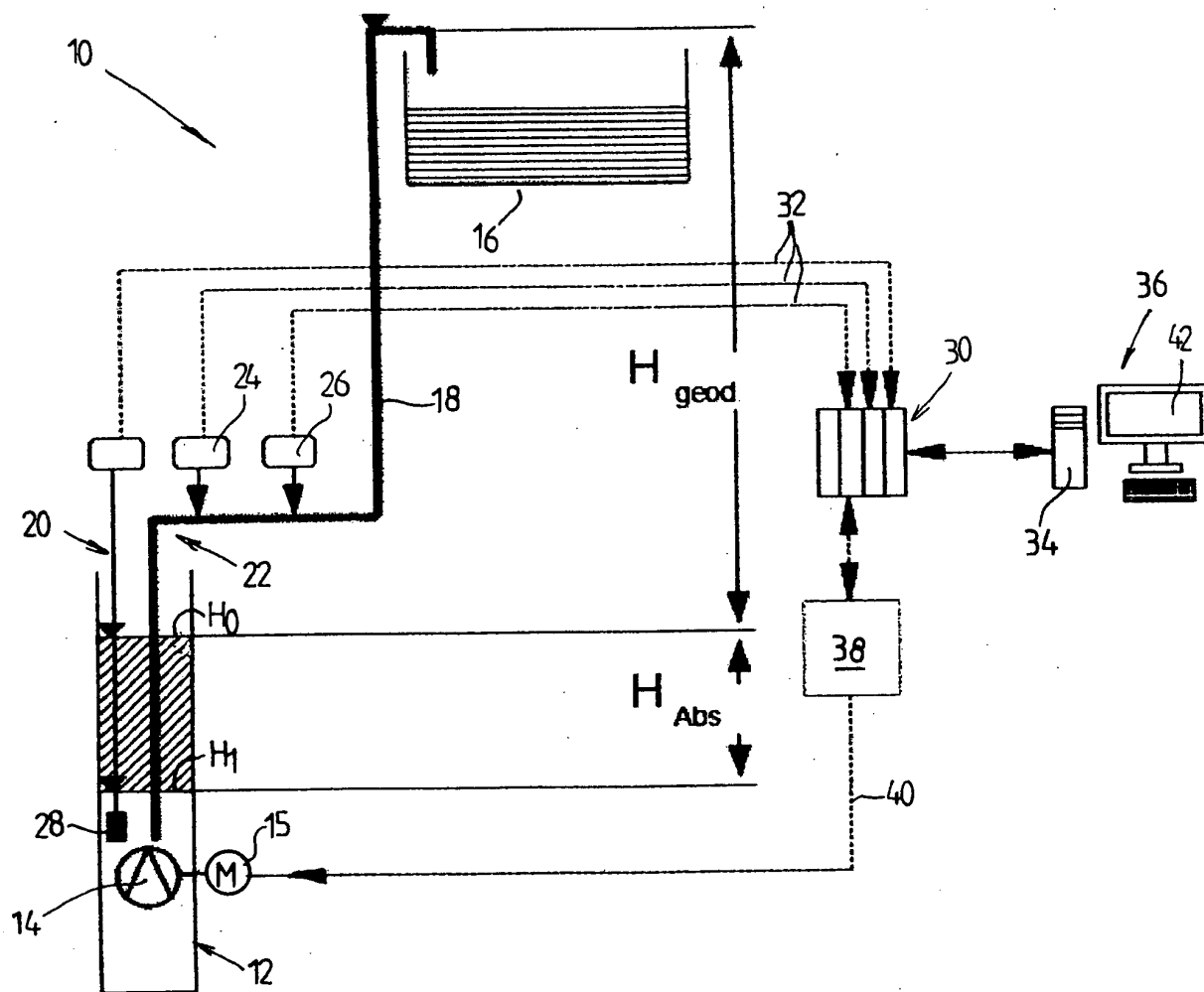


Fig. 1

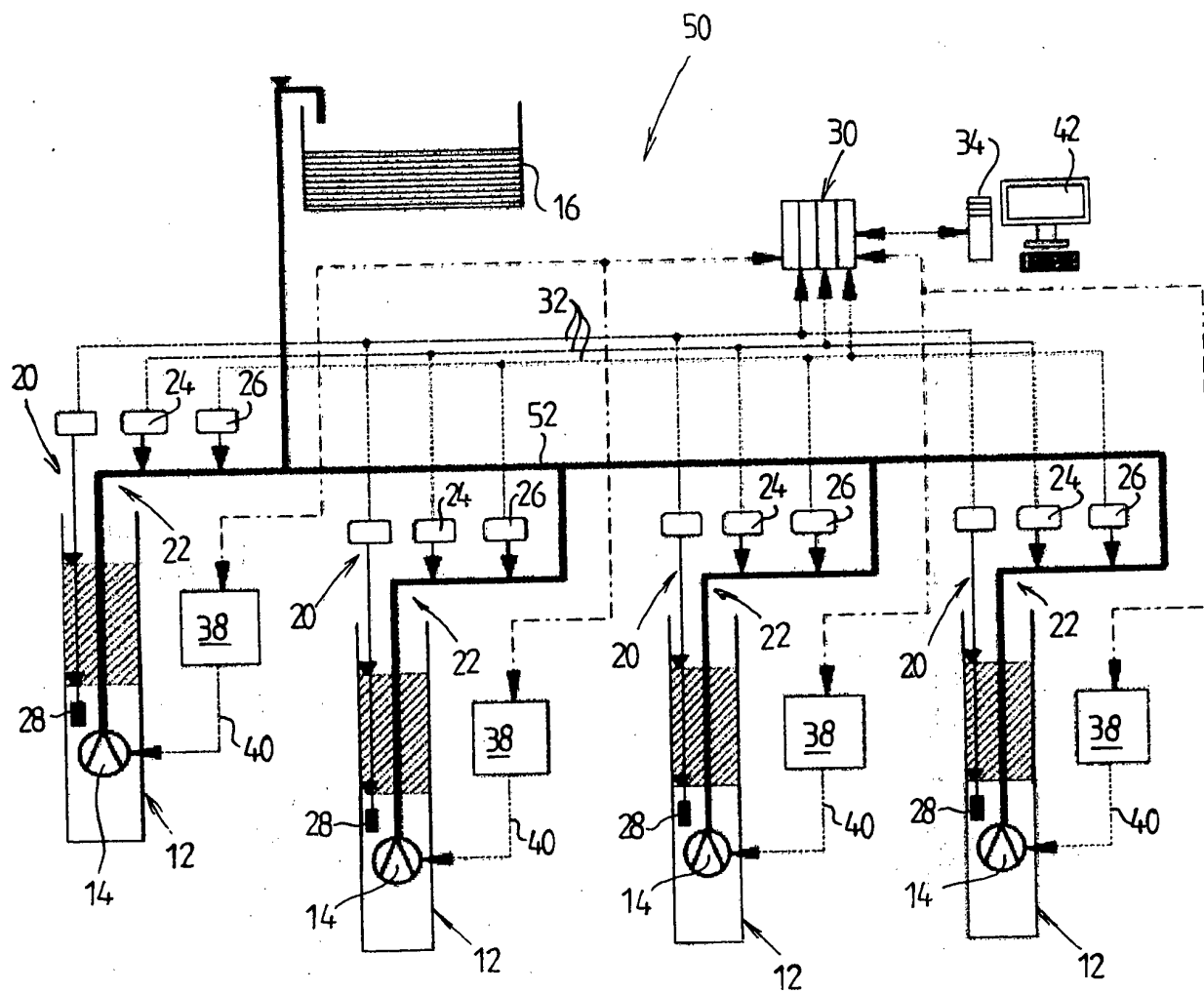


Fig. 2

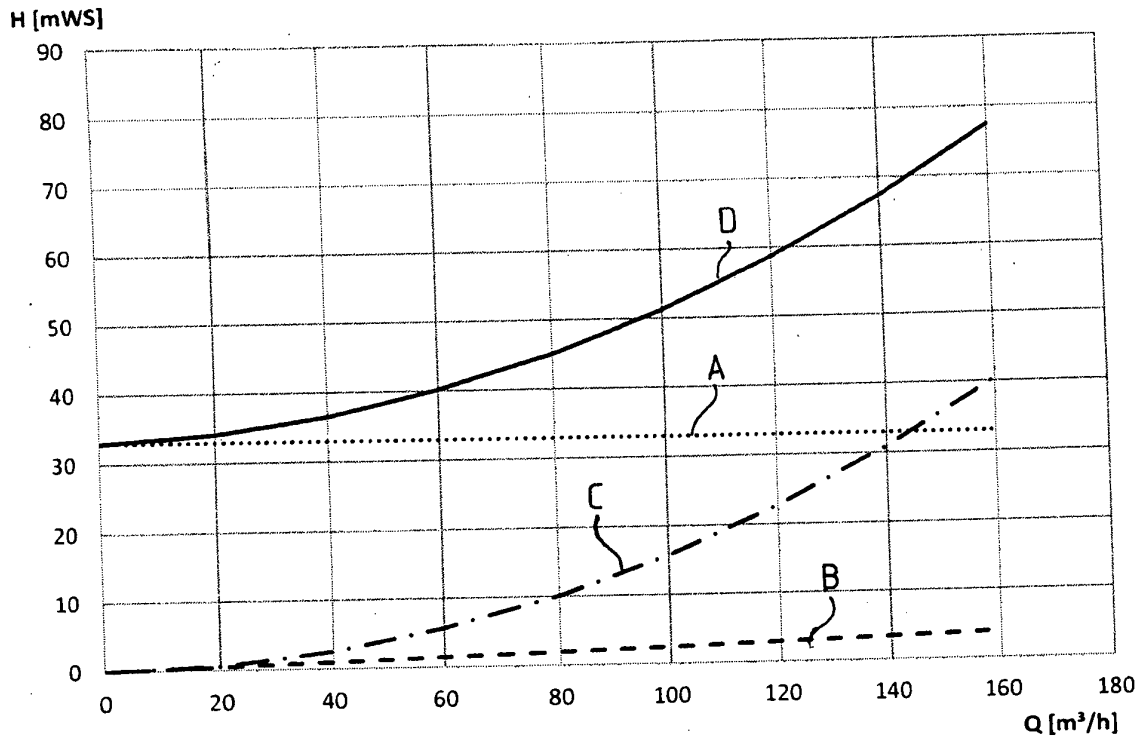


Fig. 3

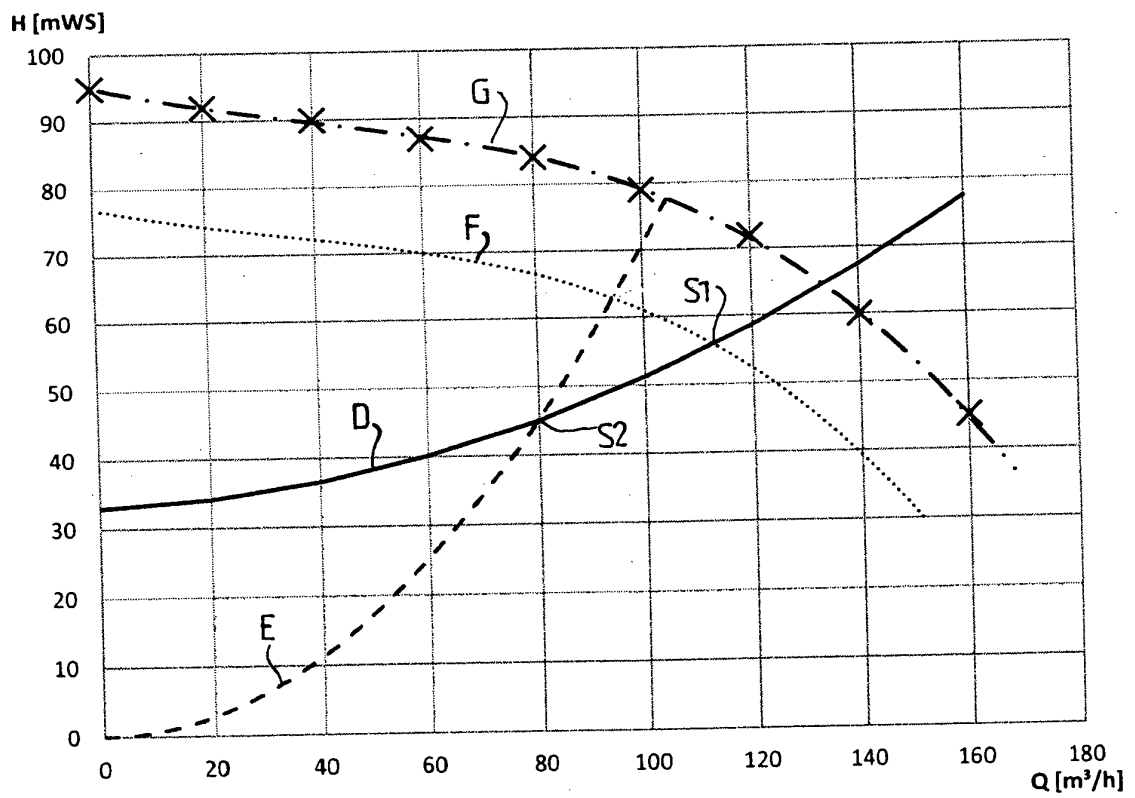


Fig. 4

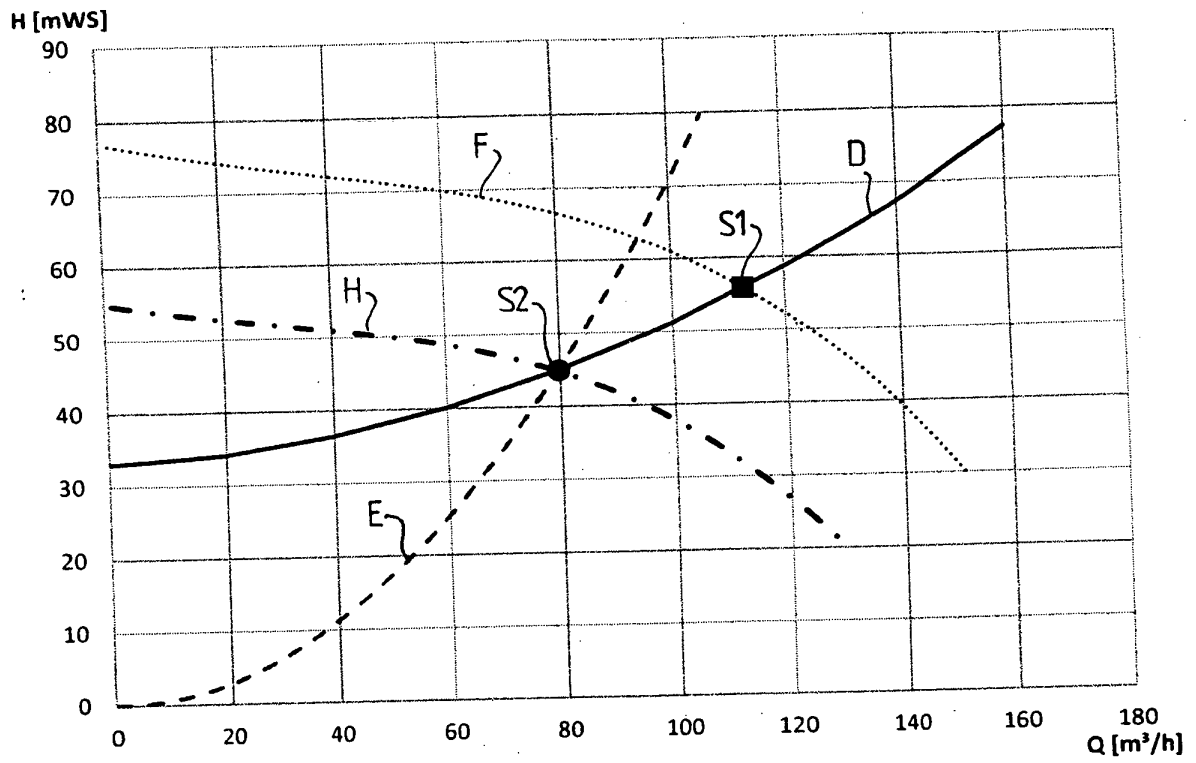


Fig. 5

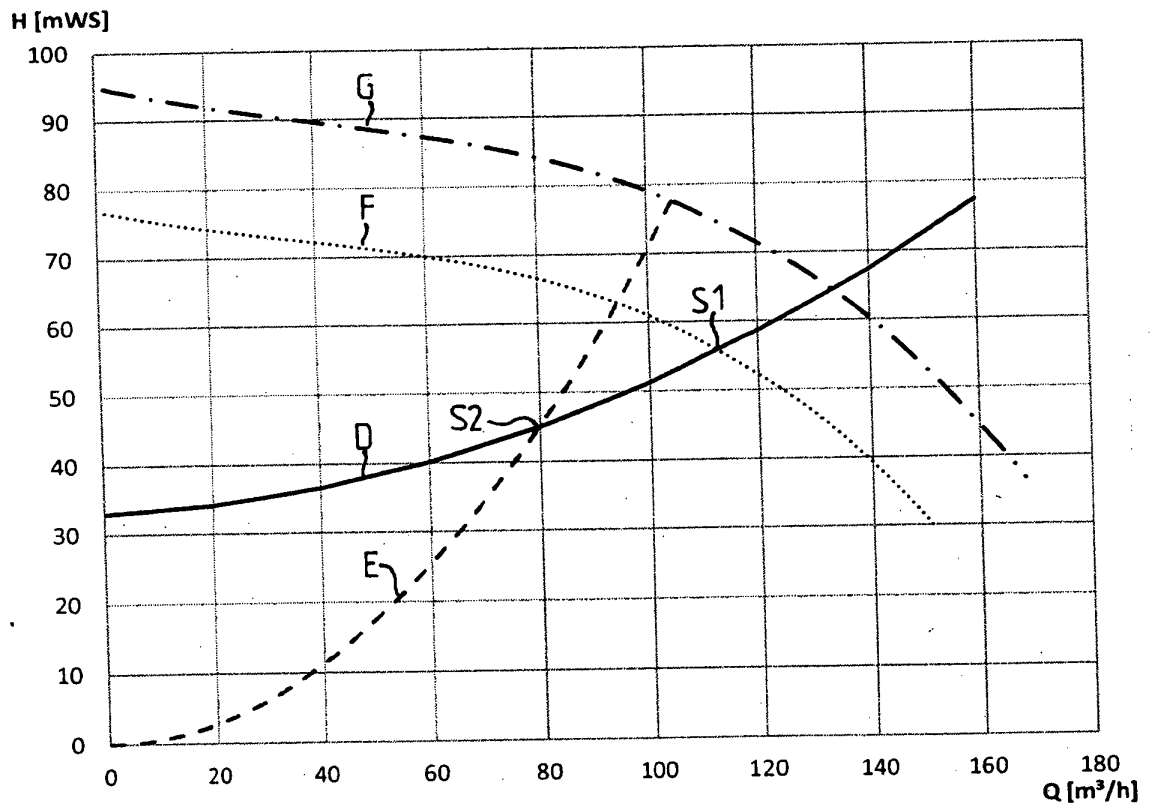


Fig. 6

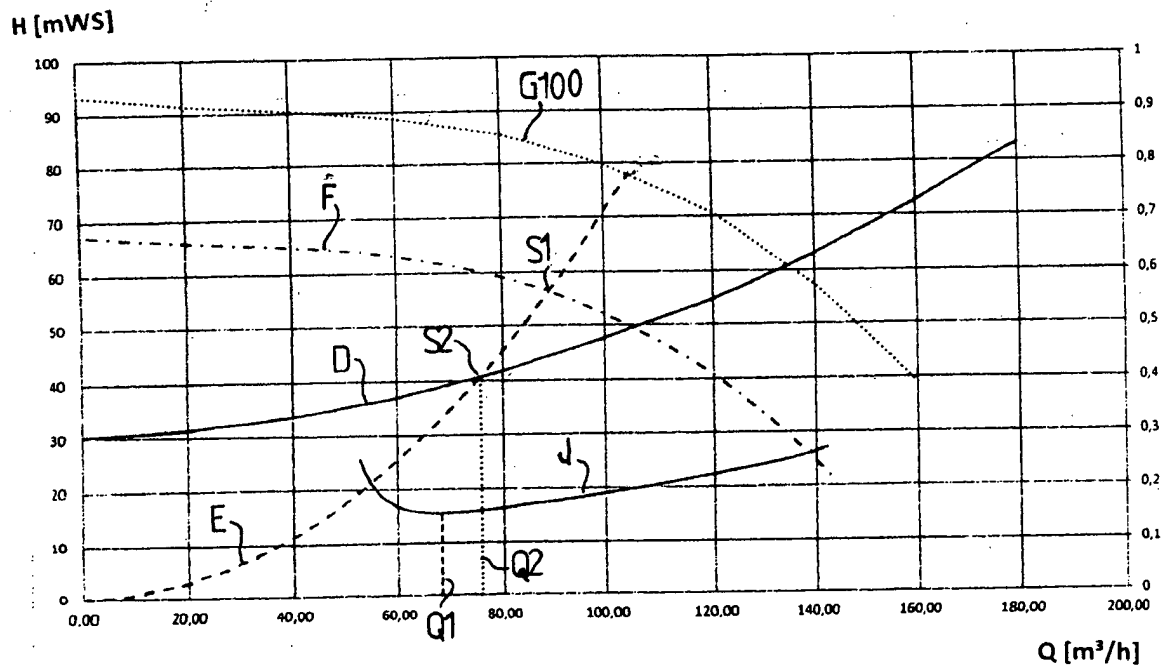


Fig. 7

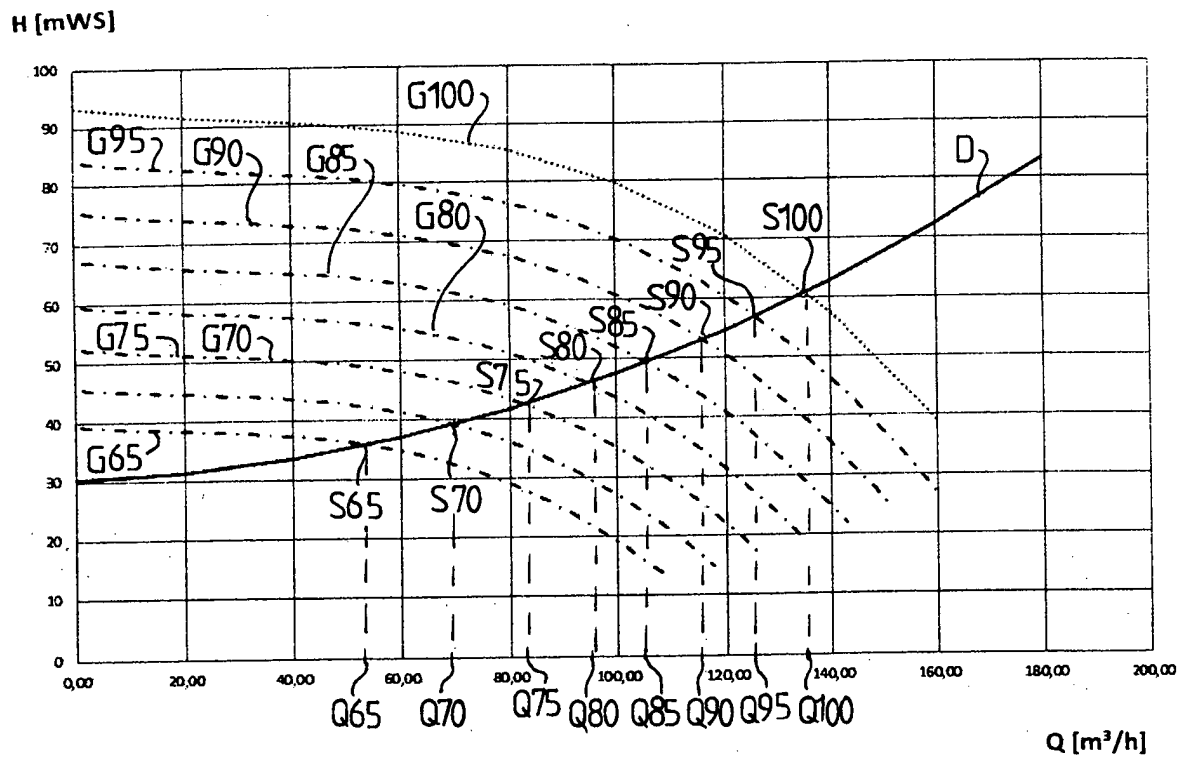


Fig. 8

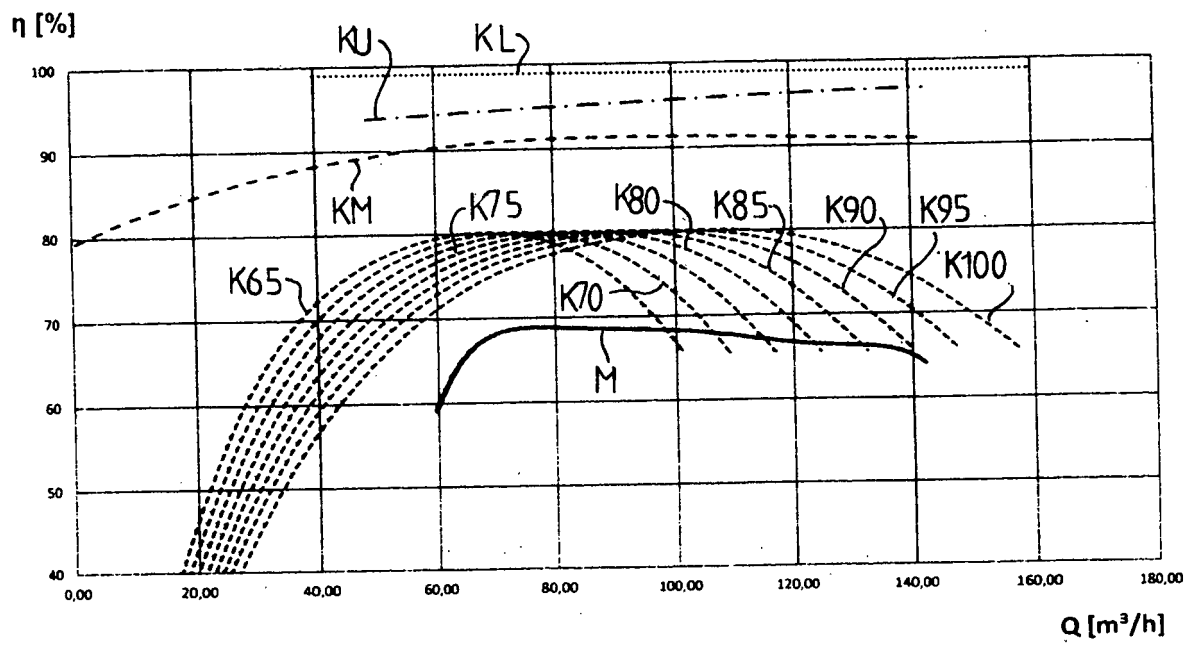


Fig. 9

IN DER BESCHREIBUNG AUFGEFÜHRTE DOKUMENTE

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

In der Beschreibung aufgeführte Patentdokumente

- EP 2610693 A1 [0006]
- EP 2944821 A1 [0007]
- JP S54122401 A [0008]
- EP 0150068 A2 [0009]