



(19)

REPUBLIK  
ÖSTERREICH  
Patentamt

(10) Nummer:

AT 411 485 B

(12)

# PATENTSCHRIFT

(21) Anmeldenummer:

A 2001/2001

(51) Int. Cl.<sup>7</sup>: F03B 15/00

(22) Anmeldetag:

20.12.2001

F03B 15/14, 15/16

(42) Beginn der Patentdauer:

15.06.2003

(45) Ausgabetag:

26.01.2004

(56) Entgegenhaltungen:

WO 98/11343A1 US 4804855A EP 174287A1  
EP 435182B1 US 4674279A US 4674216A

(73) Patentinhaber:

VA TECH HYDRO GMBH & CO  
A-1141 WIEN (AT).

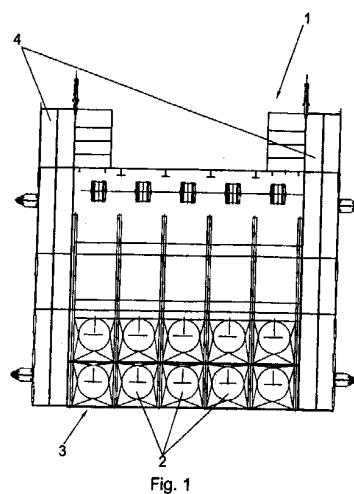
(72) Erfinder:

HESS GÜNTHER  
LINZ, OBERÖSTERREICH (AT).  
PANHOLZER HEINZ DR.  
ALTENBERG, OBERÖSTERREICH (AT).

## (54) VERFAHREN UND ANLAGE ZUM REGELN DES PEGELSTANDES EINER STAUANLAGE

AT 411 485 B

(57) Die Pegelstände (P) von Stauanlagen (1) werden in der Regel durch das Öffnen bzw. Schließen von Wehranlagen geregelt. Solche Stauanlagen (1) können auch zur Erzeugung von elektrischer Energie verwendet werden, indem eine Vielzahl von Turbinen-Generator-Einheiten (2) oder Turbinen-Generator-Modulen (2) integriert werden. Der Durchfluss durch diese Turbinen-Generator-Einheiten oder Turbinen-Generator-Module (3) wird erfindungsgemäß nun dazu verwendet, den Pegelstand (P) durch das gezielte Zu- bzw. Wegschalten von einzelnen oder mehreren Turbinen-Generator-Einheiten (2) oder Turbinen-Generator-Modulen (3) zu regeln, wobei die Durchflussmenge durch die Stauanlage in diskreten Schritten eingestellt wird und ein diskreter Schritt der durch eine bzw. mehrere Turbinen-Generator-Einheit fließbaren Durchflussmenge entspricht.



Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Regeln des Pegelstandes einer Stauanlage, vorzugsweise ein Staudamm oder ein Stauwehr, wobei in der Stauanlage zum Erzeugen elektrischer Energie eine Anzahl von Turbinen-Generator-Einheiten, vorzugsweise mit Leistungen zwischen je 100kW und 1000kW, angeordnet sind, die zumindest abschnittsweise übereinander und/oder nebeneinander angeordnet und miteinander zu einem oder mehreren Turbinen-Generator-Modulen verbunden sind, sowie eine Anlage zum Regeln des Pegelstandes einer Stauanlage mit einer Mehrzahl von Turbinen-Generator-Einheiten, die übereinander und/oder nebeneinander angeordnet und miteinander zu einem oder mehreren Turbinen-Generator-Modulen verbunden sind und gegebenenfalls eine vorbestimmte Anzahl von Turbinen-Generator-Modulen nebeneinander angeordnet und an der Stauanlage abgestützt sind.

Einrichtungen zur Erzeugung elektrischer Energie, bei welchen mehrere kleinere Turbinen-Generatoreinheiten in Reihen und Spalten nebeneinander und übereinander in einem Rahmen oder einer verstieften Konstruktion angeordnet sind, sind beispielsweise aus der WO98/11343 oder der US 4,804,855 bekannt. Solche Einrichtungen werden aufgrund ihrer besonders kurzen Bauweise und großen Anströmfläche vorzugsweise an Stauanlagen, wie Schleusen, Wehren, Dämmen od. dgl., verwendet, um die gewöhnlicher Weise ungenutzt durchfließende Wassermenge zur Erzeugung elektrischer Energie zu nutzen. Bei solchen Stauanlagen muss jedoch der Wasserpegel geregelt werden, um die je nach Anwendung erforderliche Funktion der Stauanlage erfüllen zu können. Zum Beispiel benötigt der Schiffsverkehr auf einem Fluss einen bestimmten Wasserpegel, oder ein Bewässerungsdamm muss einen Mindestwasserpegel aufweisen, um die Bewässerung gewährleisten zu können. Dazu wurden bisher Wehranlagen ganz oder teilweise geöffnet.

Weiters sind Stauanlagen zur Erzeugung elektrischer Energie bekannt, bei denen die erzeugbare elektrische Energie maximiert werden soll, was in der Praxis für Wasserkraftanlagen in der Regel auch immer erwünscht ist. Dazu wird im Wesentlichen der Durchfluss durch eine oder mehrere Turbinen kontinuierlich geregelt, um die Turbine möglichst in der Nähe des Wirkungsgradmaximums betreiben zu können, wobei der Pegelstand der Stauanlage lediglich als Randbedingung, z.B. durch Vorgabe gewisser maximal und minimal zulässiger Pegelstände, in die Regelung einfließt. Solche Verfahren, wie sie z.B. aus der EP 174 287 A1, der EP 435 182 B1 oder der US 4,674,279 A offenbart sind. Andere Verfahren verwenden Turbinen, bei denen der Durchfluss nur diskret regelbar ist, wie z.B. aus der US 4,674,216 A bekannt, wobei jedoch wieder gilt, dass der Pegelstand der Stauanlage lediglich als Randbedingung in die Regelung einfließt. Zur Regelung des Pegelstandes einer Stauanlage sind diese Verfahren allerdings nicht geeignet.

Die Erfindung hat sich nun die Aufgabe gestellt, ein Verfahren und eine Anlage zur Regelung des Pegelstandes einer Stauanlage anzugeben, dass die vorhandenen Möglichkeiten und bauliche Gegebenheiten weitestgehend ausnützt, die Funktion der Stauanlage sicherstellt und eine einfache und genaue Regelung ermöglicht.

Diese Aufgabe wird erfindungsgemäß dadurch gelöst, dass der Pegelstand durch das Zu- bzw. Wegschalten von einzelnen bzw. mehreren Turbinen-Generator-Einheiten eines Turbinen-Generator-Moduls und/oder von Turbinen-Generator-Modulen auf einen vorgebbaren Sollwert geregelt wird, wobei eine Durchflussmenge durch die Stauanlage in diskreten Schritten eingestellt wird und ein diskreter Schritt der durch eine bzw. mehrere Turbinen-Generator-Einheit fließbaren Durchflussmenge entspricht.

Diese Turbinen-Generator-Einheiten oder Turbinen-Generator-Module haben einen genau bekannten Durchfluss, wodurch die abfließende Durchflussmenge genau bestimmt werden kann. Die abfließende Durchflussmenge und folglich auch der Pegelstand der Stauanlage kann deshalb mittels der einzelnen Turbineneinheiten in kleinen diskreten Schritten sehr einfach und genau geregelt werden. Es ist somit nur mehr in Ausnahmesituationen notwendig, die in der Regel sehr großen, schweren und schlecht regelbaren Wehranlagen zu öffnen bzw. zu schließen.

Die Regelung wird dadurch flexibler, da dadurch die Regelung in kleinen Schritten ermöglicht wird und erlaubt darüber hinaus eine rasche Reaktion auf sich ändernde Bedingungen an der Stauanlage. Weiters lässt sich dadurch der Pegelstand hinsichtlich bestimmter Kriterien sehr einfach optimieren.

Die zur Regelung des Pegelstandes verwendeten Turbinen-Generator-Einheiten oder Turbinen-Generator-Module können konstruktiv sehr einfach ausgeführt werden, wenn diese Einheiten bzw. Module bei im wesentlichen konstanter Durchflussmenge bzw. mit konstanter Leistung betrie-

ben werden, da dann keine Einrichtung zur Regulierung der Durchflussmenge bzw. der Leistung vorgesehen werden muss. Die Einheiten bzw. Turbinen haben somit nur zwei Betriebspunkte, nämlich in Betrieb oder außer Betrieb, was auch die Regelung erheblich vereinfacht.

Wenn der Pegelstand zumindest teilweise durch das Öffnen bzw. Schließen zumindest einer Wehranlage geregelt wird, kann in gewissen Situationen die abfließende Durchflussmenge rasch erhöht werden. Dies ist vor allem als Sicherheitsmaßnahme sinnvoll, in Situationen, wo der Durchfluss durch die Turbineneinheiten nicht mehr ausreicht, um die zufließenden Wassermengen wieder abzubauen, oder wo der Abfluss von der Stauanlage rasch verringert werden muss.

Es ist besonders vorteilhaft, einen oberen Turbinenschaltpegel bzw. Alarmpegel vorzugeben, bei dessen Erreichen Turbinen-Generator-Einheiten oder Turbinen-Generator-Module zugeschalten und/oder Wehranlagen geöffnet werden.

Es ist gleichfalls vorteilhaft, beim Erreichen eines vorgegebenen unteren Turbinenschaltpegels bzw. Alarmpegels Turbinen-Generator-Einheiten oder Turbinen-Generator-Module wegzuschalten und/oder Wehranlagen zu schließen.

Dadurch wird die Einhaltung der geforderten Grenzwerte für den Pegel sichergestellt und gleichzeitig die Anzahl der Schalthandlungen der Turbineneinheiten reduziert.

Die Erzeugung von elektrischer Energie durch die Turbineneinheiten kann maximiert werden, wenn zuerst alle Turbinen-Generator-Einheiten oder Turbinen-Generator-Module zugeschaltet werden und erst danach Wehranlage geöffnet werden. Ebenso erreicht man eine Maximierung der Erzeugung von elektrischer Energie, wenn zuerst alle Wehranlagen geöffnet werden und erst danach Turbinen-Generator-Einheiten oder Turbinen-Generator-Module weggeschaltet werden. Durch diese Maßnahmen wird der Durchfluss durch die Turbineneinheiten maximiert, was sich direkt positiv auf die erzeugte Energiemenge auswirkt.

Es ist ganz besonders vorteilhaft, wenn beim Erreichen eines vorgegebenen Turbinenschaltpegels und/oder Alarmpegels ein Alarmsignal erzeugt und/oder angezeigt wird, da dann unmittelbar und ohne Zeitverzögerung auf die aktuelle kritische Situation reagiert werden kann. Diese Alarmsignale können z.B. akustischer und/oder optischer Natur sein.

Wenn durch das Auslösen eines Alarms automatische Schalthandlungen zum Zu- oder Wegschalten von Turbinen-Generator-Einheiten oder Turbinen-Generator-Module und/oder Öffnen oder Schließen von Wehranlagen eingeleitet werden, kann die Regelung des Pegelstandes weitestgehend automatisch, ohne erforderliches Bedienpersonal vor Ort erfolgen.

Durch das Erstellen von Vorhersagen über künftig zu erwartende Pegelstände und das damit einhergehende Öffnen und Schließen von Turbinen-Generator-Einheiten oder Turbinen-Generator-Module und/oder Wehranlagen anhand dieser Vorhersagen kann bereits vorausschauend auf zu erwartende große Pegeländerungen reagiert werden, wodurch die Schalthäufigkeit der Wehranlagen verringert werden kann.

Wenn die Regelungen der Pegelstände mehrerer hintereinanderfolgender Stauanlagen miteinander gekoppelt werden und die einzelnen Stauanlagen von einer übergeordneten Regelung so geregelt werden, dass die Pegelstände dieser Stauanlagen unter gegenseitiger Rücksichtnahme optimiert werden, so kann weit über eine einzige Stauanlage hinaus, entlang einer langen Strecke des Wasserlaufes, ein optimaler Pegelstand erreicht werden. Dadurch wird Häufigkeit Turbineneinheiten zu- bzw. wegzuschalten reduziert und gleichzeitig kann eine über einen längeren Zeitraum gleichmäßige Energieerzeugung erreicht werden.

Eine weitere vorteilhafte Erweiterung des Regelkonzeptes kann erzielt werden, wenn die Anzahl der zu- bzw. wegzuschaltenden Turbinen-Generator-Einheiten oder Turbinen-Generator-Module vorab ermittelt werden und gleichzeitig zu- bzw. weggeschalten werden, da dann die zur Korrektur des Pegelstandes erforderlichen Schalthandlungen in einem Zug durchgeführt werden können.

Günstig ist es, die Anzahl der zu- bzw. wegzuschaltenden Turbinen-Generator-Einheiten oder Turbinen-Generator-Module anhand des aktuellen Energiebedarfs und eventuell auch anhand eines künftig zu erwartenden Pegelstandes zu ermitteln, wodurch man eine optimale Auslastung, hinsichtlich des Energiebedarfs, der Einheiten bzw. Module erreicht.

Ganz besonders vorteilhaft ist es, die Regelungen der Pegelstände hinsichtlich der Energieerzeugung zu optimieren. Die Optimierung wird sehr vorteilhaft mit Hilfe eines mathematischen Modells durchgeführt, das zur Verbesserung der Optimierungsergebnisse bestimmte Zustände und

- Randbedingungen, wie z.B. das vorübergehende Öffnen bzw. Schließen von Wehren, Dämmen, Schleusen und gegebenenfalls das Anheben von Turbinen-Generator- bzw. Turbinen-Generator-Module, Eingaben des Bedienpersonals, gespeicherte Erfahrungswerte, physikalische Gesetzmäßigkeiten, wie z.B. die verdunstende oder versickernde Wassermenge, etc., und aktuelle bzw. 5 vorausschauende meteorologische Daten, wie z.B. zu erwartende Regenfälle, Temperaturvorhersagen, etc., berücksichtigt. Weiters kann sehr vorteilhaft anhand des mathematischen Modells unter Berücksichtigung des aktuellen und/oder zu erwartenden Zu- bzw. Abflusses und des aktuellen und/oder zu erwartenden Energiebedarfs die optimale Anzahl der zu- bzw. wegzuschaltenden Turbinen-Generator-Einheiten bzw. Turbinen-Generator-Module ermittelt werden.
- 10 Als Sollwert für die Regelung wird in vorteilhafter Weise der Pegelstand über einen vorbestimmten Zeitraum, wie etwa ein Jahr, herangezogen.
- Die zu erzeugende Energie kann über einen bestimmten Zeitbereich, vorzugsweise einem Tag, vorgegeben werden und der Pegelstand so geregelt werden, dass der vorgegebene Energieerzeugungsverlauf möglichst genau eingehalten werden kann. Dadurch erreicht man unter Gewährleistung der eigentlichen Funktion der Stauanlage eine optimale Ausnutzung der Energiegewinnung. 15 Gleichzeitig wird dadurch sichergestellt, dass die Ressourcen der Stauanlage weitestgehend ausgenutzt werden.
- Wenn die Pegelstände einer oder mehrerer Stauanlagen von einem zentralen Kontrollzentrum aus geregelt werden können zusätzlich Überwachungs- und Kontrolleinrichtungen vor Ort eingespart werden, was sich sehr positiv auf die Kosten aufwirkt.
- 20 Wird der Sollwert für den Pegelstand für einen Zweck, der nicht der Energiegewinnung dient, vorgegeben wird, z.B. für Schifffahrt, Bewässerung, etc., wird der ursprünglich gedachte Betrieb der Stauanlage nicht beeinträchtigt. Die Energiegewinnung ist dann ein zusätzlicher Vorteil, der ohne Einschränkungen des Betriebes erzielt werden kann.
- 25 In der Praxis erweist es sich als vorteilhaft, wenn an einer Stauanlage zumindest 10, vorzugsweise 20 bis 500, zu- bzw. wegschaltbare Turbinen-Generator-Einheiten eingesetzt werden.
- Es ist weiters sehr vorteilhaft, wenn die Stauanlage eine Mehrzahl von Pfeilern aufweist, zwischen welchen das Medium vorbeiströmen kann, wobei zwischen zwei benachbarten Pfeilern eine vorbestimmte Anzahl von Turbinen-Generator-Einheiten oder Turbinen-Generator-Module angeordnet und an den Pfeilern abgestützt sind. Dadurch können bereits bestehende Strukturen der Stauanlage direkt für eine Nachrüstung verwendet werden und es sind keine aufwendigen Umbauarbeiten notwendig.
- 30 Eine sehr kompakte Ausführungsvariante erhält man, indem die Einrichtung zum Zu- bzw. Wegschalten von Turbinen-Generator-Einheiten oder Turbinen-Generator-Modulen in den Einheiten oder Modulen integriert werden und über die Einheit oder das Modul an den Pfeilern abgestützt werden. Dadurch minimiert man auch die notwendigen baulichen Maßnahmen an der Stauanlage. Eine weitere Variante sieht vor, dass die Einrichtung zum Zu- bzw. Wegschalten von Turbinen-Generator-Einheiten oder Turbinen-Generator-Modulen direkt an den Pfeilern abgestützt ist.
- 35 Die Turbinen-Generator-Einheiten oder Turbinen-Generator-Module können sehr einfach aus ihrer Arbeitsposition entfernt werden, z.B. zu Wartungsarbeiten oder zum Freigeben des Strömungsquerschnittes in gewissen Situationen, wenn diese heb- und senkbar angeordnet sind.
- 40 Ein ganz besonders vorteilhafte Anwendung findet die erfindungsgemäße Regelung des Pegelstandes einer Stauanlage bei einem Trinkwasserreservoir, einem Bewässerungsdamm, einem Hochwasserrückhaltebecken, einem Damm zu Regulierung eines Schifffahrtsweges oder einer Staustufe eines Flusskraftwerkes.
- 45 Die vorliegende Erfindung wird anhand der beispielhaften, vereinfachten und nicht einschränkenden Figuren 1 und 2 beschrieben. Dabei zeigt
- 50 Fig. 1 eine Vorderansicht einer Stauanlage mit Turbinen-Generator-Einheiten,  
Fig. 2 das Grundprinzip der erfindungsgemäßen Regelung und  
Fig. 3 ein erweitertes Regelungskonzept.
- 55 Die Fig. 1 zeigt schematische und vereinfacht eine Stauanlage 1, z.B. ein Staudamm, zum Stauen einer Flüssigkeit, vorzugsweise Wasser in einem Flusslauf, mit in diesem Ausführungsbeispiel zwei Pfeilern 4, zwischen denen eine Anzahl von Turbinen-Generator-Einheiten 2, hier zehn, angeordnet sind. Diese Turbinen-Generator-Einheiten 2 werden dabei von den Pfeilern 4 abgestützt und gehalten. Die Turbinen-Generator-Einheiten 2 sind zu einem Turbinen-Generator-Modul

3 zusammengefasst und können bei Bedarf als ein Modul mit einer nicht dargestellten Hebeneinrichtung aus der Stauanlage 1 herausgehoben werden. Weiters kann die Stauanlage 1 eine nicht dargestellte Wehranlage umfassen, mit der der Abfluss des Mediums von der Stauanlage 1 ganz oder teilweise freigegeben oder unterbunden werden kann.

5 Die Turbinen-Generator-Einheiten 2 können in an sich hinlänglich bekannter Weise, beispielsweise durch einen Saugrohrverschluss, wie ein Schot oder eine Irisblende, einzeln, oder in Gruppen, wie beispielsweise der gesamte Turbinen-Generator-Modul 3, abgeschottet werden, sodass durch die Turbinen-Generator-Einheiten 2 kein Wasser fließen kann und folglich von diesen Einheiten 20 kein elektrischer Strom erzeugt wird.

10 Es ist selbstverständlich, dass eine solche Stauanlage auch mehr als zwei Pfeiler umfassen kann und dass zwischen zwei Pfeilern mehr als die in Fig. 1 dargestellten Turbinen-Generator-Einheiten 2 angeordnet werden können. In der Praxis ist es durchaus denkbar in einer Stauanlage eine beliebige Anzahl solcher Turbinen-Generator-Einheiten 2, vorzugsweise 20 bis 500, zu integrieren.

15 Solche Turbinen-Generator-Einheiten 2 können natürlich auch in beliebigen anderen als in Fig. 1 beschriebenen Stauanlagen, wie Trinkwasserreservoirs, Bewässerungsdämme, Hochwasserrückhaltebecken, etc., verwendet werden, wobei das nachfolgend beschriebene Regelkonzept für den Pegelstand jedoch gleicher Art angewendet werden kann.

20 Im folgenden wird anhand der Fig. 2, das Grundprinzip des erfindungsgemäßen Regelungskonzepts des Pegelstandes einer beliebigen Stauanlage mit integrierten Turbinen-Generator-Einheiten 2 erörtert. In Fig. 2 sind zwei Diagramme dargestellt, das erste zeigt den Wasserpegel  $P$  über die Zeit  $t$  und das zweite die von der Stauanlage abfließende Durchflussmenge  $Q_A$  über die Zeit  $t$ . Für die Stauanlage wird, beispielsweise vom Betreiber, ein Zielpegel  $ZP$  vorgegeben. Der aktuelle Pegel  $P$  darf nun innerhalb ebenfalls vorgegebener oberer und unterer Turbinenschaltpegel  $TsP_O$ ,  $TsP_U$  variieren. Diese Pegel ergeben sich aus den Anforderungen an die Stauanlage, z.B. benötigt der Schiffsverkehr auf einem Fluss bestimmte minimale und maximale Wasserstände. Weiters sind für die Stauanlage obere und untere Maximalpegel  $MP_O$ ,  $MP_U$  festgelegt, die nicht über- bzw. unterschritten werden dürfen. Sollten diese Maximalpegel in Ausnahmesituationen dennoch über- bzw. unterschritten werden, können je nach Stauanlage gewisse Notmaßnahmen, z.B. das Absperren oder Öffnen weiterer stromaufwärtsgelegener Stauanlagen, das Öffnen vorhandener Notschleusen, das Herausheben der Turbinen-Generator-Einheiten 2 bzw. -Module 3, etc., eingeleitet werden.

25 Ausgangspunkt der Beschreibung des Regelverfahrens ist ein Zustand, in dem die Zufluss- und die Abflussmengen gleiche groß sind und sich der Pegel  $P$  nicht ändert. In diesem Zustand sind bereits eine beliebige Anzahl von Turbinen-Generator-Einheiten 2 oder Turbinen-Generator-Modulen 3 geöffnet, sodass durch diese Einheiten ebenfalls eine gewisse Wassermenge  $Q_A$  abfließt und elektrische Energie erzeugt wird.

30 Zum Zeitpunkt  $t_0$  steigt nun der Pegel  $P$  der Stauanlage, z.B. auf Grund von Regenfällen, ausgehend vom Zielpegel  $ZP$  an und erreicht zum Zeitpunkt  $t_{s1}$  den oberen Turbinenschaltpegel  $TsP_O$ . Spätestens zu diesem Zeitpunkt  $t_{s1}$  wird automatisch oder durch das Bedienpersonal eine oder mehrere weitere einzelne Turbinen-Generator-Einheiten 2 oder Turbinen-Generator-Module 3 zugeschaltet, um die abfließende Durchflussmenge  $Q_A$  zu erhöhen. Gleichzeitig wird dadurch, sozusagen als Nebeneffekt, mehr elektrische Energie erzeugt. Diese Erhöhung der Abflussmenge ist eine diskreter Zuwachs  $\Delta Q_{TE}$ , bzw. ein Vielfaches davon, und entspricht genau jener Wassermenge, die durch die Turbinen-Generator-Einheit oder Turbinen-Generator-Module fließbar ist. Da der Pegel  $P$  weiter zunimmt, werden zu den Zeitpunkten  $t_{s2}$  und  $t_{s3}$  weitere Turbinen-Generator-Einheiten 2 oder Turbinen-Generator-Module 3 zugeschaltet, wodurch die abfließende Durchflussmenge  $Q_A$  weiter diskret um jeweils  $\Delta Q_{TE}$ , bzw. einem Vielfachen davon, erhöht wird. Dies wird solange wiederholt, bis der obere Turbinenschaltpegel  $TsP_O$  wieder unterschritten wird.

35 Sollten bereits alle Turbinen-Generator-Einheiten 2 oder Turbinen-Generator-Module 3 zugeschaltet worden sein und der Pegel  $P$  weiter steigt, so können noch eventuell vorhandene Wehranlagen geöffnet werden, wodurch die abfließende Durchflussmenge  $Q_A$  weiter erhöht wird. Wehranlagen sollten prinzipiell erst dann geöffnet werden, wenn bereits alle Turbinen-Generator-Einheiten 2 oder Turbinen-Generator-Module 3 zugeschaltet sind, da dann die Erzeugung von elektrischer Energie natürlich maximiert werden kann. Allerdings ist es selbstverständlich auch denkbar aus

bestimmten Gründen die Wehranlagen bereits zu einem früheren Zeitpunkt zu öffnen.

Wie Fig. 2 weiters entnommen werden kann erreicht der nun fallende Pegel P zum Zeitpunkt  $t_{s4}$  den unteren Turbinenschaltpegel  $TsP_U$ , womit die umgekehrte Vorgangsweise beginnt. Sukzessive werden automatisch oder durch das Bedienpersonal Turbinen-Generator-Einheiten 2 oder Turbinen-Generator-Module 3 weggeschaltet, bis sich der Pegel P wieder innerhalb der beiden Grenzwerte, oberer und unterer Turbinenschaltpegel  $TsP_O$ ,  $TsP_U$ , befindet.

Selbstverständlich ist es auch denkbar anhand des Pegelzuwachses bzw. der Pegelabnahme, anhand von Erfahrungswerten oder anhand von mathematischen oder simulatorischen Modellen die erforderliche Anzahl der zuzuschaltenden bzw. wegzuschaltenden Turbinen-Generator-Einheiten 2 bzw. Turbinen-Generator-Module 3 zu bestimmen und diese gleichzeitig zu öffnen bzw. schließen.

Solange sich der Pegel P innerhalb der beiden Grenzwerte befindet werden in der Regel keine Schalthandlungen vorgenommen, sodass die abfließende Durchflussmenge  $Q_A$  in diesem Zeitraum im Wesentlichen konstant bleibt.

In diesem Ausführungsbeispiel werden vereinfacht nur drei Turbinen-Generator-Einheiten 2 oder Turbinen-Generator-Module 3 zugeschaltet. In der Praxis sind in einer Stauanlage jedoch 20 und mehr einzeln schaltbare Turbinen-Generator-Einheiten 2 oder Turbinen-Generator-Module 3 integriert, wodurch eine sehr feine Regelung des Wasserpegels P der Stauanlage erreicht werden kann.

Beim Erreichen des oberen bzw. unteren Turbinenschaltpegels  $TsP_O$ ,  $TsP_U$  kann weiters auch ein Alarm ausgelöst werden, der z.B. in einem Kontrollzentrum oder durch ein akustisches Signal angezeigt wird und das Bedienpersonal auf die vorliegende Situation aufmerksam macht, oder eine automatische Schalthandlung auslöst.

Die Fig. 3 zeigt nun ein erweitertes Regelkonzept. Zusätzlich zu den bereits aus Fig. 2 bekannten Grenzpegeln werden nun noch ein oberer und unterer Alarmpegel  $AP_O$ ,  $AP_U$  vorgegeben. Diese Pegel werden in Praxis knapp, z.B. 5cm, unterhalb bzw. oberhalb der oberen und unteren Maximalpegel  $MP_O$ ,  $MP_U$  liegen.

Wie bereits bei Fig. 2 beschrieben, steigt der Pegel P ab dem Zeitpunkt  $t_{s0}$  an und erreicht zum Zeitpunkt  $t_{s3}$ , nach zwei Schalthandlungen zu den Zeitpunkten  $t_{s1}$  und  $t_{s2}$ , den oberen Alarmpegel  $AP_O$ . Die Stauanlage ist in idealer Weise so ausgelegt, dass zu diesem Zeitpunkt  $t_{s3}$  bereits alle Turbinen-Generator-Einheiten 2 oder Turbinen-Generator-Module 3 zugeschaltet sind, sodass der maximale Durchfluss durch die Turbinen und somit auch die maximale Energieerzeugung erreicht ist. Zu diesem Zeitpunkt  $t_{s3}$  wird in diesem Beispiel ein akustischer Alarm erzeugt, um z.B. das Bedienpersonal auf den kritischen Pegel P aufmerksam zu machen. Dieser akustische Alarm kann natürlich auch mit einer automatischen Schalthandlung gekoppelt sein. Nun werden noch eventuell vorhandene Wehranlagen geöffnet, wodurch die abfließende Durchflussmenge  $Q_A$  um  $\Delta Q_W$  der Wehranlage erhöht wird und der Pegel P wieder zu sinken beginnt. Als weitere Maßnahme zur Senkung des Pegels P kann auch das Herausheben der gesamten Turbinen-Generator-Einheiten 2 oder Turbinen-Generator-Module 3 vorgesehen werden.

Der nun sinkende Pegel P erreicht zum Zeitpunkt  $t_{s4}$  den unteren Turbinenschaltpegel  $TsP_U$ . Falls zu diesem Zeitpunkt noch Wehranlagen geöffnet sind oder noch nicht alle eventuell herausgehobenen Turbinen-Generator-Einheiten 2 oder Turbinen-Generator-Module 3 in ihre Arbeitsposition abgesenkt worden sind, so sollten zuerst diese geschlossen bzw. abgesenkt werden, bevor Turbinen-Generator-Einheiten 2 oder Turbinen-Generator-Module 3 weggeschaltet werden, um die Energieerzeugung zu maximieren. In diesem Beispiel wird zum Zeitpunkt  $t_{s4}$  zuerst eine Wehranlage und in weiterer Folge zum Zeitpunkt  $t_{s5}$  eine Turbinen-Generator-Einheit 2 oder ein Turbinen-Generator-Modul 3 weggeschaltet. Zum Zeitpunkt  $t_{s6}$  wird nun der untere Alarmpegel  $AP_U$  erreicht, wiederum ein akustischer Alarm ausgelöst und zumindest eine weitere Turbinen-Generator-Einheit 2 oder ein weiterer Turbinen-Generator-Modul 3 weggeschaltet, sodass der Pegel P wieder eine ansteigende Tendenz zeigt. Natürlich könnte man im Zeitpunkt  $t_{s6}$  wenn notwendig auch gleichzeitig mehrere oder sogar alle noch aktiven Turbinen-Generator-Einheiten 2 oder Turbinen-Generator-Modulen 3 wegschalten.

Die oben beschriebenen Beispiele basieren jeweils auf aktuellen Messungen des Pegelstandes bzw. der Pegelstandsänderung. Es ist jedoch auch denkbar, Prognosen über zukünftige Pegelstände abzugeben, indem z.B. Pegelstände stromaufwärtsliegender Stauanlagen, Wetterlagen,

Erfahrungswerte, etc. berücksichtigt werden, und anhand dieser Prognosen vorausschauend die abfließende Durchflussmenge  $Q_A$  durch das Zu- bzw. Wegschalten von einzelnen Turbinen-Generator-Einheiten 2 oder Turbinen-Generator-Modulen 3 so zu regeln, dass der Pegel P möglichst innerhalb des oberen und unteren Turbinenschaltpegels  $TsP_O$ ,  $TsP_U$  liegt und diese wenn möglich nicht über- bzw. unterschreitet.

Der Energiebedarf variiert sehr stark über einen gewissen Zeitraum. Beispielsweise wird am Tag mehr Energie verbraucht wie abends, oder im Winter mehr Energie verbraucht wie im Sommer. Das Verfahren lässt sich nun besonders vorteilhaft anwenden, wenn der Pegel P auch hinsichtlich der über einen Zeitraum unterschiedlichen Anforderungen an die Energieerzeugung optimiert wird. Z.B. können über die Nacht alle überflüssigen Turbinen-Generator-Einheiten 2 oder Turbinen-Generator-Modulen 3 weggeschaltet werden. Dadurch steigt der Pegel P über die Nacht, der dann in Folge zu den Energiebedarfsspitzenzeiten des Tages wieder durch die Turbinen-Generator-Einheiten 2 oder Turbinen-Generator-Modulen 3 zur Energieerzeugung abgebaut werden kann.

Gleichfalls könnte man den Pegel P im Winter generell auf einem hohen Niveau halten, um die Abdeckung von Energiebedarfsspitzen unterstützen zu können.

Gleichfalls könnte man den Pegel auch generell immer auf höchstem Niveau halten, damit die Energieerzeugung immer möglichst hoch ist.

Die Optimierung erfolgt mittels eines mathematischen Modells der Stauanlage 1, in das bei Bedarf auch bestimmte andere Randbedingungen, wie z.B. das vorübergehende Öffnen bzw. Schließen zusätzlicher Wehranlagen, Eingaben des Bedienpersonals oder meteorologische Daten, eingebunden werden können. Gleichzeitig können mit dem mathematischen Modell bei Bedarf auch bestimmte Parameter, wie z.B. die optimale Anzahl der zu öffnenden bzw. zu schließenden Turbinen-Generator-Einheiten 2 oder Turbinen-Generator-Modulen 3 und/oder Wehranlagen ermittelt werden.

Sinnvoller Weise werden die Pegel P einer oder mehrerer Stauanlagen 1 von einem zentralen Kontrollzentrum aus geregelt. Dazu werden notwendige Daten bzgl. der Pegelstände P zum Kontrollzentrum übermittelt, beispielsweise über ein Modem oder per Funk, und einem Regelalgorithmus, der vorzugsweise auf einem Computer implementiert ist, zugeführt. Vom Kontrollzentrum werden dann die erforderlichen Steuersignale, vornehmlich Befehle zum Öffnen bzw. Schließen von Turbinen-Generator-Einheiten 2 oder Turbinen-Generator-Modulen 3, zur Stauanlage zurückgeliefert.

#### 35 P A T E N T A N S P R Ü C H E :

1. Verfahren zum Regeln des Pegelstandes (P) einer Stauanlage (1), vorzugsweise ein Staudamm oder ein Stauwehr, wobei in der Stauanlage (1) zum Erzeugen elektrischer Energie eine Anzahl von Turbinen-Generator-Einheiten (2), vorzugsweise mit Leistungen zwischen je 100kW und 1000kW, angeordnet sind, die zumindest abschnittsweise übereinander und/oder nebeneinander angeordnet und miteinander zu einem oder mehreren Turbinen-Generator-Modulen (3) verbunden sind und wobei der Pegelstand (P) durch das Zu- bzw. Wegschalten von einzelnen bzw. mehreren Turbinen-Generator-Einheiten (2) eines Turbinen-Generator-Moduls (3) und/oder von Turbinen-Generator-Modulen (3) auf einen vorgebbaren Sollwert geregelt wird, wobei eine Durchflussmenge durch die Stauanlage in diskreten Schritten eingestellt wird und ein diskreter Schritt der durch eine bzw. mehrere Turbinen-Generator-Einheit (2) fließbaren Durchflussmenge entspricht.
2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** die zugeschalteten Turbinen-Generator-Einheiten (2) bei im wesentlichen konstanter Durchflussmenge bzw. mit konstanter Leistung betrieben werden.
3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Pegelstand (P) zumindest teilweise durch das Öffnen bzw. Schließen zumindest einer zusätzlichen Wehranlage geregelt wird.
4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, **dadurch gekennzeichnet, dass** beim Erreichen eines vorgegebenen oberen Turbinenschaltpegels ( $TsP_O$ ) Turbinen-Generator-

- Einheiten (2) oder Turbinen-Generator-Module (3) zugeschalten und/oder Wehranlagen geöffnet werden.
5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4, **dadurch gekennzeichnet, dass** beim Erreichen eines vorgegebenen oberen Alarmpegels ( $AP_o$ ) eine Wehranlage geöffnet wird und/oder Turbinen-Generator-Einheiten (2) oder Turbinen-Generator-Module (3) zugeschaltet werden.
  6. Verfahren nach Anspruch 4 oder 5, **dadurch gekennzeichnet, dass** zuerst alle Turbinen-Generator-Einheiten (2) oder Turbinen-Generator-Module (3) zugeschaltet werden und erst danach Wehranlagen geöffnet werden.
  10. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 6, **dadurch gekennzeichnet, dass** beim Erreichen eines vorgegebenen unteren Turbinenschaltpegels ( $TsP_u$ ) Turbinen-Generator-Einheiten (2) oder Turbinen-Generator-Module (3) weggeschalten und/oder Wehranlagen geschlossen werden.
  15. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 7, **dadurch gekennzeichnet, dass** beim Erreichen eines vorgegebenen unteren Alarmpegels ( $AP_u$ ) Wehranlagen geschlossen werden und/oder Turbinen-Generator-Einheiten (2) oder Turbinen-Generator-Module (3) weggeschaltet werden.
  20. Verfahren nach Anspruch 7 oder 8, **dadurch gekennzeichnet, dass** zuerst alle Wehranlagen geschlossen werden und erst danach Turbinen-Generator-Einheiten (2) oder Turbinen-Generator-Module (3) weggeschaltet werden.
  25. Verfahren nach einem der Ansprüche 4 bis 9, **dadurch gekennzeichnet, dass** beim Erreichen eines vorgegebenen Turbinenschaltpegels ( $TsP_o$ ,  $TsP_u$ ) und/oder Alarmpegels ( $AP_o$ ,  $AP_u$ ) ein Alarmsignal, vorzugsweise ein akustisches oder optisches, erzeugt und/oder angezeigt wird.
  30. Verfahren nach Anspruch 10, **dadurch gekennzeichnet, dass** durch das Auslösen eines Alarms automatische Schalthandlungen zum Zu- oder Wegschalten von Turbinen-Generator-Einheiten (2) oder Turbinen-Generator-Module (3) und/oder Öffnen oder Schließen von Wehranlagen eingeleitet werden.
  35. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 11, **dadurch gekennzeichnet, dass** eine Vorhersage über einen künftig zu erwartenden Pegelstand (P) erstellt wird und dass abhängig von dieser Vorhersage Turbinen-Generator-Einheiten (2) oder Turbinen-Generator-Module (3) zu- bzw. weggeschalten und/oder Wehranlagen geöffnet bzw. geschlossen werden.
  40. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 12, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Regelung der Pegelstände (P) mehrerer hintereinanderfolgender Stauanlagen (1) miteinander gekoppelt werden und von einer übergeordneten Regelung so geregelt werden, dass die Pegelstände (P) dieser Stauanlagen unter gegenseitiger Rücksichtnahme optimiert werden.
  45. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 13, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Anzahl der zu- bzw. wegzuschaltenden Turbinen-Generator-Einheiten (2) oder Turbinen-Generator-Module (3) vorab ermittelt werden und im Wesentlichen gleichzeitig zu- bzw. weggeschalten werden.
  50. Verfahren nach Anspruch 14, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Anzahl der zu- bzw. wegzuschaltenden Turbinen-Generator-Einheiten (2) bzw. Turbinen-Generator-Module (3) anhand des aktuellen Energiebedarfs ermittelt werden.
  55. Verfahren nach Anspruch 12 und Anspruch 14, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Anzahl der zu- bzw. wegzuschaltenden Turbinen-Generatoren bzw. Module anhand eines künftig zu erwartenden Pegelstandes (P) und eines künftig zu erwartenden Energiebedarfs ermittelt werden.
  17. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 16, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Regelungen des Pegelstandes (P) hinsichtlich der Energieerzeugung optimiert wird.
  18. Verfahren nach Anspruch 17, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Optimierung der Energieerzeugung mit Hilfe eines mathematischen Modells durchgeführt wird.
  19. Verfahren nach Anspruch 18, **dadurch gekennzeichnet, dass** anhand des mathematischen Modells unter Berücksichtigung des aktuellen und/oder zu erwartenden Zu- bzw. Abflusses und des aktuellen und/oder zu erwartenden Energiebedarfs die optimale Anzahl

- der zu- bzw. wegzuschaltenden Turbinen-Generator-Einheiten (2) bzw. Turbinen-Generator-Module (3) ermittelt wird.
- 5 20. Verfahren nach Anspruch 19, **dadurch gekennzeichnet, dass** anhand des mathematischen Modells das vorübergehende Öffnen bzw. Schließen von Wehren, Dämmen, Schleusen und gegebenenfalls das Anheben von Turbinen-Generator-Einheiten (2) bzw. Turbinen-Generator-Module (3) ermittelt bzw. berücksichtigt werden.
- 10 21. Verfahren nach Anspruch 19 oder 20, **dadurch gekennzeichnet, dass** in dem mathematischen Modell zusätzlich Eingaben des Bedienpersonals, gespeicherte Erfahrungswerte, physikalische Gesetzmäßigkeiten, wie z.B. die verdunstende oder versickernde Wassermenge, etc., und aktuelle bzw. vorausschauende meteorologische Daten, wie z.B. zu erwartende Regenfälle, Temperaturvorhersagen, etc., berücksichtigt werden.
- 15 22. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 21, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Pegelstand (P) der Stauanlage (1) über einen vorbestimmten Zeitraum, z.B. 1 Jahr, vorgegeben wird und diese Vorgabe, insbesondere als Sollwert, für die Regelung herangezogen wird.
- 20 23. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 22, **dadurch gekennzeichnet, dass** die zu erzeugende Energie über einen bestimmten Zeitbereich, vorzugsweise einem Tag, vorgegeben wird und der Pegelstand (P) so geregelt wird, dass der vorgegebene Energieerzeugungsverlauf möglichst genau eingehalten wird.
- 25 24. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 23, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Turbinen-Generator-Einheiten (2) oder Turbinen-Generator-Module (3) zur Freigabe des Strömungsquerschnittes angehoben werden.
26. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 24, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Pegelstände einer oder mehrerer Stauanlagen von einem zentralen Kontrollzentrum aus geregelt werden.
- 30 27. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 26, **dadurch gekennzeichnet, dass** an einer Stauanlage zumindest 10, vorzugsweise 20 bis 500 zu- bzw. wegschaltbaren Turbinen-Generator-Einheiten (2) eingesetzt werden.
- 35 28. Anlage zum Regeln des Pegelstandes (P) einer Stauanlage (1), vorzugsweise ein Staudamm oder ein Stauwehr, mit einer Mehrzahl von Turbinen-Generator-Einheiten (2), die übereinander und/oder nebeneinander angeordnet und miteinander zu einem oder mehreren Turbinen-Generator-Modulen (3) verbunden sind und gegebenenfalls eine vorbestimmte Anzahl von Turbinen-Generator-Modulen (3) nebeneinander angeordnet und an der Stauanlage (1) abgestützt sind, wobei eine Einrichtung zum Zu- bzw. Wegschalten von einzelnen oder mehreren Turbinen-Generator-Einheiten (2) oder Turbinen-Generator-Modulen (3) vorgesehen ist, mittels welcher der Pegelstand (P) der Stauanlage (1) zumindest teilweise regelbar ist, und wobei durch das Zu- bzw. Wegschalten die durch die Stauanlage fließende Durchflussmenge in diskreten Schritten, die der durch eine bzw. mehrere Turbinen-Generator-Einheit (2) fließbaren Durchflussmenge entsprechen, einstellbar ist.
- 40 29. Einrichtung nach Anspruch 28, **dadurch gekennzeichnet, dass** die zuschaltbaren Turbinen-Generator-Einheiten (2) für einen Betrieb mit im wesentlichen konstanter Durchflussmenge bzw. mit konstanter Leistung ausgelegt sind.
- 45 30. Anlage nach Anspruch 28 oder 29, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Pegelstand (P) zumindest teilweise durch eine Einrichtung zum Öffnen bzw. Schließen zumindest einer Wehranlage regelbar ist.
- 50 31. Anlage nach einem der Ansprüche 28 bis 30, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Stauanlage (1) eine Mehrzahl von Pfeilern (4) aufweist, zwischen welchen das Medium vorbeiströmen kann, wobei zwischen zwei benachbarten Pfeilern (4) eine vorbestimmte Anzahl von Turbinen-Generator-Einheiten (2) oder Turbinen-Generator-Modulen (3) angeordnet und an den Pfeilern (4) abgestützt sind.
- 55 32. Anlage nach Anspruch 31, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Einrichtung zum Zu- bzw. Wegschalten von Turbinen-Generator-Einheiten (2) oder Turbinen-Generator-Modulen (3)

- in den Einheiten oder Modulen integriert angeordnet und über die Einheit oder das Modul an den Pfeilern abgestützt ist.
- 5        33. Anlage nach Anspruch 32, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Einrichtung zum Zu- bzw. Wegschalten von Turbinen-Generator-Einheiten (2) oder Turbinen-Generator-Modulen (3) direkt an den Pfeilern abgestützt ist.
- 10      34. Anlage nach einem der Ansprüche 28 bis 33, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Turbinen-Generator-Einheiten (2) und/oder Turbinen-Generator-Module (3) heb- und senkbar angeordnet sind.
- 15      35. Anlage nach einem der Ansprüche 28 bis 34, **dadurch gekennzeichnet, dass** ein zentrales Kontrollzentrum vorgesehen ist, von dem aus der Pegelstand (P) einer oder mehrerer Stauanlagen (1) regelbar ist.
36. Anlage nach einem der Ansprüche 28 bis 35, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Stauanlage (1) ein Damm zu Regulierung eines Schifffahrtsweges ist.
- 15      37. Anlage nach einem der Ansprüche 28 bis 35, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Stauanlage (1) ein Trinkwasserreservoir ist.
38. Anlage nach einem der Ansprüche 28 bis 35, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Stauanlage (1) ein Bewässerungsdamm ist.
39. Anlage nach einem der Ansprüche 28 bis 35, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Stauanlage (1) ein Hochwasserrückhaltebecken ist.
- 20      40. Anlage nach einem der Ansprüche 28 bis 35, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Stauanlage (1) eine Staustufe eines Flusskraftwerkes ist.

HIEZU 2 BLATT ZEICHNUNGEN

25

30

35

40

45

50

55

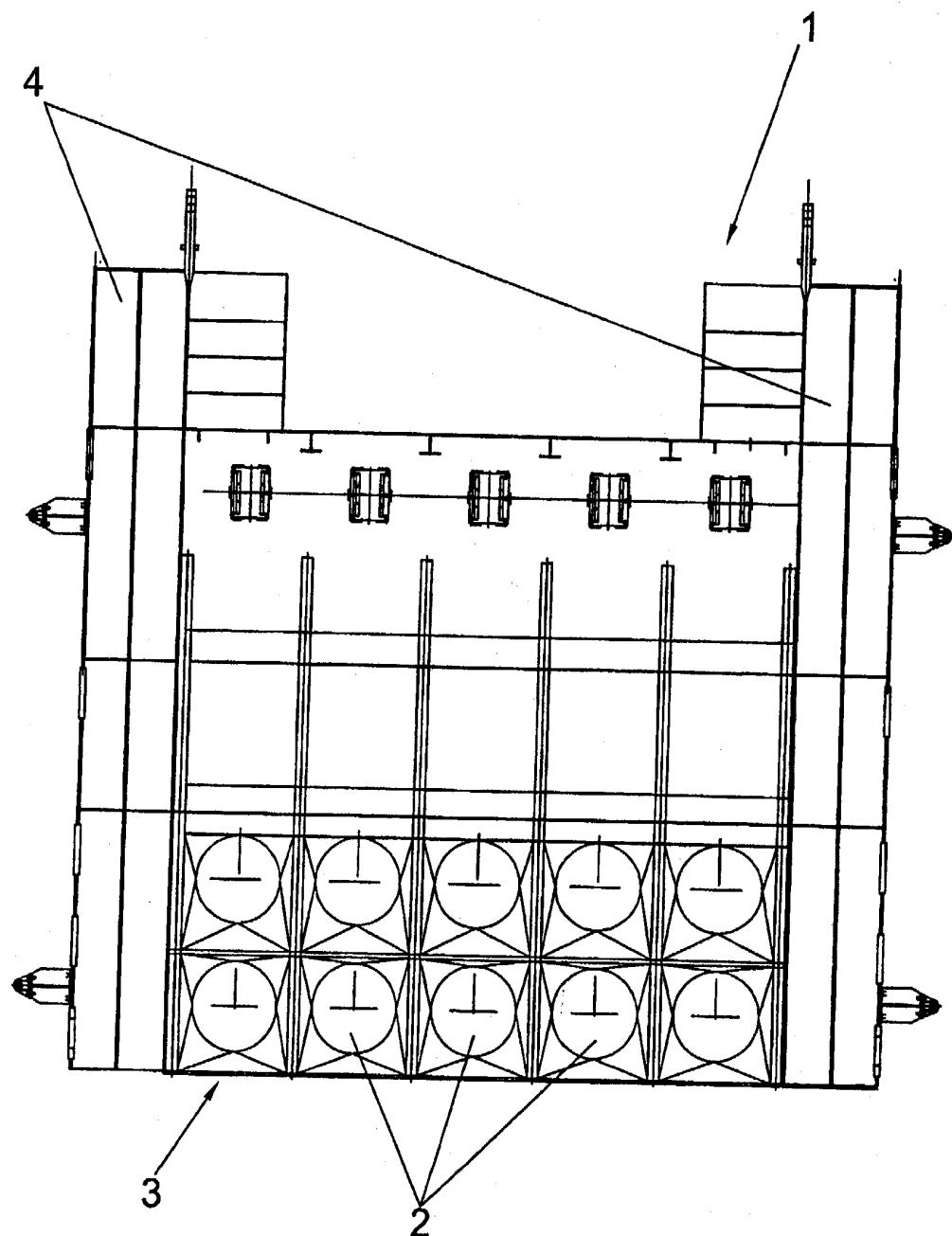


Fig. 1

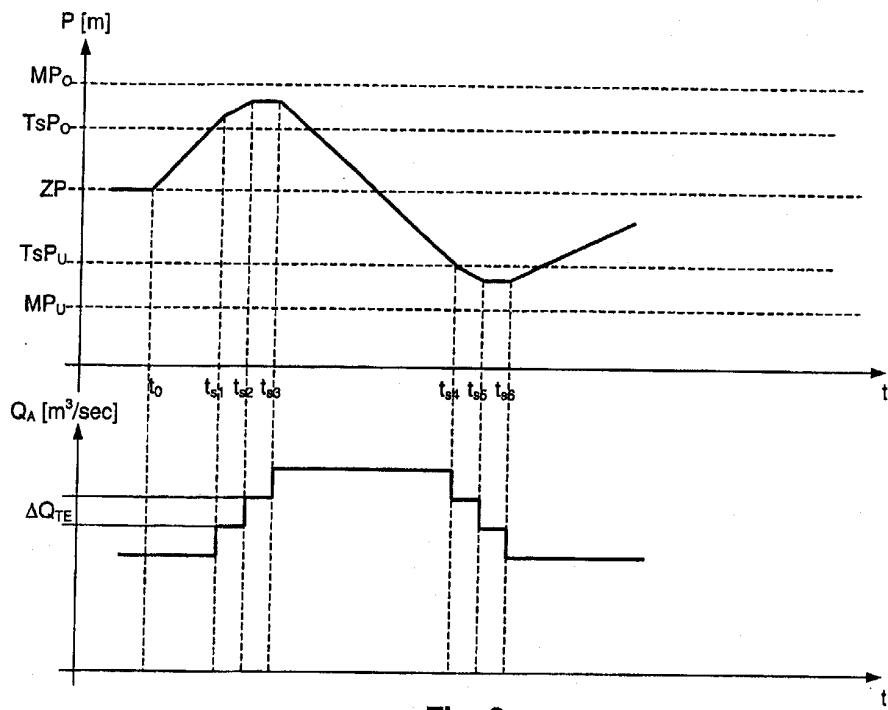


Fig. 2

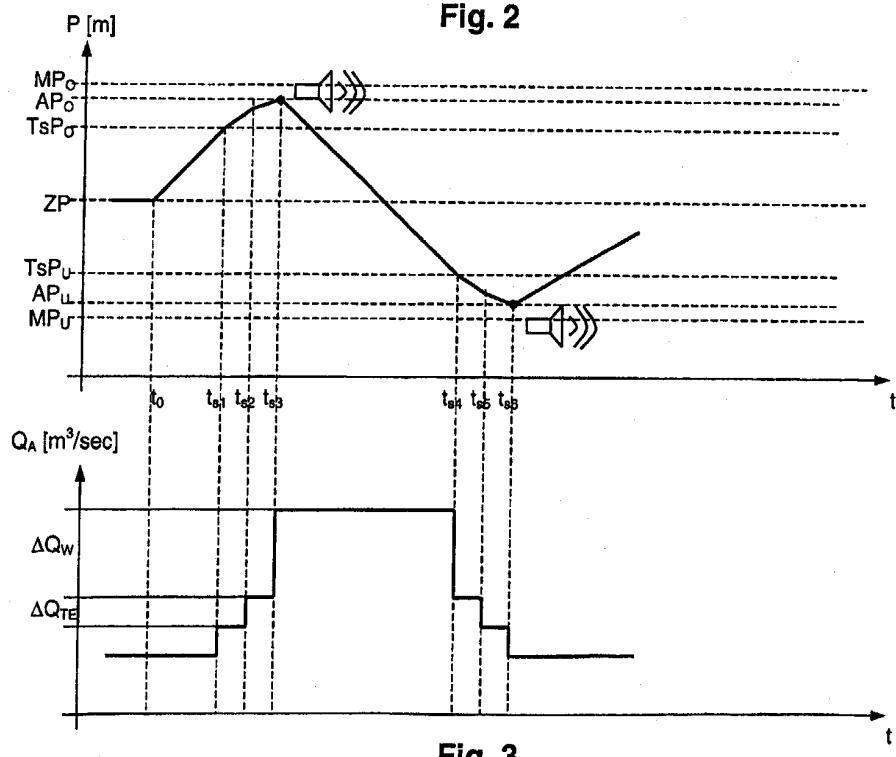


Fig. 3