



(19)
Bundesrepublik Deutschland
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 195 13 817 B4** 2004.12.09

(12)

Patentschrift

(21) Aktenzeichen: **195 13 817.1**
(22) Anmeldetag: **12.04.1995**
(43) Offenlegungstag: **17.10.1996**
(45) Veröffentlichungstag
der Patenterteilung: **09.12.2004**

(51) Int Cl.7: **E02B 9/00**
F03B 13/06

Innerhalb von 3 Monaten nach Veröffentlichung der Erteilung kann Einspruch erhoben werden.

(71) Patentinhaber:
ETC Energietechnik und Chemie GmbH & Co. KG,
64584 Biebesheim, DE

(72) Erfinder:
Siol, Ursula, 64297 Darmstadt, DE

(56) Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht
gezogene Druckschriften:
DE-PS 8 96 178
DE 29 31 176 A1
DE-OS 26 034 21
DD 43 131
US 53 89 821
WO 93 06 367 A1

(54) Bezeichnung: **Pumpspeicherwerk**

(57) Hauptanspruch: Pumpspeicherwerk, dadurch gekennzeichnet, daß das untere und das obere Speicherbecken in einer bestehenden oder ausgeräumten Braunkohlelagerstätte angeordnet sind.

Beschreibung

Gebiet der Erfindung

[0001] Die Erfindung betrifft Pumpspeicherwerke mit erhöhter Leistung und erhöhter Verfügungszeit sowie ein Verfahren zur Errichtung dieser Pumpspeicherwerke.

Stand der Technik

[0002] Elektrische Energie kann nur schlecht direkt gespeichert werden. Im allgemeinen bedarf es zur Speicherung elektrischer Energie eines Energieträgers, der die Energie in Form potentieller oder kinetischer Energie speichert.

[0003] Gerade bei der Stromerzeugung durch erneuerbare Energieen, wie z.B. bei der Stromerzeugung mit Windkraftanlagen, ist jedoch aufgrund des stark schwankenden Energieangebotes die Speicherung der erzeugten elektrischen Energie von zentraler Bedeutung.

[0004] Neben der Stromspeicherung in Akkumulator-Batterien, die aufgrund der geringen Kapazität nur für kleine Anlagen eine Rolle spielt, wurden vor allem die Speicherung über Druckluft und insbesondere die Pumpspeicherung diskutiert.

[0005] Ein Pumpspeicherwerk besteht aus einer Pumpanlage, einem oberen und unteren Speicherbecken und einem Wasserkraftwerk. Das Prinzip der Pumpspeicherung besteht darin, Wasser aus dem unteren Becken mit überschüssigem Strom in das hoch gelegene Becken zu pumpen und in Zeiten hohen Energiebedarfs zur Erzeugung des benötigten Stromes das Wasser durch die Turbinen des Wasserkraftwerkes wieder in das untere Becken fallen zu lassen.

[0006] Die Pumpspeicherung ist eine ausgereifte Technik. Der Gesamtwirkungsgrad moderner Pumpspeicherwerke liegt bei Berücksichtigung aller Verluste im Pumpbetrieb (Rohrleitung, Pumpe, Synchronmotor, Transformator) und aller Verluste im Generatorbetrieb (Rohrleitung, Turbine, Generator, Transformator) bei 0,7–0,75, d.h. 70–75% der aufgewendeten, elektrischen Energie kann wiedergewonnen werden.

[0007] Eine wichtige Voraussetzung für die Anlage von Pumpspeicherwerken sind günstige Geländebedingungen für die Schaffung der beiden Becken. So soll beispielsweise gemäß DE-OS 2603421 ein Gezeitenkraftwerk mit Speichersee bevorzugt an Steilküsten installiert werden.

[0008] Aus DE 2931176 A1 ist ein Wasserkraftwerk zur Erzeugung von elektrischem Strom in Gewäs-

sern, im offenen Meer und dergl. mit mindestens einem Hohlraumssystem, das sich in beliebiger Tiefe unter Wasser befindet und eine Turbine enthält, bekannt. Die Pumpspeicherung erfolgt dabei dadurch, daß in Zeiten geringen Energiebedarfs der Abtransport der Wassermassen aus dem Hohlraumssystem mit Sonnenenergie, Wellenenergie, Windkraft und dergl. in das Meer erfolgt.

[0009] Wenn auch das Problem der Stromspeicherung bei der Einführung alternativer Energieen besonders augenscheinlich zutage tritt, so ist die Speicherung der elektrischen Energie auch bei der Stromerzeugung mit konventionellen Kraftwerken ein generelles Problem, da ganz allgemein die Nachfrage nach Strom durch die Verbraucher tages-, wochen- und jahreszeitlich starken Schwankungen unterlegen ist. Beispielsweise ist der Strombedarf morgens und abends etwa doppelt so hoch wie nachts. Die Nachfrage an elektrischer Energie muß jedoch stets im Augenblick des Bedarfs gedeckt werden. Ein augenblicklicher Mehrverbrauch bedingt eine augenblickliche Mehrerzeugung.

[0010] Pumpspeicherwerke werden in erster Linie zwar zur Deckung von Bedarfsspitzen eingesetzt, darüber hinaus zeigen Pumpspeicherwerke eine ganze Reihe von technischen Vorteilen. So haben Pumpspeicherwerke sehr schnelle Ein- und Umschaltzeiten (z.B. 1 Minute). Dies ermöglicht, die Einsatzleistung eines Pumpspeicherwerkes als Summe der Turbinen- und Pumpenleistung zu betrachten. Damit stellen Pumpspeicherwerke eine sehr schnell einsetzbare Leistungsreserve dar, z.B. beim Ausfall von Grundlastkraftwerken.

[0011] Darüber hinaus ermöglichen Pumpspeicherwerke die Frequenzregelung im Rahmen des Verbundbetriebes und den Phasenausgleichsbetrieb. Schließlich haben Pumpspeicher geringe Wartungskosten, eine hohe Abschreibungsdauer und verglichen mit anderen Kraftwerken, z.B. Kernkraftwerken, geringere Anlagekosten.

Aufgabenstellung

[0012] Aufgabe der Erfindung ist es, ein Pumpspeicherwerk vorzuschlagen, das große Wassermassen in entsprechend großen Speicherbecken gefahrlos speichern kann, eine möglichst große Höhendifferenz aufweist und zur Rekultivierung der Landschaft beiträgt.

Lösung

[0013] Die Aufgabe wird mit einem Pumpspeicherwerk nach dem Anspruch 1 gelöst. Die Unteransprüche enthalten vorteilhafte Ausgestaltungen der Erfindung.

[0014] Es wurde nun gefunden, daß sich die Aufgabe der Speicherung überschüssiger Energie eines elektrischen Versorgungsnetzes lösen läßt, wenn man diese Aufgabe der Energiespeicherung mit der Aufgabe der Rekultivierung und Sanierung von Braunkohletagebaustrecken verknüpft.

[0015] So wurde gefunden, daß die gestiegenen Anforderungen an eine Speicherung elektrischer Energie in hervorragender Weise erfüllt werden durch ein Pumpspeicherwerk, das dadurch gekennzeichnet ist, daß das untere und das obere Speicherbecken in einer bestehenden oder ausgeräumten Braunkohlelagerstätte angeordnet sind.

[0016] Ein besonderes Kennzeichen dieser neuartigen Pumpspeicherwerke ist ferner, daß das untere Speicherbecken in der Regel die gesamten im Pumpspeicherwerk befindlichen Wassermassen aufnehmen kann, wobei im allgemeinen weiter gilt, daß das untere Becken gänzlich unterhalb des Umgebungsniveaus angeordnet ist.

[0017] Diese Einschränkung, ist unter Sicherheitsaspekten von zentraler Bedeutung. So geht von einer Wassermasse, die sich in einem großen Becken unterhalb des Umgebungsniveaus befindet, keine Gefahr aus, auch dann nicht, wenn irgendeine Mauer oder ein Damm bricht. Damit können die erfindungsgemäßen Pumpspeicher – wie unten näher ausgeführt – auch in allernächster Nähe zu großen Ballungszentren, d.h. zu großen Verbraucherzentren, installiert werden.

[0018] Die Höhendifferenz zwischen dem oberen und dem unteren Becken richtet sich nach den Möglichkeiten der entsprechenden Braunkohletagebaustrecke. Die Höhendifferenz sollte im allgemeinen jedoch wenigstens 40m betragen.

[0019] Die Anordnungen der Becken zueinander erfolgt im allgemeinen entsprechend den geographischen Möglichkeiten. So kann es durchaus vorteilhaft sein, z.B. 1 großes Unterbecken durch 2 mehr als 5 km entfernte obere Becken zu versorgen. In diesem Fall empfiehlt sich die Installation einer Ausgleichsanlage (Wasserschloß) Liegen Oberbecken und Unterbecken relativ nahe beieinander, z.B. in einem Abstand < 1km, so genügt u.U. ein einfacher Druckstollen.

[0020] Kennzeichnend für die erfindungsgemäßen Pumpspeicherwerke ist damit auch, daß sich je nach Füllstand des Ober- und des Unterbeckens eine erhebliche Schwankung der Höhendifferenz zwischen dem Wasserstand des Oberbeckens und des Unterbeckens einstellt. So kann es durchaus zutreffen, daß sich für ein Pumpspeicherwerk bei vollem Oberbecken und leerem Unterbecken eine Höhendifferenz von z.B. 400 m ergibt, während dieselbe Be-

ckenanlage bei fast leer gelaufenem Oberbecken und nahezu vollem Unterbecken eine Höhendifferenz von z.B. 20m aufweist. D.h. es wird besonders großer Wert auf eine optimale Ausnutzung der Speichermöglichkeit der Becken gelegt. Die damit verbundenen Probleme bei der Auslegung der Pumpen und Turbinen sind dem unterzuordnen.

[0021] Prinzipiell lassen sich diese Pumpspeicherwerke in ganz unterschiedlicher Größe erbauen. So kann man in einem Pumpspeicherwerk mit einem unteren und oberen Becken von je 10 Millionen m³ bei einer mittleren Höhendifferenz von 100 m Energie entsprechend 2,3 Millionen kWh speichern (zur Berechnung siehe Beispiele). Die erfindungsgemäße Anordnung wenigstens des unteren Beckens in einem Braunkohletagebau unter Umgebungsniveau gestattet jedoch den gefahrlosen Bau von Pumpspeicherwerken mit deutlich größerer Kapazität. So wird man erfindungsgemäß bevorzugt solche Pumpspeicherwerke errichten, bei denen das untere Becken wenigstens 50 Millionen m³, oder bevorzugt wenigstens 100 Millionen m³ faßt. Besonders bevorzugt sind Pumpspeicherwerke mit Speicherbecken, die ein Fassungsvermögen von mehr als 200 Millionen m³ aufweisen. Besonders große Vorteile der erfindungsgemäßen Pumpspeicherwerke ergeben sich, wenn die Speicherbecken mehr als 500 Millionen m³ oder gar mehr als 1 Milliarde m³ fassen.

[0022] Ganz allgemein können mit den erfindungsgemäßen Pumpspeicherwerken besonders große Energiemengen gespeichert werden. So sind beispielsweise im Rheinischen Braunkohlerevier problemlos Pumpspeicherwerke mit einer Beckengröße von 500 Millionen m³ installierbar. Bei einer Höhendifferenz von z.B. 400m, wie sie sich im Rheinischen Braunkohlerevier aufgrund der besonders tiefen Lage der Braunkohlenflöze ohnehin einfach realisieren läßt, ergibt sich für ein derartiges Pumpspeicherwerk eine Kapazität von fast 450 Millionen kWh. Damit kann ein einziges derartiges erfindungsgemäßes Pumpspeicherwerk fast zehnmal so viel Energie speichern wie alle z. Z. in Deutschland installierten Pumpspeicherwerke zusammen. In der Regel wird man derartige Großspeicher als Wochen-, Monats- oder Jahresspeicher einsetzen.

[0023] Erfindungsgemäß sind demzufolge insbesondere solche Pumpspeicherwerke, die eine Speicherkapazität von mehr als 20 Millionen kWh aufweisen. Besonders bevorzugt sind jedoch Pumpspeicherwerke, die eine Kapazität von 400 Millionen kWh und mehr haben.

[0024] Im allgemeinen werden die Pumpspeicherwerke so ausgelegt (Verhältnis der installierten Leistung zur gespeicherten Wassermenge), daß diese Leistung wenigstens 4 Stunden zur Verfügung steht. Bevorzugt sind jedoch Pumpspeicherwerke, die eine

Verfügungszeit von mindestens 50h aufweisen.

[0025] Die Auslegung der Pumpen- und Turbinenleistung erfolgt entsprechend der geforderten Anwendungsart des Pumpspeicherwerkes. Geht man beispielsweise davon aus, daß in dem oben dargestellten Pumpspeicherwerk mit 500 Millionen m³ Bekkenvolumen und einer Höhendifferenz von 400m Energie für 100 Stunden bereit gehalten werden soll, so ergibt sich für dieses Pumpspeicherwerk eine Leistung von 4444 MW, d.h. ein derartiges Pumpspeicherwerk stellt für die Dauer von 100h in etwa die Leistung von 4 Kernkraftwerken zur Verfügung.

[0026] Andererseits bedeutet dies einen Wasserstrom von 5 Millionen m³/h oder entsprechend 1389 m³/s. Dies sind Wassermassen, wie sie in vielen großen Wasserkraftwerken der Erde auftreten und beherrscht werden. Bevorzugt werden diese Wassermassen auf mehrere Turbinen verteilt.

[0027] Die Auslegung solcher großen Wasserkraftanlagen kann als bekannt vorausgesetzt werden. So gilt ganz allgemein, daß die größten Kraftwerksblöcke weltweit ohnehin Wasserkraftwerke sind. Beispiele sind hier Guri/Venezuela mit einer Leistung von 6.525 MW, Grand Coulee/USA mit 6.480 MW oder gar Itaipu/Brasilien-Paraguay mit einer Leistung von 12.870 MW, wobei hier ein Ausbau auf 21.500 MW geplant ist. Als weiteres Beispiel sei auf die Wasserkraftanlage Atatürk am Euphrat hingewiesen. In dieser Anlage wird die Gesamtleistung von 2400 MW durch 8 Einheiten mit je 300 MW Leistung erbracht.

[0028] Andererseits kann die oben diskutierte Beckenanordnung, Speichervolumen: 500 Millionen m³, Höhendifferenz: 400 m, bei 600 MW Gesamtleistung als ausgeprägter Langzeitspeicher eingesetzt werden. So liefert dieses Pumpspeicherwerk bei einer Ausrüstung mit 2 Einheiten mit je 300 MW immerhin 740 h Strom. Damit kann diese Anlage beispielsweise an 185 Werktagen 4 h lang eine Leistung von 600 MW erbringen.

[0029] Ebenso ist es möglich, bei entsprechender Turbinen- und Pumpenausstattung dieses Pumpspeicherwerk als extrem leistungsstarken Kurzzeitspeicher auszulegen.

[0030] Ein derartiger Ausbau ist beispielsweise interessant, wenn es darum geht, Spitzenstrom in einem überregionalen Verbund zur Verfügung zu stellen

Errichtung der Pumpspeicherwerke

[0031] Umfang und Ausmaß des Braunkohletagebaues zeigen heute Formen, die es erforderlich machen, ganze Landstriche neu zu gestalten. So ist die Sophienhöhe (281 m) bei Hambach im Rheinland letztlich nur eine Abraumhalde des Tagebaus Ham-

bach.

[0032] Andernorts werden bei der Rekultivierung von Tagebaustrecken ganze Seenlandschaften neu angelegt. Ganz allgemein werden im Braunkohletagebau selbst bzw. bei der Rekultivierung gewaltige Erdmassen bewegt. So müssen allein im Tagebau Hambach 15,4 Milliarden m³ Abraum bewegt werden. Davon werden 1,7 Milliarden m³ über ein 14km langes Förderband zum Auffüllen des Tagebaus Fortuna transportiert werden. Für die Bewegung dieser Erdmassen stehen allein im Tagebau Hambach 5 Schaufelradbagger mit einer Leistung von jeweils 240 000 m³/Tag.

[0033] Ebenso existieren im Tagebau Hambach bzw. im Tagebau Fortuna Absetzer mit einer vergleichbar großen Leistung.

[0034] Hat man auf der einen Seite mit der Sophienhöhe einen künstlichen Berg geschaffen, so frißt sich der Tagebau auf der anderen Seite dem Verlauf der Kohle folgend in eine Tiefe von 295 m unter NN. Um diese bei -295 m lagernde Kohle zu fördern, muß 400 m Deckgebirge abgetragen werden.

[0035] Wie an diesem Beispiel gezeigt wird, entstehen bei der Nutzung der Braunkohlelagerstätten durchaus Höhendifferenzen von einigen hundert Metern (z.B. im hier diskutierten Tagebau Hambach fast 600m). Erfindungsgemäß wird nun der Abraum so geschichtet, daß auf der einen Seite des Tagebaus ein möglichst großes, möglichst hoch gelegenes Becken errichtet wird und an einer anderen Stelle des Tagebaus ein möglichst tiefes und möglichst großes Speicherbecken belassen wird oder angelegt wird. Dazu werden diese Becken durch eine Wasserkraftanlage miteinander verbunden.

[0036] Im Prinzip ist es zwar möglich, das obere und das untere Becken direkt durch eine große Staumauer voneinander zu trennen, im allgemeinen sind die Braunkohlelagerstätten jedoch so weiträumig, daß es bautechnisch einfacher möglich ist, Oberbecken und Unterbecken so weit zu trennen, daß man ohne große Staumauern auskommt.

[0037] In der Regel ist die Anlage so auszulegen, daß das untere Becken die gesamten Wassermassen faßt und diese Massen sich vollständig unter dem Umgebungsniveau befinden. Dies ist eine zwingende Voraussetzung für die Anlage von Großspeichern. Erfindungsgemäß wird die Anlage des oberen und unteren Beckens so durchgeführt, daß eine Landschaft mit ausgeprägter Höhengliederung entsteht, wobei sich ein Teil dieser Anordnung unter Umgebungsniveau befindet.

[0038] Unter Umgebungsniveau ist dabei die Höhenlage über dem Meeresspiegel (NN) zu verstehen,

die das Gelände in einem Umkreis von wenigstens 5km um das Pumpspeicherwerk aufweist. In der Regel ist dies auch die Höhe über NN, auf der sich die Flüsse und Ortschaften der Umgebung befinden. Sofern durch die Rekultivierung eine Höhenveränderung vorgenommen worden ist, wird als Bezugsmaß die Höhenlage über NN vor der Ausbeutung der Braunkohlelagerstätte zugrundegelegt.

[0039] Förderlich für diese Anlage von großen Pumpspeichern in ausgebeuteten Braunkohletagebaustrecken ist der Umstand, daß durch die Verbrennung derart großer Kohlemassen (Verstromung) ohnehin ein Restloch entsteht. Diese Restlöcher sind zum Teil so groß, daß sie sich auch in Jahrzehnten nicht mit Regenwasser und Grundwasser füllen. Aus diesem Grunde ist beispielsweise im Tagebau Garzweiler II geplant, Wasser aus dem Rhein zum Auffüllen des Restloches heranzuführen.

[0040] Ein wesentlicher Aspekt bei der Anlage der Becken ist die Isolierung gegen das Grundwasser, z.B. in Form eines Abdichtungsschirms. Hier kann auf die Erfahrungen im Staudambau bzw. bei der Rekultivierung von Braunkohlelagerstätten zurückgegriffen werden. Sofern möglich, wird man zur Abdichtung der Becken nach unten auch natürliche Gegebenheiten ausnutzen, so z.B. vorhandene Tonschichten belassen oder diese bei der Anlage der Becken einbringen.

[0041] Wenn möglich wird man in einem gegebenen Braunkohlenabbaugebiet Gegenden mit besonders tief liegenden Flözen zur Errichtung des Unterbeckens nutzen. Dies ist besonders interessant, wenn die Braunkohlenflöze sich in Relation zur Oberfläche in sehr unterschiedlicher Tiefe bewegen. Dies ist z.B. der Fall bei Versetzungen oder ganz einfach, wenn das Flöz in die Tiefe absinkt. Im allgemeinen ist in diesem Fall die Installation des Oberbeckens direkt mit dem Abraum, d.h. dem Deckgebirge des tiefer liegenden Flözes, möglich. Derartige Gegebenheiten liegen z.B. im Tagebau Hambach vor. In diesem Tagebau kann das Absinken des Braunkohleflözes von 100 unter NN auf 300 unter NN so zur Installation eines großen Pumpspeicherwerkes genutzt werden, daß auf der Seite der geringen Deckgebirgsmächtigkeit ein Oberbecken mit z.B. 500 Millionen m³ in einer Höhe von 50–250 m errichtet wird, während das etwa gleich große Unterbecken im Bereich des tief liegenden Flözes errichtet wird (z.B. in einer Höhe von 50m unter NN bis 250 unter NN).

[0042] Aufgrund der Weiträumigkeit der Braunkohletagebauegebiete lassen sich dabei die Becken so anordnen, daß beispielsweise der Anstieg des Geländes zum Rand des Oberbeckens im Durchschnitt höchstens 20% beträgt. Auch das Gefälle des Geländes vom Oberbecken zum Unterbecken kann im allgemeinen so gestaltet werden, daß es z.B. 30% oder

weniger beträgt.

[0043] Neben der oben dargestellten Einrichtung sowohl des oberen als auch des unteren Speicherbeckens über einem ausgeräumten Braunkohlenflöz, z.B. innerhalb eines Braunkohletagebaues, ist es auch möglich, verschiedene, beispielsweise 5–30 km von einer entfernt liegende Braunkohletagebauegebiete miteinander zu verbinden. Dabei wird das obere Becken in dem einen (ehemaligen) Abbaugebiet angeordnet, das untere Becken in einem anderen. In diesem Fall ist in der Regel ein Wasserschloß oder ein großes Ausgleichsbecken erforderlich. Auch ist darauf zu achten, daß das obere Speicherbecken keine Überflutungsgefahr für die Umgebung darstellt. Von Vorteil ist es in diesem Fall, wenn auch das obere Becken zu wenigstens 50% oder bevorzugt gänzlich unter Umgebungsniveau angelegt ist. Besondere Vorteile ergeben sich durch diese Verknüpfung von 2 verschiedenen Tagebauegebieten, wenn die Lage der Braunkohlenflöze in diesen Abbaugebieten sehr unterschiedlich ist, sich z.B. um 50 m, besser 100 m oder besonders bevorzugt um mehr als 200m unterscheidet. Mit 2 derart räumlich getrennt angeordneten Speicherbecken lassen sich besonders große Wassermassen handhaben, vor allem dann, wenn beide Becken unter Umgebungsniveau angelegt sind.

[0044] Andererseits ist es auch von Interesse, beispielsweise die Braunkohle nur im Bereich des unteren Beckens abzubauen und das obere Becken auf gewachsenem Boden anzuordnen ohne die Braunkohle darunter abzubauen. Auch in diesem Fall kann es von Interesse sein, daß das obere und das untere Becken mehr als 3 km, bevorzugt mehr als 5 km voneinander getrennt angelegt sind. Eine derartige Lösung bietet sich z.B. dann an, wenn für einen durchgängigen, unstrukturierten Tagebau ganze Ortschaften umgesiedelt werden müßten.

[0045] Eine andere Möglichkeit der Anordnung von Oberbecken und Unterbecken besteht in der Abtrennung von direkt nebeneinander liegenden Becken, z.B. in einem Abstand von weniger als 500m durch einen Wall oder einen Staudamm. Dies ist in der Regel dann einfach realisierbar, wenn der Höhenunterschied zwischen den Becken nicht sehr groß ist.

[0046] Wie bereits ausgeführt werden die erfindungsgemäßen Pumpspeicher in der Regel mit einer Reihe von Pumpen und Turbinen ausgestattet, wobei die dem Fachmann geläufigen Regeln des Wasserkraftwerkbaus genutzt werden. Im allgemeinen verlangt eine gegebene Fallhöhe/Wasserstrom-Kombination einen ganz bestimmten Turbinentyp. In allgemeinen werden, wie bereits ausgeführt, bei den erfindungsgemäßen Pumpspeichern voll beaufschlagte Turbinen, wie beispielsweise Francis- oder Kaplan-turbinen oder Pumpturbinen zum Einsatz kommen.

[0047] Besondere technische Vorteile existieren, wenn die Anlage der Becken insbesondere des Oberbeckens direkt mit dem Abtragen des Abraums (Deckgebirge) erfolgt. Dabei wird man sich mit Vorteil der zum Abräumen des Deckgebirges eingesetzten Bagger, Förderbänder und der Absetzer bedienen.

Besondere Vorteile der erfindungsgemäßen Pumpspeicher

[0048] Braunkohletagebauegebiete finden sich weltweit häufig in der Nähe von Ballungszentren, so z.B. das Braunkohlengebiet im Süden und Westen von Moskau. Große Braunkohlenreviere gibt es auch in den USA und Kanada. In Deutschland wird die Nähe der Braunkohletagebauegebiete zu den Verbraucherzentren besonders gut sichtbar. So befindet sich beispielsweise Leipzig mitten im mitteldeutschen Braunkohlerevier.

[0049] Das große Lausitzer Revier liegt günstig zwischen den Ballungsräumen Dresden und Berlin. Zu nennen sind hier auch das Hessische Revier bei Kassel und das Helmstedter Revier im Bereich Braunschweig, Magdeburg.

[0050] Von besonderem Interesse ist das rheinische Revier. Dieses Braunkohlerevier ist in zweifacher Hinsicht besonders interessant. Zum einen befindet sich diese Revier in direkter Nachbarschaft zum bevölkerungsreichen Ruhrgebiet und nicht weit entfernt vom Industriestandort Rhein/Main und den belgischen und niederländischen Verbraucherzentren. Besonderes Interesse findet das rheinische Braunkohlerevier für die Errichtung von großen Pumpspeichern aber vor allem deshalb, weil hier die Kohle inzwischen aus großer Tiefe, z.T. 400m unter Umgebungsniveau gefördert wird. Die sich daraus ergebenden sehr großen Höhenunterschiede sind naturgemäß für die Errichtung von leistungsfähigen, großen Pumpspeichern besonders interessant.

[0051] Die erfindungsgemäßen Pumpspeicher in Braunkohletagebauegebieten gestatten also eine Energiespeicherung in allernächster Nähe zu den Verbraucherzentren. Der z.Z. noch praktizierte, unwirtschaftliche, tägliche Stromtransport in die Gebirgsregionen der Alpen und wieder zurück kann damit entfallen.

[0052] Ein besonderer Vorteil der erfindungsgemäßen Pumpspeicher in Braunkohlerevierstätten ist auch, daß diese Speicher nicht nur in der Nähe der Verbraucherzentren liegen, im allgemeinen befinden sich auch Großkraftwerke, wie z. B. Braunkohlekraftwerke oder Kernkraftwerke in einem für den Stromtransport geringen Abstand.

[0053] Besondere Vorteile bei der Errichtung der Pumpspeicher in Braunkohletagebaustrecken erge-

ben sich daraus, daß in den Braunkohletagebaurevierern alle technische Einrichtungen zum Bewegen großer Erdmassen vorhanden sind. Dabei wird je nach den jeweiligen Erfordernissen der Abraum durchaus kilometerweit von einem Tagebau in den anderen transportiert. Dabei haben die Techniken der Erdbewegung in diesen Tagebaustrecken einen sehr hohen Stand erreicht. Konnte man Mitte des 19. Jahrhunderts die Braunkohle nur bis zu einer Tiefe von 20m hervorbringen, das Verhältnis von Abraum zu Kohle betrug damals 0,3 : 1 (m³ : t), so wurden im Laufe der Entwicklung immer tiefer liegende Vorkommen erschlossen.

[0054] Mittlerweile beträgt die Abraumdecke über der Braunkohle bis zu 300m. Das Verhältnis von Abraum zu Braunkohle ist auf den Wert 3 m³ Abraum/1 t Kohle angestiegen. Inzwischen wurden sogar noch tiefere Flözpartien erschlossen. So wird der Tagebau künftig in Tiefen bis hin zu 500 m unter Umgebungsniveau, d.h. bis in Tiefen von 400 m unter NN vorangetrieben. Das Abraum/Kohle-Verhältnis beträgt dann 6 : 1. Damit werden z.Z. allein im rheinischen Revier bei einer Förderung von 110–120 Millionen t Braunkohle auch fast eine halbe Milliarde m³ Abraum bewegt.

[0055] Von besonderem Vorteil ist es demzufolge, wenn direkt mit der Bewegung des Abraums zur Förderung der Braunkohle wenigstens eines der beiden Speicherbecken gleich mit angelegt wird. Mit dieser Anlage der Pumpspeicherbecken wird dabei auch gleichzeitig das Problem der Rekultivierung gelöst. Teil der Erfindung ist damit auch ein Verfahren zur Errichtung eines Pumpspeichers, dadurch gekennzeichnet, daß bereits beim Wegräumen des Abraums wenigstens 1 Oberbecken und/oder wenigstens 1 Unterbecken zum Betrieb eines Pumpspeicherwerkes errichtet wird.

[0056] Ein ganz besonderer Vorteil der erfindungsgemäßen großen Pumpspeicher ergibt sich aus dem Umstand, daß in diesen Braunkohletagebauegebieten nicht nur die Fachleute da sind, die derartige landwirtschaftsgestalterische Maßnahmen durchführen können, sondern auch dadurch, daß bei der vom Braunkohletagebau betroffenen Bevölkerung auch die Vorstellungskraft für Veränderungen dieses Ausmaßes vorhanden ist. Im Unterschied zur bisherigen Einmalnutzung der Braunkohlenreviere ergeben sich durch die Errichtung der großen Pumpspeicherwerke Dauerarbeitsplätze und Dauereinnahmequellen für die betroffenen Gemeinden.

[0057] Die Errichtung der erfindungsgemäßen Pumpspeicher in Braunkohletagebaustrecken wird dadurch erleichtert, daß durch die vorangegangene oder noch durchgeführte Nutzung der Braunkohle zur Elektrizitätserzeugung ein Großteil der erforderlichen elektrischen Anlagen zur Installation des Pumpspei-

cherwerkes bereits vorhanden ist. So sind zumindest die erforderlichen Freileitungen von den Braunkohlelagerstätten zu den Verbraucherzentren vorhanden.

[0058] Auch die Verbindung mit vielen Kraftwerksblöcken ist in aller Regel gegeben. Wenn auch die Freileitungen den gestiegenen Anforderungen der Einbindung eines Großspeichers nicht genügen sollten, so sind doch zumindest die Stromtrassen zur Verlegung stärkerer Leitungen vorhanden.

[0059] Hervorzuheben sind auch die geringen Erstellungskosten dieser Pumpspeicherwerke sowie die langen Abschreibungszeiträume. Auch wenn mit den erfindungsgemäßen großen Pumpspeichern naturgemäß kein Strom erzeugt wird, kann der Bau dieser Speicher den Neubau von Kraftwerken ersetzen, da mit diesen Großspeichern eine Vergleichmäßigung der Stromerzeugung in den bestehenden Kraftwerken möglich ist. So können diese Pumpspeicher je nach Größe und Bedarf als Tages-, Wochen-, Monats- oder Jahresspeicher ausgelegt werden. In Kombination mit den bereits vorhandenen, kleinen Pumpspeichern, die der Feinregulierung dienen, ist damit eine sehr effektive, gleichmäßige Stromproduktion möglich. Die erfindungsgemäßen großen Pumpspeicher in Braunkohlelagerstätten tragen auch dazu bei, den z.Z. erforderlichen Verkauf von Strom für Nachtspeicherheizungen oder für eine stromintensive industrielle Nutzung teilweise unter Gestehungskosten zu reduzieren. Damit tragen diese Pumpspeicher in hohem Maße zur Einsparung von Strom bei und damit zur Reduzierung des CO₂-Ausstoßes.

[0060] Daneben gestatten die erfindungsgemäßen Pumpspeicher den Einsatz von erneuerbaren Energien wie Strom aus Windkraftanlagen, Solaranlagen und anderen stark schwankenden Energiequellen, da mit der Möglichkeit der Speicherung im großen Stil der Nachteil dieser Art der Energieerzeugung entfällt. Besonders sei darauf hingewiesen, daß auch die Nutzung von Blockheizkraftwerken durch die erfindungsgemäßen Speicher günstiger wird, da wegen der guten Speichermöglichkeit den Anbietern ein akzeptabler Preis gezahlt werden kann. Damit wird ein besonders hoher Beitrag zur Reduktion der CO₂-Emission geleistet.

[0061] Letztendlich führt dies zu einer Inversion der bestehenden Stromversorgungsstruktur. Hat man heute eine Reihe von Großkraftwerken zur Stromerzeugung und damit verbunden kleine Pumpspeicher, so hat man mit Installation der großen Pumpspeicher in Braunkohletagebaustrecken die Möglichkeit einer völlig anderen Versorgungsstruktur.

[0062] So ermöglichen die erfindungsgemäßen Pumpspeicher ein System aus vielen kleinen, dezentralen Stromerzeugern und damit verbunden große

Pumpspeicherwerke.

[0063] Langfristig ermöglicht dies die Entwicklung hin zu einer Verwaltung von elektrischer Energie.

Ausführungsbeispiel

[0064] Die nachfolgenden Beispiele sollen die Erfindung erläutern, stellen jedoch keine Einschränkung dar.

[0065] Die Effektivleistung eines Wasserkraftwerkes beträgt in etwa $\text{Peff WKW} \approx 8 \cdot Q \cdot H$.

[0066] Dabei wird die Effektivleistung, Peff WKW , in kW, der Volumenstrom des Wassers, Q , in m³/s und die Fallhöhe, H , in m angegeben.

[0067] In dieser Abschätzung ist für die Rohrleitungen ein Wirkungsgrad von 0,93–0,99, für die Turbinen ein Wirkungsgrad von 0,85–0,94 und für die Generatoren ein Wirkungsgrad von 0,95–0,99 enthalten.

[0068] Wie bereits dargestellt, sind die bevorzugten Turbinen für die erfindungsgemäßen Pumpspeicherwerke voll beaufschlagte Turbinen, z.B. Francis- oder Kaplan-turbinen. Für die erfindungsgemäßen Pumpspeicherwerke- besonders bei geringen Fallhöhen- besonders geeignet sind z.B. Kaplan-turbinen. Diese können sich wechselnden Betriebsbedingungen gut anpassen.

[0069] Die technischen Kenntnisse zur Realisierung der erfindungsgemäßen Pumpspeicherwerke können bei den damit befaßten Fachleuten vorausgesetzt werden.

Beispiel 1

Pumpspeicherwerk, bei dem das untere und das obere Speicherbecken unter Umgebungsniveau angelegt sind.

[0070] In einem ebenen Gelände (durchschnittliche Höhe: 100 m über NN, ausgedehntes Braunkohlenflöz in einer Tiefe von 80m unter Umgebungsniveau, entsprechend 20m über NN) wird das Deckgebirge abgetragen und die Braunkohle abgebaut. Der Abraum wird zunächst außerhalb des Abbaubereiches gelagert, danach wird dieser Abraum über einem ausgeräumten Braunkohlenflöz wieder so aufgeschüttet, daß in einem Abstand von 2000 m nebeneinander entstehen: 1.) ein rechteckiges 2 km·4 km großes oberes Speicherbecken mit einem Beckenboden in einer Höhe von 50 m über NN und einem Beckenrand in einer Höhe von 100 m über NN und 2.) parallel zur Längsseite des Oberbeckens ein 4 km·4 km großes unteres Becken, wobei der Beckenboden des unteren Speicherbeckens in einer Höhe von 0m (bezogen auf NN) angelegt ist. Der Beckenrand be-

findet sich in einer Höhe von 100 m über NN. Die Böschung am Rande des unteren wie des oberen Speicherbeckens weist eine Steigung von 20% auf. Boden und Seitenwände der Becken werden gegen das Grundwasser abgedichtet.

[0071] Am Rande des unteren Beckens wird ein Krafthaus errichtet. Dieses ist mit Druckrohren mit dem oberen Speicherbecken verbunden. Das Krafthaus ist mit Pumpen, Turbinen und Generatoren mit einer Leistung von ca. 300 MW ausgestattet. Z.B. kommen Kaplan-turbinen zum Einsatz. Nach Füllung des Pumpspeicherwerkes mit ca. 300 Millionen m³ Wasser kann bei einer durchschnittlichen Nutzung von 240 Millionen m³ Wasser und einer durchschnittlichen Nutzfallhöhe des Wassers von 50m durch Hochpumpen des Wassers elektrische Energie gespeichert werden.

[0072] Schickt man die nutzbare Wassermasse von 240 Millionen m³ Wasser beispielsweise innerhalb von 100 h durch das Kraftwerk, so bedeutet dies einen Volumenstrom von 667 m³/s. Bei einer durchschnittlichen Nutzhöhe von 50m ergibt dies eine Leistung P von $P \approx 8 \cdot 667 \cdot 50 \text{ kW} \approx 266 \text{ MW}$.

[0073] D.h. dieses Pumpspeicherwerk, das in nahezu jedem Braunkohletagebau installiert werden kann, stellt 100h lang eine Leistung von 266 MW bereit. Damit ist in diesem Pumpspeicherwerk elektrische Energie entsprechend 26,6 Millionen kWh gespeichert.

[0074] Beide Speicherbecken liegen gänzlich unter Umgebungsniveau. Wie oben dargestellt, befindet sich der Beckenrand in etwa auf Umgebungsniveau. Je nach Füllstand des Oberbeckens schwankt der Wasserstand im Unterbecken um bis zu etwa 15 m und im oberen Speicherbecken um etwa 30 m. Auch wenn die gesamte nutzbare Wassermasse im oberen Becken gespeichert ist, befindet sich der Wasserstand des Wassers im oberen Becken noch mindestens 15m unter Umgebungsniveau, so daß von diesem Pumpspeicherwerk keinerlei Gefahr ausgeht.

Beispiel 2

Pumpspeicherwerk mit erhöhter Leistung

[0075] Man wählt die Beckenanordnung wie in Beispiel 1, erhöht jedoch die Anzahl und Durchmesser der Druckstollen, die Leistung der Pumpen der Turbinen und der Generatoren, so daß die Nutzwassermasse von 240 Millionen m³ innerhalb von 10 h vom unteren Becken in das obere Becken gepumpt werden kann und umgekehrt innerhalb von 10h vom oberen in das untere Becken strömen kann.

[0076] Es resultiert ein Pumpspeicherwerk mit einer Leistung von $P \approx 8 \cdot 667 \cdot 8 \text{ kW} \approx 2666 \text{ MW}$.

[0077] Mit diesem Pumpspeicherwerk steht damit eine Anlage zur Verfügung, die eine vergleichbar große Leistung aufweist wie alle deutschen Pumpspeicherwerke zusammen.

[0078] Die gespeicherte elektrische Energie dieses Pumpspeicherwerkes, d.h. die Kapazität dieses Pumpspeicherwerkes, ist naturgemäß wie in dem Pumpspeicherwerk gemäß Beispiel 1 26,6 Millionen kWh.

Beispiel 3

Pumpspeicherwerk mit erhöhter Kapazität, beide Speicherbecken in einem Braunkohletagebau, das untere Speicherbecken unter Umgebungsniveau

[0079] In einem Braunkohletagebau gemäß Beispiel 1 errichtet man ein quadratisches, oberes Speicherbecken, Ausmaße des Beckens am Beckenboden: 4 km·4 km, Beckenboden in einer Höhe von 150 m über NN, entsprechend 50m über Umgebungsniveau, Beckenrand 250 m über NN.

[0080] Der Beckenrand ist aus Sicherheitsgründen an 3 Seiten mit einem 2 km breiten, 40m hohen Wall umgeben (= 290 m über NN). An der 4. Beckenseite (neben dem unteren Speicherbecken) ist der Wall nur 20m hoch. Neben diesem quadratischen Oberbecken befindet sich in einem Abstand von 2 km das untere Speicherbecken (Ausmaße am Beckenboden: 4 km·4 km), Beckenboden in einer Höhe von 10 m unter NN, Beckenrand an 3 Seiten 150 m über NN, entsprechend 50 m über dem ursprünglichen Umgebungsniveau, an der 4. Seite Anstieg zum oberen Becken. Oberes und unteres Speicherbecken sind über mehrere Krafthäuser mit jeweils mehreren Druckrohren miteinander verbunden.

[0081] Nach der Fertigstellung wird das untere Becken mit 1,7 Milliarden m³ Wasser gefüllt. Für Speicherezwecke steht eine Wassermenge von ca. 1,6 Milliarden m³ zur Verfügung. Die durchschnittliche Nutzfallhöhe beträgt 150 m. Diese Wassermenge wird zwecks Speicherung elektrischer Energie in das obere Speicherbecken gepumpt. Läßt man diese Wassermenge innerhalb von 1000 h über die Kraftwerke vom oberen in das untere Becken strömen, resultiert ein durchschnittlicher Volumenstrom von 444,4 m³/s. Bei einer durchschnittlichen Nutzfallhöhe von 150 m bedeutet dies eine Leistung von $P \approx 8 \cdot 444,4 \cdot 150 \text{ kW} \approx 533 \text{ MW}$.

[0082] D.h. dieses Pumpspeicherwerk hat eine Speicherkapazität von 533 Millionen kWh. Damit ist die Speicherkapazität dieses erfindungsgemäßen Pumpspeichers etwa 10mal so groß wie die aller deutschen Pumpspeicherwerke zusammengenommen.

Beispiel 4

Pumpspeicher mit hoher Leistung und hoher Verfügungszeit

[0083] Man errichtet die Speicherbecken wie in Beispiel 3, erhöht jedoch die Maschinenleistung auf das 10fache. Es resultiert ein Pumpspeicherwerk, das für die Dauer von 100h eine Leistung von 5333 MW bereitstellt.

Patentansprüche

1. Pumpspeicherwerk, **dadurch gekennzeichnet**, daß das untere und das obere Speicherbecken in einer bestehenden oder ausgeräumten Braunkohlelagerstätte angeordnet sind.

2. Pumpspeicherwerk gemäß Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß das untere Speicherbecken wenigstens 50m unter Umgebungsniveau angeordnet ist.

3. Pumpspeicherwerk gemäß Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß der Höhenunterschied zwischen unterem und oberem Speicherbecken wenigstens 40m beträgt.

4. Pumpspeicherwerk gemäß einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, daß das untere Speicherbecken wenigstens 50 Millionen m³ faßt.

5. Pumpspeicherwerk gemäß einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, daß das Pumpspeicherwerk eine Speicherkapazität > 20 Millionen kWh hat.

6. Pumpspeicherwerk gemäß einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, daß das Pumpspeicherwerk eine Speicherkapazität > 400 Millionen kWh hat.

7. Pumpspeicherwerk gemäß einem der Ansprüche 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, daß das Pumpspeicherwerk eine Leistung > 200 MW aufweist.

8. Pumpspeicherwerk gemäß einem der Ansprüche 1 bis 7, dadurch gekennzeichnet, daß das Pumpspeicherwerk eine Verfügungszeit > 50h aufweist.

9. Verfahren zur Errichtung von Pumpspeicherwerken gemäß einem der Ansprüche 1 bis 8, dadurch gekennzeichnet, daß man den bei der Ausbeutung der Braunkohlelagerstätten anfallenden Abraum zur Errichtung der Pumpspeicherbecken verwendet.

Es folgt kein Blatt Zeichnungen