

DE 102009005360 A1

Anmeldeland:DE
Anmeldenummer:102009005360
Anmeldedatum:16.01.2009
Veröffentlichungsdatum:12.08.2010
Hauptklasse:E02B 9/00(2006.01,A)
MCD-Hauptklasse:E02B 9/00(2006.01,A)
ECLA:E02B 9/00
Entgegenhaltung (PL):DE 000019513817 B4
Erfinder:Popp, Matthias, 95632 Wunsiedel, DE
Anmelder:Popp, Matthias, 95632 Wunsiedel, DE

[EN]Pumped storage plant, has artificial landscape for natural landscape, where height difference of center of gravity position from upper and lower exchange volumes is larger than natural height difference of natural landscape

[DE]Künstliche Landschaft für Pumpspeicherkraftwerk

[EN]

The plant has an artificial landscape for a natural landscape, where a lower reservoir of the plant is arranged below a level of the natural landscape. A height difference (h) of a center of gravity position from an upper exchange volume in an upper reservoir of the plant and from a lower exchange volume in the lower reservoir is larger than a natural height difference of the natural landscape. The upper reservoir and/or the lower reservoir is constructed as the artificial landscape and built by a wall e.g. ring wall and circular ring, raised from a ground material. An independent claim is also included for a method for obtaining a pumped storage plant with an artificial landscape for a natural landscape.

[DE]

Die Erfindung betrifft die Schaffung von Landschaften für Pumpspeicher, bei denen der Höhenunterschied zwischen Ober- und Unterbecken durch Baumaßnahmen in einem Gebiet hergestellt wird, das von Natur aus diese Höhenunterschiede nicht aufweist. Der Höhenunterschied wird durch Umlagerung von Boden zu einem Wallgebilde erreicht. Die Speicher können im Wasser, an Land und in Übergangszonen errichtet werden. Die Höhenlage des innerhalb des Walls gespeicherten Wassers kann sowohl über (Bild 1) als auch unter (Bild 3) dem Niveau der Umgebung liegen. Diese Energiespeicher dienen bevorzugt zum Ausgleich von Strom aus Windkraft und vergleichbaren, von natürlichen Einflüssen abhängigen Stromquellen zu einer bedarfsgerechten Netzeinspeisung. Bevorzugt, aber nicht ausschließlich, werden diese Energiespeicher in einem Gebiet errichtet, wo fluktuierende Energieerzeugungsanlagen in großer Anzahl wirtschaftlich betrieben werden können. Ziel der Auslegung ist es, die nicht am Bedarf orientierte Stromerzeugung so auszugleichen, dass eine Versorgungsaufgabe ohne Bereithaltung von Ersatz-Erzeugungskapazitäten (wie z. B. Gaskraftwerken) dauerhaft, auch über Flauten hinweg, erfüllt werden kann. Das Aufschütten derartiger Ringwälle zur Erreichung von Höhenunterschieden von mehreren hundert Metern wird bei der Schaffung von Austauschvolumen im Kubikkilometer-Bereich interessant. So dimensionierte "Energiekegel" könnten Windenergie im Bereich mehrerer Gigawatt ausgleichen und ...

Seite 1 --- ()

Seite 2 --- ()

Stand der Technik: Ausgangssituation:

[0001] Strom muss immer in dem Moment erzeugt werden, in dem er verbraucht wird.

[0002] Der Stromverbrauch definiert damit eine Versorgungsaufgabe welche die eingesetzten Techniken zu erfüllen haben.

[0003] Die Stromversorgungsaufgabe sollte so erfüllt werden, dass möglichst viele daran geknüpfte Forderungen und Erwartungen erfüllt werden.

[0004] Bei Verfügbarkeit einer Technik, die in jedem Moment die Strommenge erzeugen kann, die nachgefragt wird, müsste, mit etwas Reserve, genau die Erzeugungskapazität geschaffen werden, die im Langzeitmaximum benötigt wird.

[0005] Wird durch intelligentes Verbrauchsmanagement die Stromnachfrage vergleichmäßig, dann reduziert sich die vorzuhaltende Erzeugungskapazität.

[0006] Stromerzeugung aus fluktuierenden Quellen erfordert zwangsläufig die Bereithaltung von Ersatzkapazitäten, wenn der Verbrauch nicht unmittelbar an die Erzeugung gekoppelt werden kann.

[0007] Die Schaffung und Bereithaltung der zusätzlichen Erzeugungskapazitäten erfordert einen höheren Investitions- und Betriebsaufwand als Erzeugungstechniken die verbrauchsangepasst betrieben werden können.

[0008] Stromerzeugung aus fluktuierenden Quellen kann aus folgenden Motiven eingesetzt werden: 1. Andere Quellen stehen nicht zur Verfügung. 2. Andere Quellen verursachen höhere Kosten. 3. Andere Quellen sind mit unerwünschten Nebenwirkungen verbunden. Antwort zu (1) - andere Quellen stehen nicht zur Verfügung - wird in die ferne Zukunft gerichtet für fossile Energieträger eintreten. Antwort zu (2) - andere Quellen verursachen höhere Kosten - tritt in Zukunft mit Verknappung der Primärenergieträger ein. Bei Öl und Gas trifft sie zum Teil schon heute zu. Antwort zu (3) - andere Quellen sind mit unerwünschten Nebenwirkungen verbunden - sieht ein großer Teil unserer Bevölkerung als gegeben bei: • Der Kernkraft. Der Ausstieg aus dieser Technik ist derzeit gültiges Gesetz. • Der Kohleverstromung. Sie verändert die Zusammensetzung der Atmosphäre mit unumkehrbaren Folgewirkungen. Eine substanzielle Reduzierung der Emission von Treibhausgasen ist erklärtes Ziel unserer Politik. • Der Öl- und Gasverstromung. Sie verursacht ebenfalls Treibhausgase, wenn auch in geringerem Ausmaß als die Kohle. Zusätzlich befinden wir uns bei diesen Energieträgern in der Abhängigkeit von Lieferkartellen mit fragwürdiger Zuverlässigkeit.

[0009] Auf Basis der geschilderten Situation wird der Ausbau der Windkraft in Deutschland mit Vehemenz vorangetrieben.

[0010] Sie liefert bereits jetzt einen merklichen Anteil an der in Deutschland produzierten Strommenge, obwohl der Stromverbrauch nicht an die fluktuierende Erzeugung gekoppelt werden kann.

[0011] Die erforderlichen Ersatzkapazitäten können auf zwei Arten gestellt werden: • Durch Schaffung von Erzeugungskapazitäten, die jederzeit verfügbar sind. • Durch Schaffung einer Überkapazität an fluktuierender Erzeugung in Verbindung mit Energiespeichern, welche die temporär stattfindende Überproduktion aufnehmen und damit die zeitweise zu geringe Produktion ausgleichen können.

Seite 3 --- ()

[0012] Der Ausgleich heute geschieht zu fast 100% mit Methode (1).

[0013] Die energiewirtschaftliche Zielvorstellung der Bundesrepublik Deutschland in der Stromwirtschaft: Ausstieg aus der Kernkraft und aus der Nutzung fossiler Energieträger ist ohne die Schaffung von Speicherkapazitäten in erheblichem Umfang nicht umsetzbar.

[0014] Selbst Teilziele, z. B. einen bestimmten Prozentsatz der benötigten Strommenge mit Wind (oder Sonne) zu erzeugen, wird ohne die Schaffung von Speichern nicht erreichbar sein, wenn nicht gleichzeitig riesige Ersatzkapazitäten mit bedarfsgerecht verfügbaren Energiequellen vorgehalten werden.

Windkraft als Energiequelle:

[0015] Zur Windstromeinspeisung liegen langjährig gesicherte Datenreihen vor, die es ermöglichen abzuschätzen, wie Erzeugungskapazitäten und Speicher dimensioniert werden müssen, damit eine bedarfsgerechte Versorgung gewährleistet werden kann. Windräder sind auf eine maximale Leistung ausgelegt, die sie bei starkem Wind abgreifen können.

[0016] Im Normalfall speisen Windräder aber deutlich weniger ein, als sie erzeugen könnten, wenn ständig maximale Windstärke vorläge.

[0017] Die langjährigen Aufzeichnungen in Deutschland zeigen, dass ca. 20% der installierten Windleistung im Durchschnitt eingespeist werden.

[0018] Die tatsächliche Einspeisung eines einzelnen Windrades bewegt sich zwischen 0% und 100% seiner maximalen Leistung.

[0019] Die tatsächliche Windstromeinspeisung aller Windkraftanlagen des Landes geht nie auf Null zurück und erreicht auch nie 100% weil ein bisschen Wind irgendwo immer bläst und nie im gesamten Land gleichmäßig starker Wind bläst, so dass alle Windräder 100% erreichen könnten.

[0020] Das bedeutet, um eine Stromversorgungsaufgabe mit Windstrom zu erfüllen, muss ca. die 5-fache Erzeugungskapazität installiert werden, als im Durchschnitt abgenommen wird.

[0021] Gleichzeitig müssten verlustfreie Speicher vorhanden sein, welche die temporäre Überproduktion aufnehmen und dann zurückspeisen, wenn zu wenig Windstrom anliegt.

[0022] Auf Basis von Daten des Instituts für Solare Energieforschung e. V. (UNI Kassel) zur Windstromeinspeisung in Deutschland, wurde abgeschätzt, wie eine Abstimmung zwischen Windstromerzeugungskapazität und Speicherkapazität sein müsste, damit eine Versorgungsaufgabe mit Windstrom erfüllt werden kann:

Installierte Windleistung und Speicherbedarf:

[0023] Für eine Versorgungsaufgabe bei 20% der installierten Windleistung ergibt sich: Temporär können sich Speicherkapazitäten für über 70 Tage aufbauen. In windschwachen Zeiten leeren sich dies Speicher und konventionelle, bedarfsgerecht abrufbare Energiequellen müssen die Versorgungsaufgabe übernehmen.

[0024] Die für die Versorgungsaufgabe erforderliche Erzeugungsleistung würde sieben Mal vorgehalten: 5 x in Form von Windkraftanlagen, 1 x als Speicherkraftwerk mit ca. 70 Tagen Speicherkapazität, 1 x als bedarfsgerecht abrufbares konventionelles Kraftwerk.

[0025] Bei einer Versorgungsaufgabe bei 1/6 (16,7%) der installierten Windleistung ergibt sich: Die Versorgungsaufgabe kann nach einer Anlaufzeit oder mit vorgeladenem Speicher, erfüllt werden.

[0026] Temporär können sich Speicherkapazitäten für über 100 Tage aufbauen. Windschwache Zeiten lassen sich mit so dimensionierten Speichern überbrücken. Auf die Vorhaltung von Ersatzkapazitäten kann verzichtet werden.

[0027] Die für die Versorgungsaufgabe erforderliche Erzeugungsleistung würde sieben Mal vorgehalten:

Seite 4 --- ()

6 x in Form von Windkraftanlagen, 1 x als Speicherkraftwerk mit ca. 100 Tagen Speicherkapazität.

[0028] Bei einer Versorgungsaufgabe bei 10% der installierten Windleistung und 20 Tagen Speicherkapazität ergibt sich: Die Versorgungsaufgabe kann erfüllt werden.

[0029] Im Untersuchungszeitraum wäre wegen voller Speicher eine Strommenge für 85% des Bedarfs, nicht genutzt worden.

[0030] Windschwache Zeiten ließen sich mit dieser Überkapazität an Windkraftanlagen und den auf 20 Tage dimensionierten Speichern überbrücken.

[0031] Auf die Vorhaltung von Ersatzkapazitäten könnte verzichtet werden.

[0032] Die für die Versorgungsaufgabe erforderliche Erzeugungsleistung wird dabei elf Mal vorgehalten: 10 x in Form von Windkraftanlagen, 1 x als Speicherkraftwerk mit ca. 20 Tagen Speicherkapazität.

[0033] Werden Windenergieanlagen ohne die Schaffung erheblicher Speicherkapazitäten aufgebaut und soll die damit gewinnbare Energie nicht ungenutzt verpuffen, dann kann die installierte Leistung kaum mehr als ein Fünftel der Versorgungsaufgabe erfüllen.

Windkraft und Fremdenergie ohne Speicher: Ohne Energiespeicher, wo bei maximalem Windstrom die Versorgungsaufgabe ohne Fremdstrom erfüllt werden kann und kein Windstrom ungenutzt bliebe ergibt sich folgendes:

[0034] Im Untersuchungszeitraum muss der Energiebedarf für 80% der Tage mit Fremdstrom erzeugt werden, 20% der Versorgungstage würde der Wind beitragen. Dabei muss es sich um bedarfsgerecht verfügbare Kraftwerke handeln, die bei Verzicht auf Kernkraft und fossile Energieträger z. B. mit Biomasse betrieben werden könnten.

[0035] Als Speicher kann die Biomasse selbst dienen, so dass die Aufbereitung der Biomasse für die Energieumwandlung bedarfsnah erfolgen müsste.

[0036] Alternativ kann eine vergleichmäßigte Umwandlung der Biomasse in einen zur Verstromung geeigneten Energieträger (z. B. Biogas) erfolgen, welcher dann vergleichbar zu einem Pumpspeicher auf Vorrat gehalten und in Gaskraftwerken bedarfsgerecht verstromt werden kann.

[0037] Die für die Versorgungsaufgabe erforderliche Erzeugungsleistung wird dabei zwei Mal vorgehalten: 1 x in Form von Windkraftanlagen, 1 x als bedarfsgerecht verfügbare Erzeugungseinheiten.

Überschlägige Ermittlung des notwendigen Flächenbedarfs zur Erzeugung der Biomasse für bedarfsgerecht verfügbare Kraftwerke zur Stromversorgung Deutschlands:

[0038] Mittlere Sonneneinstrahlung: 1000 kWh/m².

[0039] Ca. 1% dieser Energie wird durch Photosynthese in Pflanzen gebunden.

[0040] Diese Energie kann mit einem Wirkungsgrad von ca. 30% verstromt werden.

[0041] Daraus ergibt sich grob, dass sich über Biomasse mit einem Quadratmeter Boden ca. 3 kWh Strom erzeugen lassen.

[0042] Der Jahresstrombedarf Deutschlands beträgt derzeit rund 600 TWh.

[0043] Der Flächenbedarf dafür betrüge 600.000.000.000 kWh/3 kWh/m² = 200.000 km²

Seite 5 --- ()

Einordnung des notwendigen Flächenbedarfs zur Erzeugung der Biomasse für bedarfsgerecht verfügbare Kraftwerke zur Stromversorgung in Deutschland:

[0044] Deutschland hat eine Gesamtfläche von 357.092 km².

[0045] Das heißt, beim derzeitigen Stromverbrauch würde als Anbaufläche für 100% Stromerzeugung aus Biomasse ca. 56% der Landesfläche benötigt.

[0046] Würden, wie im vorausgehenden Abschnitt dargestellt, 20% des Stroms mit Wind erzeugt, dann wäre für die Biomasseproduktion knapp 45% der Landesfläche erforderlich.

[0047] Derzeit werden ca. 53% der Fläche Deutschlands landwirtschaftlich genutzt (knapp 190.000 km²).

[0048] Der im Vergleich zur Versorgungsaufgabe exorbitant hohe Flächenbedarf, der erforderlich ist, um damit einen substanziellen Anteil zur Stromversorgung des Landes zu leisten zeigt, dass sich die Energieversorgungsfrage in Deutschland auf diesem Wege wohl kaum lösen lassen wird.

[0049] Der Einsatz von Biomasse als bedarfsgerecht verfügbare Energie zur Stromerzeugung als Ergänzung zur Windenergie wird daher über ein Randdasein nicht hinausgehen können.

[0050] Das gilt selbst dann, wenn es zu bedeutenden Einsparungen beim Stromverbrauch kommen sollte.

[0051] Der Blick auf diese Alternative zeigt, dass die fluktuierenden Erzeugungsformen (Wind, Sonne) so genutzt werden müssen, dass Sie einen hohen Anteil am Gesamtbedarf decken können, wenn die Versorgungsaufgabe ohne Kernkraft und ohne fossile Energieträger realistisch erfüllt werden soll.

[0052] Nimmt man die stromwirtschaftlichen Ziele der deutschen Energiepolitik ernst, langfristig zeichnet sich dazu (außer Kohleverstromung mit CO-2 Abscheidung und/oder Wiedereinstieg in die Kernkraftnutzung) bisher keine Alternative ab, dann wird am Aufbau erheblicher Speicherkapazitäten kein Weg vorbeiführen.

Mischform aus Windkraft, Speicher und Fremdenergie:

[0053] Eine Mischform aus fluktuierender Erzeugung, Speicherkraftwerken und bedarfsgerecht abrufbaren Erzeugungseinheiten hätte zur Folge, dass die Erzeugungskapazität drei Mal installiert werden müsste: als Wind- und Solarkraftwerke als Speicherkraftwerke als bedarfsgerecht abrufbare konventionelle Kraftwerke

[0054] Wirklich erreicht werden können die stromwirtschaftlichen Ziele der deutschen Energiepolitik nur, wenn Versorgungsaufgaben, die mit fluktuierenden Erzeugungsformen gelöst werden sollen, im Gleichklang mit den dafür erforderlichen Speicherkapazitäten und der Schaffung der notwendigen Übertragungskapazitäten aufgebaut werden.

Maßnahmenumfang zur Schaffung von Pumpspeichern: Grobe Abschätzung des Maßnahmenumfangs zur Schaffung der Speicherkapazität mittels Pumpspeichern:

[0055] 1 m³ Wasser auf einer Höhe von ca. 400 Metern speichert ca. die Energiemenge 1 kWh.

[0056] Die gesamte Einspeisung an Windstrom im Jahr 2007 betrug ca. 40.000 GWh pro Tag im Schnitt gute 100 GWh, die Durchschnittsleistung liegt etwas über 4 GW.

[0057] Zur Speicherung von 1 GWh benötigt man ca. 1 Mio m³ Wasser, entsprechend 1 Meter Tiefe-1 km² Oberfläche.

Seite 6 --- ()

Maßnahmenumfang zur Schaffung von Pumpspeichern zum Jahresausgleich der Erzeugungsschwankungen der existierenden deutschen Windkraftanlagen (Abgabe: 100 GWh/Tag)

Höhendifferenz Gespeicherte Energie Pegelschwankung 5Meter Pegelschwankung 20 Meter

1 Tag 20 Tage 1 Tag 20 Tage
[m] [kWh/m³] [km²] [km²] [km²] [km²]

100	0,26	77	1545	19	386
200	0,52	39	773	10	193
300	0,78	26	515	6	129
400	1,04	19	386	5	97
500	1,29	15	309	4	77

[0058] Diese grobe Abschätzung des Flächenbedarfs für Pumpspeicherseen zeigt, dass dieser um viele Größenordnungen geringer ausfallen würde, als es der Anbauflächenbedarf für nachwachsende Rohstoffe wäre, wenn Windenergie ohne Speicher ausgeglichen würde.

[0059] Nachfolgend wird der Flächenbedarf für verschiedene Speichervarianten unter der Annahme angegeben, dass der gesamte, derzeit in Deutschland verbrauchte Strom durch Wind- und Solarkraftanlagen erzeugt würde.

Jahresstrombedarf 600 TWh
durchschnittlicher Tagesbedarf 1644 GWh = 1,64 TWh
Durchschnittsleistung 68 GW
Turbinierungswirkungsgrad 94%

Kapazität von Pumpspeichern als Funktion der Fallhöhe bei einem Turbinierungswirkungsgrad von $\eta = 94\%$ ($E_{pot} = m \cdot g \cdot h \cdot \eta$):

mittlere Höhendifferenz gespeicherte Energie
[m] [Ws/m³] [kWh/m³] = [TWh/km³]

100	922	0,26
200	1.844	0,51
300	2.766	0,77
400	3.689	1,02
500	4.611	1,28
600	5.533	1,54
800	7.377	2,05
1000	9.221	2,56

Seite 7 --- ()

Deckung des Speicherbedarfs mit Pumpspeichern:

Höhendifferenz erforderliches Volumen zur Speicherung des deutschen Stromverbrauchs für

1 2 5 10 20 50 100 200 Tage
100 m 6,4 12,8 32,1 64,2 128,3 321 642 1284 km³

200 m 3,2 6,4 16 32,1 64,2 160 321 642 km₃
300 m 2,1 4,3 10,7 21,4 42,8 107 214 428 km₃
400 m 1,6 3,2 8 16 32,1 80 160 321 km₃
500 m 1,3 2,6 6,4 12,8 25,7 64 128 257 km₃
600 m 1,1 2,1 5,3 10,7 21,4 54 107 214 km₃
800 m 0,8 1,6 4 8 16 40 80 160 km₃
1000 m 0,6 1,3 3,2 6,4 12,8 32 64 128 km₃

Beurteilung von Pumpspeicherbecken zum Ausgleich fluktuierender Stromerzeugungsformen für Deutschland:

Fläche der Bundesrepublik: 357.092 km² Flächenbedarf für 80% regenerativen Ausgleich mit nachwachsenden Rohstoffen: 160.000 km² (ca. 45% der Landesfläche). Flächenbedarf für Ausgleich durch Pumpspeicher mit 100 Tagen Kapazität, 5 Metern Pegelschwankung und 300 Meter Höhenunterschied: $2 \times 42.783 \text{ km}^2 = 85.566 \text{ km}^2$ (ca. 24% des Landesfläche).

[0060] Das Ergebnis zeigt, dass der Flächenbedarf zum Ausgleich der Flauten von Wind und Sonne bei der betrachteten Auslegung etwa die Hälfte dessen benötigt, als für den Anbau nachwachsender Rohstoffe erforderlich wäre.

[0061] Dieser Flächenbedarf reduziert sich, wenn größere Pegelschwankungen realisiert werden. Bei Pumpspeichern mit 100 Tagen Kapazität, 20 Metern Pegelschwankung und 300 Meter Höhenunterschied: $2 \times 10.696 \text{ km}^2 = 21.392 \text{ km}^2$ (ca. 6% der Landesfläche, 11% der Agrarfläche).

[0062] Als Flächenbedarf zum Ausgleich der Flauten von Wind und Sonne bei der betrachteten Auslegung wäre weniger als ein Siebtel der Flächen erforderlich, die für den Anbau nachwachsender Rohstoffe notwendig wären.

[0063] Bei Pumpspeichern mit 100 Tagen Kapazität, 100 Metern Pegelschwankung und 300 Meter Höhenunterschied wären es $2 \times 2.139 \text{ km}^2 = 4.278 \text{ km}^2$ (ca. 1,2% der Landesfläche, 2,25% der Agrarfläche).

[0064] Zum Ausgleich der Flauten von Wind und Sonne bei der betrachteten Auslegung wäre weniger als den 44. Teil der Flächen erforderlich, die für den Anbau nachwachsender Rohstoffe notwendig wären.

[0065] Je größer die Pegelschwankungen desto problematischer wird allerdings die Nutzung der entstehenden Wasserflächen.

Beurteilung von Pumpspeicherbecken zum Ausgleich fluktuierender Stromerzeugungsformen in Deutschland:

[0066] Die durchgeführten Betrachtungen zeigen, dass durch Einsatz eines kleinen Teils der Fläche der Bundesrepublik Deutschland Energiespeicher geschaffen werden könnten, die es ermöglichen, die Stromerzeugung vollkommen auf fluktuierende Quellen, wie Wind und Sonne umzustellen.

[0067] Dabei ist anzunehmen, dass bei einer geschickten Kombination der Anteile aus Windkraft und direkter Sonnenenergie der Speicherbedarf noch reduziert werden kann, weil in der Regel dann der Wind stark ist, wenn weniger Sonne scheint (im Winter) und umgedreht die Sonne scheint, wenn weniger Starkwind vorherrscht (im Sommer).

[0068] Würden die gesellschaftlichen Rahmenbedingungen, die Schaffung derartiger Speicher zulassen,

Seite 8 --- ()

dann wären diese mit hohen Kosten verbunden. Deshalb folgen Überlegungen, wie die Aufgabe mit kleineren Speichern bei größerer Überkapazität bei den Windkraftwerken gelöst werden kann.

Beurteilung des Speicherbedarfs zum Ausgleich der fluktuierenden Stromerzeugung bei einer installierten Windleistung, die mehr als sechs Mal so hoch ist, wie die geforderte Durchschnittsleistung:

[0069] Mit 6-fach installierter Windleistung benötigt man Speicher für gute 100 Tage.

[0070] Bei 7-fach installierter Windleistung (ca. 17% Überkapazität) halbiert sich der Speicherbedarf auf ca. 50 Tage.

[0071] Bei 8-fach installierter Windleistung (ca. 33% Überkapazität) auf knapp 30 Tage. Bei 10-fach installierter Windleistung (ca. 67% Überkapazität) auf knapp 20 Tage. Die weitere Erhöhung der Erzeugungskapazität bringt immer weniger.

Beurteilung von Erzeugungs- und Ausgleichskapazitäten beim Einsatz von Wind- und Sonnenenergie:

[0072] Zur Erfüllung der Versorgungsaufgabe muss von der Erzeugung zum Verbraucher ein Stromnetz für die einfache Leistungsübertragung vorgehalten werden.

[0073] Erfolgt die Versorgung maßgeblich mit Windstrom und soll dieser nicht in hohem Maße ungenutzt bleiben, dann sind für Windkraftanlagen Stromnetze mit der sechs- oder noch höher-fachen Leistung erforderlich, die entweder zum Ausgleich über kontinentale Entfernungen oder bis zum zugeordneten Speicher gehen.

[0074] Der Speicher muss entsprechend dem Leistungsvielfachen der Windräder in der Lage sein, diese Leistung abzüglich der Versorgungsaufgabe aufzunehmen.

[0075] Der Speicher muss maximal die einfache Leistung für die Versorgungsaufgabe abgeben können, wenn kein Wind bläst.

[0076] Es erscheint daher überlegenswert, Windkraftanlagen möglichst nahe um einen Speicher zu gruppieren, um riesige, auf ein mehrfaches der Versorgungsaufgabe ausgelegte Übertragungsnetze zu vermeiden.

Beschreibung der Erfindung:

[0077] Wo Wind “geerntet” wird, sind in der Regel nicht die topografischen Verhältnisse, um Pumpspeicher in einer bisher bekannten Ausführung in die Landschaft bauen zu können.

[0078] Das erfordert Landschaften mit großen Höhenunterschieden, die es zulassen, in der Berg- und in der Tallage große, im Volumen aufeinander abgestimmte Stauseen anzulegen.

[0079] Selbst in den Gebirgen sind dafür geeignete Standorte selten und nicht leicht aufzufinden und zu erschließen.

[0080] Weil das so ist, besteht die Erfindung darin, künstliche Landschaften zu schaffen, die sich zur Einrichtung von Pumpspeichern eignen. Die Dimension der zu schaffenden künstlichen Landschaft soll es ermöglichen, die Windkraft möglichst in der Umgebung wo sie geerntet wird, so auszugleichen, so dass damit eine Versorgungsaufgabe erfüllt werden kann.

[0081] Als eine Form bietet sich ein Kegelring mit zentralem Oberbecken und einer darum angeordneten Ringfläche als Unterbecken an (Bild 1).

[0082] Als weitere Form kann so ein Kegelring mit Oberbecken in einem Gewässer (See oder Meer) angelegt werden (Bild 2).

[0083] Als weitere Form kann so ein Kegelring zur Schaffung des Unterbeckens in einem Gewässer (See oder Meer) angelegt werden (Bild 3).

[0084] Als weitere Form kann das Unterbecken auch unter das Landschaftsniveau gelegt werden und/oder nicht konzentrisch zum Oberbecken angeordnet sein (Bild 4).

Seite 9 --- ()

[0085] Die Erfindung beinhaltet auch künstlich zu schaffende Landschaften, die sich in einem Übergangsbereich von Gewässer und Land befinden (ohne Bild).

[0086] Die Erfindung beinhaltet auch künstlich zu schaffende Landschaften in Gebieten mit vorhandenen aber zu geringen Höhenunterschieden, um ohne Anwendung der beschriebenen Prinzipien einen Pumpspeicher wirtschaftlich errichten zu können (ohne Bild).

[0087] Die Kreisform ist dabei in keiner Weise bindend. Aufgrund landschaftlicher, siedlungsbedingter, untergrundbedingter, infrastrukturbedingter oder sonstiger Gründe können auch andere Gestaltungsformen der künstlichen Landschaft gewählt werden. Auch diese von konzentrischen Kreisen abweichenden Formen sind Bestandteil der Erfindung.

[0088] Das Prinzip der Erfindung besteht darin, den entstehenden Speicher so groß zu machen, dass er wirtschaftlich wird.

[0089] Weiterhin umfasst die Erfindung die Nutzung der Wasserflächen des Pumpspeichers, insbesondere der Oberbecken, für Photovoltaik-Anlagen. Der Flächenverbrauch des Pumpspeichers wird damit zusätzlich zur Stromerzeugung genutzt.

[0090] Weiterhin umfasst die Erfindung die Nutzung des Ringwalls und der Dammkrone für Windkraftanlagen.

[0091] Weiterhin umfasst die Erfindung die Nutzung des Ringwalls in den zur Sonne ausgerichteten Bereichen für Photovoltaik-Anlagen.

[0092] Das alles führt zur Bezeichnung „Energiekegel“.

[0093] Oberbecken konventioneller Pumpspeicherbecken im Gebirge sind, bei viel kleineren Dimensionen als in dieser Erfindung, häufig nicht anders aufgebaut wie ein Ringwall. Allein durch die Wahl einer geeigneten Größe kann mit der Erfindung auf dem flachen Land oder in einem flachen Meer ein Speicher errichtet werden bei dem das Verhältnis von Erdbau zu Speichervolumen (und damit zum Energieinhalt) vergleichbar wird zu Gebirgsspeichern.

[0094] Der Einsatz viel größerer Baumaschinen und der gute Zugang zur Baustelle lässt dabei erwarten, dass die Kosten, bezogen auf die gespeicherte Energiemenge, eher günstiger ausfallen werden.

[0095] Zur Verdeutlichung soll Bild 5 ausdrücken, dass mit dem Ringwall nichts anderes erreicht wird, als wenn eine große Anzahl typischerweise im Gebirge angestauter Kerbtäler in einem großen Kreis zusammengesetzt worden wären.

Beschreibung einer Variante der Erfindung als Beispiel:

Kegelring-Energiespeicher für 30 Tagesverbräuche bei 10 GW Leistung:

technische Daten des Beispiels:

[0096]

Seite 10 --- ()

Oberbecken:

Höhe der Dammkrone: 440 Meter

Kronendurchmesser: 9,6 km, Umfang: 30 km, Oberbeckenfläche ca. 73 km²

Böschungswinkel: 32°, entspricht 63% Steigung oder Verhältnis 1:1,6

Pegelschwankung oben: 100 Meter

Kegelringvolumen: 9,54 km³

Unterbecken:

Innendurchmesser: 11 km

Außendurchmesser: 22,2 km, Wasserring-Fläche 290 km²

Pegelschwankung unten: 25 Meter, Gesamtwassertiefe: 34,5 Meter

Gesamtsystem:

Austauschvolumen: 7 km³

Gesamtflächenbedarf: 400 km²

gesamte Wasserfüllung: 37 km³

maximale Pumpleistung: 70 GW (80 GW Peak minus Versorgungsaufgabe 10 GW)

Kegelring-Energiespeicher - Beispielbeschreibung:

[0097] Zwei derartige Kegelringspeicher mit einem Durchmesser von etwas über 22 Kilometern und einem Flächenbedarf von jeweils knapp 400 km² (0,11% der Fläche Deutschlands) würden gut ausreichen, um den in der Leitstudie 2008 des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit bis zum Jahr 2030 geplanten Anteil der Wind- und Sonnenenergie an der deutschen Stromerzeugung (ca. 164 TWh oder knapp 30% des prognostizierten Bruttostromverbrauchs) bedarfsgerecht auszugleichen.

[0098] Die Kosten derartiger Energiespeicher dürften nach bisherigen überschlägigen Berechnungen in der Größenordnung der Kosten der Windkraftanlagen liegen, die damit ausgeglichen werden (80 GW Wind- und Solar-Peakleistung).

[0099] Für Windkraftanlagen ergeben sich hervorragende Standorte auf der ca. 30 km langen Dammkrone oberhalb 440 Metern der Umgebung.

[0100] Der Windpark um den Speicherkegel würde ca. 4000 km² umfassen mit 16.000 Anlagen zu 5 MW in jeweils 500 Meter Abstand. Der Windparkdurchmesser läge bei ca. 71 km. Das wären 1,12% der Landesfläche.

[0101] Der Energiekegel sollte möglichst zentral innerhalb der einspeisenden Windkraftanlagen liegen, um kurze Leitungswege zu den Pumpstationen zu bekommen.

[0102] Die Aufrüstung der Hochspannungsnetze außerhalb des Speicherrings zur kontinentalen Übertragung von Peakleistungen würde überflüssig.

[0103] Das Oberbecken könnte, mit Pontons versehen ca. 55 km² Sonnenkollektoren aufnehmen. Die Sonnenscheindauer dürfte wegen der Höhe über der Umgebung größer sein, weil dort für die Sonnenstrahlen ca. 400 Meter bodennahe Bewölkung wegfallen. Die übers Jahr auf 365 Tage x 24 Stunden gemittelte Solarleistung daraus läge bei 600 bis 800 MW.

[0104] Der Energiekegel könnte über die Erfüllung der Versorgungsaufgabe hinaus, kurzfristige Regel- und Ausgleichsleistung in größtem Umfang zur Verfügung stellen.

Kegelring-Energiespeicher - Überlegungen zur Umsetzung:

[0105] Zahlreiche Tagebaue graben vergleichbare Dimensionen von Landfläche um. Würde der Abraum geordnet zu Energie-Kegelringen aufgeschichtet und die Tagebaugruben bei Erschöpfung der Vorräte so ausgebildet, dass ein Untersee entsteht, dann wäre damit ohne riesige zusätzliche Kosten der Landschaftsbau für einen Pumpspeicher erfolgt und ein nachhaltiger Beitrag zur Energiesicherheit unseres Landes geleistet.

Seite 11 --- ()

[0106] Touristische Nutzung, die jetzt in der Regel für die gefluteten Becken stillgelegter Tagebaue angestrebt wird, könnte in den Unterbecken genauso stattfinden.

[0107] Zudem würde ein attraktiver Berg entstehen, der weitere Abwechslung ins flache Land bringt.

[0108] Schwimmende Landschaften auf den entstehenden Seen könnten attraktive Wohnlagen aber auch Rückzugszonen für wasserliebende Flora und Fauna bieten.

[0109] Fünf derartige Energiekegel, deren Wasserringe zusammen weniger als 0,6% der Landesfläche beanspruchen würden, könnten dafür sorgen, dass die komplette Stromversorgung Deutschlands auf regenerative Erzeugung umgestellt werden kann, ohne dass Agrarflächen zur Stromerzeugung aus Biomasse eingesetzt werden müssten.

[0110] 6% der Landesfläche müssten mit Windkraftanlagen bei einer insgesamt Peakleistung von 400 GW überbaut werden. Landwirtschaftliche Nutzung bliebe in diesen Windparks weiterhin möglich.

[0111] Natürlich kann die Überlegung mit den Energiekegeln analog auch mit kleineren Leistungen und einer größerer Anzahl von Einheiten angestellt werden.

[0112] Die Technik zur Erstellung derartiger Energiekegel ist in unserem Lande umfassend vorhanden.

[0113] Auch Offshore, in einem flachen Meer kann die Errichtung eines Energiekegels erfolgen. Technik die zur Schaffung einer Palme (Insel-Landschaft) in Dubai eingesetzt wird, könnte so bei uns dafür sorgen, dass ohne Landverbrauch unsere Abhängigkeit von Öl und Gas überwunden wird.

[0114] Die Nutzung von Kernkraft und die Verstromung fossiler Energieträger wären damit nicht mehr erforderlich.

[0115] Für die Stromerzeugung unseres Landes fielen dauerhaft keine Primärenergiekosten mehr an.

Zusätzliche Überlegungen zur Erfindung: Beurteilung einer geeigneten Abstimmung zwischen Winderzeugungsüberkapazität und Speicherkapazität:

[0116] Haupteinflussgrößen sind:

Kosten der Windkraftanlagen

[0117] Kosten der Turbinen und Generatoren für die einfache Versorgungsaufgabe inklusive sonstige zur Erzeugungsleistung proportionale Kosten.

[0118] Kosten der Motorpumpentechnik, welche die Überkapazität aufnehmen müssen inklusive sonstige zur Pumpleistung proportionale Kosten.

[0119] Kosten zur Schaffung des Speichervolumens für Landerwerb, Erdbau, Abdichtung, Wasserfüllung und sonstige speichergrößenabhängige Kosten.

Seite 12 --- ()

Überschlägige Abschätzung der Kosten von Windkraft und Speicherkapazität für eine Versorgungsaufgabe:

[0120] Im nachfolgenden Diagramm werden die Gesamtkosten GK-05 bis GK-10 in TEUR/MW mit folgenden Annahmen ermittelt:

Investitionskosten für Windkraftanlagen: W-Inv = 800 TEUR/MW

Erzeugungsleistung proportionale Kosten: T-Inv = 400 TEUR/MW

Pumpleistung proportionale Kosten: P-Inv = 200 TEUR/MW

[0121] Die vom Erdbau dominierte, speicherkapazitätsabhängigen Kosten werden variiert: E-05 = 0,50 EUR/kWh E-1 = 1,00 EUR/kWh E-2 = 2,00 EUR/kWh E-5 = 5,00 EUR/kWh E-10 = 10,00 EUR/kWh

Seite 13 --- ()

Beurteilung einer geeigneten Abstimmung zwischen Winderzeugungsüberkapazität und Pumpspeicherkapazität mit 80% Wirkungsgrad:

[0122] Das Diagramm lässt folgende Schlüsse zu: Das Kostenoptimum zur Lösung einer Versorgungsaufgabe mit Windkraft liegt bei einer 6,5 bis 7-fach installierten Windleistung (entspricht 30% ... 40% Erzeugungsüberkapazität), wenn die Schaffung des Speichervolumens für eine Kilowattstunde nicht mehr als 1 EUR kostet.

[0123] Sie steigt bis etwa zur 10-fach installierten Windleistung (100% Erzeugungsüberkapazität), wenn die Schaffung des Speichervolumens 10 EUR/kWh kosten würde.

[0124] Je mehr Windkraft-Überkapazität zur Lösung der Versorgungsaufgabe eingesetzt wird, desto stärker dominieren die Kosten der Windkraft.

[0125] Das Diagramm gibt Orientierung zur Beurteilung eines konkreten Pumpspeicherprojekts in Bezug auf einen zukünftigen Ausgleich von Windkraft.

Alternative Überlegung - Nutzung unserer Gebirge:

[0126] Es liegt nahe, alternativ darüber nachzudenken, Energiespeicher dort anzulegen, wo die Landschaft Höhenunterschiede und Strukturen aufweist, welche die Schaffung derartiger Energiespeicher mit geringeren Massenbewegungen, als im flachen Land, ermöglicht.

[0127] Im Gegensatz zu Küstenzonen, wo große Flüsse ankommen, welche die Wassermassen zur Füllung großer Speicher liefern können, kann in den Gebirgen, die Beschaffung der Wasserfüllung in der Größenordnung von Kubikkilometern einen erheblichen Aufwand auslösen.

[0128] Inländische Gebirgsspeicher wären aus den vorgenannten Gründen in größerer Anzahl, mit kleineren Wassermassen erforderlich, um einen vergleichbaren Anteil zur Energieversorgung beitragen zu können.

[0129] Eine systematische Standortsuche wäre erforderlich, um das vorhandene Potential in unserem Land dafür abschätzen zu können.

Seite 14 --- ()

Beispiel für Pumpspeicher im Mittelgebirge: Wunsiedler See Projekt

Arbeitsvolumen: 5 Mio m³

Erdbauvolumen: 6,5 Mio m³

Mittlerer Höhenunterschied: 273 m

gespeicherte Energie: 3,5 GWh

Erzeugungsleistung bei Auslegung auf

4 Std. (konventionell) 870 MW

8 Std. (wie Goldisthal) 435 MW

Zum Ausgleich von Windenergie für

14 Tage (zu 11-fach Wind) 10 MW

zugehörige Pumpleistung 120 MW

dabei anfallende Generatorleistung bei Verwendung von Pumpturbinen 150 MW

[0130] Obwohl es sich im Vergleich zum vorher betrachteten **Kegelringspeicher** um eine sehr kleine Anlage handelt, ist das Verhältnis von Massenbewegung zu Arbeitsvolumen in der Größenordnung vergleichbar. Das Erdbauvolumen wird im Wesentlichen zur Errichtung des Damms für das Oberbecken benötigt.

[0131] Rüstet man die Anlage mit Pumpturbinen aus, dann liegt die abrufbare Erzeugungsleistung weit über den Anforderungen der Versorgungsaufgabe.

[0132] Dies kann dazu beitragen, die Kosten so einer Anlage unter den derzeitigen Bedingungen zu amortisieren, obwohl diese nicht, wie Windkraftanlagen, durch EEG-Regelungen begünstigt werden. (EEG: Erneuerbare Energien Gesetz)

Verwendung anderer Speichertechnologien:

[0133] Eine Alternative zu Pumpspeichern bilden Druckluftkavernenspeicher.

[0134] Sie erreichen Wirkungsgrade zwischen 40% und 60%.

[0135] Sie können unter Umständen günstiger als Pumpspeicher errichtet werden, erfordern jedoch wegen des geringeren Wirkungsgrades von Haus aus eine höhere Überkapazität bei den Windkraftanlagen.

[0136] Auch hierzu soll die Betrachtung des vierjährigen Zeitraums ein Gefühl vermitteln, wie sich die Verhältnisse mit dieser Technik darstellen würden.

[0137] Die Betrachtung erfolgt mit einem angenommenen mittleren Wirkungsgrad von 50%.

[0138] Die 7-fach installierte Windleistung reicht aus, wenn Strom für ca. 100 Tagesverbräuche gebunkert werden kann.

[0139] Der Speicherbedarf bei 8-fach installierter Windleistung beträgt ca. 50 Tage.

[0140] Der Speicherbedarf bei 10-fach installierter Windleistung beträgt ca. 25 Tage.

[0141] Druckluftkavernenkraftwerke könnten eine Alternative oder Ergänzung zu Pumpspeichern sein, wenn die erforderlichen unterirdischen Hohlräume geschaffen werden können und die Herstellkosten den erhöhten Windkraftbedarf rechtfertigen.

[0142] Druckluftkavernen beanspruchen oberirdisch praktisch keine Landflächen.

[0143] Als weitere Speicheralternative wird die Wasserstofftechnologie diskutiert. Sie erreicht Wirkungsgrade um 20%.

[0144] Wegen des geringen Wirkungsgrades ist eine noch höhere Überkapazität bei den Windkraftanlagen erforderlich.

[0145] Auch hierzu wurde der vierjährige Zeitraum mit unterschiedlichen Überkapazitäten bei der Windstromerzeugung untersucht.

Seite 15 --- ()

[0146] Im Untersuchungszeitraum (Jan 2005 bis Nov 2008) hätte eine 8-fach vorgehaltene Erzeugungsleistung bei der Windkraft nicht ausgereicht um ohne Fremdenergie die Versorgungsaufgabe zu erfüllen.

[0147] Der Speicherbedarf bei 10-fach installierter Windleistung beträgt ca. 70 Tage.

[0148] Bei einem Speicherwirkungsgrad von 20% entsteht ein erheblicher zusätzlicher Bedarf an Windkraftanlagen, der notwendig wird, um den Speicher zur Erfüllung der Versorgungsaufgabe aufladen zu können. Ob diese Technologie wirtschaftlich in Konkurrenz zu den beiden vorher diskutierten Techniken treten kann, erscheint deshalb in fraglich.

[0149] Der oberirdische Flächenbedarf einer Wasserstofftechnologie wäre, wie bei den Druckluftkavernen, ohne Bedeutung.

Abschließende Beurteilung von Erzeugungs- und Ausgleichskapazitäten beim Einsatz von Wind- und Sonnenenergie:

[0150] Ob es angesichts der ehrgeizigen Ziele und Zeithorizonte unserer Energiepolitik (bis 2050) realistisch ist, darauf zu hoffen, Windstrom über kontinentale Entfernungen, mit neu zu schaffenden Hochleistungsstromnetzen zumindest teilweise ausgleichen zu können, gehört kritisch überprüft. Nachbarländer die auf bedarfsangepasste Erzeugungstechnologien setzen, müssen dafür erst gewonnen werden.

[0151] Das Potential so eines europaweiten Lastausgleichs, das auch die Offshore-Bereiche umfassen muss, bedarf einer Gesamtanalyse um auf dieser Basis den Ausgleichsbedarf und den damit verbundenen Aufwand zu kennen.

[0152] Ein bedeutender Ausgleichsbedarf durch Energiespeicher in etwas reduziertem Umfang wird auch bei einer kontinentalen Vernetzung erforderlich bleiben.

[0153] Egal ob wir durch Einsparungen den Stromverbrauch in Zukunft verringern, oder ihn durch flächendeckende Einführung von Elektroautos sogar noch ausweiten: An der Schaffung erheblicher Speicherkapazitäten führt kein Weg vorbei, wenn zu unserer Stromversorgung die uns von der Natur geschenkte, regenerative Sonnenenergie eingesetzt werden soll.

[0154] Die Erfindung, die hiermit zum Patent angemeldet wird, liefert einen Ansatz zur wirtschaftlichen Lösung dieser Herausforderung.

Legende:

h:

Höhenunterschied der Schwerpunktlagen

po:

Pegelschwankung oben

pu:

Pegelschwankung unten

t, tw:

Wassertiefe

hk:

Dammkronenhöhe über Ursprungsgelände

a:

Abgrabungstiefe

[1] Pumpspeicherwerk mit einer künstlichen Landschaft für eine natürliche Landschaft, in der ein natürlich vorhandener Höhenunterschied nicht ausreicht, um ein Pumpspeicherwerk zu errichten, dadurch gekennzeichnet, dass ein Höhenunterschied von Schwerpunktlagen von einem oberen Austauschvolumen in einem Oberbecken des Pumpspeicherwerks und von einem unteren Austauschvolumen in einem Unterbecken des Pumpspeicherwerks, wobei das Ober- und/oder das Unterbecken als die künstliche Landschaft errichtet ist, deutlich größer ist, als der natürliche Höhenunterschied der natürlichen Landschaft, in der das Pumpspeicherwerk errichtet ist.

[2] Pumpspeicherwerk gemäß mindestens einem der voranstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass das Oberbecken und/oder das Unterbecken durch einen aus einem Bodenmaterial aufgeschütteten Wall, insbesondere einem Ringwall, angelegt sind bzw. ist.

[3] Pumpspeicherwerk gemäß mindestens einem der voranstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet

Seite 16 --- ()

net, dass das Oberbecken und/oder das Unterbecken teilweise durch die natürliche Landschaft gebildet sind bzw. ist.

[4] Pumpspeicherwerk gemäß mindestens einem der voranstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass das Oberbecken oder das Unterbecken als Kegelring oder Ringwall, welcher das Oberbecken bzw. das Unterbecken umschließt und außerhalb welchen das Unterbecken bzw. das Oberbecken, insbesondere um welchen das Unterbecken bzw. das Oberbecken als Ringfläche, angeordnet ist, angelegt ist.

[5] Pumpspeicherwerk gemäß mindestens einem der voranstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass ein das Oberbecken oder das Unterbecken umschließender Kegelring oder Wall in einem Gewässer, in einem See oder auf Land oder auch in einem Übergangsbereich zwischen dem Gewässer bzw. See und dem Land angelegt ist.

[6] Pumpspeicherwerk gemäß mindestens einem der voranstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Schwerpunktlage des innerhalb des Walls oder Kegelrings angeordneten oberen bzw. unteren Austauschvolumens des Ober- bzw. Unterbeckens über oder unter der Schwerpunktlage des unterer bzw. oberen Austauschvolumens des außerhalb des Walls oder Kegelrings befindlichen Unter- bzw. Oberbeckens liegt.

[7] Pumpspeicherwerk gemäß mindestens einem der voranstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass das Unterbecken unterhalb eines Niveaus der natürlichen Landschaft angeordnet ist.

[8] Pumpspeicherwerk gemäß mindestens einem der voranstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass das Unterbecken bzw. Oberbecken nicht konzentrisch zum Oberbecken bzw. Unterbecken angeordnet ist.

[9] Pumpspeicherwerk gemäß mindestens einem der voranstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass eine Gestaltungsform der das Unterbecken bzw. Oberbecken bildenden künstlichen Landschaft, insbesondere der Wall oder der Kegelring, aufgrund landschaftlicher, siedlungsbedingter, untergrundbedingter, oder infrastrukturbedingter Gründe gewählt ist.

[10] Pumpspeicherwerk gemäß mindestens einem der voranstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die künstliche Landschaft einen zum Teil dem Pumpspeicherwerk angepassten Tagebau umfasst.

[11] Pumpspeicherwerk gemäß mindestens einem der voranstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass an einer Wasseroberfläche bei dem Ober- und/oder Unterbecken und/oder an einem das Ober- und/oder Unterbecken bildenden Wall, zumindest teilweise eine Photovoltaik-Anlage, insbesondere in zur Sonne ausgerichteten Bereichen derselben, angeordnet ist.

[12] Pumpspeicherwerk gemäß mindestens einem der voranstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass an bzw. auf dem Wall oder dem Kegelring oder auf einer Dammkrone des Walls eine Windkraftanlage angeordnet ist.

[13] Verfahren zur Errichtung eines Pumpspeicherwerks mit einer künstlichen Landschaft für eine natürliche Landschaft, in der ein natürlich vorhandener Höhenunterschied nicht ausreicht, um ein Pumpspeicherwerk zu errichten dadurch gekennzeichnet, dass ein Ober- und/oder ein Unterbecken des Pumpspeicherwerks als die künstliche Landschaft errichtet wird, wodurch ein Höhenunterschied von Schwerpunktlagen von einem oberen Austauschvolumen in dem Oberbecken des Pumpspeicherwerks und von einem unteren Austauschvolumen in dem Unterbecken des Pumpspeicherwerks deutlich größer ist, als der natürliche Höhenunterschied der natürlichen Landschaft, in der das Pumpspeicherwerk errichtet wird.

[14] Verfahren zur Errichtung eines Pumpspeicherwerks nach dem voranstehenden Anspruch, dadurch gekennzeichnet, dass das Oberbecken und/oder das Unterbecken zumindest teilweise durch Verlagerung von Bodenmaterial zu einem Wall, insbesondere zu einem Ringwall, oder Kegelring errichtet wird.

[15] Verfahren zur Errichtung eines Pumpspeicherwerks nach dem voranstehenden Anspruch, dadurch gekennzeichnet, dass das Oberbecken und/oder das Unterbecken in Zusammenhang mit einem Tagebau errichtet wird.

Seite 17 --- ()

Seite 18 --- ()

Seite 19 --- ()