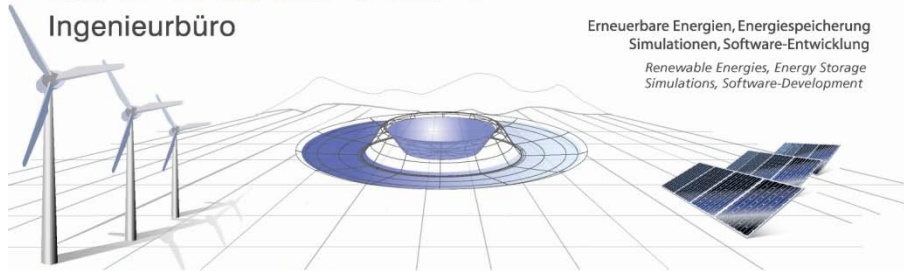


Ringwallspeicher

MATTHIAS POPP

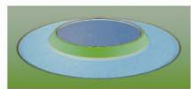
Ingenieurbüro



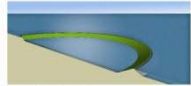
Erneuerbare Energien, Energiespeicherung
Simulationen, Software-Entwicklung
Renewable Energies, Energy Storage
Simulations, Software-Development

Ringwallspeicher - die Chance

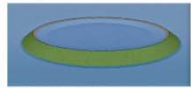
als geotechnische Option zur Schaffung großer Speicherkapazitäten
as geotechnical option to create large storage capacities



für das „flache Land“
for the flat land

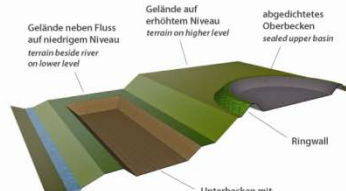


für tiefe Gewässer
for deep waters



für flache Gewässer
for flat waters

bei natürlichen Höhenunterschieden
with natural height differences



Gelände auf erhöhtem Niveau
terrain on higher level

abgedichtetes
Oberbecken
sealed upper basin

Ringwall

Unterbecken mit
dessen Aushub der
Ringwall errichtet wird
lower basin, with the excavation
the Ringwall is build up

Gewässer unter Umgebungsniveau
zur Befüllung der Anlage
water under surrounding level
to fill up the plant



Ein Verzicht auf energetisch
genutzte Agrarflächen
zugunsten Ringwallspeicher-
Hybridkraftwerken -

The abication of energetisch
used agricultural areas
for the benefit of Ringwallspeicher
hybrid power stations -



eröffnet Freiräume für
großräumig vernetzte
Naturlandschaften.
reopens free space for
large-scale cross-linked
natural landscapes.



Schwimmende Inseln
ermöglichen die Sicherung
der Wasserqualität und die
ökologische Aufwertung der
entstehenden Wasserflächen.
Swimming islands make it possible
to secure water quality and to
ecological enhance the originating
water surfaces.

doppelte geometrische Abmessungen schaffen 16-fache Speicherkapazität
doubling geometric dimensions 16-folds the storage capacity



Dr.-Ing. Matthias Popp
Schönbrunn-Burgstraße 19
D-95632 Wunsiedel
Tel.: +49 (0) 9232 / 9933 - 10
Fax: +49 (0) 9232 / 9933 - 40
matthias@popppware.de
www.poppware.de

Informationen zur Poster-Ausstellung

6. internationale Konferenz und Ausstellung
zur Speicherung erneuerbarer Energien
IRES 2011

im Berlin Congress Center
Alexanderstraße 11
10178 Berlin

MATTHIAS POPP
Ingenieurbüro
Erneuerbare Energien, Energiespeicherung
Simulationen, Software-Entwicklung

Dr.-Ing. Matthias Popp
Schönbrunn-Burgstraße 19
D-95632 Wunsiedel
Telefon: 09232 / 9933-10
Telefax: 09232 / 9933-40
matthias@popppware.de
www.poppware.de

Sehr geehrte Damen und Herren,
vorab kurz einige Informationen zu meiner Person und meinem Büro.

Dr.-Ing. Matthias Popp

- Jahrgang 1958
- Wunsiedel im Fichtelgebirge, Bayern
- 1983 Gründung des Ingenieurbüro Popp im 7. Studiensemester
- 1983 Diplom für Maschinenbau an der Fachhochschule Coburg
- Ingenieurbüro Popp, u. A. Softwareentwicklung für die Automobilindustrie
- 1989 Diplom für Maschinenbau an der TU München
- Stadtrat (CSU) und von 2002 bis 2008 ehrenamtlicher Zweiter Bürgermeister seiner Heimat- und Festspielstadt Wunsiedel im Fichtelgebirge sowie Aufsichtsrat der SWW Wunsiedel GmbH.

Dabei intensive Auseinandersetzung mit Fragen der Energieversorgung.
Im Zuge eines Projektvorschlages für ein Pumpspeicherkraftwerk im Fichtelgebirge erfolgte die Suche nach Antworten auf die Frage:

Wie können Energiespeicher einen Beitrag zu einer nachhaltigen regenerativen Stromversorgung leisten?

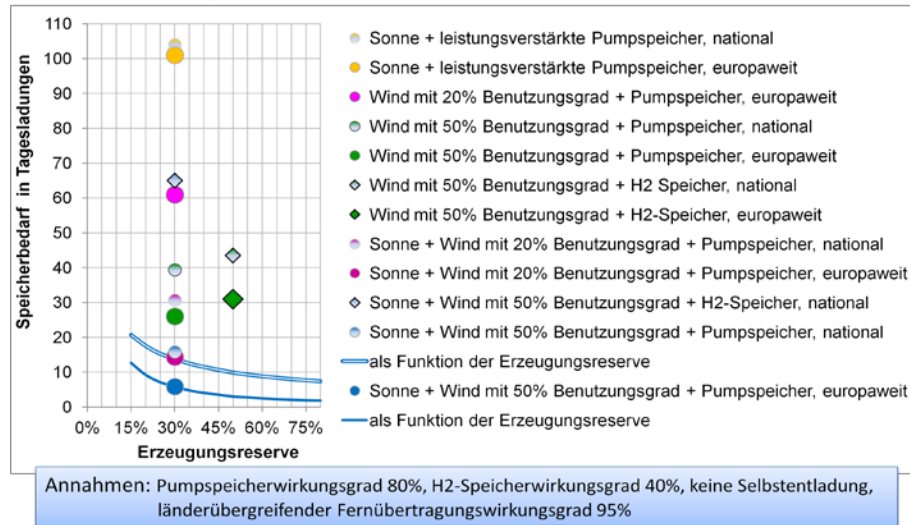
- 2010 Doktor-Ingenieur an der TU Braunschweig
- 2011 Finalist um den RWE Zukunftspreis 2011
- **MATTHIAS POPP** Erneuerbare Energien, Energiespeicherung
Ingenieurbüro Simulationen, Software-Entwicklung



Im letzten Jahr konnte ich mit dem Thema „Speicherbedarf bei einer Stromversorgung mit erneuerbaren Energien“ promovieren.

Diese Doktorarbeit wird vom Springer Verlag als Buch herausgegeben.

Wie groß müsste die „Batterie“ sein?



Eine Reihe von untersuchten Szenarien zeigt dieses Diagramm.

Jeder Eintrag repräsentiert eine regenerative Stromversorgung, welche die Nachfrage bedarfsgerecht decken könnte.

Der notwendige Speicherbedarf variiert von mehr als 100 Tagesladungen bei reinen Solarenergieszenarien, herunter bis auf einige Tagesladungen, mit einem optimierten Erzeugungsmix aus Wind- und Solarenergie in Verbindung mit Speichersystemen hohen Wirkungsgrads.

Je besser die Abstimmung und die grenzüberschreitende Kooperation der Länder gelingt, je höher die Erzeugungreserve und je höher der Speicherwirkungsgrad, desto niedriger wird die erforderliche Speicherkapazität – und umgekehrt.

Dabei sind nationale Lösungen mit einer Speicherkapazität von 14 Tagesladungen und darunter, und länderübergreifende Lösungen von ca. 6 Tagesladungen und weniger erreichbar.

Versorgungssysteme mit Gasspeichern, auf der Basis von Wasserstoff oder Methan würden ebenfalls funktionieren, würden aber wegen der größeren Verluste, höhere Erzeugungsrreserven und Speicherkapazitäten erfordern.

ausführlich:

Eine Reihe von Untersuchungsergebnissen ist in diesem Diagramm zusammengefasst.

Alleinige Sonnenenergie würde den größten Speicherbedarf erfordern. Eine leistungsstarke länderübergreifende Vernetzung könnte ihn kaum reduzieren.

Windenergie mit 20% Benutzungsgrad würde mit normalen Pumpspeichersystemen nur unter Ausnutzung der Ausgleichseffekte einer leistungsstarken länderübergreifenden Zusammenarbeit funktionieren und ca. 60 Tage Kapazität erfordern.

Windenergie mit 50% Benutzungsgrad benötigt mit 26 Tagesladungen deutlich weniger Speicherkapazität und ermöglicht mit ca. 40 Tagesladungen auch im nationalen Alleingang eine sichere bedarfsgerechte Versorgung.

Eine speicherbedarfsminimierende Kombination aus Sonne und Wind mit niedrigem Benutzungsgrad von 20% würde national ca. 30 Tage, bei europaweitem Zusammenwirken ca. 14 Tage Speicherkapazität erfordern.

Eine speicherbedarfsminimierende Kombination aus Sonne und Wind mit hohem Benutzungsgrad von 50% würde national mit ca. 14 und europaweit mit ca. 6 Tagesladungen Speicherkapazität auskommen.

Speicher mit niedrigen 40% Wirkungsgrad würden bei Windenergie mit 50% Benutzungsgrad und 50% Erzeugungreserve national Speicher für ca. 43, europaweit für ca. 31 Tage erfordern.

Bei einer optimierten Erzeugung kann bei diesem niedrigen Wirkungsgrad mit einer Speicherkapazität von ca. 65 Tagesladungen eine bedarfsgerechte Versorgung bei 30% Erzeugungsrreserve noch funktionieren.

Pumpspeicher



Die in Deutschland verfügbare Pumpspeicherkapazität entspricht ca. einer 36-stel Tagesladung der durchschnittlichen Stromnachfrage.

Für eine regenerative Stromversorgung Deutschlands auf der Basis von Wind und Sonne und ohne weitere Rückgriffmöglichkeit auf fossile und nukleare Energieträger würde das bedeuten, ...

Erforderliche Speicherkapazität

Speicherbedarf Deutschlands im nationalen Alleingang:

bei optimierten Erzeugungsstruktur mit Strom allein aus Wind und Sonne mit 30% Erzeugungsreserve

Kapazität ca. 20 TWh, Leistung ca. 90 GW

entspricht ca. **14 Tagesladungen** der Durchschnittsnachfrage,

erfordert ca. **500 Mal die vorhandene Speicherkapazität**

Speicherbedarf Deutschlands im europäischen Verbund:

bei optimierten Erzeugungsstruktur mit Strom allein aus Wind und Sonne mit 30% Erzeugungsreserve

Kapazität ca. 9 TWh, Leistung ca. 90 GW

entspricht ca. **6 Tagesladungen** der Durchschnittsnachfrage,

erfordert ca. **200 Mal die vorhandene Speicherkapazität,**

leistungsstarken Ausbau der europäischen Stromnetze und einen Ausbau der Wind- und Solarenergie in allen Ländern Europas

..., dass im nationalen Alleingang die derzeit vorhandene Speicherkapazität in etwa zu ver-500-fachen wäre.

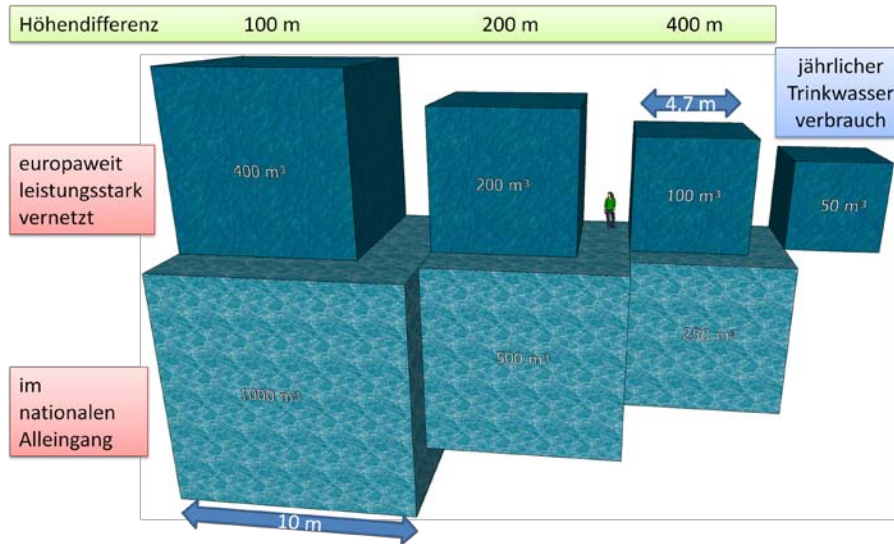
Bei einer sich aus heutiger Perspektive leider nicht abzeichnenden optimalen europaweiten Kooperation würde sich immer noch ein ca. 200-facher Speicherbedarf ergeben.

Wasserbedarf zur Energiespeicherung

- Ca. **80 Mio. Einwohner** beanspruchen in Deutschland inklusive der gesamten Wirtschaft eine durchschnittliche elektrische Versorgungsleistung von ca. **60 Gigawatt**.
- Im Durchschnitt macht das **pro Person** eine Inanspruchnahme elektrischer Leistung von ca. **750 Watt** (ca. 1 PS).
- Für eine sichere und jederzeit bedarfsgerecht verfügbare, zu 100% regenerative Stromversorgung müssten davon mindestens, je nach Erzeugungsstruktur und länderübergreifender Vernetzung **6 bis 14 Tagesladungen** gespeichert werden können.
- Daraus ergibt sich eine erforderliche **Speicherkapazität von 100 bis 250 Kilowattstunden pro Person**.
- Stünden Wasserspeichersysteme mit **400 Metern Höhenunterschied** zur Verfügung, dann wäre **pro Person** ein Austauschvolumen **zwischen 100 und 250 Kubikmetern** erforderlich. Das wäre das **Wasservolumen eines Würfels von 4,7 bis 6,3 Meter Kantenlänge**.
- Bei **200 Metern Höhendifferenz** würde sich das verdoppeln auf **200 bis 500 Kubikmeter** oder wassergefüllte Würfel mit einer **Kantenlänge zwischen 5,9 und 8 Metern**.
- Bei **100 Metern Höhendifferenz** vervierfacht sich das Volumen auf **400 bis 1000 Kubikmeter**. Die **Würfellängen pro Person** lägen **zwischen 7,4 und 10 Metern**.
- Im Vergleich dazu lag der durchschnittliche Trinkwasserverbrauch im Jahr 1990 pro Person in Deutschland bei ca. 50 Kubikmetern.

Die sich dabei im Falle von Pumpspeichersystemen ergebenden Wasservolumina pro Kopf der Bevölkerung sind nachfolgend maßstabsgetreu dargestellt.

Wasserbedarf zur Energiespeicherung pro Person



Je nach Höhenunterschied der Wasserflächen von Pumpspeichersystemen, läge das erforderliche Austauschvolumen pro Einwohner damit zwischen 100 m³ und 1000 m³.

Der für die Erstbefüllung von Energiespeichersystemen einmalig erforderliche Wasserbedarf pro Person würde sich nicht um Größenordnungen vom jährlich erforderlichen Trinkwasserverbrauch unterscheiden.

Wenn Pumpspeichersysteme mit einer gegebenen Kapazität möglichst flächensparend errichtet werden sollen, dann kommt es neben der Realisierung möglichst großer Höhenunterschiede auch auf ein möglichst großes Pegelspiel in Ober- und Unterbecken zwischen aufgeladenem und entleertem Zustand an.

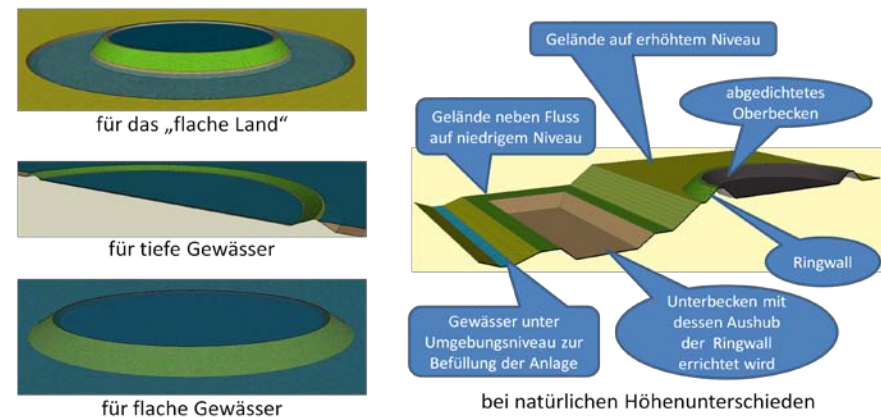
Bodenflächenbedarf zur Energiespeicherung

- Das Austauschvolumen eines Pumpspeicherkraftwerks muss im aufgeladenen Zustand im Oberbecken Platz finden, im entladenen Zustand im Unterbecken. Der Speicherraum muss deshalb zweimal vorgehalten werden.
- Auf einer gegebenen Fläche kann um so mehr Volumen gespeichert werden, je größer das Pegelspiel zwischen aufgeladenem und entladene Zustand realisiert wird.
- **100 - 250 Kubikmeter Wasservolumen erfordern bei einem Pegelspiel**
 - von **1 Meter** eine Wasserfläche von **100 - 250 Quadratmeter**,
 - von **5 Meter** eine Wasserfläche von **20 - 50 Quadratmeter**,
 - von **20 Meter** eine Wasserfläche von **5 - 25 Quadratmeter** und
 - von **50 Meter** eine Wasserfläche von **2 - 5 Quadratmeter**.
- Im **optimistischen Fall länderübergreifender Zusammenarbeit** und 400 m mittlerem Höhenunterschied bei 50 m Pegelspiel im Ober- und Unterbecken der Pumpspeichersysteme wären in Deutschland **pro Person 4 m²** (2 x 2 m) Wasserfläche erforderlich, um einen Kapazitätsbedarf von 100 kWh zu decken. Das wären ca. **320 km²** oder weniger als ein Tausendstel (0,09%) der Landesfläche.
- Im **weniger optimistischen Fall einer nationalen Lösung** und Speichern mit 100 m mittlerem Höhenunterschied bei 20 m Pegelspiel, läge der Wasserflächenbedarf **pro Person bei 100 m²** (10 x 10 m) bei einem Kapazitätsbedarf von 250 kWh. Das würde eine Fläche von ca. **8000 km²** oder knapp 2,3% des Landes mit Wasser bedecken.

All diese Überlegungen führen zum Vorschlag des Ringwallspeichers.

Ringwallspeicher

als geotechnische Option zur Schaffung großer Speicherkapazitäten



doppelte geometrische Abmessungen schaffen 16-fache Speicherkapazität

Damit können auch in Gebieten, die für klassische Pumpspeichersysteme nicht in Frage kommen, große Speicherkapazitäten mit hohem Wirkungsgrad errichtet

werden, weil dabei große Höhenunterschiede geschaffen oder natürlich vorhandene Höhenunterschiede vergrößert werden. Auch für die maximal vorgesehenen Pegelspiele bestehen große Freiheiten bei der Auslegung.

Große Schaufelradbagger würden das Unterbecken ausheben und damit den Damm für ein Oberbecken aufschütten, das innen abgedichtet wird. Die Anlage würde wie ein Pumpspeicherkraftwerk betrieben.

Die Geometrie dieser Speicher führt mit zunehmender Größe zu einem rasanten Anwachsen der Kapazität.

Dieser Vorschlag gefiel dem Chefredakteur von „Bild der Wissenschaft“, ...

Ringwallspeicher-Hybridkraftwerk

Alternative zu zwei Kernkraftwerken mit 2 GW Durchschnitts und 3,2 GW Spitzenleistung



„Ringwallspeicher as technical building and tourism paradise“

Zitat von Prof. Dr. Carsten Ahrens von der Jade Hochschule in Oldenburg, der den Ringwallspeicher am 19. Oktober auf der Ingeniera 2010 in Buenos Aires vorstellte.

..., so dass er einen Grafiker beauftragte, diese Illustration anzufertigen.

Hierbei handelt es sich um eine sehr große und idealisierte Vorstellung, die in dieser Form sicher nicht gebaut würde.

Der Außendurchmesser läge bei ca. 11 km, der Walldurchmesser bei ca. 6 km, die Wallhöhe bei 215 m, das Pegelspiel im inneren Oberbecken bei 50 m und im äußeren Unterbecken bei 20 m.

Die Kapazität von ca. 700 GWh würde im Zusammenwirken mit ca. 2000 Windenergieanlagen in der größten, heute verfügbaren Bauart und der notwendigen Fotovoltaik in der Lage sein, versorgungssicher zwei Kernkraftwerke zu ersetzen.

Natürlich geht das auch deutlich kleiner bei einer entsprechend größeren, dezentral über das Land verteilten Anzahl von Anlagen.

Insbesondere das Unterbecken sollte sich auch für Wassersport eignen, weil die auf Langzeitausgleich ausgelegten Ringwallspeicher nur sehr selten die Kapazität in größerem Umfang in Anspruch nehmen.

Meistens wäre das Oberbecken gut gefüllt und das Unterbecken auf abgesenktem Niveau.

Beispiel Edersee

Zentrum einer beliebten Ferienregion, errichtet unter Kaiser Wilhelm vor 100 Jahren



Derartige Wasserflächen gibt es.

Der größte künstliche Stausee Deutschlands ist der Edersee.

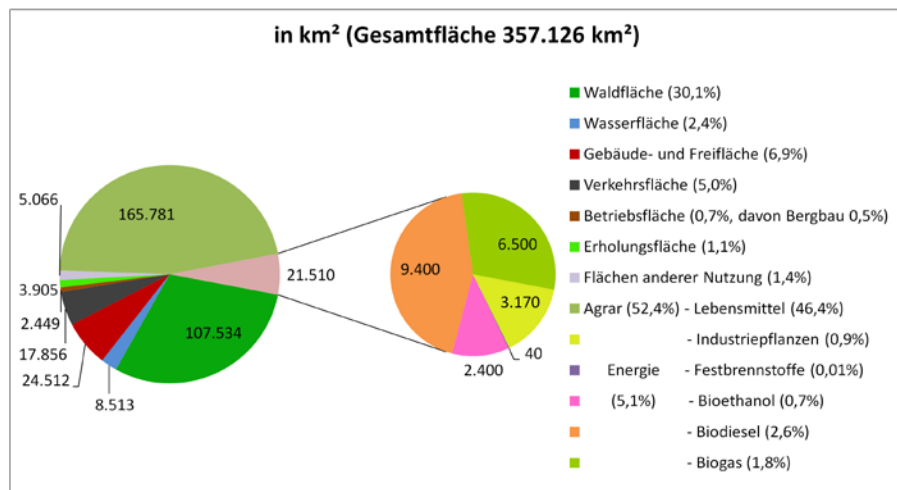
Er erfährt in einer Saison im Sommerhalbjahr mitunter Absenkungen über 30 Meter.

In Zeitabschnitten mit Regenüberschuss geht der Wasserstand wieder nach oben.

Als ich im Jahr 2008 diese Bilder machte lag die Absenkung bei etwa 20 Metern.

An diesem Tag ging es noch einmal um über als einen Meter nach unten. Auch mit diesen Pegelveränderungen findet auf dem See ein reger Freizeitbetrieb statt und er bildet das Zentrum einer beliebten Ferienregion.

Bodennutzung Deutschlands



Der idealisiert dargestellte Ringwallspeicher würde zusammen mit allen Wind- und Solarenergieanlagen eine Bodenfläche von ca. 100 km² erfordern.

30 derartige Hybridkraftwerke hätten eine durchschnittliche Erzeugungsleistung von 60 GW.

Die erforderliche Gesamtfläche läge bei ca. 3000 km².

Sie wären in der Lage die vollständige Stromversorgung Deutschlands allein aus Wind und Sonne nachfragegerecht zu gewährleisten.

Das wäre weniger als 1 % der Landesfläche und weniger als die Hälfte der Fläche von 6500 km², auf der bereits heute Biomasse zur Stromerzeugung mit Biogasanlagen angebaut wird.

Der Flächenertrag für elektrische Energie des vorgeschlagenen Hybridsystems zur Stromerzeugung liegt etwa 50 Mal höher, als wenn dort Biomasse angebaut würde.

Vergleich Ringwallspeicher / Biomasse

Etwa die Hälfte
der heute in Deutschland bereits
zur Biogasproduktion eingesetzten
Bodenfläche würde ausreichen,
um mit Ringwallspeicher-
Hybridkraftwerken die
regenerative, nachhaltige und
sichere Stromversorgung des
gesamten Landes zu gewährleisten.



Biogasanlagen lieferten im Jahr 2010 ca. 3% des deutschen Strombedarfs.

Wo ein Ringwallspeicherhybridsystem 2000 MW Durchschnittsleistung ins Stromnetz einspeisen würde, könnte Biomasse ca. 40 MW leisten.

Die Chance

Ein Verzicht

- auf energetisch genutzte Agrarflächen
- zugunsten Ringwallspeicher-Hybridkraftwerken



eröffnet Freiräume für

- großräumig vernetzte Naturlandschaften.



Schwimmende Inseln

- ermöglichen die Sicherung der Wasserqualität und die
- ökologische Aufwertung der entstehenden Wasserflächen



Ein Umdenken bei dieser Art der Landnutzung könnte Freiräume für naturnahe Flächen schaffen.

Vergleich Ringwallspeicher / Braunkohle



Braunkohletagebau Garzweiler
Ausschnitt aus Originalfoto: http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Tagebau_Garzweiler_Panorama_2005.jpg
© Raimond Spekking / Wikimedia Commons / CC-BY-SA-3.0 & GFDL

Braunkohletagebaue sind die einzigen Bauwerke, bei denen noch viel mehr Erde bewegt wird, als es für die Errichtung großer Ringwallspeichersysteme erforderlich wäre.

Die Kompetenz der Betreiber von Tagebauen bei der Bewegung großer Erdmassen könnte eine Basis zur kostengünstigen Errichtung dieser Energiespeicher werden.

Diese Speichersysteme werden gebraucht, wenn die fossilen Rohstoffe zur Neige gehen oder wenn deren Gewinnung immer kostspieliger wird und natürliche Energiekreisläufe die Elektrizitätsversorgung übernehmen sollen.

Der größte deutsche Tagebau Hambach erreicht im Endausbau eine Größe, die der Wasserfläche des illustrierten großen Ringwallspeichers entspricht.

Das Grundwasser wird dafür großräumig auf ca. 500 Meter Tiefe abgesenkt.

Allein das auf die ca. 200 Meter hohe Halde gekippte Volumen des abzutragenden Deckgebirges würde ausreichen, um etwa sieben Ringwallspeicher in der gezeigten Größe zu errichten.

Die damit geschaffenen Hybridsysteme könnten ein Mehrfaches an elektrischer Leistung bereitstellen, als dieser Tagebau.

Vergleich Ringwallspeicher / Braunkohle

Braunkohletagebau Hambach

- siehe z.B.: http://de.wikipedia.org/wiki/Tagebau_Hambach
- Ausdehnung: ca. 85 km²
- Tiefe: bis zu 400 Meter
- Betriebszeit: ca. 45 Jahre
- elektrische Leistung: ca. 4 GW
- ca. 200 Meter überragt die Hochkippe Sophienhöhe die Bördenlandschaft
- das Abraumvolumen wird mehr als 10 Kubikkilometer erreichen

Allein diese bewegten Erdmassen entsprechen dem Erdbauvolumen von sieben Ringwallspeicher-Hybridkraftwerken mit

- 215 Metern Wallhöhe,
- 14 Gigawatt Durchschnitts und
- 22,4 Gigawatt Spitzenleistung.

Vergleich Ringwallspeicher / Tagebau



Kreisrunde Ringwallspeichersysteme

sind eine Idealvorstellung, die es so kaum geben wird.

In der Praxis orientieren sich Anlagengröße und Verlauf der Uferlinien an den Möglichkeiten und Gegebenheiten der Landschaft.

Im Gegensatz zu **Tagebauprojekten** können dabei bebaute Gebiete und sensible Zonen ausgespart und in das nachhaltige Natur-Energiesystem integriert werden.

Ringwallspeicher werden höchst wahrscheinlich nie diese idealisierte, kreisrunde Form annehmen, wie in der Illustration gezeigt.

Dafür besteht auch keine Notwendigkeit.

