

# Ringwandspeicher ein essentieller Beitrag der Geotechnik zur Energiespeicherung

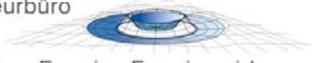
Vortrag von Dr.-Ing. Matthias Popp  
zum Themenfeld:

**Geotechnik und Energie**  
am Geotechnik-Tag in München  
am 09. März 2012

Leitung:  
Prof. Dr.-Ing. Norbert Vogt

TECHNISCHE UNIVERSITÄT MÜNCHEN  
Werner-von-Siemens-Hörsaal (Audimax)  
Arcisstraße 21  
80333 München

**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@POPPware.de](mailto:matthias@POPPware.de)  
[www.poppware.de](http://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.

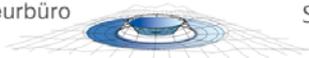


Dabei intensive Auseinandersetzung mit Fragen der Energieversorgung.

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

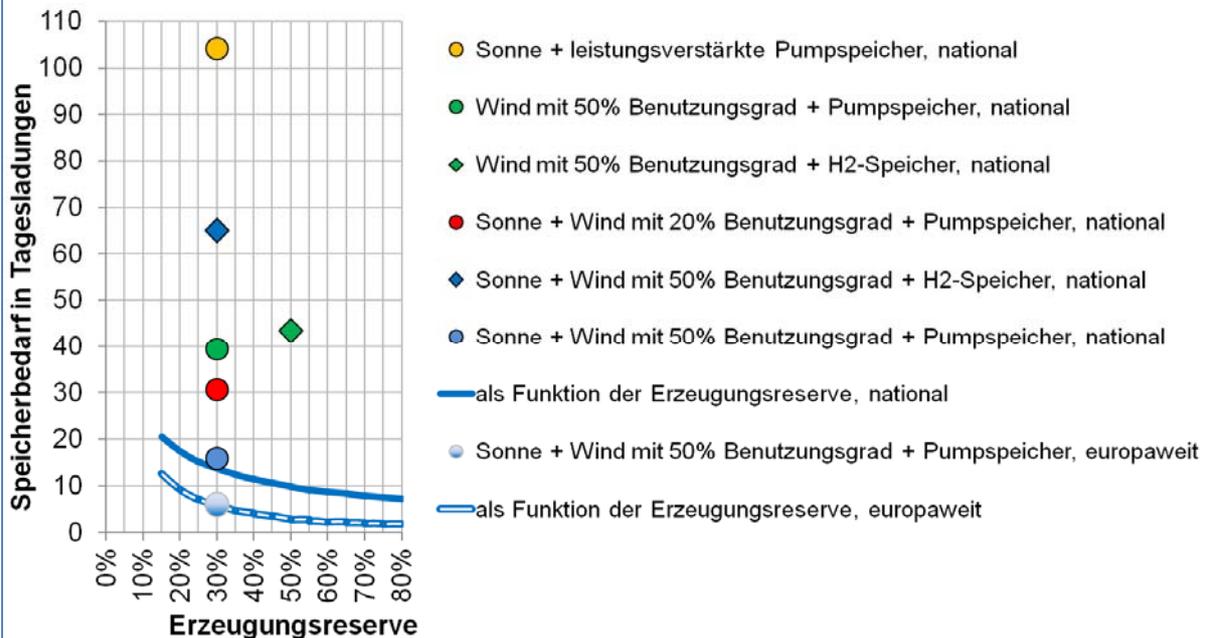


Im Jahr 2010 konnte ich mit dem Thema „Speicherbedarf bei einer Stromversorgung mit erneuerbaren Energien“ promovieren.

Die Arbeit schaffte es ins Finale um den RWE Zukunftspreis 2011.

Sie wird vom Springer Verlag als Buch herausgegeben.

## Speicherbedarf einer sicheren Stromversorgung aus Wind und Sonne



Annahmen: Pumpspeicherwirkungsgrad 80%, H2-Speicherwirkungsgrad 40%, keine Selbstentladung, länderübergreifender Fernübertragungswirkungsgrad 95%

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 Erzeugungsreserve 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 Erzeugungsreserven und Speicherkapazitäten erfordern.

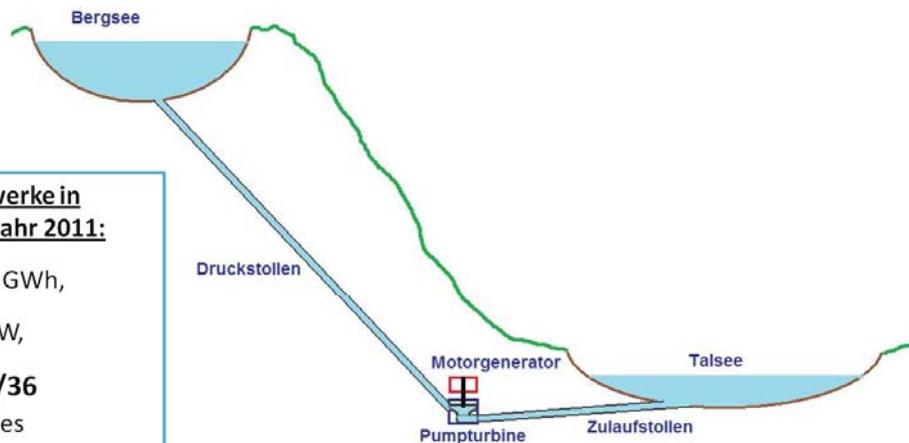
ausführlich:

- 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% Erzeugungsreserve 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% Erzeugungsreserve noch funktionieren.

# Pumpspeicher



## Speicherkraftwerke in Deutschland im Jahr 2011:

- Kapazität ca. 40 GWh,
- Leistung ca. 7 GW,
- entspricht ca. **1/36 Tagesladung** des durchschnittlichen Strombedarfs Deutschlands,
- damit können ca. 10% des landesweiten Strombedarfs für ca. sechs Stunden überbrückt werden

**Zur Speicherung einer Kilowattstunde ist eine Tonne Wasser auf 400 Meter Höhe zu heben.**

Das entspricht etwa der stündlich eingestrahnten Sonnenenergie pro Quadratmeter der Erdscheibe.

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**

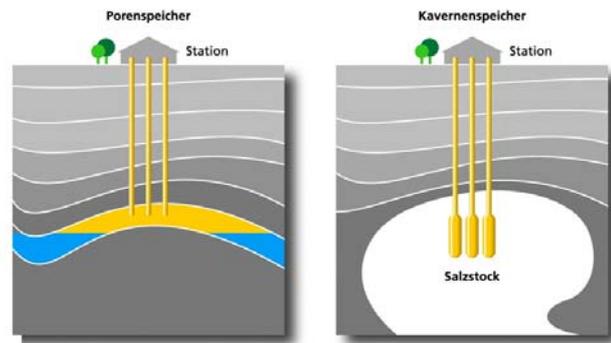
..., dass im nationalen Alleingang die derzeit vorhandene Speicherkapazität in etwa zu ver-500-fachen wäre.

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

# Erdgasspeicher

## Erdgasspeicher in Deutschland im Jahr 2011:

- Gesamtes Speichervolumen ca. 35.000 Mio. m<sup>3</sup> V<sub>n</sub>,
- Maximale Arbeitsgaskapazität ca. 20.800 Mio. m<sup>3</sup> V<sub>n</sub>,
- Energiegehalt von Erdgas ca. 10 kWh/ m<sup>3</sup> V<sub>n</sub> = 10 GWh/Mio. m<sup>3</sup> V<sub>n</sub>,
- Energiespeicherkapazität ca. 208 TWh
- Verstromungswirkungsgrad (GuD) ca. 60%
- **Stromspeicherkapazität** ca. **125 TWh**, das entspricht ca. **87 Tagesladungen** des durchschnittlichen Strombedarfs Deutschlands



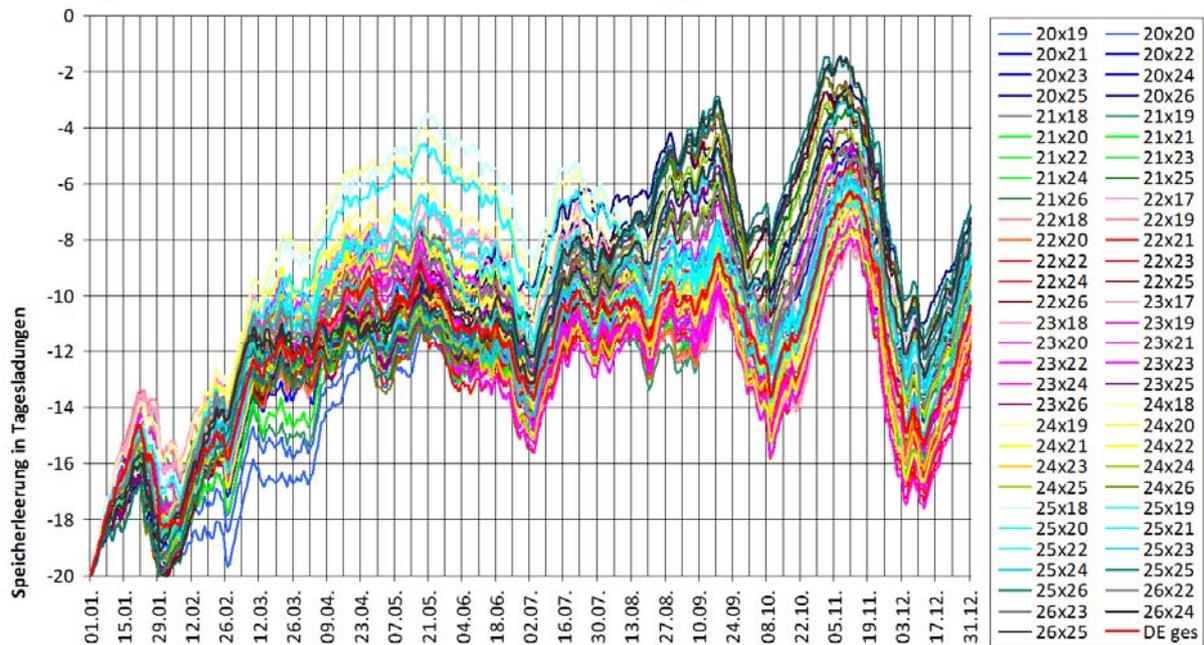
Wegen des immensen Speicherbedarfs, der mit dem weiteren Ausbau der Erneuerbaren Stromversorgung auf uns zukommt, wird auch über alternative Speichertechnologien nachgedacht, mit Wasserstoff oder Erdgas als Energieträger.

Die im Erdgasnetz vorhandene Speicherkapazität würde ohne Weiteres ausreichen, um Stromdefizite auch über die längsten Flauten hinweg ausgleichen zu können.

Im Gegensatz zur bewährten Pumpspeichertechnik entstehen dabei aber erheblich höhere Verluste und die technische Entwicklung der dazu erforderlichen Systeme steckt noch in den Kinderschuhen.

Zum Vergleich der Speichertechnik-Alternativen folgen einige Diagramme.

## Speicherbewirtschaftung auf Methanbasis



38% Speicherwirkungsgrad, bezüglich des Verbrauchs 100% Erzeugung aus bedarfsorientiert auf das Land verteilter Windenergie mit 50% Benutzungsgrad, kombiniert mit 20% Solarenergie und 10% regenerative Grundleistung z.B. aus Laufwasser, Biomasse oder Geothermik, Stromnetz bei dem 50% des landesweiten Verbrauchs fernübertragen werden kann.

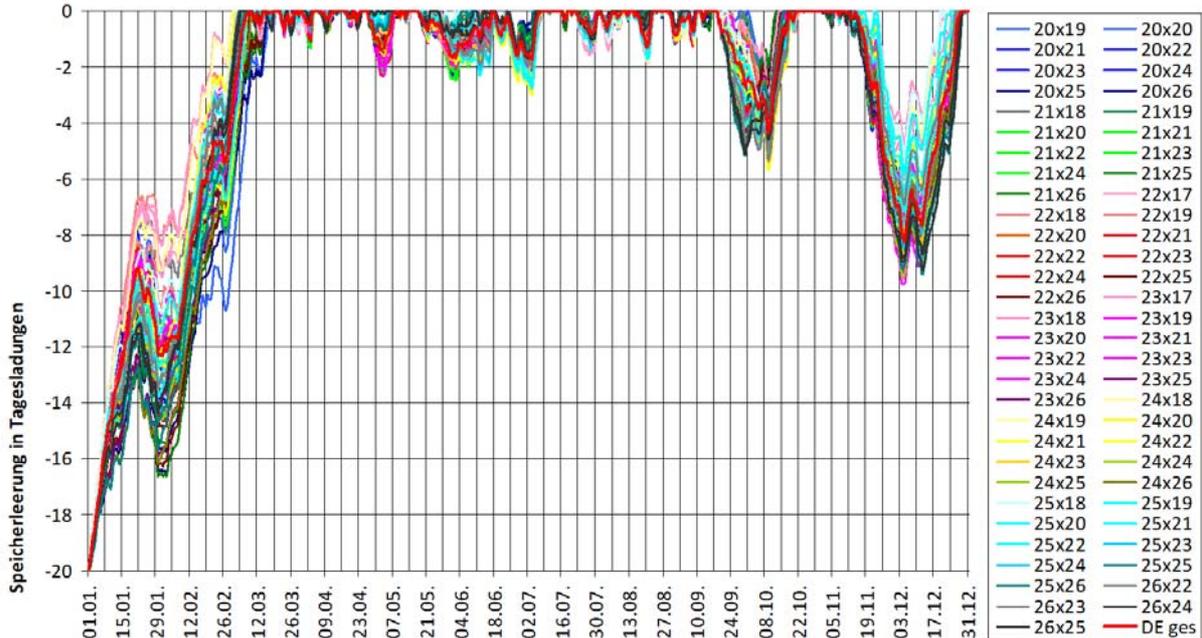
Die Grafik zeigt die Auf- und Entladungen von Speichern eines ideal über Deutschland verteilten regenerativen Erzeugungssystems, für Rastergebiete mit jeweils 90x90 Kilometern Kantenlänge. Sie verdeutlicht, welche Anforderungen die Volatilität der erneuerbaren Energien aus Wind und Sonne an Speichersysteme stellen.

Nicht mehr, der Ausgleich zwischen Tag und Nacht und zwischen Arbeitstagen und Wochenenden definiert die Herausforderung an Speichersysteme, sondern längere windschwache Perioden, die großräumig auftreten und insbesondere im Winterhalbjahr nicht ausreichend durch Solarstrom einspeisung ausgeglichen werden können.

Diesen aus langanhaltenden, großräumigen Wetterlagen resultierenden Situationen kann weder mit einem leistungsstarken Ausbau der Stromnetze, noch mit Smart-Grid Lösungen abgeholfen werden.

Da können nur noch konventionell betriebene, bedarfsgerecht abrufbare Kraftwerke einspringen, oder Speichersysteme, die mit den notwendigen Reserven ausgelegt sind. Dieses Diagramm zeigt eine Speicherbewirtschaftung, wenn dafür Wasserstoff- oder Methanspeichertechniken eingesetzt würden.

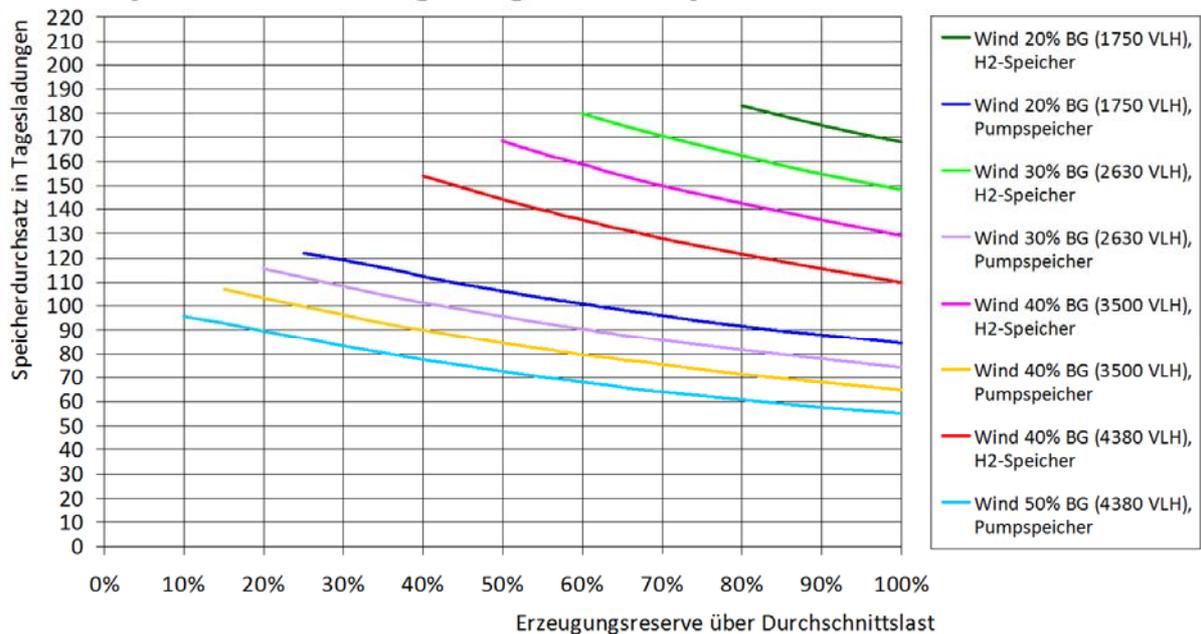
## Speicherbewirtschaftung mit Pumpspeichern



**76% Speicherwirkungsgrad**, bezüglich des Verbrauchs 100% Erzeugung aus bedarfsorientiert auf das Land verteilter Windenergie mit 50% Benutzungsgrad, kombiniert mit 20% Solarenergie und 10% regenerative Grundleistung z.B. aus Laufwasser, Biomasse oder Geothermik, Stromnetz bei dem 50% des landesweiten Verbrauchs fernübertragen werden kann.

Würde der gleiche regenerative Erzeugungspark nicht über die vorher gezeigten wirkungsgradschwächeren Methanspeichersysteme, sondern über wirkungsgradstarke Pumpspeichersysteme ausgeglichen, dann würden sich die Speicher wegen der geringeren Wirkungsgradverluste deutlich schneller aufladen. Die Speicherleerungen zur Überbrückung der Flauten würden aber in der gleichen Größenordnung anfallen. Der Vorteil von Pumpspeichern liegt darin, dass weniger Erzeugungsleistung, also weniger Windenergie- und Solarenergieanlagen ausreichen würden, um die Speicher füllen zu können.

## Systemauslegung und Speicherdurchsatz

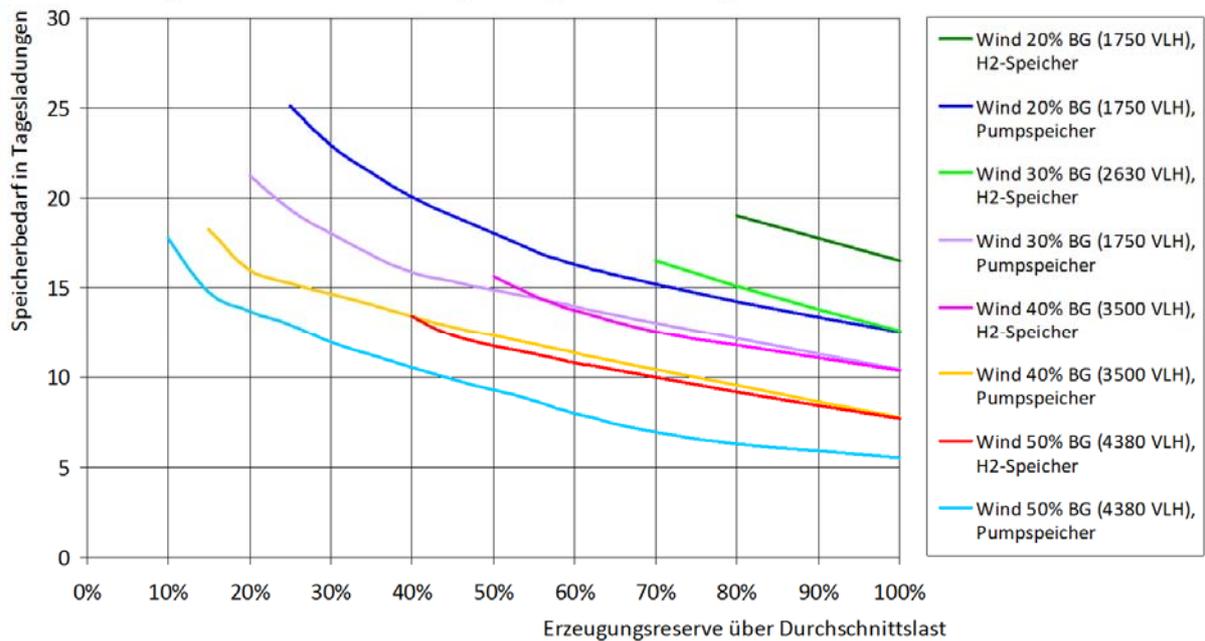


Jährlicher Speicherdurchsatz bei autarker Versorgung im südlichen Oberfranken und in der nördlichen Oberpfalz (Rastergebiet 24x20) bei optimaler regionaler Abstimmung von Wind- und Solarenergienutzung in Abhängigkeit von der Systemauslegung mit 10% regenerativer Grundleistung.

Die Begründung liefert der stattfindende Speicherdurchsatz. Energie für Verluste, die bei einem Speicherprozess anfällt, braucht bei wirkungsgradstarken Speichern nicht erzeugt werden.

Neben der Akzeptanzgewinnung handelt es sich bei den zur Wahl stehenden Speichertechnologien auch um eine wirtschaftliche Frage, welche Systemlösung bei ganzheitlicher Betrachtung die attraktiveren Entwicklungskorridore eröffnet. Dabei sehe ich im Bereich der Geotechnik erhebliche Potentiale.

## Systemauslegung und Speicherbedarf



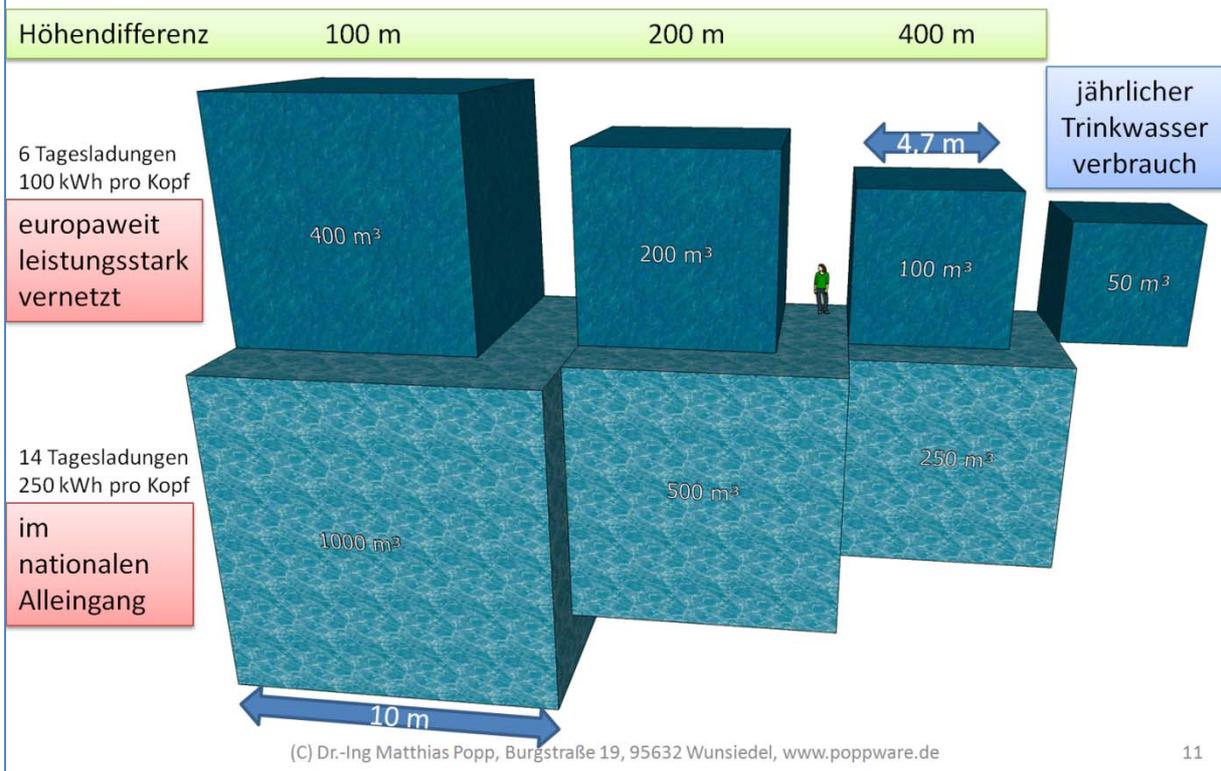
Minimaler Speicherbedarf bei autarker Versorgung im südlichen Oberfranken und in der nördlichen Oberpfalz (Rastergebiet 24x20) bei optimaler regionaler Abstimmung von Wind- und Solarenergienutzung in Abhängigkeit von der Systemauslegung mit 10% regenerativer Grundleistung.

Sowohl die Auslegung des Erzeugungssystems als auch der Speicherwirkungsgrad haben erheblichen Einfluss auf die vorzuhaltende Speicherkapazität.

Die Kennlinien zeigen unter der Annahme eines jeweils optimal auf die regionalen Verhältnisse abgestimmten Energiemix, das Minimum an vorzuhaltender Erzeugungsleistung und die größten zu erwartenden Speicherleerungen.

Der Vorteil wirkungsgradstarker Speicher liegt darin, dass mit deutlich weniger Erzeugungsanlagen eine bedarfsgerechte Versorgung möglich wird.

## Wasserbedarf zur Energiespeicherung pro Person



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

Je nach Höhenunterschied der Wasserflächen von Pumpspeichersystemen, läge das erforderliche Austauschvolumen pro Einwohner damit zwischen 100 m<sup>3</sup> und 1000 m<sup>3</sup>.

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

## 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.

| Wasserflächenbedarf pro Kopf der Bevölkerung zur Schaffung von Speichervolumen |                            |            |            |                          |            |             |                      |
|--|----------------------------|------------|------------|--------------------------|------------|-------------|----------------------|
| Speicherbedarf   | Wasservolumen              |            |            |                          |            |             | Einheit              |
|  | 100 kWh/Pers. (europäisch) |            |            | 250 kWh/Pers. (national) |            |             |                      |
| Höhenunterschied   | 400                        | 200        | 100        | 400                      | 200        | 100         | m                    |
| <b>Pegelspiel</b>  | <b>100</b>                 | <b>200</b> | <b>400</b> | <b>250</b>               | <b>500</b> | <b>1000</b> | <b>m<sup>3</sup></b> |
| <b>1 m</b>   | 200                        | 400        | 800        | 500                      | 1000       | 2000        | m <sup>2</sup>       |
| <b>5 m</b>   | 40                         | 80         | 160        | 100                      | 200        | 400         | m <sup>2</sup>       |
| <b>20 m</b>  | 10                         | 20         | 40         | 25                       | 50         | 100         | m <sup>2</sup>       |
| <b>50 m</b>  | 4                          | 8          | 16         | 10                       | 20         | 40          | m <sup>2</sup>       |

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

| Wasserflächenbedarf für Deutschland zur Schaffung von Speichervolumen (80 Mio. Bürger) |               |       |       |       |       |        |                 |
|--|---------------|-------|-------|-------|-------|--------|-----------------|
| Pegelspiel   | Wasservolumen |       |       |       |       |        | Einheit         |
|  | 8             | 16    | 32    | 20    | 40    | 80     | km <sup>3</sup> |
| 1 m  | 16000         | 32000 | 64000 | 40000 | 80000 | 160000 | km <sup>2</sup> |
| 5 m  | 3200          | 6400  | 12800 | 8000  | 16000 | 32000  | km <sup>2</sup> |
| 20 m   | 800           | 1600  | 3200  | 2000  | 4000  | 8000   | km <sup>2</sup> |
| 50 m   | 320           | 640   | 1280  | 800   | 1600  | 3200   | km <sup>2</sup> |

| Wasserflächenbedarf im Vergleich zur Landesfläche Deutschlands (Landesfläche 357.126 km <sup>2</sup> ) |   |       |        |                |        |        |         |
|--|---|-------|--------|----------------|--------|--------|---------|
| Speicherbedarf   | mittlere Höhendifferenz der Wasseroberflächen |       |        |                |        |        | Einheit |
| pro Kopf   | (europäisch) 100                              |       |        | (national) 250 |        |        | kWh     |
| deutschlandweit  | (europäisch) 8                                |       |        | (national) 20  |        |        | TWh     |
| Pegelspiel   | 400   | 200   | 100    | 400            | 200    | 100    | m       |
| 1 m  | 4,48%   | 8,96% | 17,92% | 11,20%         | 22,40% | 44,80% |         |
| 5 m  | 0,90%   | 1,79% | 3,58%  | 2,24%          | 4,48%  | 8,96%  |         |
| 20 m   | 0,22%   | 0,45% | 0,90%  | 0,56%          | 1,12%  | 2,24%  |         |
| 50 m   | 0,09%   | 0,18% | 0,36%  | 0,22%          | 0,45%  | 0,90%  |         |

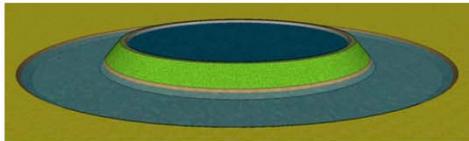
Die landesweit zu schaffenden Wasserflächen zur Energiespeicherung wären marginal im Vergleich zu vielen anderen Landnutzungen.

Je nach Systemauslegung könnte der Speicherwasserflächenbedarf sogar geringer ausfallen, als beispielsweise der Flächenbedarf für den Anteil der Photovoltaik an der Stromerzeugung.

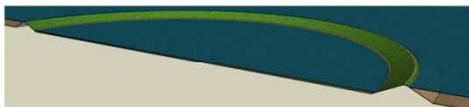
All diese Überlegungen führen zum Vorschlag des Ringwallspeichers.

# Ringwallepeicher

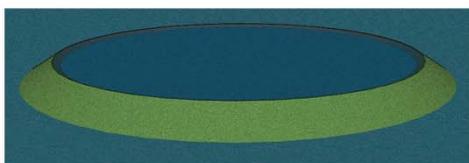
als geotechnische Option zur Schaffung großer Speicherkapazitäten



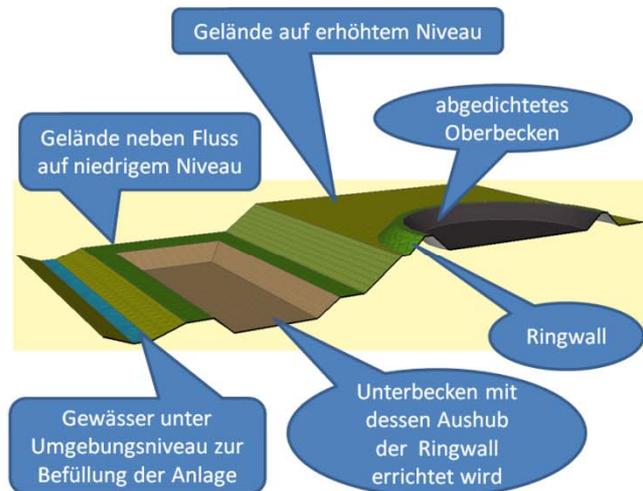
für das „flache Land“



für tiefe Gewässer



für flache Gewässer



bei natürlichen Höhenunterschieden

**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.

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



(C) Dr.-Ing Matthias Popp, Burgstraße 19, 95632 Wunsiedel, [www.poppware.de](http://www.poppware.de)

16

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.

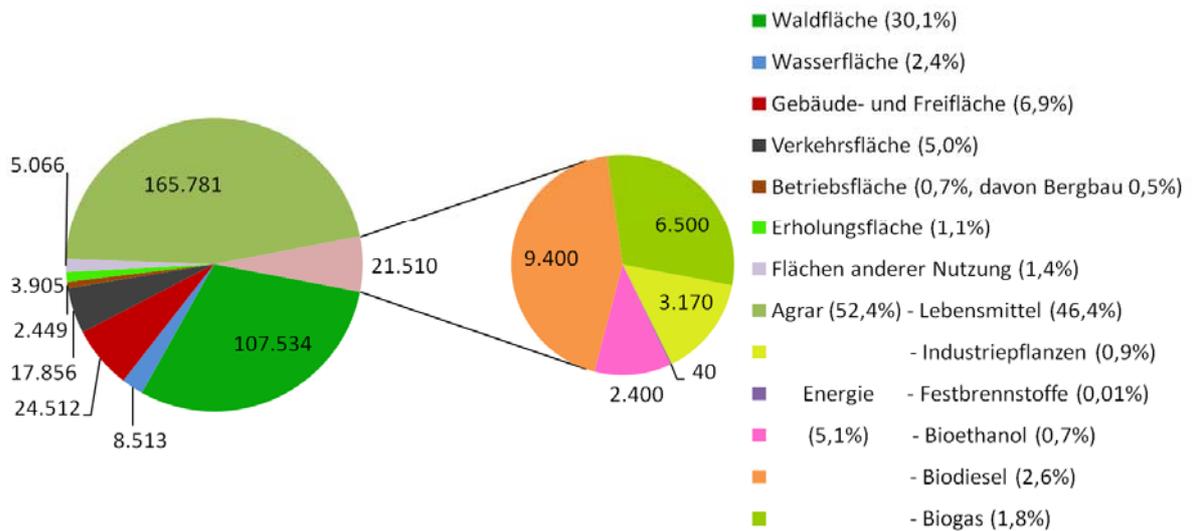
Als ich im Jahr 2008 diese Bilder machte lag die Absenkung bei etwa 20 Metern.

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

in km<sup>2</sup> (Gesamtfläche 357.126 km<sup>2</sup>)



Der idealisiert dargestellte Ringwalspeicher würde zusammen mit allen Wind- und Solarenergieanlagen eine Bodenfläche von ca. 100 km<sup>2</sup> erfordern.

30 derartige Hybridkraftwerke hätten eine durchschnittliche Erzeugungsleistung von 60 GW.

Die erforderliche Gesamtfläche läge bei ca. 3000 km<sup>2</sup>.

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 km<sup>2</sup>, auf der bereits heute Biomasse zur Stromerzeugung mit Biogasanlagen angebaut wird.

## Vergleich Ringwandspeicher / Biomasse

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



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

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

Wo ein Ringwandspeicherhybridsystem 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



**Landschaftseingriffe größeren Ausmaßes als für Ringwallspeicher sind in Deutschland Realität.**

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.

## Vergleich Ringwallspeicher / Braunkohle

### Braunkohletagebau Hambach

- siehe z.B.: [http://de.wikipedia.org/wiki/Tagebau\\_Hambach](http://de.wikipedia.org/wiki/Tagebau_Hambach)
- Ausdehnung: ca. 85 km<sup>2</sup>
- 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.

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 / 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.

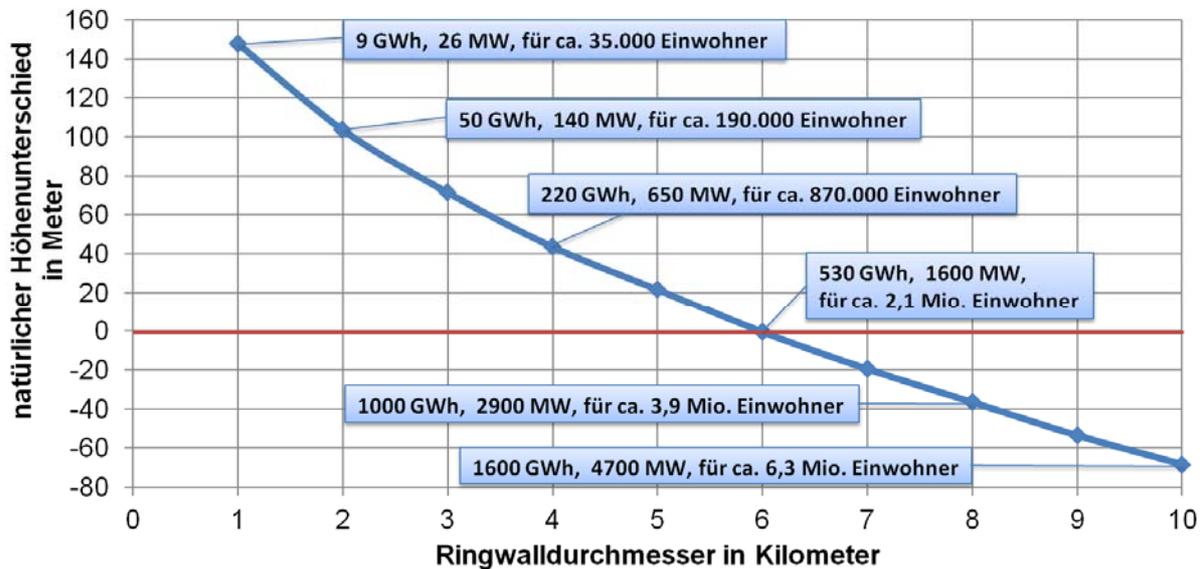
Dafür besteht auch keine Notwendigkeit.

Sensible Gebiete und Ortschaften können ausgespart und reizvoll in die entstehende neue Landschaft integriert werden.

Unter Ausnutzung natürlicher Höhenunterschiede können sie auch viel kleiner wirtschaftlich errichtet werden.

## Ringwalspeicher mit ähnlichem Bauaufwand

bei natürlich vorhandenen Höhenunterschieden



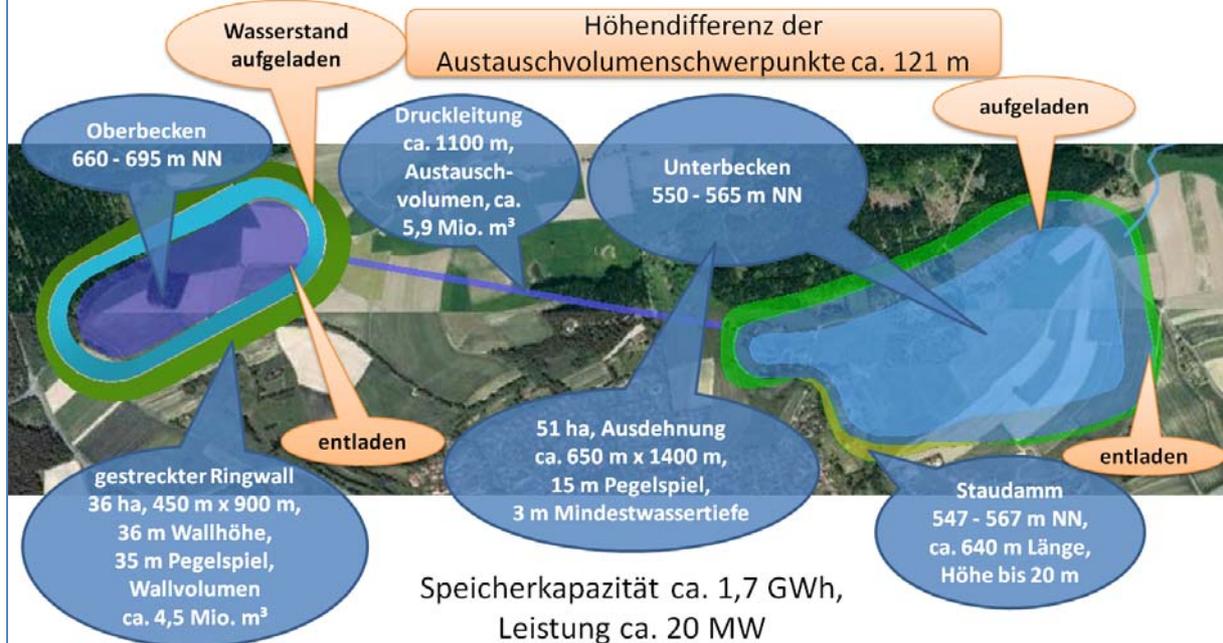
mittlere Fallhöhe: 200 m, maximales Pegelspiel: Unterbecken 20 Meter, Oberbecken 50 Meter.  
Speicherreichweite bei den angegebenen Durchschnittsleistungen: 14 Tage.  
Erdbauaufwand: ca. 2,4 m<sup>3</sup>/kWh, Flächenbedarf: ca. 0,15 bis 0,23 m<sup>2</sup>/kWh.

Dämme verschlingen das größte Bauvolumen im Fußbereich.

Geringe Höhenunterschiede, bei denen kaum an den Bau eines klassischen Pumpspeichers gedacht würde, ermöglichen bei Ringwalspeichern die Errichtung deutlich kleinerer Anlagen bei Erhalt ähnlich günstiger wirtschaftlicher Voraussetzungen.

## kleiner Ringwallspeicher mit Nutzung natürlicher Höhenunterschiede

zur Lösung der Volatilitätsprobleme eines Versorgungsgebiets mit ca. 15.000 Einwohnern mit einer zu 100% regenerativen Stromversorgung



Ein Beispiel, wie so ein Speichersystem für ein kleines Versorgungsgebiet in eine hügelige Mittelgebirgslandschaft eingebaut werden könnte, sehen sie hier.

Hochwasserschutz, Freizeitsee und nachhaltige Versorgung mit regenerativer Energie ließen sich damit vereinigen.

## Zum Schluss

Eine sichere, robuste und bedarfsgerechte zu 100% regenerative Stromversorgung erfordert heute in Deutschland eine Windenergieanlage pro ca. 1300 Einwohner, dazu pro Einwohner ca. 20 m<sup>2</sup> Solarmodulfläche und beispielsweise ca. 40 m<sup>2</sup> Wasserfläche für wirkungsgradstarke, dezentral, gut über das Land verteilte Stromspeicheranlagen.

Zusammen beansprucht das ca. 1% der Landesfläche.

Im Vergleich dazu würde eine 100%-ige Stromversorgung mit Biomasse pro Einwohner ca. 2200 m<sup>2</sup> oder nahezu die Hälfte der Landesfläche Deutschlands erfordern.

Eine sichere und bedarfsgerechte zu 100% regenerative Stromversorgung ist heute eine reale Option.

Für die Umsetzung gibt es sowohl erzeugungsseitig als auch bei den Speichertechnologien große Spielräume und Optimierungspotentiale.

Die Lernkurve dafür befindet sich noch ganz am Anfang.

Es geht dabei weniger um eine technische oder finanzielle Herausforderung als vielmehr um eine gesellschaftliche Willensbildung sowie die Schaffung geeigneter rechtlicher und betriebswirtschaftlicher Rahmenbedingungen, welche die erforderlichen Investitionen in Gang bringen.

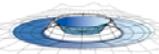
## Danke für Ihre Aufmerksamkeit

**Entscheidend für wirtschaftlich attraktive geotechnisch geschaffene Speichersysteme sind kostengünstige Lösungen für:**

- Aushub und Transport großer Bodenmassen,
- Schüttung und qualifizierte Stabilisierung großer Dammsysteme,
- Setzungs- und erdbebenunempfindliche, gut kontrollierbare großflächige Oberflächendichtsysteme .

Ein attraktives Angebot der Geotechnik kann damit einen substantiellen Beitrag für ein nachhaltiges Energiesystem der Zukunft leisten.

**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@POPPware.de](mailto:matthias@POPPware.de)  
[www.poppware.de](http://www.poppware.de)

Die Geowissenschaften können zu einer Schlüsseltechnologie für eine nachhaltig sichere Stromversorgung aus natürlichen Energiekreisläufen werden.

Ich hoffe, mein Beitrag wird Sie motivieren,  
bei den energiewirtschaftlichen Weichen, die jetzt dazu gestellt werden,  
die Möglichkeiten und Potentiale der Geotechnik offensiv zu vertreten.