

Ringwallspeicher und geotechnische Speichersysteme

Vortrag mit Diskussion
am 15. November 2014

zur

Konferenz

**Speicherung Erneuerbarer Energien
in den nördlichen Bundesländern**

Veranstalter:

Ökologischen Plattform, Die Linke

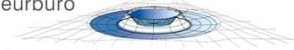
MAFZ Erlebnispark Paaren

Gartenstraße 1-3

14621 Schönwalde-Glien OT Paaren im Glien

MATTHIAS POPP

Ingenieurbüro



Erneuerbare Energien, Energiespeicherung
Simulationen, Software-Entwicklung

Prof. Dr.-Ing. Matthias Popp

Technische Hochschule Nürnberg

Georg-Simon-Ohm

Fakultät Maschinenbau und Versorgungstechnik

Keßlerplatz 12,

D-90489 Nürnberg

Tel. 0911/5880-1354

matthias.popp@th-nuernberg.de

Büro und privat:

Schönbrunn-Burgstraße 19

D-95632 Wunsiedel

Telefon: 09232 / 9933-10

Telefax: 09232 / 9933-40

matthias@POPPware.de

www.poppware.de

Vorab, kurz einige Informationen zu meiner Person und meinem Büro.

Prof. 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.

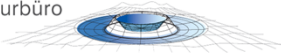
Im Zuge eines Projektvorschlages für ein Pumpspeicherkraftwerk im Fichtelgebirge erfolgte die Suche nach Antworten auf die Frage:

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
- 2013 Professor für Energietechnik, Technische Hochschule Nürnberg



MATTHIAS POPP
Ingenieurbüro



Erneuerbare Energien, Energiespeicherung
Simulationen, Software-Entwicklung

(C) Prof. Dr.-Ing Matthias Popp, Technische Hochschule Nürnberg

2

Im Jahr 2008 stellte ich mir aus Anlass öffentlicher Diskussionen um ein vorgeschlagenes Pumpspeicherkraftwerk im Fichtelgebirge die Frage des Speicherbedarfs bei einer Stromversorgung mit erneuerbaren Energien.

Diese sollen in Zukunft die Hauptlast der Versorgung übernehmen, wenn fossile Energieträger zunehmend teurer und knapper werden.

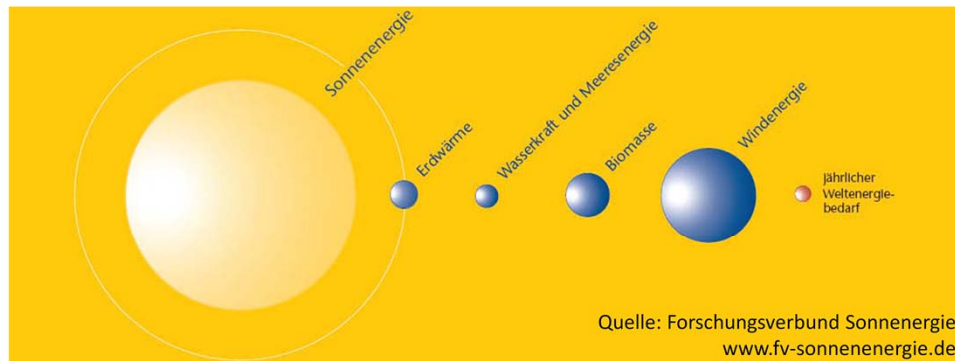
Damals gab es dazu in Deutschland weder eine Literatur noch eine Forschungseinrichtung, welche eine Antwort auf diese Frage geben konnte.

Internetrecherchen ergaben, dass umfassende Daten zur Untersuchung dieser Fragestellung existieren.

Meine Ausbildung und meine langjährige Auseinandersetzung mit der Analyse und Verarbeitung großer Datenbestände ermöglichten mir eine systematische Untersuchung dieser Fragestellung für Europa auf der Basis realer Energiewetterdaten über einen fast 40-jährigen Zeitraum.

Die daraus entstandene Promotion wird vom Springer Verlag als Buch herausgegeben und erreichte das Finale um der RWE Zukunftspreis 2011.

Ist eine zu 100% erneuerbare Stromversorgung überhaupt möglich?



- Das Energieangebot der Sonne übertrifft den Weltenergiebedarf der Menschheit um das etwa 8000-Fache,
- das der damit angefachten Windbewegungen um das etwa 700-Fache.
- **Das Energieangebot der Sonne über Deutschland übertrifft den Energiebedarf Deutschlands um das etwa 160-Fache.**

(C) Prof. Dr.-Ing Matthias Popp, Burgstraße 19, 95632 Wunsiedel, www.poppware.de

3

Der **Weltenergiebedarf** wird von der einstrahlenden Sonne und den dadurch angefachten Winden um viele Größenordnungen übertroffen.

Diese praktisch unbegrenzt verfügbaren Energiequellen werden in Zukunft die Hauptlast einer regenerativen Stromversorgung übernehmen.

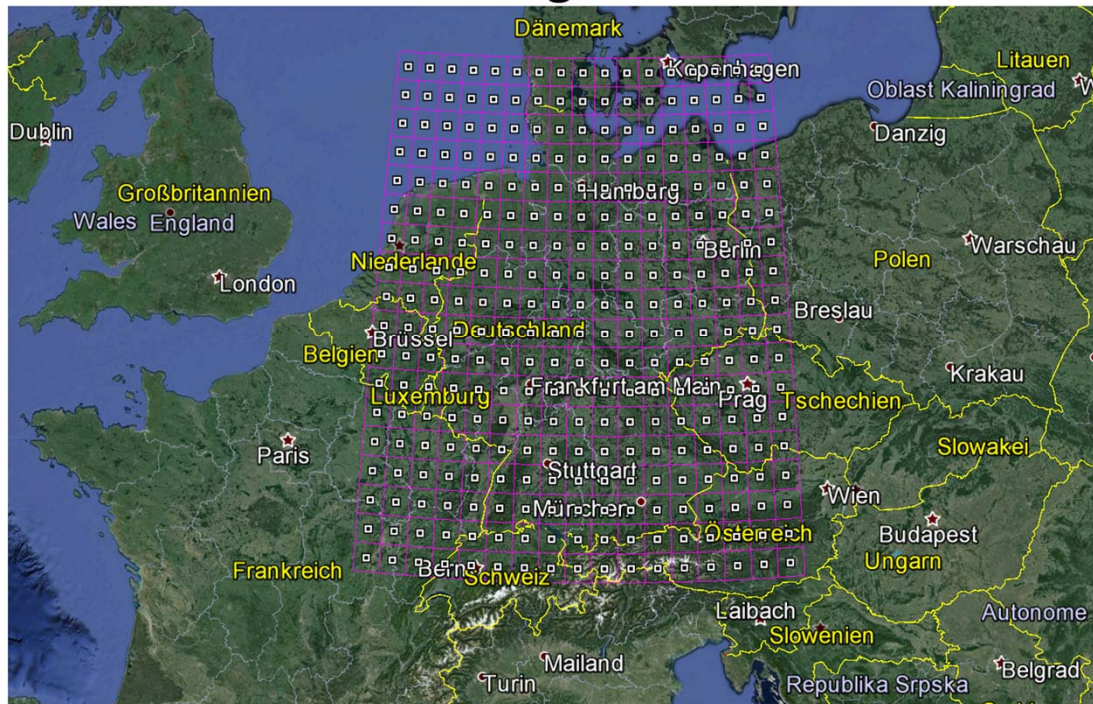
In den dicht besiedelten Ländern Europas wird man sich auf diese beiden großen Potentiale konzentrieren müssen, wenn der Stromverbrauch nachhaltig gedeckt werden soll.

Andere Arten, wie Biomasse, Wasserkraft oder Erdwärme werden einen kleinen weiteren Beitrag dazu leisten.

Bezogen auf das dicht besiedelte Industrieland Deutschland übertrifft der jährliche Energieeintrag der Sonne den gesamten Primärenergieverbrauch immer noch etwa um das 160-Fache.

Bei einem Umwandlungswirkungsgrad für die Nutzbarmachung von 13% (einschließlich Übertragung und Speicherung) würden weniger als 5% der Landesfläche ausreichen, um den vollständigen Energiebedarf Deutschlands zu decken.

Das Energiewetter



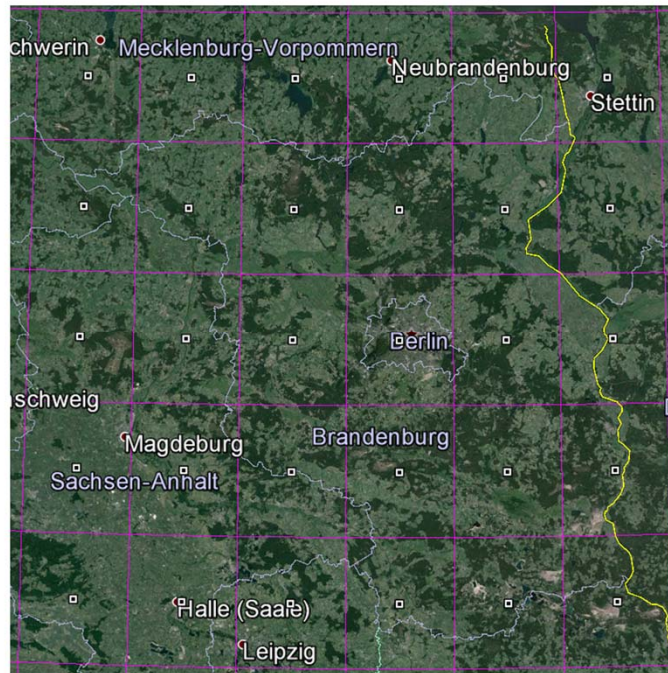
Quelle: unterlegte Karte: Google Earth, Zugriff 14.11.2014, Rastergebiete: Eigenanfertigung
(C) Prof. Dr.-Ing Matthias Popp, Burgstraße 19, 95632 Wunsiedel, www.poppware.de

4

Die NASA stellt mit dem MERRA Datenbanksystem eine mächtige, weltumspannende Plattform mit Wetterdaten für fein eingeteilte Rastergebiete zur Verfügung.

Daraus lassen sich für die einzelnen Regionen und für kooperierende Verbünde von Regionen reale Einspeiseverläufe für Wind- und Solarenergieanlagen modellieren.

Brandenburg



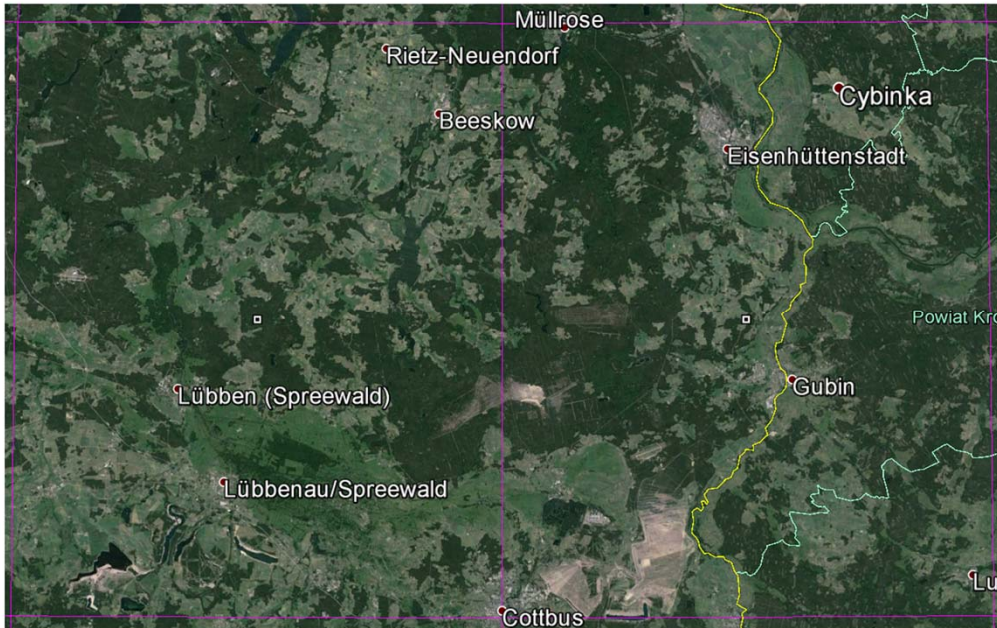
Quelle: unterlegte Karte: Google Earth, Zugriff 14.11.2014, Rastergebiete: Eigenanfertigung

(C) Prof. Dr.-Ing Matthias Popp, Burgstraße 19, 95632 Wunsiedel, www.poppware.de

5

Etwa 24 dieser Rastergebiete betreffen ganz oder teilweise das Bundesland Brandenburg.

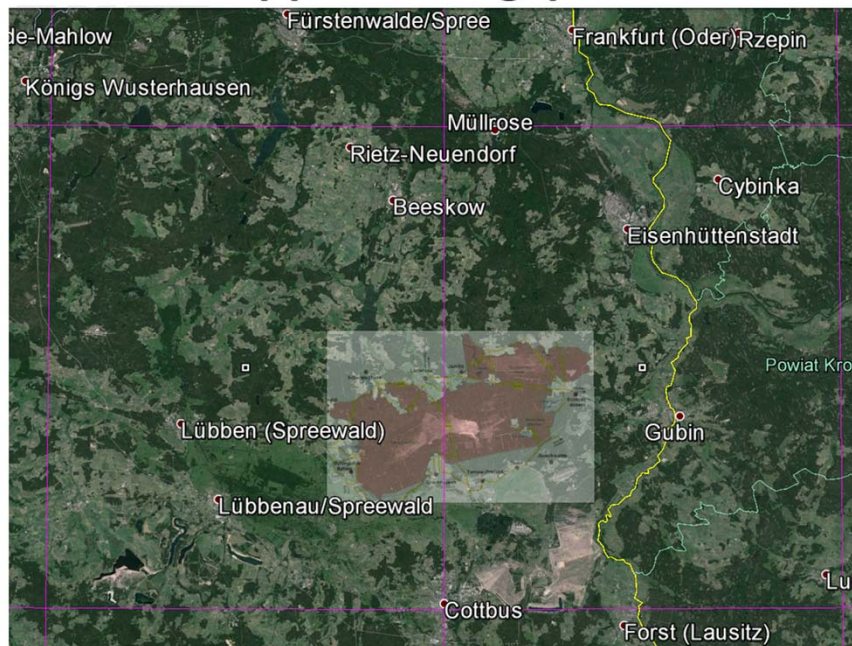
Großraum Truppenübungsplatz Lieberose



Quelle: unterlegte Karte: Google Earth, Zugriff 14.11.2014, Rastergebiete: Eigenanfertigung

Im Süden des Landes befindet sich der Truppenübungsplatz Lieberose mit dem nahe gelegenen Braunkohletagebau Jänschwalde.

Umriss Truppenübungsplatz Lieberose



Quelle: unterlegte Karte: Google Earth, Zugriff 14.11.2014, Rastergebiete: Eigenanfertigung, Weiterführende Informationen und unterlegte Gebietskontur: <http://www.stiftung-nlb.de/lieberose/de/gebiet.html>.

(C) Prof. Dr.-Ing Matthias Popp, Burgstraße 19, 95632 Wunsiedel, www.poppware.de

7

Der ehemalige Truppenübungsplatz Lieberose liegt etwa 90 km südöstlich von Berlin. Wegen seiner beeindruckenden Ausdehnung und Unzerschnittenheit ist das Gebiet von überregionaler Bedeutung.

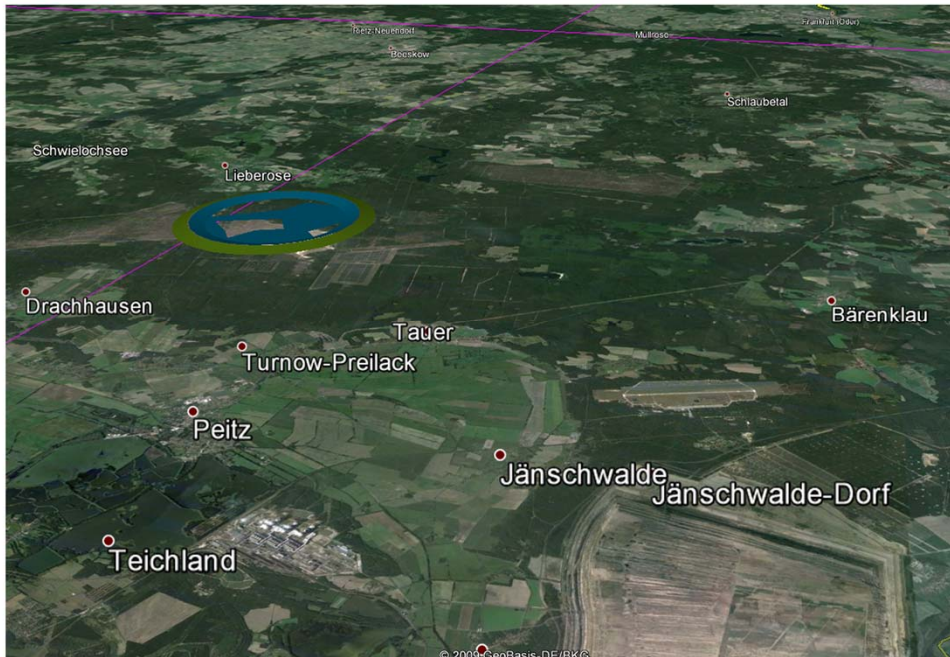
Die Flächen weisen eine ganz besondere Naturausstattung auf. Wälder und Vorwälder aller Stadien sind dort ebenso zu finden wie ausgedehnte Sandheiden, faszinierende Moore und Klarwasserseen.

Quelle und weitere Informationen: <http://www.stiftung-nlb.de/lieberose/de/gebiet.html>.

Ob der Rechtsstatus dieses Gebietes die Errichtung eines Ringwallspeichers nach aktueller Gesetzeslage ermöglichen würde ist ebenso wenig Gegenstand der vorliegenden Unterlagen wie die Frage nach der konkreten Eignung der im betroffenen Gebiet vorliegenden Untergrundstrukturen und der Akzeptanz für ein derartiges Projekt.

Hier geht es einzig um eine grobe grundsätzliche energietechnische Analyse.

Ringwallspeicher am Truppenübungsplatz



Quelle: unterlegte Karte: Google Earth, Zugriff 14.11.2014, Rastergebiete und Ringwallspeicher: Eigenanfertigung

(C) Prof. Dr.-Ing Matthias Popp, Burgstraße 19, 95632 Wunsiedel, www.poppware.de

8

Bei der Anfrage, auf dieser Energiespeicherkonferenz über Ringwallspeicher zu sprechen, bekam ich den Hinweis auf diesen Standort.

Dieser erscheint auf den ersten Blick interessant und könnte sich als geeignet für ein derartiges Projekt erweisen.

Vor der näheren Betrachtung dieser Speichertechnologie soll aber zunächst gezeigt werden, welche Eigenschaften Speichersysteme für die Energiewende aufweisen sollten.

Welche Eigenschaften erfordern Speicher für die Energiewende?

Der **Verbrauch**

und die aus den realen natürlichen Energiekreisläufen zur energetischen Umwandlung **verfügbaren Potentiale** von

- **Windenergie**
- **Solarenergie**
- **Wasserkraft**
- und **Biomassezuwachs**

definieren den **Ausgleichsbedarf**

einer **systemverantwortlichen regenerativen Versorgung**

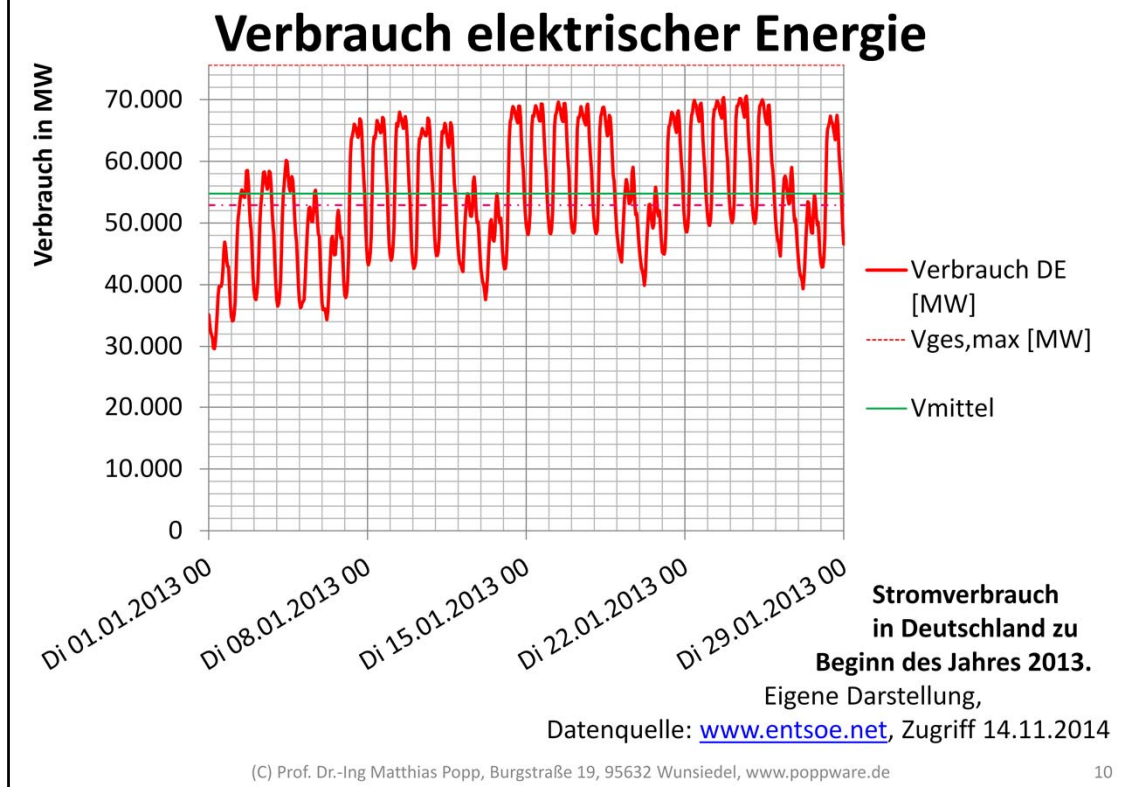
und die **Anforderungen an Speichersysteme**

Neben den genannten Potentialen gibt es weitere regenerative Energiepotentiale wie

geothermische Energie, Planetenenergie die sich durch Ebbe und Flut über Gezeitenkraftwerke nutzen lässt, Wellenenergie, Fallwindkraftwerke die künstlich herbeigeführte Dichteunterschiede in trockener Luft ausnutzen, Osmosekraftwerke die natürliche Konzentrationsunterschiede nutzen und weitere in der Natur vorkommende Effekte, die prinzipiell auch energetisch genutzt werden können.

Im Vergleich zu den aufgeführten Hauptpotentialen spielen diese bisher und wahrscheinlich auch in Zukunft in der Regel eine untergeordnete Rolle wegen eines begrenzten, auch nachhaltig nutzbaren Potentials und/oder hohen Umwandlungskosten im Vergleich zu den Hauptpotentialen.

In den nördlichen Bundesländern spielen der Wind und die Sonne eine entscheidende Rolle und bestimmen maßgeblich die Anforderungen, die an Speichersysteme zu stellen sind.

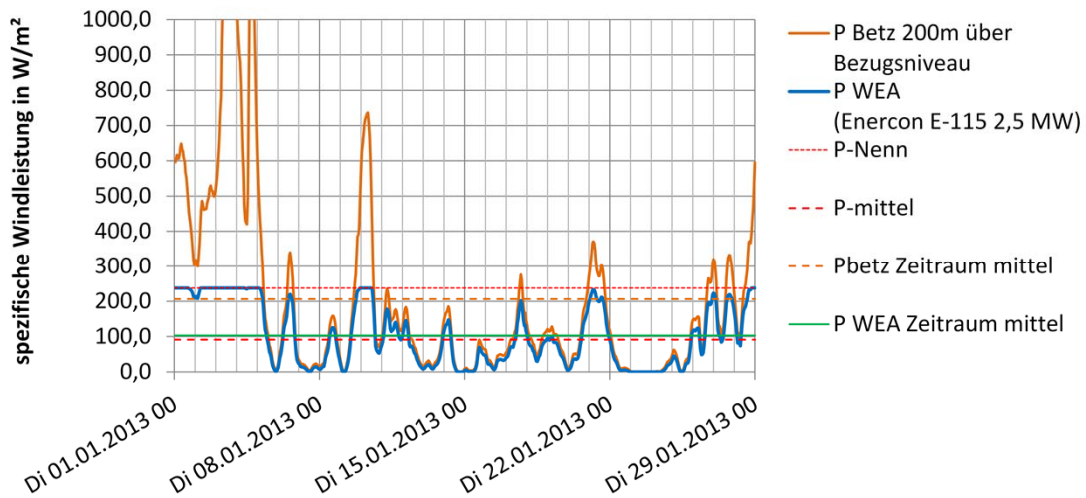


Der Verbrauch im elektrischen Stromnetz gibt vor, welche Leistung die liefernden Systeme bereitstellen müssen, damit die Stromversorgung funktioniert.

Der Verbrauch in den Stromnetzen hat einen typischen Verlauf, der vom Wochentag, der Uhrzeit, der Jahreszeit, von Ferien, Feiertagen, Wetterbedingungen, Konjunktur, besonderen Ereignissen und vielen weiteren Einflussfaktoren abhängt.

Dargestellt ist beispielhaft der Stromverbrauch in Deutschland während der ersten vier Wochen des Jahres 2013.

Verfügbare Windleistung



Windleistung im südöstlichen Brandenburg zu Beginn des Jahres 2013. Eigene Darstellung, Datenquelle: <http://disc.sci.gsfc.nasa.gov/daac-bin/DataHoldings.pl>, Zugriff 14.11.2014

(C) Prof. Dr.-Ing Matthias Popp, Burgstraße 19, 95632 Wunsiedel, www.poppware.de

11

Dargestellt ist in einem bräunlichen Farbton das theoretische Maximum der Windleistung, welches bei den real aufgetretenen Windgeschwindigkeiten aus den bewegten Luftmassen hätte abgegriffen werden können. Die physikalischen Grundlagen dafür wurden durch einen Physiker namens Betz in des 20-er Jahren des letzten Jahrhunderts beschrieben.

Reale Windenergieanlagen haben eine begrenzte Generatorleistung und erreichen diese theoretische Maximalleistung mit gewissen Wirkungsgradverlusten nur in einem bestimmten Windgeschwindigkeitsbereich. Diese ist beispielhaft für eine Enercon Anlage in blauer Farbe dargestellt. Bei höheren Windgeschwindigkeiten kann das theoretisch verfügbare Leistungspotential nur bis zur maximalen Generatorleistung, der Nennleistung, abgegriffen werden.

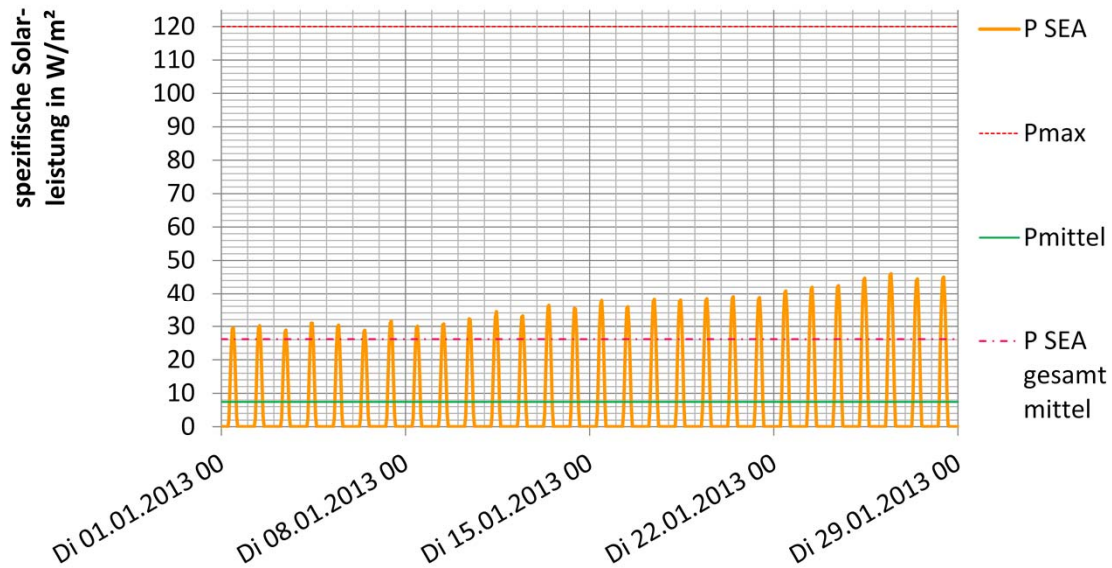
Dargestellt ist die Leistung in Watt pro Quadratmeter Fläche, welche von den Rotorblättern von Windenergieanlagen überstrichen wird.

Durch Aufstellung einer entsprechenden Anzahl von Windenergieanlagen kann der Windenergieertrag so eingerichtet werden, dass er im zeitlichen Mittel den Verbrauch decken oder auch übertreffen könnte.

Man erkennt, dass die verfügbare Windleistung im zeitlichen Verlauf keinen Zusammenhang mit der verbrauchten Leistung aufweist.

Man erkennt auch, dass es Zeitphasen gibt, in denen die abgegebene Leistung gegen Null geht und andere Zeitphasen, in denen die Nennleistung erreicht wird.

Verfügbare Solarleistung



Solarleistung im südöstlichen Brandenburg zu Beginn des Jahres 2013. Eigene Darstellung, Datenquelle: <http://disc.sci.gsfc.nasa.gov/daac-bin/DataHoldings.pl>, Zugriff 14.11.2014

(C) Prof. Dr.-Ing Matthias Popp, Burgstraße 19, 95632 Wunsiedel, www.poppware.de

12

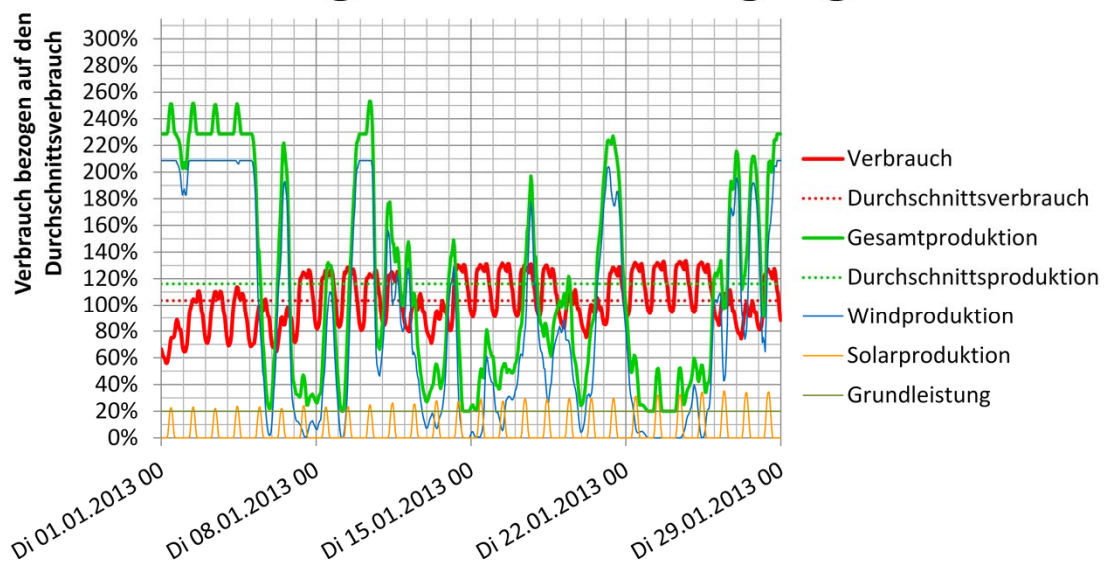
Dargestellt ist die von Solarenergieanlagen im regionalen Mittel abrufbare Leistung in Watt pro Quadratmeter Modulfläche.

Solarenergie steht nur während des Tages, abhängig von der Bewölkung, in Leistungspulsen entsprechend dem Sonnenstand zur Verfügung. Im Sommer ist die verfügbare Leistung und die Sonnenscheindauer erheblich höher als im Winter.

Um einen bestimmten Anteil der Stromversorgung mit Photovoltaikanlagen bereitstellen zu können, ist abgestimmt auf den Verbrauch über die Region verteilt eine entsprechende Solarmodulfläche aufzubauen.

Auch die verfügbare elektrische Leistung aus umgewandelter Solarstrahlung hat nichts mit den Verbrauchsanforderungen zu tun.

Regenerative Versorgung



Eigenversorgung mit Wind, Sonne und Biomassegrundleistung im südöstlichen Brandenburg zu Beginn des Jahres 2013. Eigene Darstellung.

Annahmen: Durchschnittlicher Jahresverbrauch = 100%, 120% Erzeugungsvermögen, davon 80% aus Wind, 20% aus Sonne und 20% konstante Grundleistung aus z.B. Biomasse

(C) Prof. Dr.-Ing Matthias Popp, Burgstraße 19, 95632 Wunsiedel, www.poppware.de

13

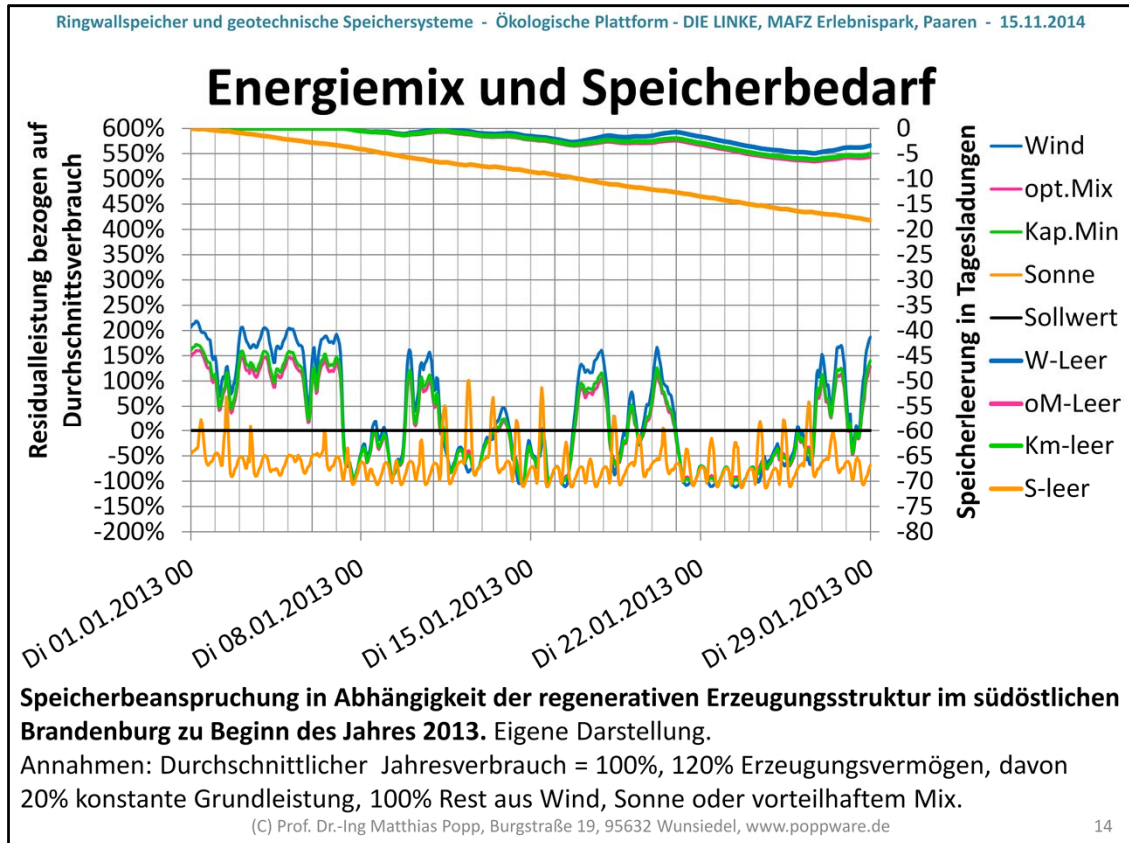
Dargestellt ist die Situation einer regenerativen Eigenversorgung des Gebietes im Großraum um den ehemaligen Truppenübungsplatz Lieberose unter den Energiewetterbedingungen zu Anfang des Jahres 2013. Angenommen ist ein günstiger Mix aus Wind- und Solarenergieanlagen und eine permanent verfügbare Grundversorgungsleistung aus beispielsweise Biomasse, Geothermik, Müllverbrennung und/oder Laufwasserkraftanlagen. Im Jahresdurchschnitt könnte mit diesem angenommenen Anlagenpark zur nachhaltig rein regenerativen Energieumwandlung 20% mehr Energie umgewandelt werden, als tatsächlich verbraucht wird.

Alle dargestellten Leistungskurven sind bezogen auf den Jahresdurchschnittsverbrauch dieser Region (=100%).

Man erkennt, dass die in grün dargestellte Gesamterzeugung (Summe aus Grundleistung, Solarleistung und Windleistung) entweder höher oder niedriger als der in rot dargestellte Verbrauch ausfällt.

Ein Elektrizitätsversorgung funktioniert aber nur, wenn die bereitgestellte Leistung exakt dem Verbrauch folgt.

Wenn Überschüsse nicht einfach durch Abschalten verfügbarer Erzeugungsleistung verhindert werden sollen und Defizite mit Energie aus regenerativen Quellen ausgeglichen werden sollen, dann kann das nur über Speicher erfolgen, die auf diese Anforderungen ausgelegt sind, die uns das Energiewetter vorgibt.



Dargestellt ist bezüglich der linken Leistungsskala die Abweichung der verfügbaren Erzeugungsleistung gegenüber dem Verbrauch bei einer regenerativen Eigenversorgung des Gebietes im Großraum um den ehemaligen Truppenübungsplatz Lieberose unter den Energiewetterbedingungen zu Anfang des Jahres 2013. Das betrifft die vier unteren Zeitverläufe. Diese setzen sich zusammen aus einer angenommenen Grundversorgungsleistung, die 20% des durchschnittlichen Verbrauchs abdecken könnte und

1. (blau) 100% Wind,
2. (goldgelb) 100% Sonne,
3. (rot) 71% Wind und 29% Sonne - dieser Erzeugungsmix erfordert, aufsummiert über das gesamte Jahr, ein Minimum an Speicherentnahmen,
4. (grün) 82% Wind und 18% Sonne – dieser Erzeugungsmix ermöglicht einen Speicher mit der kleinsten Kapazität.

Die oberen Kurven beziehen sich auf die rechte Skala und zeigen die Speicherleerung in durchschnittlichen Tagesverbräuchen an.

Mit einer Tagesladung könnte der durchschnittliche Verbrauch eines vollständigen Tages gedeckt werden.

Als Speicher wurden im vorliegenden Fall Ringwallspeicher mit 75% Wirkungsgrad angenommen, die in der Lage wären, Überschussleistungen aufzunehmen, die bis zu 160% den durchschnittlichen Verbrauch übersteigen können. Noch höhere Erzeugungsleistungen würden im angenommenen Szenario abgeregelt.

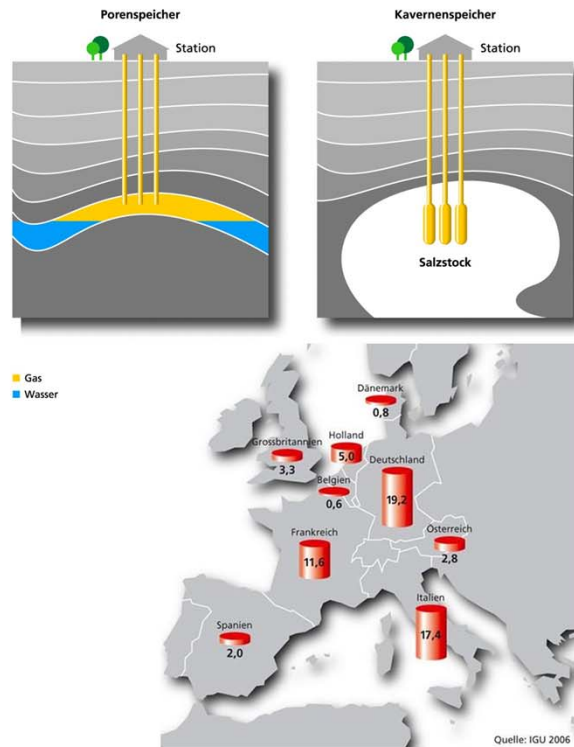
Langzeituntersuchungen und weitergehende Analysen zeigen, dass Speichersysteme bei einer auf Deutschland begrenzten Energiewende bei einer günstigen Erzeugungsstruktur eine Kapazität von etwa 10 bis 14 Tagesladungen erfordern. Bei einer sich bis heute nicht abzeichnenden europaweiten regenerativen Versorgungsstruktur und einer leistungsstarken kontinentalen Vernetzung ließe sich der regionale Speicherbedarf auf etwa vier bis sechs Tagesladungen reduzieren.

Damit sind die Kapazitätsanforderungen an Speichersysteme einer zukünftigen, zu 100% regenerativen Stromversorgung beschrieben.

Erdgasspeicher

Erdgasspeicher in Deutschland im Jahr 2011:

- Gesamtes Speichervolumen ca. 35.000 Mio. m³ V_n
- Maximale Arbeitsgaskapazität ca. 20.800 Mio. m³ V_n
- Energiegehalt von Erdgas ca. 10 kWh/ m³ V_n = 10 GWh/Mio. m³ V_n
- Energiespeicherkapazität ca. 208 TWh
- Verstromungswirkungsgrad (GuD) ca. 60%
- **Stromspeicherkapazität** ca. **125 TWh**, das entspricht ca. **87 Tagesladungen** des durchschnittlichen Strombedarfs Deutschlands



(C) Prof. Dr.-Ing Matthias Popp, Burgstraße 19, 95632 Wunsiedel, www.poppware.de

15

Wegen des immensen Speicherbedarfs, der mit dem weiteren Ausbau der erneuerbaren Stromversorgung auf uns zukommt, wird stark über Alternativen zu der bewährten und technisch ausgereiften Pumpspeichertechnik 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.

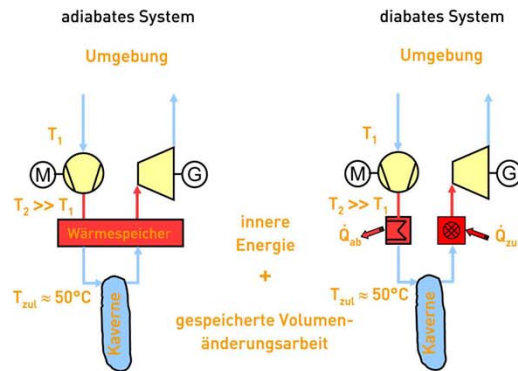
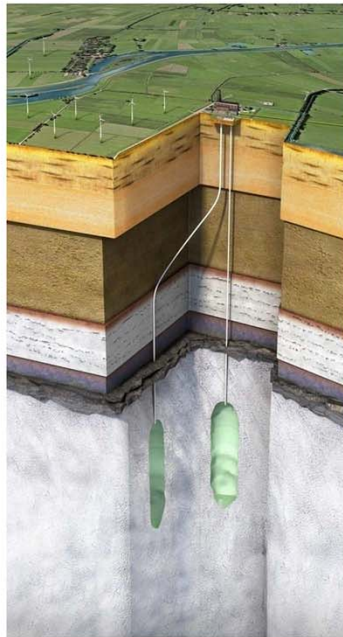
Im Gegensatz zur Pumpspeichertechnik entstehen dabei aber erheblich höhere Verluste und die technische Entwicklung der dazu erforderlichen Systeme steckt noch in den Kinderschuhen.

Problematik dieser Technologien ist der geringe Wirkungsgrad bei der Umwandlungskette Strom > Gas > speicherbarer Zustand > Strom. Die Wirkungsgrad der Kette liegt unter 40%. Mehr als die 2 ½-fache Energie muss aus regenerativen Energiekreisläufen in Elektrizität umgewandelt werden, als nach dem Speichern abgerufen werden kann.

Trotz kostengünstiger und mit ausreichender Kapazität verfügbarer Speicherräume, erfordert dieses Konzept einen erheblichen Mehraufwand für Energieumwandlungsanlagen, die allein dazu benötigt werden, die auftretenden Speicherverluste auszugleichen.

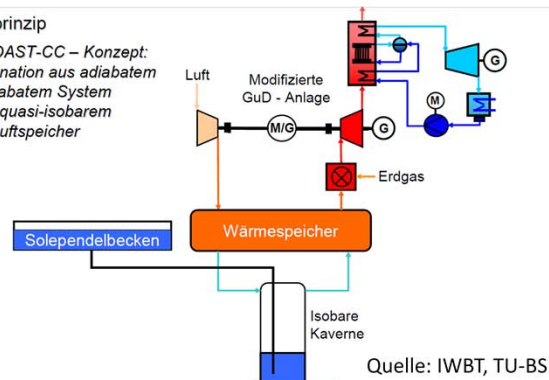
Trotz dieser Wirkungsgradproblematik erscheint es technisch umsetzbar, eine so strukturierte regenerative Stromversorgung zu realisieren.

Druckluftspeicher



Grundprinzip

ISACOAST-CC – Konzept:
Kombination aus adiabatem
und diabatem System
sowie quasi-isobarem
Druckluftspeicher



(C) Prof. Dr.-Ing Matthias Popp, Burgstraße 19, 95632 Wunsiedel, www.poppware.de

16

Druckluftspeicher nutzen unterirdische Hohlräume zur Speicherung komprimierter Luft.

Die Luft erwärmt sich beim Komprimieren auf die dabei angewandten Drücke von 60 bar und darüber auf über 600 °C.

Bei dieser Temperatur kann sie nicht in Kavernen gespeichert werden und muss vorher abgekühlt werden.

Geschieht dies über einen Wärmespeicher, dann kann die dabei abgegebene Wärmeenergie beim Entladen des Druckluftspeichers zum Teil wieder an die ausströmende Luft zurückübertragen werden.

Damit lassen sich Wirkungsgrade um 70% erreichen. Ohne Wärmespeicher bleibt der Wirkungsgrad unter 50%.

Wärmespeicher für die dabei auftretenden Drücke und Temperaturen in Verbindung mit der großen erforderlichen Kapazität sind technisches Neuland und Gegenstand laufender Forschungen. Ein Durchbruch bei diesen Forschungen steht aktuell nicht in Aussicht.

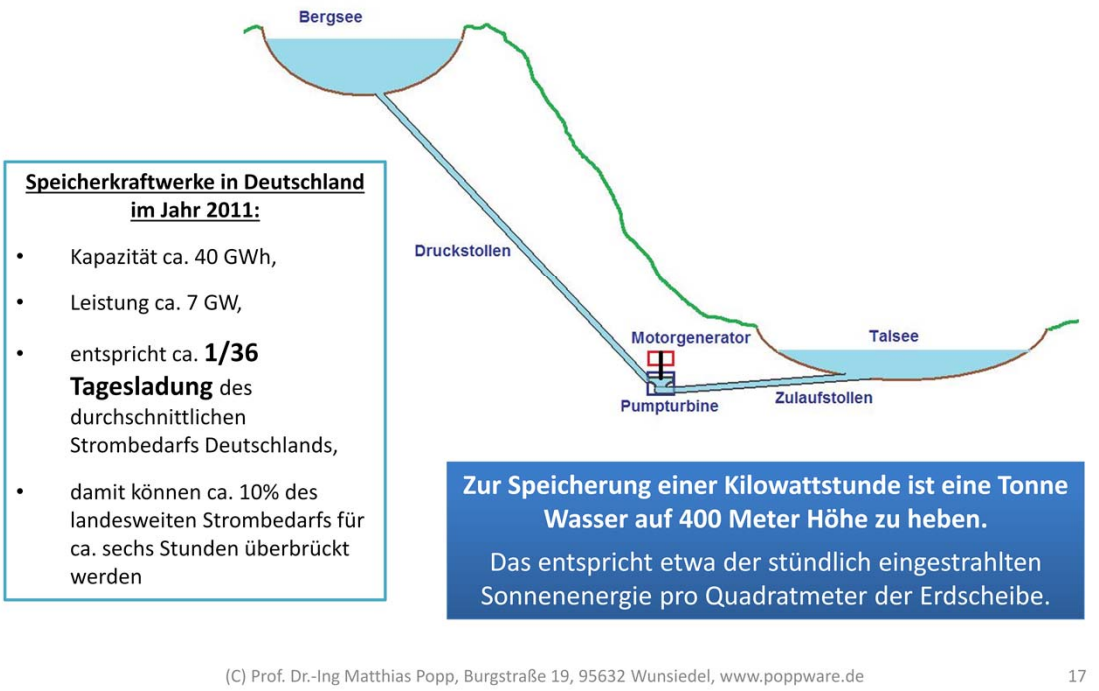
Bei einem bedeutenden Ausbau dieser Technik käme es zu einer Nutzungskonkurrenz mit den Erdgasspeichern.

Die Abfuhr des beim Ausspülen der Kavernen in großen Mengen anfallenden Salzwassers hat ökologisch unschädlich zu erfolgen.

Die Standfestigkeit der unterirdischen Kavernen ist zu beachten und kann sich auf die Langzeitstabilität des Untergrunds auswirken.

Bisher gibt es weltweit zwei Druckluftspeicherkraftwerke. Eines in den USA und eines in Norddeutschland bei Huntorf.

Pumpspeicher



(C) Prof. Dr.-Ing Matthias Popp, Burgstraße 19, 95632 Wunsiedel, www.poppware.de

17

Die in Deutschland existierenden Pumpspeicherkraftwerke wurden errichtet, um den Betrieb von Grundlastkraftwerken zu optimieren.

Die aktuelle Pumpspeicherkapazität Deutschlands könnte die derzeitige Stromnachfrage für gerade einmal 40 Minuten überbrücken.

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 optimierter 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 Pumpspeicherkapazität**

Speicherbedarf Deutschlands im europäischen Verbund:

bei optimierter 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 Pumpspeicherkapazität,**
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.

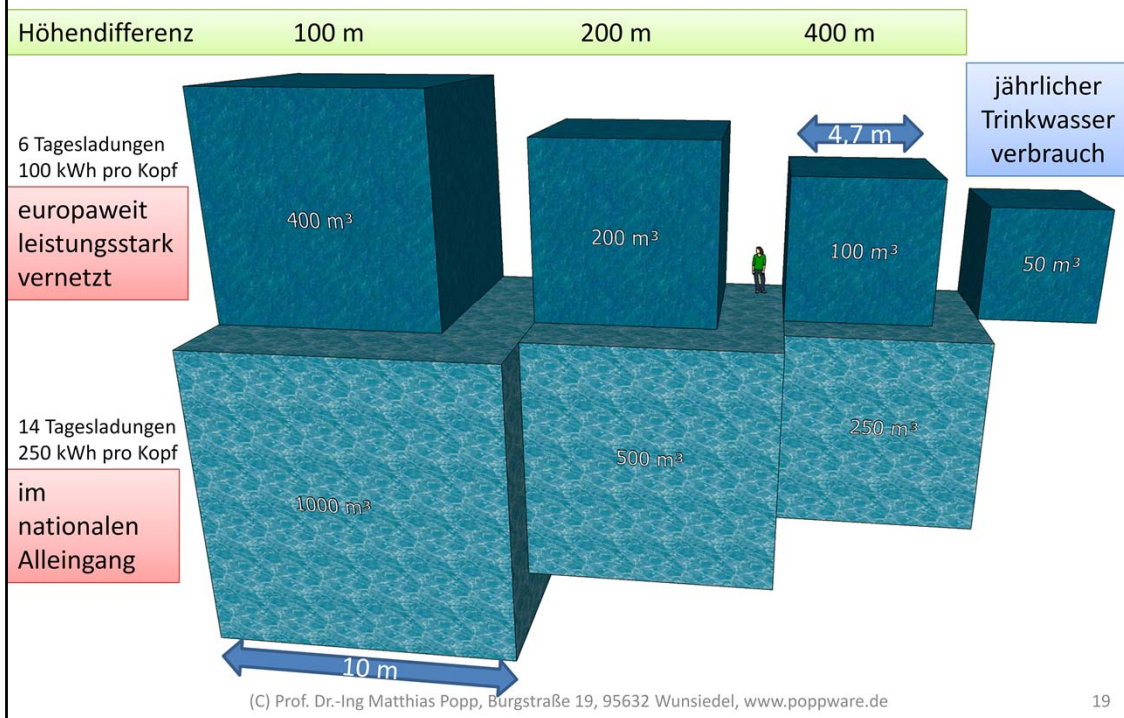
Die Leistung dieser Systeme müsste jedoch lediglich beim etwa 13-fachen von heute liegen.

Die heute in Deutschland existierenden Pumpspeicher passen damit in keiner Weise zu den Anforderungen einer regenerativen Stromversorgung.

Bei einer sich aus heutiger Sicht leider nicht abzeichnenden optimalen europaweiten Kooperation mit leistungsstarker Vernetzung würde sich immer noch ein etwa 200-facher Speicherbedarf ergeben.

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

Wasserbedarf zur Energiespeicherung pro Person



Die notwendige Speicherkapazität pro Kopf liegt, zwischen 100 und 250 Kilowattstunden.

Je nach Höhenunterschied der Wasserflächen von Pumpspeichersystemen, würde das pro Einwohner Austauschvolumen zwischen 100 und 1000 m³ erfordern.

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

Einmal aufgefüllt, bleibt das Wasser im System. Nur die Verdunstungsverluste und bewusst herbeigeführte Entnahmen müssen beim späteren Betrieb noch ausgeglichen werden.

Ein Wasserproblem stellt die Füllung von Pumpspeichersystemen nicht dar.

Der Aufbau dieser Speichersysteme kann zudem über mehrere Jahrzehnte hinweg erfolgen, weil ein relevanter Speicherbedarf erst entsteht, wenn mehr als ca. 20% der elektrischen Energie aus volatilen Quellen kommen. Auch die Außerbetriebnahme der konventionellen Kraftwerke wird in einem kontinuierlichen, länger andauernden Prozess stattfinden, der abgestimmt auf den Ausbau der erneuerbaren Erzeugungssysteme und die errichteten Speicherkapazitäten stattfinden wird.

Eine akute Eile zur schnellen Schaffung von Speichersystemen besteht derzeit nicht. Allerdings sollten mit Blick auf die Planungs- und Umsetzungszeiten für derartige Systeme möglichst bald Öffentlichkeitsarbeit betrieben und Rahmenbedingungen geschaffen werden, die es aus gesellschaftlicher, rechtlicher und betriebswirtschaftlicher Sicht ermöglichen, die notwendigen Prozesse in Gang zu setzen.

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
Pegelspiel	100	200	400	250	500	1000	m ³
1 m	200	400	800	500	1000	2000	m ²
5 m	40	80	160	100	200	400	m ²
20 m	10	20	40	25	50	100	m ²
50 m	4	8	16	10	20	40	m ²

(C) Prof. Dr.-Ing Matthias Popp, Burgstraße 19, 95632 Wunsiedel, www.poppware.de

20

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. Einwohner)							
Pegelspiel	Wasservolumen						Einheit
	8	16	32	20	40	80	km ³
1 m	16000	32000	64000	40000	80000	160000	km ²
5 m	3200	6400	12800	8000	16000	32000	km ²
20 m	800	1600	3200	2000	4000	8000	km ²
50 m	320	640	1280	800	1600	3200	km ²

Wasserflächenbedarf im Vergleich zur Landesfläche Deutschlands (Landesfläche 357.126 km ²)							
Speicherkapazität	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%	

(C) Prof. Dr.-Ing Matthias Popp, Burgstraße 19, 95632 Wunsiedel, www.poppware.de

21

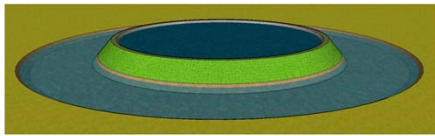
Die landesweit zu schaffenden Wasserflächen zur Energiespeicherung wären marginal im Vergleich zu vielen anderen Landnutzungen.

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

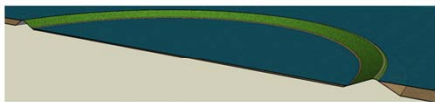
All diese Überlegungen führen zum Vorschlag des Ringwallspeichers.

Ringwallaspeicher

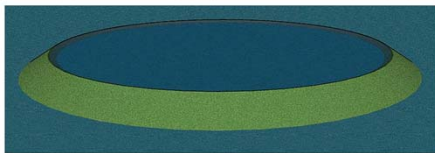
als geotechnische Option zur Schaffung großer Speicherkapazitäten



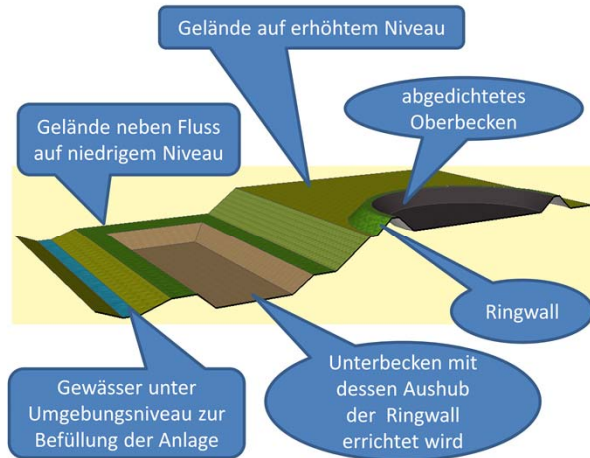
für das „flache Land“



für tiefe Gewässer



für flache Gewässer



Gelände auf erhöhtem Niveau

Gelände neben Fluss auf niedrigem Niveau

abgedichtetes Oberbecken

Ringwall

Gewässer unter Umgebungsniveau zur Befüllung der Anlage

Unterbecken mit dessen Aushub der Ringwall errichtet wird

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.

Schaufelradbagger würden das Unterbecken ausheben und damit den Damm für ein Oberbecken aufschütten, das innen abgedichtet wird.

Die Anlage würde wie ein Pumpspeicherkraftwerk betrieben.

Ringwallaspeicher unterscheiden sich von klassischen Pumpspeichern dadurch, dass auf die direkte Flutung sensibler Flusstäler verzichtet werden kann.

Zudem führen bereits geringere Höhenunterschiede, sowie weniger markante und sensible Höhenlagen, zu wirtschaftlich interessanten Konfigurationen.

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

Dieser Vorschlag gefiel dem Chefredakteur von „Bild der Wissenschaft“, so dass er einen Grafiker beauftragte, die im Anhang gezeigte Illustration anzufertigen.

Ringwallspeicher-Hybridkraftwerk

Alternative zu zwei Kernkraftwerken - 2000 große Windenergieanlagen und die darauf abgestimmte Fotovoltaik garantieren mit 14 Tagen Speicherreichweite eine sichere und nachfragegerechte Versorgung 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.

(C) Prof. Dr.-Ing Matthias Popp, Burgstraße 19, 95632 Wunsiedel, www.poppware.de

23

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

Als Anschauungsobjekt zeigt sie aber eine Reihe von Aspekten und Prinzipien, die auf Ringwallspeicher generell zutreffen.

Der Außendurchmesser dieser fiktiven Anlage 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 (verteilt auf ca. 10.000 km²) in der größten, heute verfügbaren Bauart und der notwendigen Photovoltaik in der Lage sein, versorgungssicher zwei Kernkraftwerke zu ersetzen.

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

Diese bräuchten auch nicht in der idealisiert dargestellten Kreisform errichtet werden, sondern könnten Siedlungsgebiete und sensible Landschaftsteile umgehen und attraktiv in das entstehende Naturenergiesystem integrieren.

Als Zusatznutzen könnten damit beispielweise Schifffahrtswege in bisher damit nicht erschlossenen Regionen entstehen. Auch bei Jahrhunderthochwässern, von denen in den letzten Jahren einige miterlebt werden konnten, böten die Speichersysteme als Nebeneffekt genügend Stauraum, um Überschwemmungen von Siedlungsgebieten und Kulturlandschaften zu verhindern.

Insbesondere das Unterbecken würde sich für Freizeitbetrieb eignen, weil die auch auf Langzeitausgleich ausgelegten Ringwallspeicher äußerst selten größere Pegelveränderungen aufweisen würden.

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) Prof. Dr.-Ing Matthias Popp, Burgstraße 19, 95632 Wunsiedel, www.poppware.de

24

Derartige Wasserflächen gibt es.

Der Edersee in Hessen erfährt in einer Saison mitunter Absenkungen von über 30 Metern.

Als ich im Jahr 2008 diese Bilder machte, betrug die Absenkung etwa 20 Meter. An diesem Tag ging es noch einmal um mehr 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

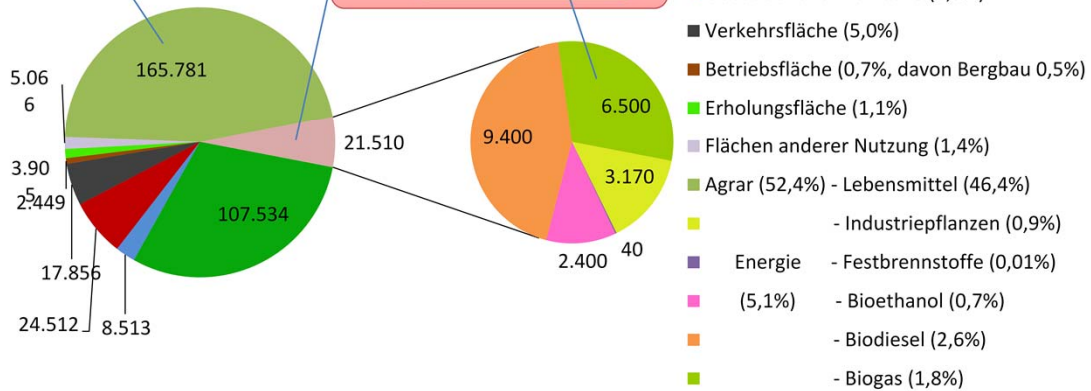
in km² (Gesamtfläche 357.126 km²)

landwirtschaftlich genutzte Flächen 2010 für

Lebensmittelproduktion

Energie- + Industriepflanzen

Stromerzeugung



Ringwallspeicher Hybridsysteme zur vollständigen Stromversorgung Deutschlands würden über das Land verteilt eine Bodenfläche von zusammen ca. 3000 km² erfordern.

(C) Prof. Dr.-Ing Matthias Popp, Burgstraße 19, 95632 Wunsiedel, www.poppware.de

25

Etwas mehr als die halbe Fläche Deutschlands wird landwirtschaftlich genutzt. Der größte Teil davon dient der Lebensmittelproduktion.

Die industriell und energetisch genutzte Agrarfläche ist hier weiter aufgeschlüsselt.

Davon wurde bereits im Jahr 2010 auf ca. 6500 km² Biomasse zur Stromerzeugung in Biogasanlagen angebaut.

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.

Durch Einsatz von weniger als 1 % der Landesfläche ließe sich Deutschland allein mit Strom aus Wind und Sonne nachfragegerecht versorgen.

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.

Der Flächenertrag für elektrische Energie des vorgeschlagenen Hybridsystems zur Stromerzeugung liegt etwa 50 Mal höher, als der von Biomasse.

Wo Biomasse 40 MW Leistung bereitstellen kann, könnten Ringwallspeicher Hybridsysteme 2000 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.

(C) Prof. Dr.-Ing Matthias Popp, Burgstraße 19, 95632 Wunsiedel, www.poppware.de

28

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

Etwa 50% des in Deutschland erzeugten Stroms wird in Kohlekraftwerken gewonnen.

Ein erheblicher Anteil davon kommt als Importkohle aus anderen Ländern, in denen ähnlich große Abbaugelände ausgebeutet werden.

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, nukleare Energietechnik ausgeschlossen wird und natürliche Energiekreisläufe die Elektrizitätsversorgung übernehmen sollen.

Vergleich Ringwallspeicher / Braunkohle

Braunkohletagebau Hambach (zwischen Köln und Aachen)

- siehe z.B.: http://de.wikipedia.org/wiki/Tagebau_Hambach
- Ausdehnung: am Ende ca. 85 km²
- Tiefe: bis über 400 Meter
- Betriebszeit: noch 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 in einem ca. sechsjährigen Vorlauf, vor der ersten Kohleförderung auf die ca. 200 Meter hohe Halde gekippte Volumen von ca. 10 km³ des abgetragenen Deckgebirges würde ausreichen, um sieben Ringwallspeicher in der gezeigten Größe zu errichten.

Enorme zusätzliche Bodenmassen werden innerhalb des Tagebaus vor der Abbaulinie abgetragen und dahinter wieder aufgefüllt.

Die mit diesem Erdbauvolumen 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.

Auch der hier aus dem Flugzeug aufgenommene Tagebau in Tschechien, bei Sokolov im Süden des Erzgebirges, zeigt diese gewaltigen Erdbewegungen, die Realität sind, um Elektrizität aus Braunkohle zu erzeugen.

Bei einer insgesamt in Anspruch genommenen Fläche von ca. 120 km² werden Kohlekraftwerke mit ca. 800 MW Leistung bedient.

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.

Grundwasserschutz und Untergrundstabilität

Tagebaulöcher eignen sich in der Regel nicht als Unterbecken!

- Aus dem Untergrund austretendes Grundwasser destabilisiert dieses.
- Bergrutsche in die Tagebaulöcher wie in Nachterstedt wären zu erwarten. (siehe z.B. <http://de.wikipedia.org/wiki/Nachterstedt>)
- Austauschbeziehungen zwischen Beckenwasser und Grundwasser verunreinigen dieses.
- Grundwasserzutritt in ein Unterbecken würde eine permanente Energiezufuhr für das Abpumpen erfordern, um die Höhendifferenz zum Oberbecken aufrecht erhalten zu können.
- Unterbecken müssen deshalb so angelegt werden, dass sie keine problematischen Wechselwirkungen mit dem Grundwasser und dem Umgebungsuntergrund hervorrufen.

Es folgt ein Einschub zur Beckenabdichtung und zur Beckenanordnung

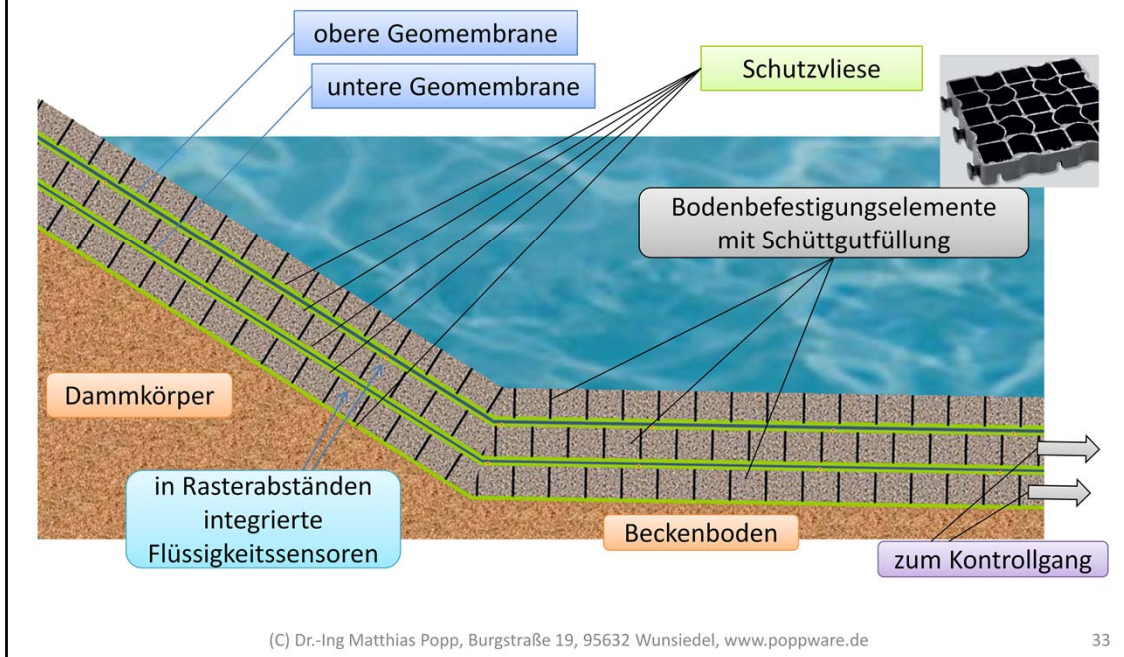
Anforderungen an eine Oberflächenabdichtung

- Wasserundurchlässig
- Verformbar
- Belastbar
- Witterungsfest
- Kontrollierbar
- Wechselbelastungsstabil
- Kostengünstig
- Einfach herstellbar
- Schadenstolerant
- Reparierbar

Die folgenden Folien zeigen einen denkbaren Lösungsansatz für eine kostengünstige, kontrollierbare und verformungstolerante Abdichtung, die für das Oberbecken und in Abwandlung auch für des Unterbecken eingesetzt werden könnte.

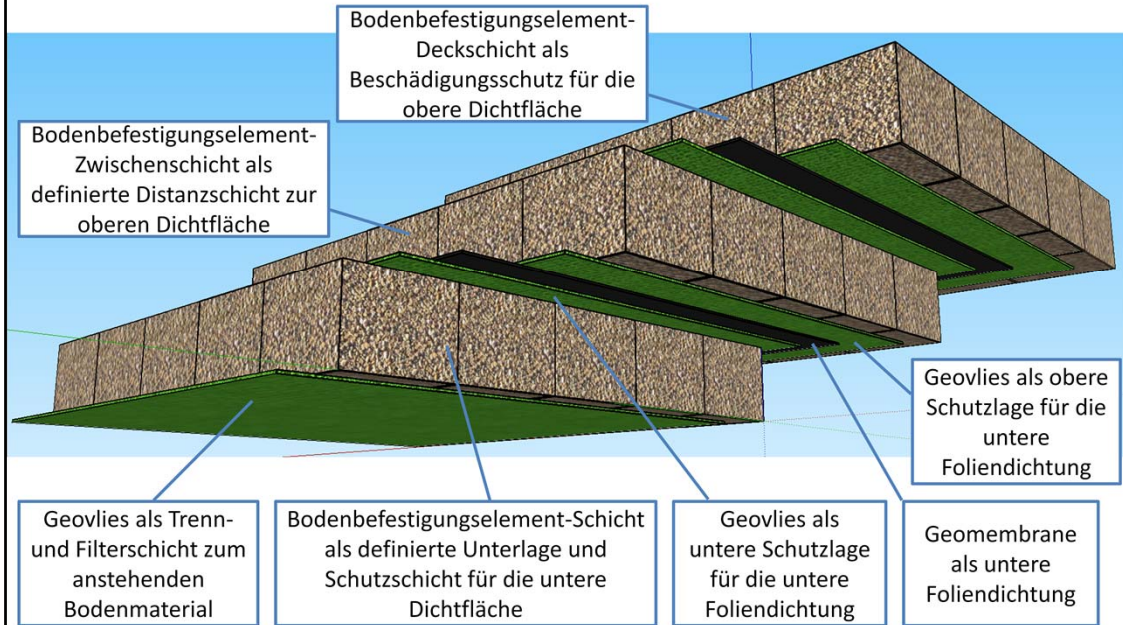
Im konkreten Einzelfall sind immer auch andere Lösungen denkbar, die den Grundwasserschutz, die Bauwerksstabilität und die Dichtheit insbesondere des Oberbeckens gewährleisten.

Setzungstolerante Oberflächenabdichtung durch Einsatz von Bodenbefestigungselementen

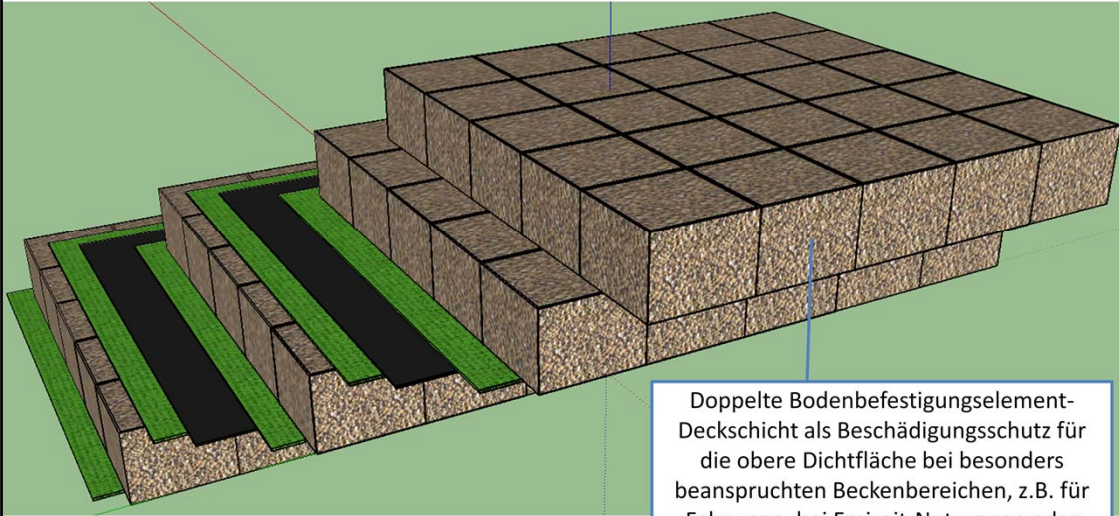


Bodenbefestigungselemente werden aus recycelten Kunststoffen hergestellt. Sie lassen sich mit geringen Kosten großflächig verlegen. Weiterführende Informationen unter <http://www.purus-plastics.de>.

Einfach herstellbarer mehrschichtiger Aufbau mit definierter Funktionszuordnung der Einzelschichten

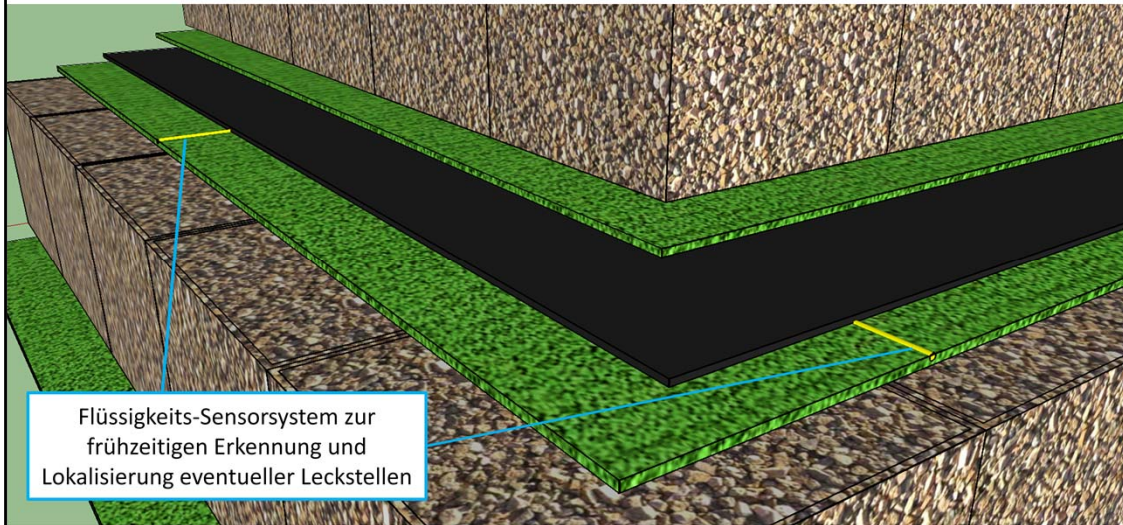


Verstärker Oberflächenschutz für stärker beanspruchte Beckenbereiche



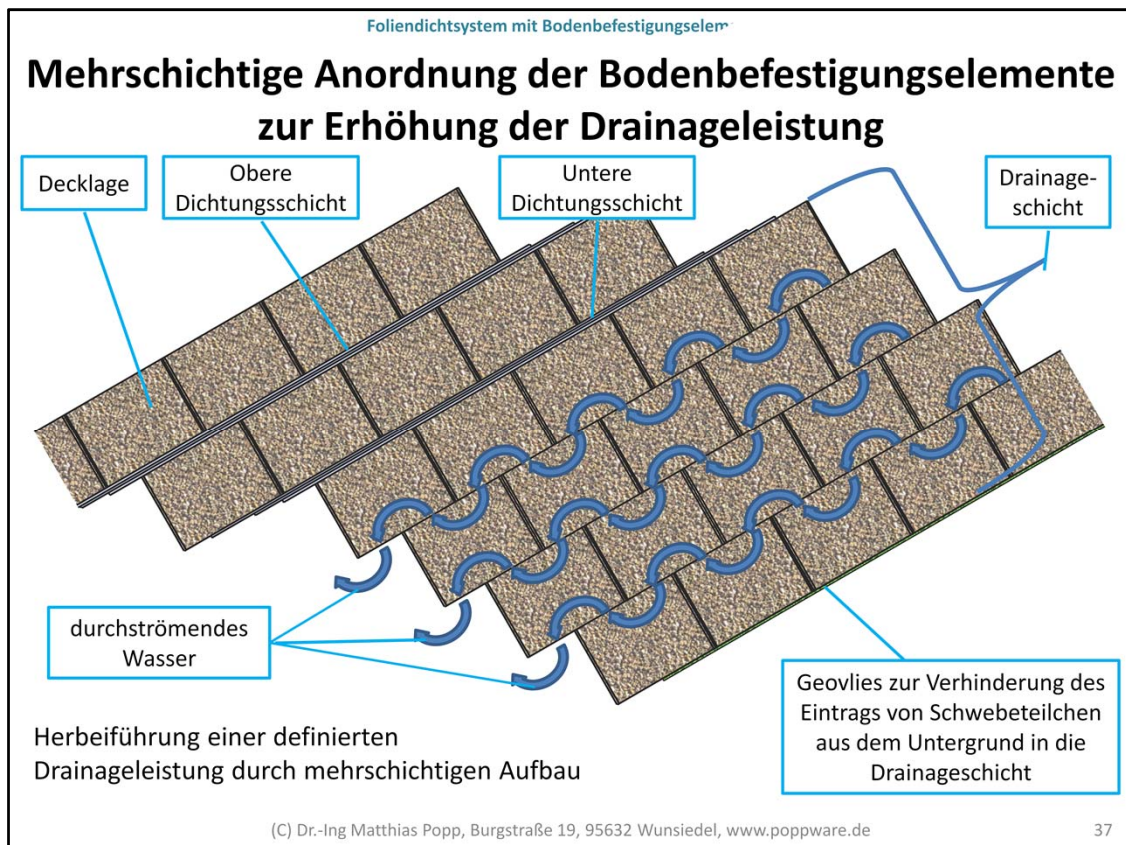
Doppelte Bodenbefestigungselement-Deckschicht als Beschädigungsschutz für die obere Dichtfläche bei besonders beanspruchten Beckenbereichen, z.B. für Fahrwege, bei Freizeit-Nutzungen oder Schiffsanlegestellen

Systematisch, rasterförmig eingebaute Sensorik zur Überwachung des Dichtungssystems



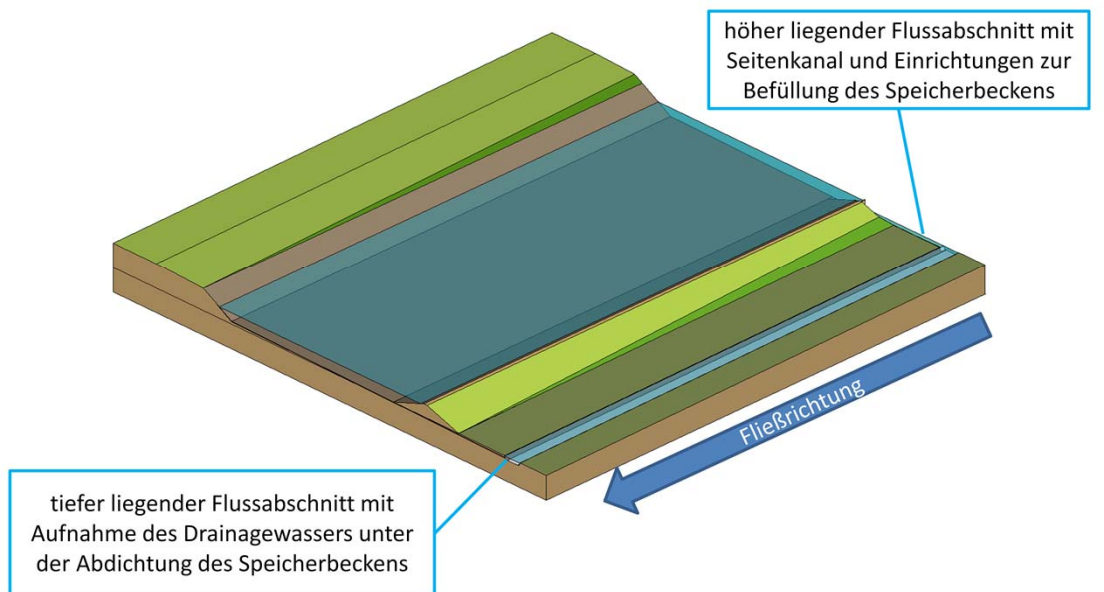
Flüssigkeits-Sensorsystem zur frühzeitigen Erkennung und Lokalisierung eventueller Leckstellen

Sowohl Wasser, das zwischen die Folienschichten eindringen würde als auch Wasser, unter der zweiten Folienschicht lässt sich darüber erkennen und frühzeitig auf Sicherheitsrelevanz für das abdichtende System überprüfen.



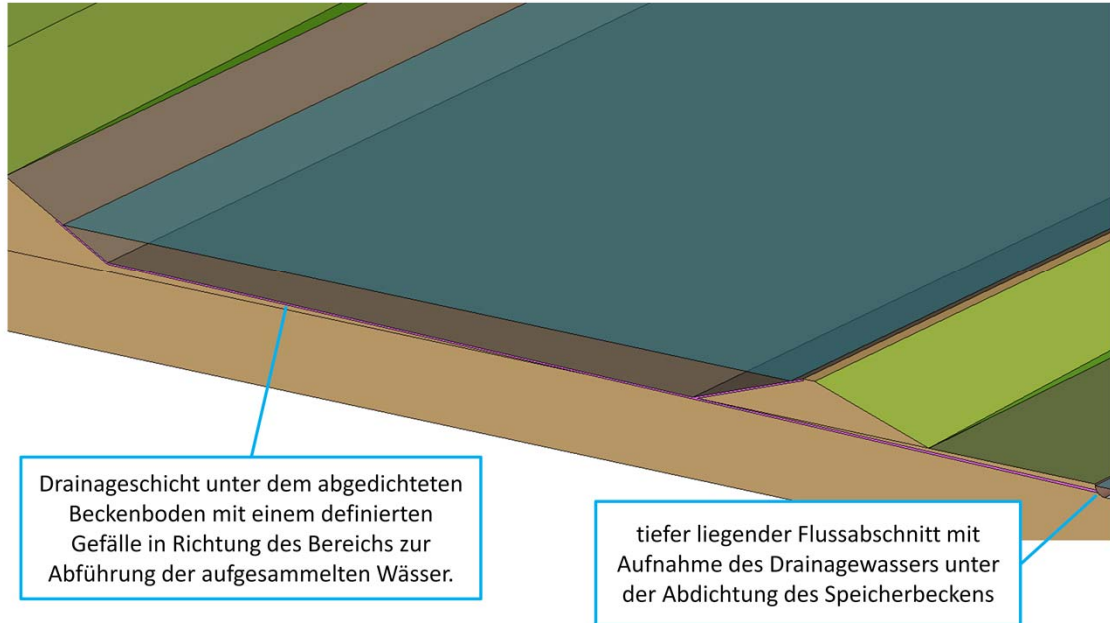
Unter dem Beckenboden anfallendes Grundwasser muss über entsprechend dimensionierte Drainagesysteme immer soweit abgeleitet werden können, dass ein Anheben der Dichtungsschicht insbesondere bei entleertem Becken zu jeder Zeit ausgeschlossen werden kann.

Speicherbecken, das in ein ansteigendes Gelände neben einem Flusstal eingebaut wird

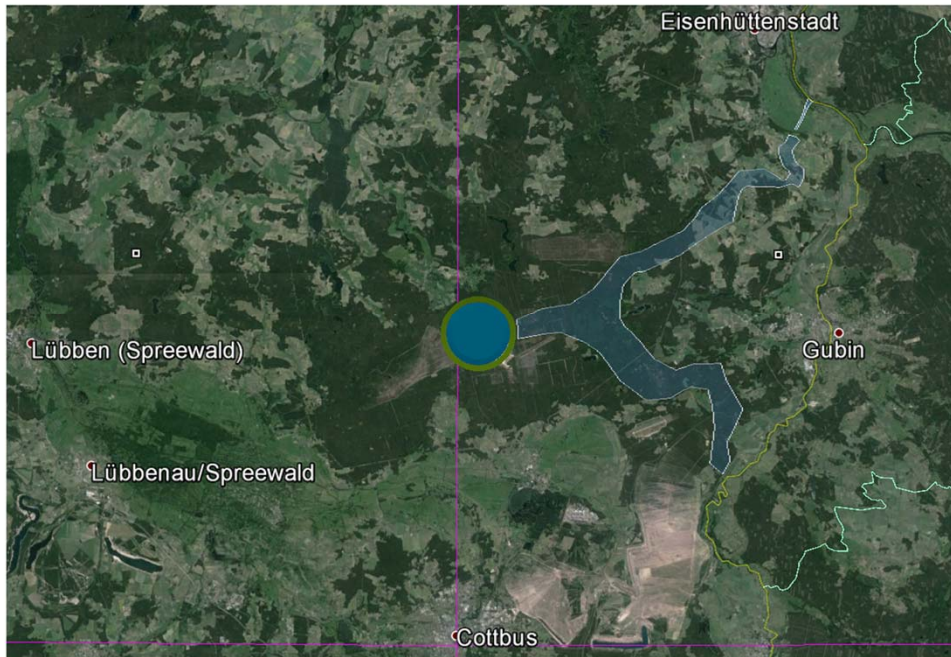


Die Speicheranlage sollte, wenn möglich, immer so im Gelände angelegt werden, dass eventuell anfallendes Grundwasser unter der Bodendichtungsschicht mit natürlichem Gefälle abgeleitet werden kann. Von Vorteil ist es zudem, wenn aus höher liegenden Wasserressourcen eine Befüllung des Systems ohne Energieaufwand erfolgen kann.

Drainageschicht mit Entwässerung in einen tiefer liegenden Flussabschnitt



Einstiegsüberlegung Ringwallspeicher Lieberose



Quelle: unterlegte Karte: Google Earth, Zugriff 14.11.2014, Rastergebiete und Ringwallspeicher: Eigenanfertigung

(C) Prof. Dr.-Ing Matthias Popp, Burgstraße 19, 95632 Wunsiedel, www.poppware.de

40

Das Unterbecken zu einem Ringwallspeicher im Gebiet des Truppenübungsplatzes Lieberose sollte

- durch natürlichen Wasserzulauf ohne Energieaufwand befüllt werden können und
- vor dem Grundwasserdruck durch Filterschichten unter dem Beckenbodens und der Beckenabdichtung bewahrt werden.

Deshalb ist hier als Einstiegsüberlegung angedacht, die Entwässerung des Untergrunds zur Oder hin anzulegen, die im Bereich vor Eisenhüttenstadt noch etwa 28 Meter über Normal Null liegt.

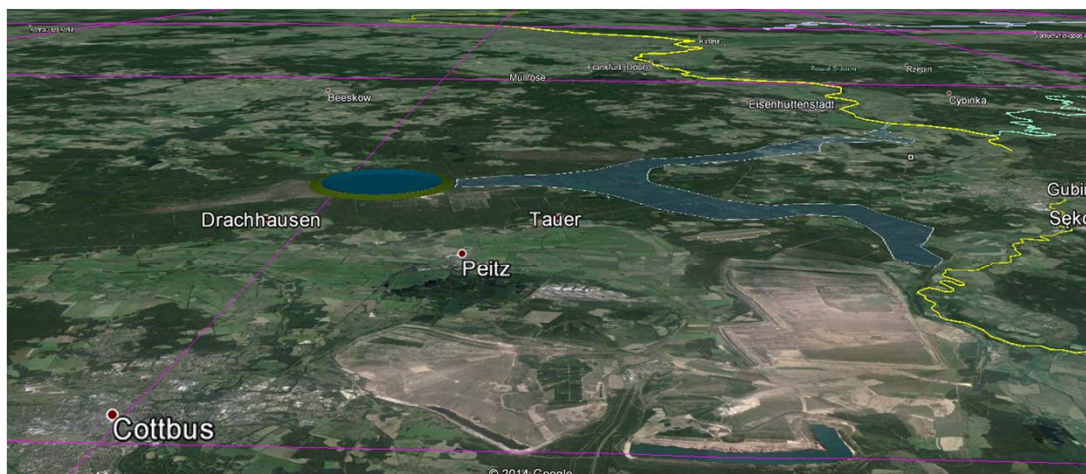
Zur Befüllung ist angedacht, die Neiße, nahe Grieben, auf einem Höhenniveau von etwa 60 Metern über Normal Null anzuzapfen.

Bei einem unteren Wasserstand im Unterbecken bei etwa 40 m NN und einem oberen Wasserstand von 65 bis 75 m NN ergäbe sich ein maximales Pegelspiel im Unterbecken von 25 bis 35 Metern. Die Entwässerung des Beckenuntergrunds ohne Energieaufwand erscheint möglich. Die Erstbefüllung des Beckens ohne Energiezufuhr ebenso.

Der Ringwallspeicher selbst würde auf ein Gelände mit einer Höhenlage von etwa 80 Metern über NN aufgesetzt und könnte eine Wallhöhe von etwa 200 m bekommen.

Nordöstlich vom eingezeichneten Standort gibt es noch höhere unbewohnte Gebiete, die aus energietechnischer Sicht ggf. noch besser geeignet sein könnten.

Einstiegsüberlegung Ringwallspeicher Lieberose



Quelle: unterlegte Karte: Google Earth, Zugriff 14.11.2014, Rastergebiete und Ringwallspeicher: Eigenanfertigung

Perspektivische Sicht über Cottbus und den Tagebau Jänschwalde auf einen als Einstiegsüberlegung skizzierten Ringwallspeicher.

Sollten sich im Zuge des Klimawandels Szenarien bewahrheiten, dass Wetterextreme zunehmen, dann wäre eine Region mit Ringwallspeicher dafür gut gerüstet.

Die Analysen des Energiewetters zeigen, dass die Ringwallspeicher meistens aufgeladen wären, und im Unterbecken in der Regel nur geringe Pegelschwankungen für den ständig stattfindenden Kurzzeitspeicherbetrieb ablaufen. Größere Entnahmen sind sehr selten und nur in mehrjährigen Abständen zu erwarten.

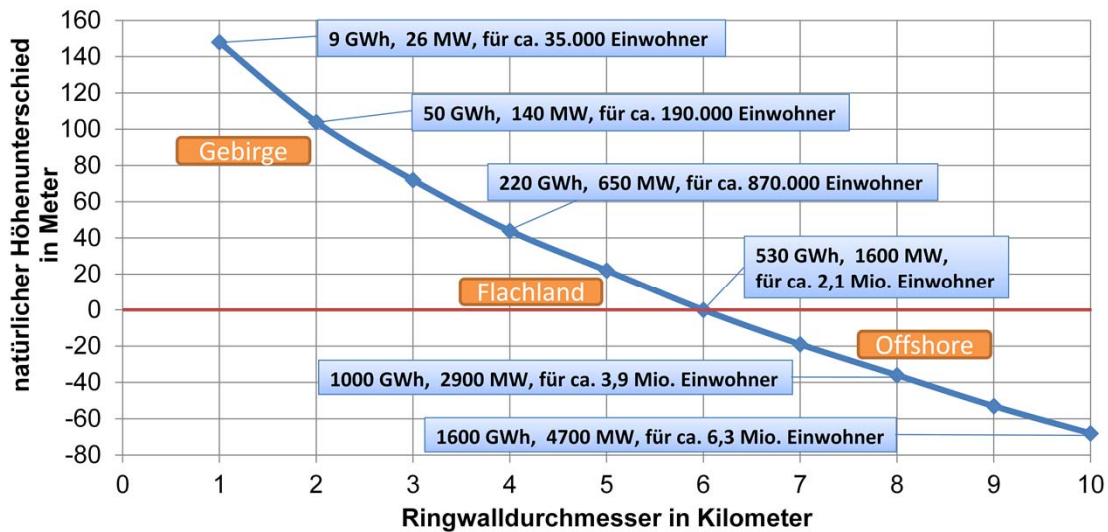
Das vom Wasserstand abgesenkte Unterbecken wäre fast immer aufnahmebereit für große Hochwasserereignisse, die bei Extremwettersituationen vermehrt zu erwarten wären. Die Wasseraufnahmekapazität eines Ringwallspeichers wäre so, dass dieser leicht die Abflussmengen eines gesamten Jahres aufnehmen könnte. Diese könnten nach dem Hochwasserereignis geordnet abgelassen werden. In Niedrigwasser- und Trockenphasen könnte das zu viel gebunkerte Wasser aus dem Ringwallspeicher genutzt werden, um das Fließgeschehen der Flüsse zu stabilisieren und Bewässerung und Trinkwasserversorgung aufrecht zu erhalten.

Die Verdunstung, insbesondere aus dem Oberbecken eines Ringwallspeichers lässt sich verhindern, indem auf ihm schwimmende Solarenergieanlagen angebracht werden. Diese lassen sich drehen und immer optimal zur Sonne ausrichten. Die eingesetzte Fläche würde damit doppelt genutzt. Einerseits zur Energieumwandlung anstelle von Freiflächenphotovoltaik und andererseits zur Speicherung. Nach der Erstbefüllung des Systems, zu der über einige Jahre hinweg die Hochwasserereignisse der vorbeifließenden Gewässer ausgenutzt werden, müssen später nur noch die Verdunstungsverluste ausgeglichen werden.

Die bei dem hier zur Diskussion gestellten Langzeit-Ringwallspeicher nur sehr moderat stattfindenden Pegelveränderungen ähneln den Wasserstandschwankungen eines Flusses, der ab und zu einmal ein Hochwasser erlebt. Das sind ökologisch viel günstigere Bedingungen als die Verhältnisse in einem herkömmlichen Pumpspeicher, der im Kurzeitbetrieb innerhalb weniger Stunden sein gesamtes Arbeitswasservolumen möglichst oft zwischen Ober- und Unterbecken austauscht.

Ringwallspeicher 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 m³/kWh, Flächenbedarf: ca. 0,15 bis 0,23 m²/kWh.

(C) Prof. Dr.-Ing Matthias Popp, Burgstraße 19, 95632 Wunsiedel, www.poppware.de

42

Dämme verschlingen das größte Bauvolumen im Fußbereich.

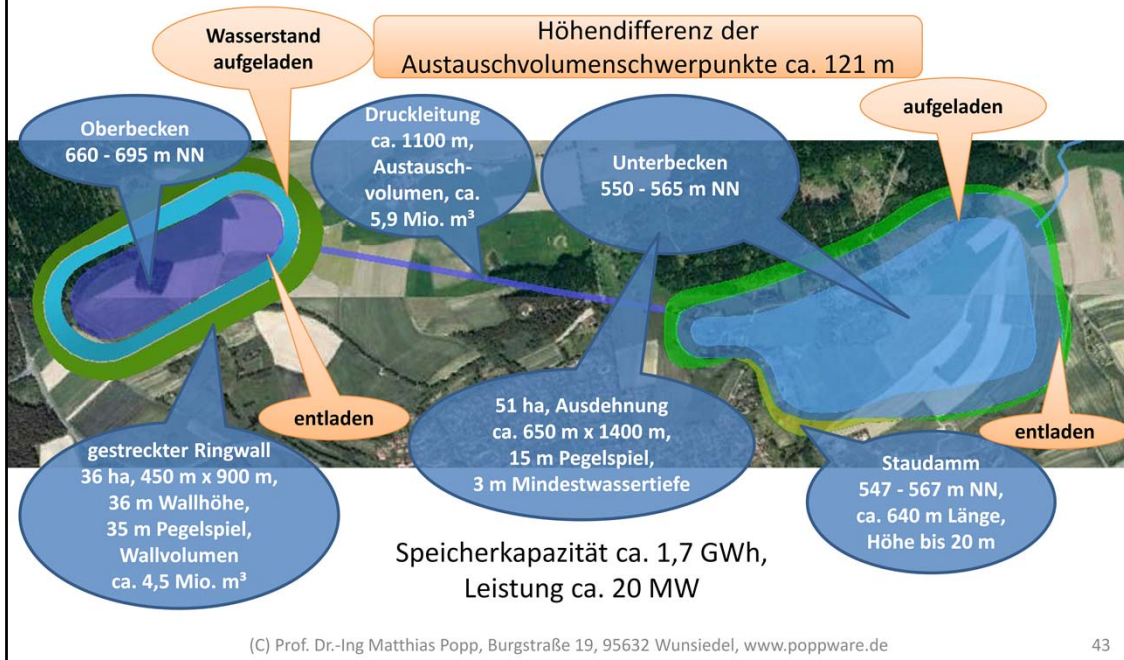
Bereits geringe Höhenunterschiede, bei denen man kaum an die Errichtung eines klassischen Pumpspeicherkraftwerks denken würde, ermöglichen die Errichtung von Ringwallspeichern.

Dabei kann mit einem Aufwand von wenigen Kubikmetern Erdbau pro Kilowattstunde Speicherkapazität in die Kapazitätsgrößenordnungen vorgestoßen werden, die ausreichen um auch die längsten Defizitphasen bei der regenerativen Stromgewinnung sicher zu überbrücken.

Der spezifische Aufwand, ausgedrückt in € pro kWh Speicherkapazität, sinkt weiter drastisch, wenn man von diesen Verhältnissen ausgehend, bei gegebenen Höhenunterschieden die Systeme noch etwas größer errichten kann.

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 integriert werden könnte, sehen sie hier.

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



Im abgelaufenen Jahr 2012 konnte ich für eine Schweizer Kraftwerksgruppe eine Volatilitätsanalyse für die Schweiz anfertigen. Die Schweiz verfügt über riesige Speicherwasserressourcen, die es ermöglichen, das Land für ca. 50 Tage allein aus den Speicherbecken heraus zu versorgen. Allerdings ist der Kraftwerkspark der Schweiz so ausgelegt, dass diese riesigen Speichervorräte auch benötigt werden, um die Stromversorgung des Landes zu bewerkstelligen.

Die alpinen Speicher in der Schweiz werden im Wesentlichen im Sommerhalbjahr mit der Gletscherschmelze aufgefüllt und im Winterhalbjahr, mit dem Eingefrieren der Gletscher, geleert (ein Speicherzyklus pro Jahr).

Die Schweiz möchte ebenfalls aus der Kernenergienutzung aussteigen und bekommt damit insbesondere im Winter ein Versorgungsproblem.

Dieses könnte durch den Einsatz von Windenergiesystemen gelöst werden, um die wegfallende Kernenergie zu ersetzen.

Allerdings erscheint der Einsatz von Windenergieanlagen auf den Höhenzügen der Schweizer Alpen derzeit als eine in mehrfacher Hinsicht unlösbare Herausforderung.

Würde die Schweiz durch Kooperation mit den Nachbarländern zu einem idealen Energiemix aus Wind- und Laufwasserenergie gelangen, dann könnte sie mit deutlich weniger Speicherkapazität als ihr zur Verfügung steht, eine sichere Versorgungssituation herbeiführen.

Windenergielieferung gegen Partizipation an der Speicherkapazität könnte ein interessantes Geschäftsmodell zwischen Bayern / Deutschland und der Schweiz werden, die zu einer Win-Win-Situation der beteiligten Partner führt.

Für Bayern würde das allerdings bedeuten, dass die Windenergie gegenüber dem vorliegenden bayerischen Energiekonzept einen ganz anderen Stellenwert erhalten muss.

Ein idealer Energiemix aus Wind und Sonne liegt in Süddeutschland etwa bei 80% Windenergie zu 20% Photovoltaik. Wenn Bayern ähnlich wie die Schweiz unüberwindbare Schwierigkeiten beim Ausbau der Windenergie sehen sollte, dann werden diesen Handel mit der Schweiz über kurz oder lang andere Regionen machen.

In der kleinen dicht besiedelten Schweiz war es im letzten Jahrhundert bis etwa 1970 möglich, riesige Wasserspeichersysteme zu errichten, die eine nachfragegerechte, regenerative und dazu kostengünstige Vollversorgung des Landes mit Strom, fast ausschließlich aus Wasserkraft, ermöglichten.

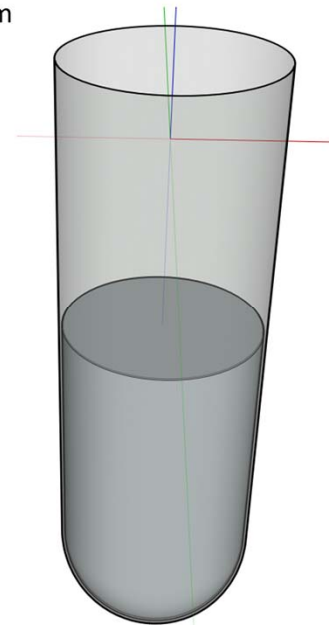
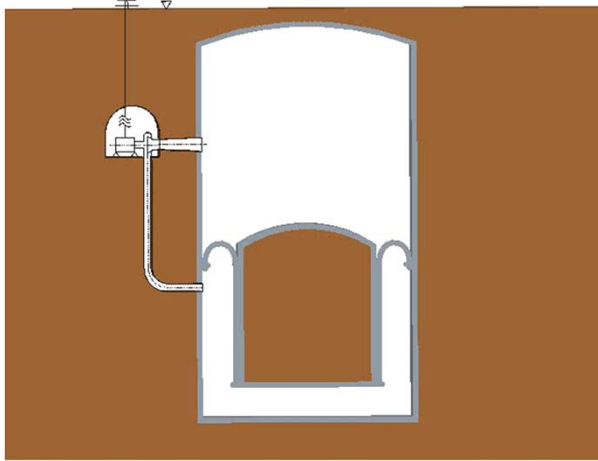
Mit Einzug der Kernenergie wurden, wie in vielen Ländern, Stimmungen laut (oder angeheizt), die in der Nutzung von Wasserkraft und den damit verbundenen Stauhaltungen eine Naturzerstörung sehen. Dies hat in einigen Ausprägungen dieser Systeme aus ökologischer Sicht sicher auch eine gewisse Berechtigung. Niemand prangert jedoch die Schweiz wegen dieser riesigen Speicherwasserbecken der Naturzerstörung an oder fordert gar deren Rückbau. Vielmehr sind die Stauseen beliebte Fotomotive und sollen nun weiter ausgebaut werden.

Wenn es gelingt, diese ideologische Blockade gegen große Wasserbauwerke wieder aufzulösen und auf eine konstruktive Herangehensweise zurück zu führen, wären wir auch in Deutschland in der Lage, vergleichbare Flächen wie in der Schweiz als Wasserhaltungen für Energiespeichersysteme zu errichten.

Die geringeren Höhenunterschiede, die uns hierzulande zur Verfügung stehen, lassen sich kompensieren durch einen idealen regenerativen Energiemix, der es ermöglicht, mit deutlich kleineren Speicherkapazitäten, als diese in der Schweiz errichtet wurden, zu einer sicheren regenerativen Stromversorgung zu gelangen.

Stülpmembranspeicher

Dezentrale unterirdische geotechnische Option mit minimalem Landflächenbedarf und paralleler Nutzbarkeit als saisonaler Wärmespeicher



doppelte geometrische Abmessungen schaffen 16-fache Speicherkapazität

(C) Prof. Dr.-Ing Matthias Popp, Burgstraße 19, 95632 Wunsiedel, www.poppware.de

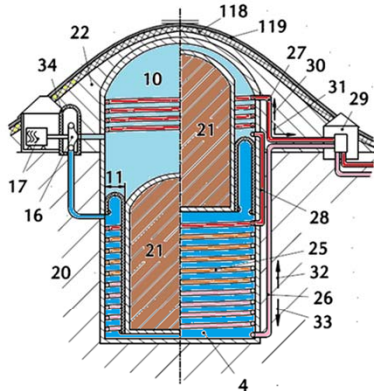
45

Pumpspeicher und Ringwalspeicher beanspruchen relativ große zusammenhängende Landflächen. Sie können Ängste vor Dammversagen hervorrufen und lösen häufig heftige Proteste und Einwendungen bei der Bürgerschaft aus, sobald entsprechende Planungen bekannt werden.

Der unterirdische Stülpmembranspeicher beansprucht bauartbedingt nur einen Bruchteil der Landfläche eines Pumpspeichers. Im Havariefall stellt er keine Gefahr dar, weil bauartbedingt kein Wasser auslaufen und Überschwemmungen hervorrufen kann. Wegen der unabhängig vom Ladezustand stets gleichen Druckdifferenz zwischen dem Hochdruckbereich unter der Stülpmembran und dem drucklosen Wasservolumen darüber, kann auch das Pumpturbinensystem besser als bei klassischen Pumpspeichern ausgelegt und ausgelastet werden.

Bauartbedingt kann ein Stülpmembranspeicher zusätzlich als saisonaler Wärmespeicher eingesetzt werden.

Funktionsprinzip Stülpmembranspeicher



- 4 untere Druckzone
- 10 obere Druckzone
- 11 Ringspalt
- 16 Pumpe, Turbine, Pumpturbine
- 17 Generator
- 20 Untergrundumgebung
- 21 Kolbenfüllmaterial
- 22 Aushubmaterial für Hügel
- 25 Wärmetauscherelemente
- 26 unterer (Kaltwasser-)Zu-/Ablauf
- 27 oberer (Warmwasser-)Zu-/Ablauf
- 28 Heizwasser Überleitung
- 29 Heizzentrale
- 30 Fließrichtung zur Wärmespeicherung
- 31 Fließrichtung zur Wärmeentnahme
- 32 Fließrichtung von Kaltwasser bei
Einspeicherung von Wärme
- 33 Fließrichtung von Kaltwasser bei
Wärmeentnahme
- 34 thermische Trennung
- 118 Wärmedämmung
- 119 Begehbare und bepflanzbare Abdeckung

Beispiel: **Kolbendurchmesser 150 m**,
Kolbenhöhe 275 m, Hubweg 200 m
Flächenbedarf 20 ha, eigentlicher Speicher 3 ha

Stromspeicherkapazität 3,6 GWh,
überbrück 14 Tage für über 14.000 Einwohner

Wärmespeicherkapazität über 93 GWh
zur vollkommen regenerativen Wärmeversorgung
für über 9000 Einwohner

(C) Prof. Dr.-Ing Matthias Popp, Burgstraße 19, 95632 Wunsiedel, www.poppware.de

46

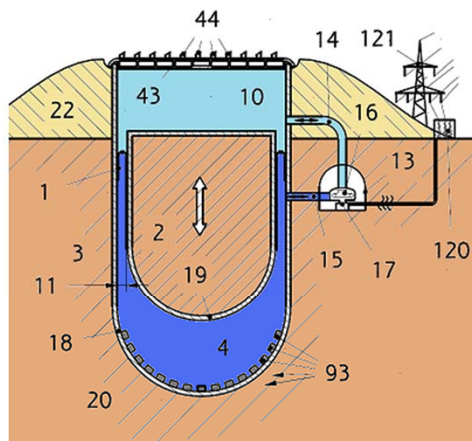
Der Spalt zwischen Kolben und Einfassung, in dem die wasserundurchlässige Stülpmembran für die Trennung der beiden Druckbereiche sorgt, ist in der vorliegenden Prinzip-Skizze zur Veranschaulichung übertrieben groß dargestellt. Er hätte etwa zwei Meter und ermöglicht die reibungsfreie Bewegung des Kolbens bei Veränderung des Speicherladezustands.

Der Spalt ermöglicht den Einbau von Wärmeübertragern zur gleichzeitigen Nutzung des Systems als saisonalen Wärmespeicher. Das Wasser wird im Sommer mit solarer Wärme auf über 90° C erwärmt werden. In der Heizperiode des Winters kann über einfache Umwälzpumpen die Wärme entnommen werden indem das Wasser langsam auf etwa 70° C abgekühlt wird. 20°C Temperaturdifferenz liegt der im Beispiel angegebenen Wärmespeicherkapazität zu Grunde. Die Untergrundumgebung dient als Wärmedämmung. Aufgrund der Systemgröße sind die Wärmeverluste an die Umgebung von untergeordneter Bedeutung.

Die Herstellung des Speichersystems in Siedlungsnähe ließe sich in einem weitgehend automatisierten Prozess realisieren.

Die rotierende Massen des Motorgenerators und der Pumpturbine können bei entsprechender Systemauslegung auch stabilisierende Aufgaben für das Stromnetz übernehmen.

Funktionsprinzip Stülpmembranspeicher



- 1 Stülpmembran
- 2 Kolben aus Untergrundmaterial
- 3 Untergrundumgebung als Systemeinfassung
- 4 untere Druckzone, Wasser unter hohem Druck
- 10 obere Druckzone, Wasser unter statischem Druck
- 11 Ringspalt
- 13 Kraftwerkskaverne
- 14 Niederdruckverbindungsleitung
- 15 Hochdruckverbindungsleitung
- 16 Pumpe, Turbine, Pumpturbine
- 17 Generator
- 18 Außenschale
- 19 Kolbenummantelung
- 20 Untergrundumgebung
- 22 Aushubmaterial für Hügel
- 43 drehbare Abdeckung mit Wärmedämmung
- 44 Solarmodule
- 93 Stützkörper als Kolbenauflage für Bau und Wartung
- 120 Trafostation
- 121 Übertragungsnetz

Der Stülpmembranspeicher vermeiden Überflutungsängste bei Dammversagen, großen Flächenbedarf sowie Abdichtungsproblematiken und hohe Homogenitätsanforderungen an den Untergrund.

Er bietet gleichzeitig eine von der Stromspeicherung zeitlich entkoppelte Nutzbarkeit als dezentraler saisonaler Wärmespeicher.

(C) Prof. Dr.-Ing Matthias Popp, Burgstraße 19, 95632 Wunsiedel, www.poppware.de

47

Neue Techniken müssen für den Bau von Stülpmembranspeichern nicht erfunden werden. Vielmehr sind bekannte Techniken nur anders als bisher anzuwenden.

Im Gegensatz zu Pumpspeichern, welche die potentielle Energie von Wasser ausnutzt, wird im Untergrund ein freigeschnittener Kolben wiederum mit Wasser angehoben. Durch die Verwendung einer Stülpmembran kann ein großzügiger, gut zugänglicher Spalt zwischen Kolben und Umgebung freigelegt werden, der sich in einem automatisierbaren Prozess mit stabilen Betonschalen verkleiden lässt und eine reibungsfreie und berührungslose Kolbenbewegung gegenüber seiner Umgebung ermöglicht.

Die Stülpmembran sorgt für eine wasserdichte verlustfreie Abgrenzung der beiden Druckzonen. Die Auskleidung mit Betonschalen verhindert Wechselwirkungen mit dem Grundwasserregime der Umgebung.

Bisher durchgeführte überschlägige Berechnungen lassen auf vergleichsweise günstige Systemkosten schließen. Die gleichzeitige Nutzung als Strom- und Wärmespeicher ermöglicht eine zusätzliche Kostenteilung. Die vergleichsweise kleinen Baugrößen lassen erwarten, dass viele Investoren die Finanzkraft zur Errichtung derartiger Speichersysteme aufbringen können.

Landesweiter Flächenbedarf für Stülpmembranspeicher

Reine Speicherfläche für Stromspeicher mit einer
Überbrückungskapazität von etwa 14 Tagen, Stromspeicherkapazität etwa 20 TWh:

Etwa **120 km²** oder 0,032% der Landesfläche von 360.000 km²

(Das ist weniger als die für Windenergieanlagen landesweit erforderliche Aufstellfläche)

Speicherbauwerksflächen mit großzügigem Umgriff gerechnet:

Etwa 1000 km² oder 0,28% der Landesfläche

(Das ist weniger als die landesweit für Photovoltaikanlagen erforderliche Fläche. Zudem kann Photovoltaik über den Speichern angebracht werden, so dass die Flächen doppelt genutzt werden.)

Stülpmembranspeicher würden wegen ihres Einbaus in den Untergrund kaum das Landschaftsbild verändern.

Gegenüber Wasserstoff- und Methanspeichersystemen ermöglichen Sie die zeitlich entkoppelte Systemnutzung zur Strom- und Wärmespeicherung.

Stülpmembranspeicher erreichen die gleichen hohen Wirkungsgrade wie moderne Pumpspeichieranlagen und tragen so zu einer Minimierung des Bedarfs von Energieumwandlungsanlagen bei, die über den Stromverbrauch hinaus betrieben werden müssen, um Speicherverluste auszugleichen.

Zum Schluss

Eine sichere, robuste und bedarfsgerechte zu 100% regenerative Stromversorgung erfordert heute in Deutschland eine Windenergieanlage pro etwa 1300 Einwohner, dazu pro Einwohner etwa 10 bis 20 m² Solarmodulfläche und beispielsweise etwa 40 m² Wasserfläche oder 10 m² Stülpmembranspeicherfläche für wirkungsgradstarke, dezentral, gut über das Land verteilte Pump-, Ringwall oder Unterspeichieranlagen.

Zusammen beansprucht das maximal 1% der Landesfläche.

Im Vergleich dazu würde eine 100%-ige Stromversorgung Deutschlands mit Biomasse pro Einwohner ca. 2200 m² oder nahezu die Hälfte der Landesfläche erfordern.

Ich hoffe mit diesem Vortrag
Inspiration und gute Ideen
geweckt zu haben
und stehe gerne für eine vertiefte
Zusammenarbeit zur Verfügung.

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
www.poppware.de

(C) Prof. Dr.-Ing Matthias Popp, Burgstraße 19, 95632 Wunsiedel, www.poppware.de

50

Die weitere Entwicklung des erneuerbaren Energiesystems bietet heute noch sehr viele Spielräume, die bis zum Ende durchdacht werden können, bevor Richtungsentscheidungen gefällt werden.

Wird dabei dafür gesorgt, dass ein robustes, versorgungssicheres und volkswirtschaftlich vorteilhaftes Zielsystem entsteht, dann ist anzunehmen, dass die zukünftigen Gesamtkosten der Transformation in einem vergleichsweise günstigen Korridor verbleiben.

Diese Aussage gilt sowohl im Großen, bei der Transformation der europäischen und der deutschen Energieversorgung als auch für regionale Versorgungsunternehmen.

Erst ein erneuerbares Energiesystem, das finanzielle Vorteile gegenüber den konventionellen Systemen bietet wird weltweit Vorbildwirkung entfalten können.

Nicht eine „Luxusenergiewende“ für Deutschland, sondern ein besseres und finanziell attraktiveres Energiesystem für die Welt wird helfen, die globalen Klima- und Umweltherausforderungen zu meistern.