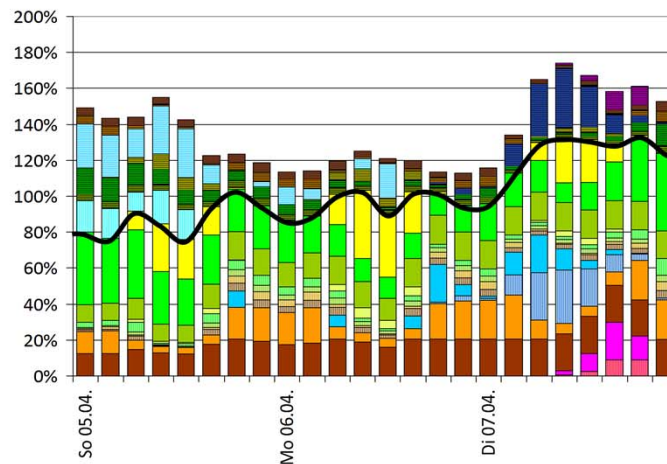


Transformation der Stromversorgung in Deutschland



Volatilitätsanalyse

Modellierung der zeitlichen Leistungsumsätze und des Ausgleichsbedarfs im Stromnetz mit zunehmenden Anteilen volatiler Leistung aus Wind und Sonne

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

36

Die gezeigte Grafik erfordert weitergehende Erklärung und dient hier lediglich als Aufmacher.

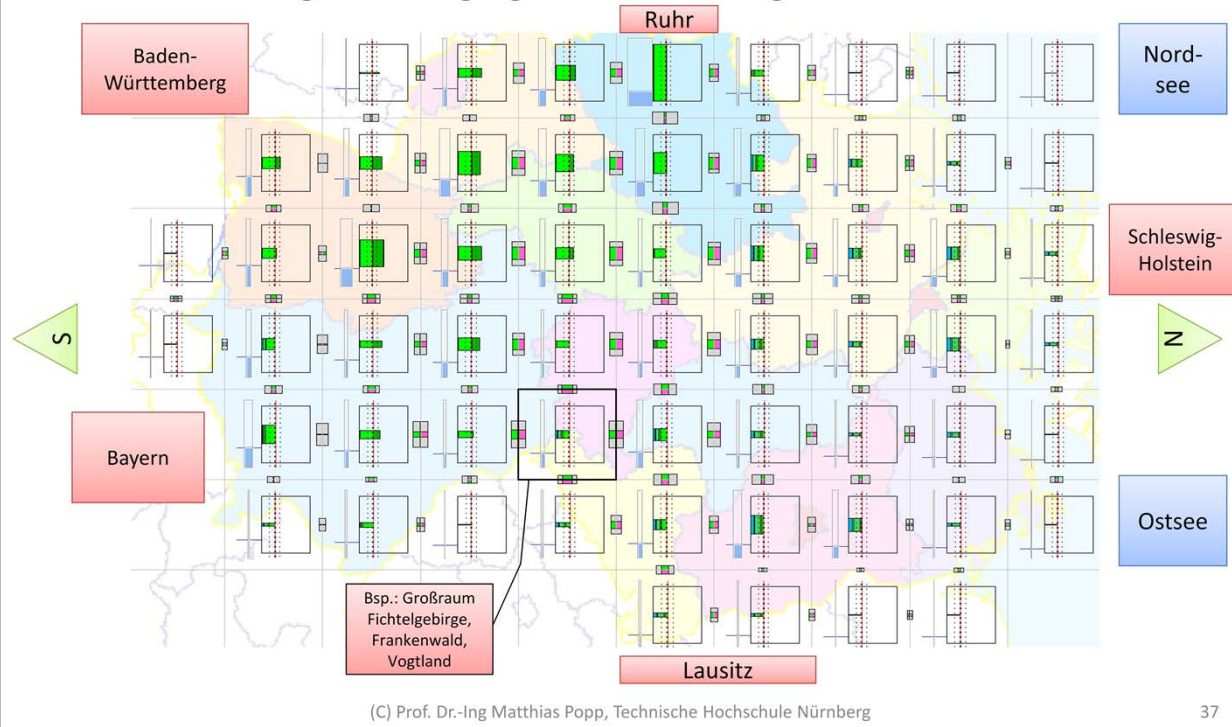
Die **Volatilitätsanalyse** untersucht alle im Laufe der Zeit auftretenden Leistungszustände der Erzeugung mit den unterschiedlichen Energieträgern des Stromversorgungssystems.

Sie zeigt beispielsweise an, wann und in welchem Umfang Wind und Sonne welche Leistungsanteile beitragen, wann Speichersysteme zum Einsatz kommen und wann und in welchem Umfang konventionelle, bedarfsgerecht anforderbare Kraftwerke eingesetzt werden müssen, um eine stabile Versorgung zu erreichen.

Sie ermöglicht sowohl die Analyse von Übergangsszenarien mit einem Mix aus konventionellen und regenerativen Erzeugungssystemen als auch von Zielszenarien mit einem hohen oder 100%-igen Anteil regenerativer Erzeugungssysteme.

Zeitschrittanalyse

Darstellung der Versorgungssituation einer Region im Gesamtkontext



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

37

Die **Zeitschrittanalyse** stellt für einen Zeitpunkt die Stromversorgungssituation in einem großräumigen Versorgungsgebiet dar.

Zur besseren Ausnutzung der Darstellungsfläche ist Deutschland in der Grafik um 90° nach rechts gedreht.

Die darüber gelegten Rastergebiete mit der angebrachten Symbolik zeigen die Versorgungssituation landesweit und in den Teilgebieten während eines Zeitschritts.

Für das modellierte Szenario erkennt man die jeweils stattfindenden Leistungsumsätze nach Energieträgern in den Teilregionen, den Ladezustand der dort angenommenen oder existierenden Speichersysteme, die überregionalen Stromflüsse zwischen den Teilregionen und den jeweiligen Stromverbrauch.

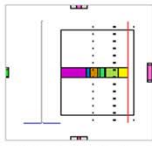
Je breiter der farbige Balken einer Region ausfällt, desto höher sind die dort statt findenden Leistungsumsätze. Spitzenreiter ist das Ruhrgebiet mit über sechs Millionen Einwohnern. Sowohl der Verbrauch als auch die Erzeugung können ursächlich für den maximalen Leistungsumsatz einer Region sein.

Zeitschrittanalysen lassen sich für unterschiedlich große Untersuchungsräume, wie ein einzelnes Land, einen Kontinent oder auch kleinere Regionen erstellen.

Zeitschrittanalyse im Detail

Beispiel einer regionalen Versorgungssituation während eines einzelnen Zeitschritts

Szenario



Zustand 2010

mittleres Schwaben

Szenario-Baustein Pos	55	SZBID	5583
X-Koordinate des Rastergebiets	23		
Y-Koordinate des Rastergebiets	18		
Zeitschritt	Mo 26.10.98		
Weltzeit	26.10.98 09:00:00		

Gebietsdaten, die diesen Zeitschritt betreffen:

Verbrauchslast	1.610,07	MW
Eigenproduktion	537,57	MW
Importleistung	1.072,51	MW
Exportleistung	0,00	MW
Fernübertragung: - Export, + Import von Süden	-228,68	MW
Fernübertragung: - Export, + Import von Norden	959,75	MW
Fernübertragung: - Export, + Import von Westen	269,68	MW
Fernübertragung: - Export, + Import von Osten	129,77	MW
Speicherleerung	0,00	MWh

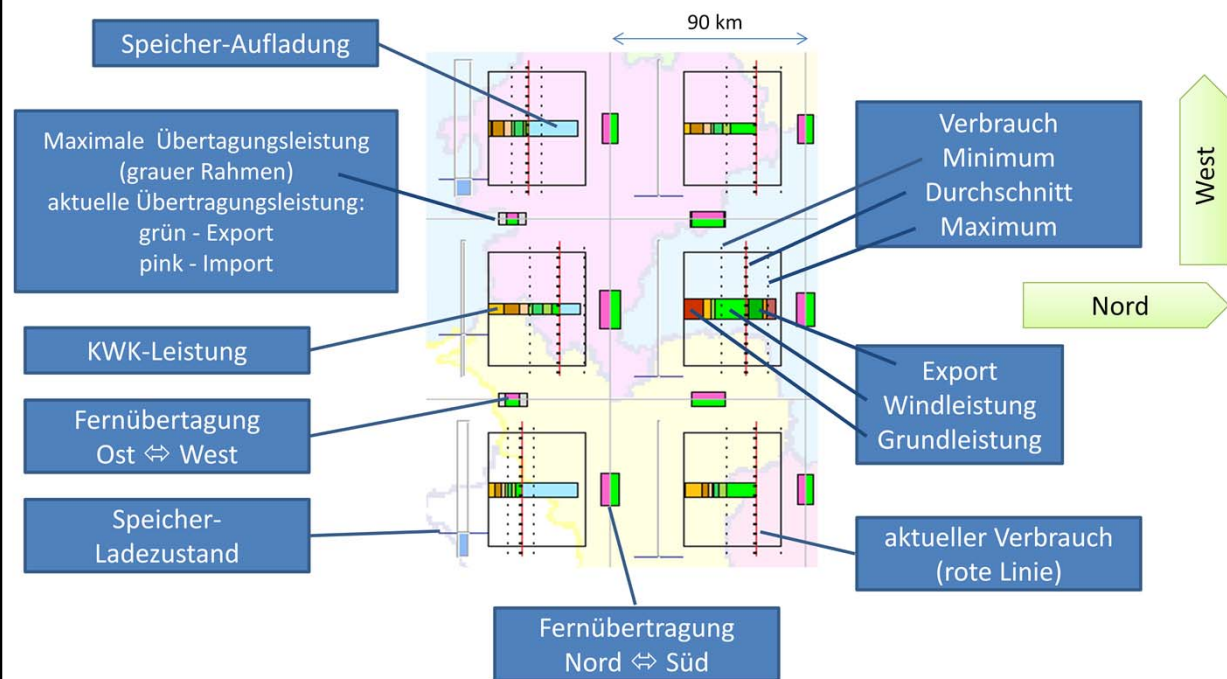
Lastabwurf	0,00	MW
bedarfsgerechter konventionelle Leistung aus Importen	607,64	MW
eigenerzeugte bedarfsgerechte konventionelle Leistung	0,00	MW
konventionelle Grundleistung zum Eigenverbrauch	0,00	MW
Kraft-Wärme gekoppelte Leistung zum Eigenverbrauch	0,00	MW
aus fremden Speichern importierte Leistung	97,57	MW
aus eigenen Speichern entnommene Leistung	0,00	MW
importierte konventionelle Grundleistung	179,80	MW
importierte Kraft-Wärme gekoppelte Leistung	14,85	MW
importierte regenerative Grundleistung	49,90	MW
importierte Windleistung	100,07	MW
importierte Solarleistung	22,68	MW
regenerative Grundleistung zum Eigenverbrauch	302,86	MW
Windleistung zum Eigenverbrauch	16,44	MW
Solarleistung zum Eigenverbrauch	218,26	MW
importierte Leistung zur Aufladung der eigenen Speicher	0,00	MW
exportierte regenerative Grundleistung	0,00	MW
exportierte Windleistung	0,00	MW
exportierte Solarleistung	0,00	MW
Speicheraufladung aus eigener Versorgungsleistung	0,00	MW
exportierte, dem Speicher entnommene Leistung	0,00	MW
exportierte Kraft-Wärme gekoppelte Leistung	0,00	MW
exportierte konventionelle Grundleistung	0,00	MW
exportiert bedarfsgerechte konventionelle Leistung	0,00	MW
nicht nutzbare Überschüsse	0,00	MW

Regionale Eigenbedarfsdeckung

Überschussverwendung

Im Detail kann aus der Zeitschrittanalyse für jede berücksichtigte Region und für jeden Zeitschritt entnommen werden, wie die dort vorherrschende Stromnachfrage erfüllt wird, wie Überschüsse und Defizite ausgeglichen werden und welcher Leistungsaustausch mit den Nachbarregionen erfolgt.

Zeitschrittanalyse - Symbolik



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

39

Die Zeitschrittanalyse stellt für einen Zeitpunkt die Stromversorgungssituation in einem großräumigen Versorgungsgebiet dar. Sie zeigt die jeweils stattfindenden Leistungsumsätze nach Energieträgern in den Teilregionen, den Ladezustand der dort befindlichen Speichersysteme, die überregionalen Stromflüsse zwischen den Teilregionen und den jeweiligen Stromverbrauch.

Bedarfsorientierter Ausbau mit optimalem Netz und Methanspeichern, 14 Tage im Juni

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

40

Hinweis:

Hier handelt es sich um eine Animation die in der kommentierten PDF Version nicht abgespielt werden kann.

Das hier als Animation gezeigte Szenario geht von einem bedarfsorientierten Ausbau der erneuerbaren Erzeugungssysteme und von Gasspeichersystemen aus, bei denen die Regionen über ein leistungsstarkes Stromnetzwerk verbunden sind, das in der Lage ist, Überschüsse und Defizite mit der maximal anfallenden Leistung auszugleichen.

Im Vergleich zu Ziel-Szenarien mit potentialorientiertem Ausbau oder nach den Leitstudien des BMUs, erfordert diese Strategie deutlich weniger Netzausbau und führt zu robusteren Versorgungsverhältnissen in den Teilregionen.

Bedarfsorientierter Ausbau (auch nachfrageorientierter Ausbau):

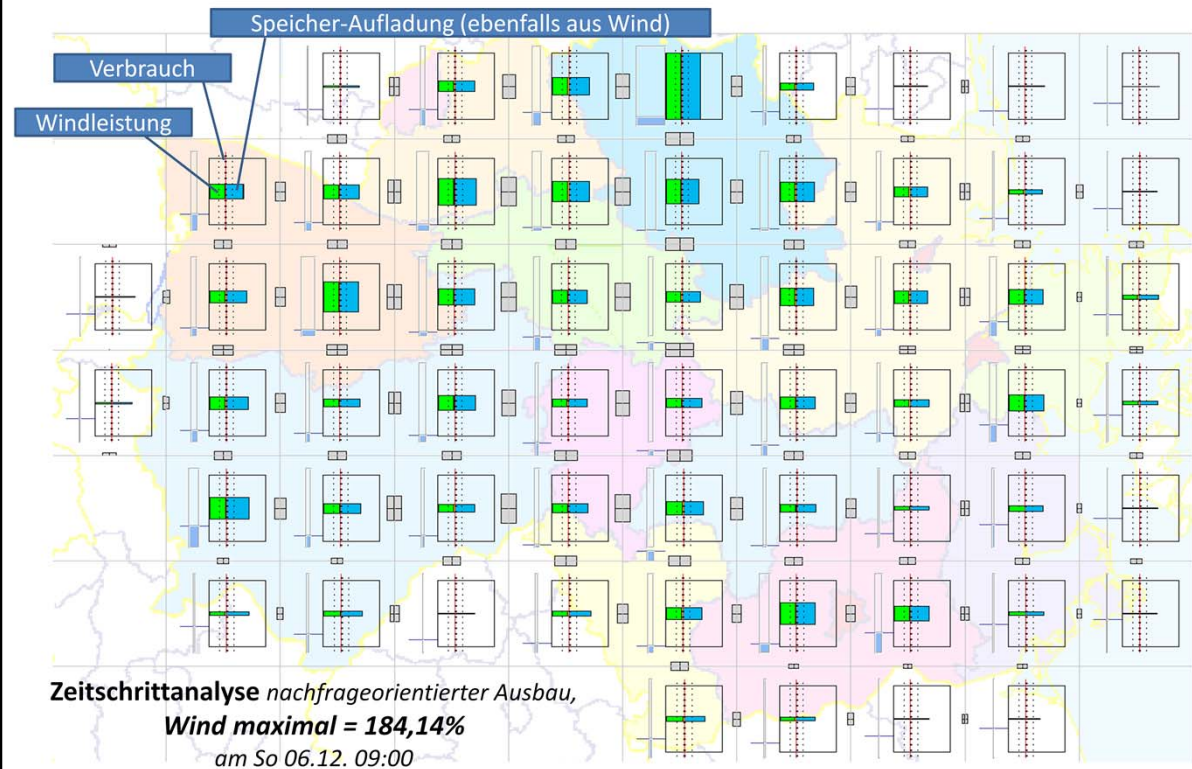
Die regionale regenerative Erzeugung und die regionale Speicherkapazität werden so gut es geht an den regionalen Verbrauch angepasst.

Potentialorientierter Ausbau:

Der Ausbau erfolgt bevorzugt dort, wo die höchsten Energieerträge erwartet werden können. Solarenergie wird verstärkt im Süden, Windenergie verstärkt im Norden und im Meer vor der Küste ausgebaut. Das bedingt den Ausbau leistungsstarker Stromnetze.

Leitstudien des BMU (Bundesministerium für Umwelt):

Darin spielen DESERTEC (Solarstrom aus der Sahara), Speichersysteme in Norwegen, potentialorientierter Ausbau der Erzeugung, sowie erhebliche Stromimporte eine große Rolle.



Extremwertanalysen gestatten es, gezielt Versorgungssituationen herauszufiltern, die besondere Systemanforderungen hervorrufen. Diese müssen jeweils beherrscht werden, wenn das Gesamtsystem in einem dauerhaft stabilen Zustand gehalten werden soll.

Nachfolgend sind beispielhaft für einen angenommenen landesweit optimierten regenerativen Erzeugungspark, mit nachfrageorientierter Verteilung der Versorgungssysteme, eine Reihe von Extremzuständen dargestellt, mit denen aufgrund des Wettergeschehens eines ganz normalen Jahres zu rechnen wäre.

Dabei ist angenommen, dass jede Region über Methanspeichersysteme mit 38% Wirkungsgrad und einer Kapazität von 20 Tagesladungen verfügen würde, mit denen Defizitphasen überbrückt werden könnten.

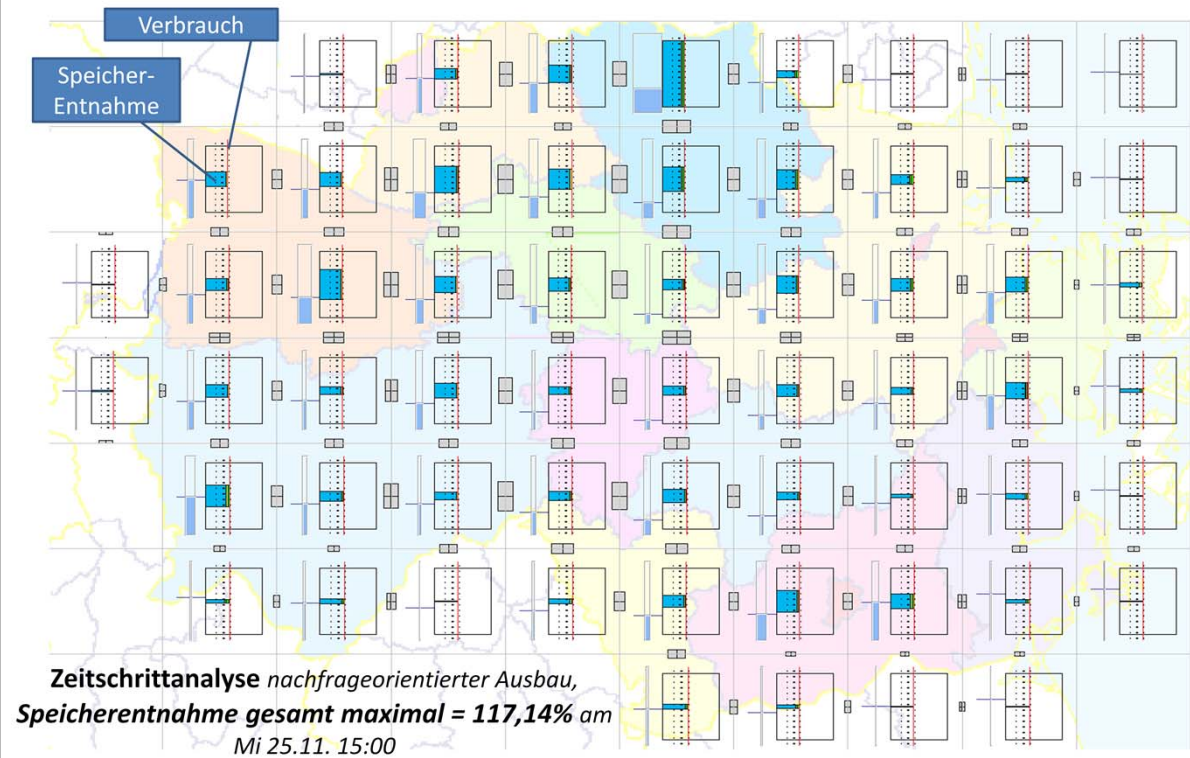
Weiter wird von einem sowohl in Nord-Süd als auch in Ost-West Richtung optimal ausgebauten Übertragungsnetz ausgegangen, mit dem temporär auftretende Überschüsse und Defizite ausgeglichen werden können.

In Situationen, wie der gezeigten, mit landesweit guten Windverhältnissen würde keine Fernübertragung stattfinden, weil jede Region für sich in der Lage wäre die Eigenversorgung zu übernehmen. Mit den Überschüssen würden die regionalen Speichersysteme aufgeladen.



Ähnlich würden sich die Verhältnisse bei optimalem Sonnenschein einstellen.

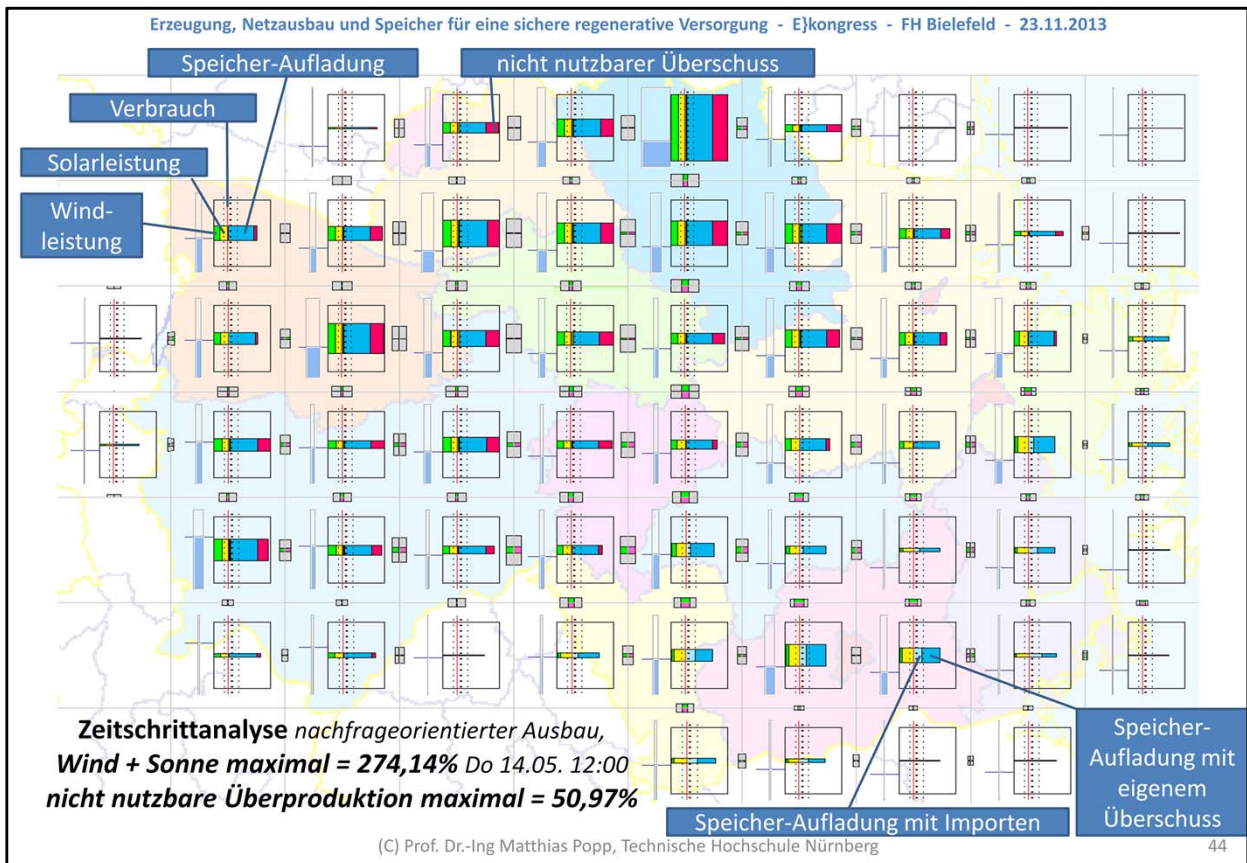
Wegen landesweiter Überschüsse findet auch hier keine großräumige Leistungsübertragung statt.



Ebenso kommt es zu Situationen, in denen überdurchschnittlich hohe Leistungen allein aus den Speichern zu entnehmen wären, weil bei hoher Nachfrage die landesweiten Wetterbedingungen kaum eine regenerative Erzeugung ermöglichen.

Leistungsübertragung wäre nur erforderlich, wenn Speicherreserven einzelner Teilregionen aufgebraucht wären.

Dies würde auf ein weniger optimal ausgelegtes Versorgungssystem hindeuten.



Wenn gute Sonnenscheinverhältnisse gleichzeitig mit starkem Wind auftreten, dann können so hohe Überschussleistungen auftreten, dass diese nicht mehr im vollen Umfang gespeichert werden können.

Dies tritt ein, wenn die Speicher nicht für diese seltenen Situationen ausgelegt wurden.

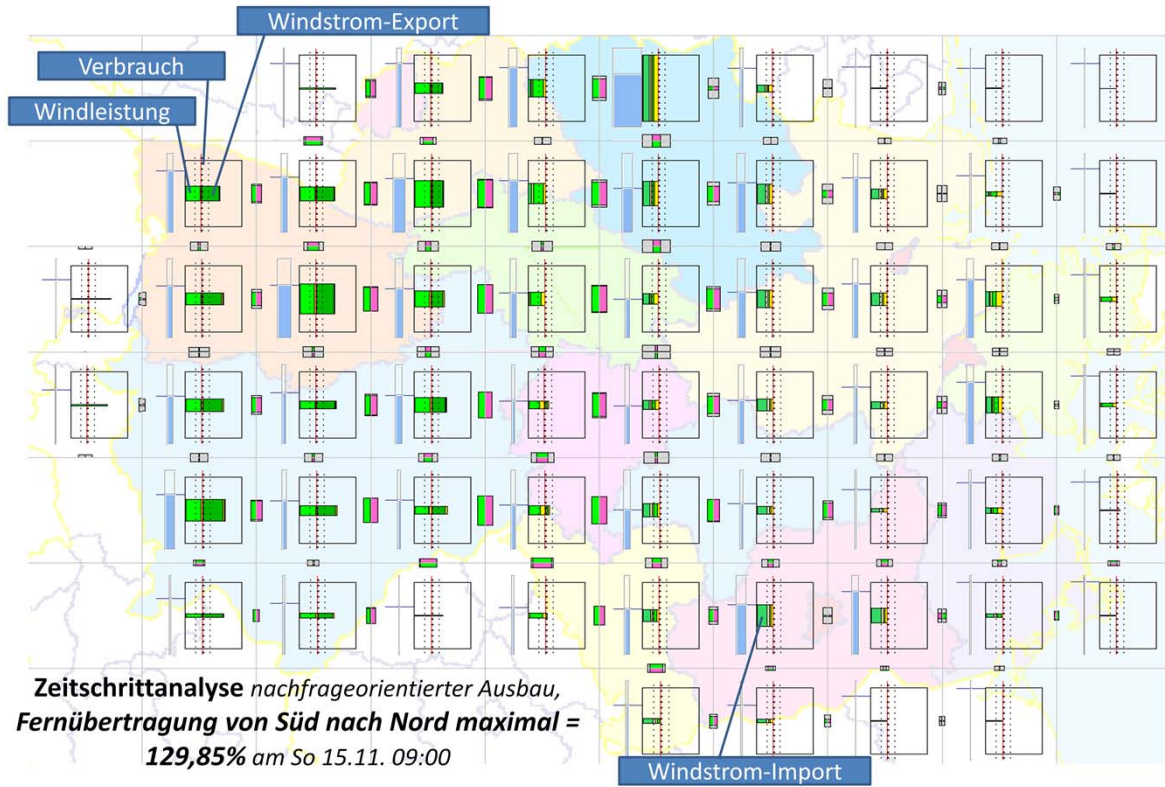
Mit Erzeugungsmanagement muss dafür gesorgt werden, dass der vorliegende Verbrauch plus die maximale Ladeleistung der Speichersysteme nicht überschritten werden.



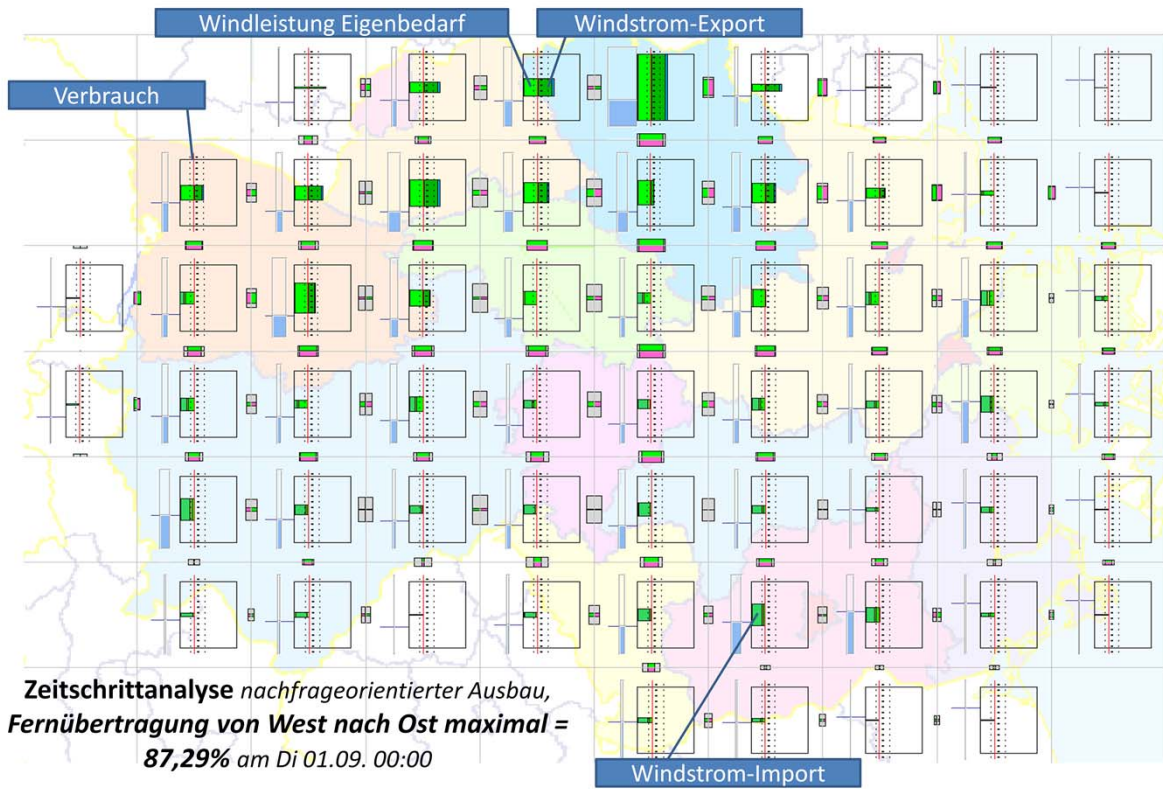
Es gibt aber auch Situationen, in denen in bestimmten Landesteilen besonders gute Erzeugungsbedingungen vorliegen, während andere Landesteile Defizite aufweisen.

Dann würden sich erhebliche Fernübertragungsleistungen einstellen, die diese Unterschiede ausgleichen.

Je nach Lage der Hoch- und Tiefdruckgebiete kommt es dabei zu erheblichen Übertragungsleistungen vom Norden in den Süden, ...



..., vom Süden in den Norden, ...



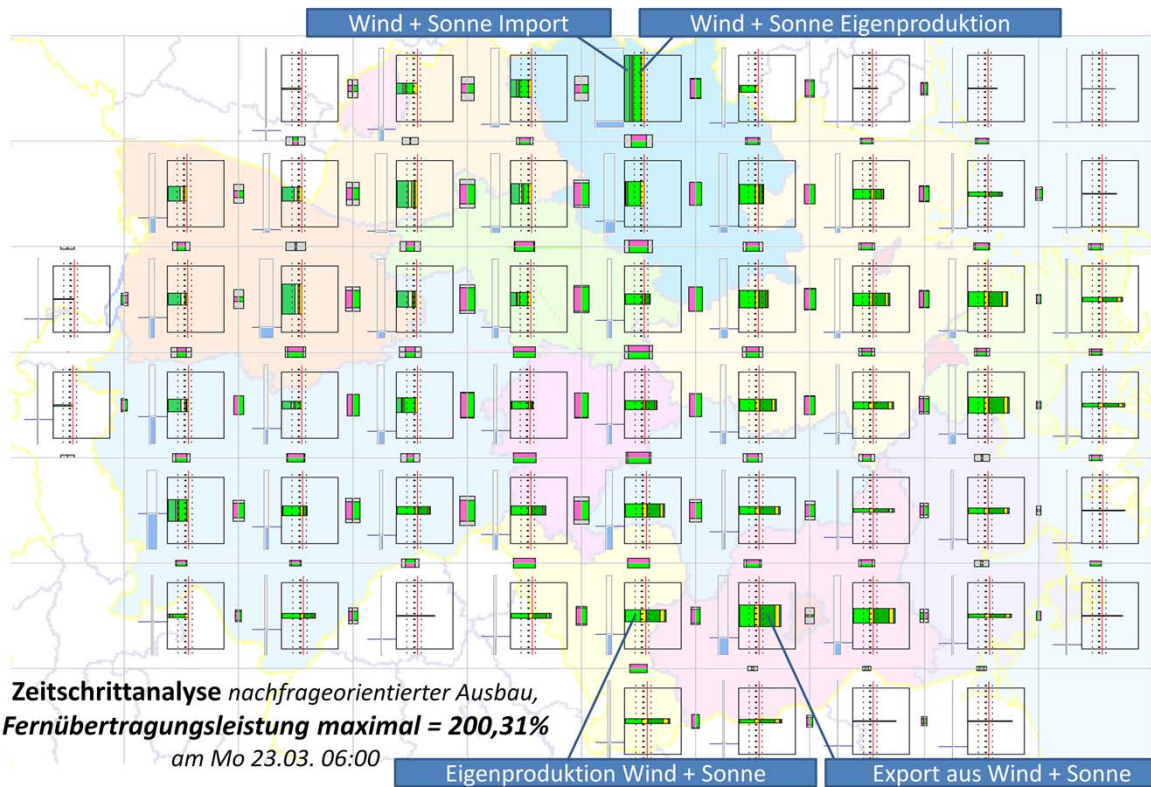
..., vom Westen in den Osten, ...



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

48

..., oder vom Osten in den Westen ...



... oder vom Nordosten in den Südwesten oder umgekehrt.

Temporär kann ein leistungsstarkes Stromnetz in diesen Situationen erhebliche Ausgleichseffekte ermöglichen, bei denen die Speicherreserven geschont werden.

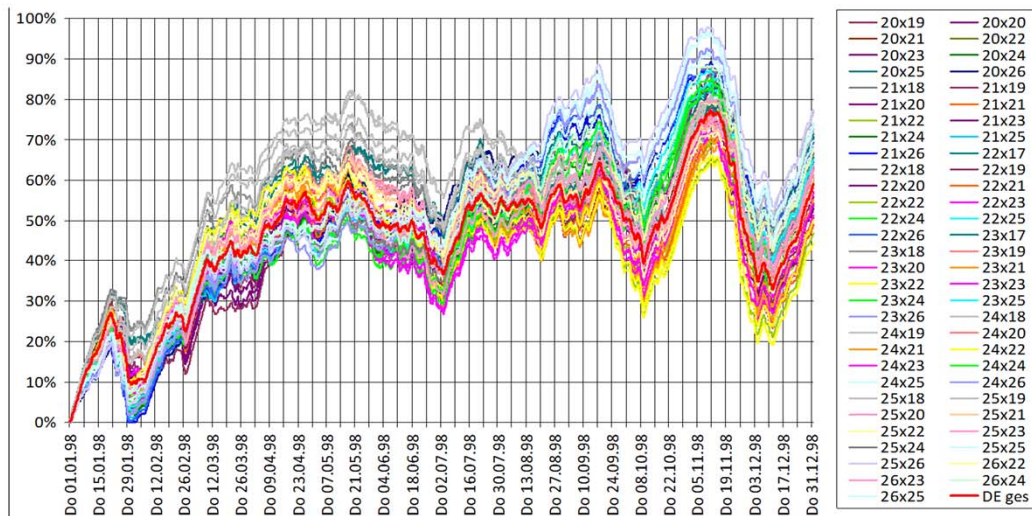
Die Extremwertanalysen zeigen Wetter- und Versorgungssituationen, in denen eine leistungsstarke Vernetzung erheblich dazu beitragen kann, Überschüsse und Defizite in verschiedenen Landesteilen auszugleichen.

Auf der anderen Seite gibt es zahlreiche Energiewettersituationen, in denen ein leistungsstarkes Stromnetz keinen Beitrag dazu leisten kann, die Verbrauchsanforderungen zu erfüllen.

Um festzustellen, welchen Einfluss leistungsfähige Stromnetze auf den Speicher- oder Ausgleichsbedarf volatiler Erzeugungssysteme haben, werden die nachfolgenden Speicherladungskurven eingeführt.

Methan Speicher Ladezustand, optimaler Netzausbau

Annahmen: 30% Erzeugungsreserve, 10% Grundleistung, 120% volatile Erzeugung mit Wind und Sonne, 20 Tagesladungen Speicherkapazität, Start mit leeren Speichern, reale Wetterdaten beispielhaft von 1998



Speicher Ladezustand für alle Rastergebiete Deutschlands
Bedarfsorientierter Ausbau mit 80%/20% Mix von Wind und Sonne, Speichern mit 38% Wirkungsgrad, 50% Wind-Benutzungsgrad, **Fernübertragungsleistung orientiert am maximalen Exportpotential**

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

50

Die Grafik zeigt für ein optimal ausgebautes Übertragungsnetz die Auf- und Entladungen von angenommenen Methanspeichern eines ideal über Deutschland verteilten regenerativen Erzeugungssystems, für Rastergebiete mit jeweils 90x90 Kilometern Kantenlänge.

Angenommen sind leere Speicher zu Beginn des Untersuchungszeitraums mit einer auf die Regionen abgestimmten Kapazität von jeweils 20 durchschnittlichen Tagesverbräuchen.

Es ist nicht notwendig, jede einzelne Kurve nachzuvollziehen.

Das Diagramm soll vielmehr die Gleichzeitigkeit von Aufladung und Entladung der Speichersysteme in allen Regionen Deutschlands verdeutlichen, die durch eine Stromversorgung aus Wind und Sonne hervorgerufen wird.

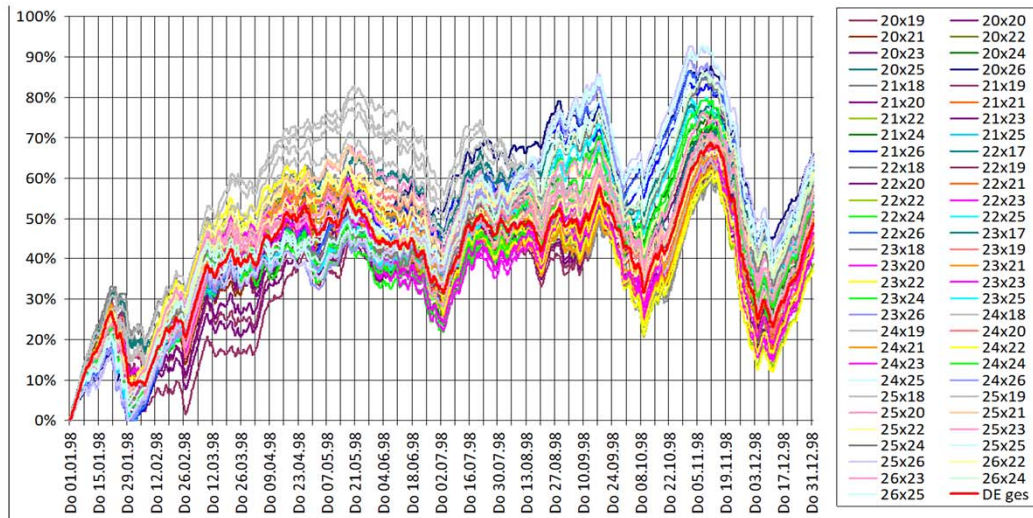
Eine wichtige Erkenntnis dieser Analyse mit realen Wetterdaten, ist die sehr ähnliche Volatilität des Energiewetters in allen Gebieten Deutschlands.

Überschuss und Defizit treten über große Zeiträume in allen Regionen gleichzeitig auf.

Beobachten Sie nun, wie sich die Speicherbewirtschaftung ändern würde, wenn das Übertragungsnetz maximal die halbe Leistung übertragen könnte.

Methan Speicher Ladezustand, 50% Netzausbau

Annahmen: 30% Erzeugungsreserve, 10% Grundleistung, 120% volatile Erzeugung mit Wind und Sonne, 20 Tagesladungen Speicherkapazität, Start mit leeren Speichern, reale Wetterdaten beispielhaft von 1998



Speicher Ladezustand für alle Rastergebiete Deutschlands
Bedarfsorientierter Ausbau mit 80%/20% Mix von Wind und Sonne, Speichern mit 38% Wirkungsgrad, 50% Wind-Benutzungsgrad, **Fernübertragungsleistung begrenzt auf 50% des Durchschnittsverbrauchs**

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

51

Die Speicherbewirtschaftung würde sich kaum verändern.

Am Ende des beispielhaft untersuchten Jahres läge die Speicherladung lediglich um 10% niedriger.

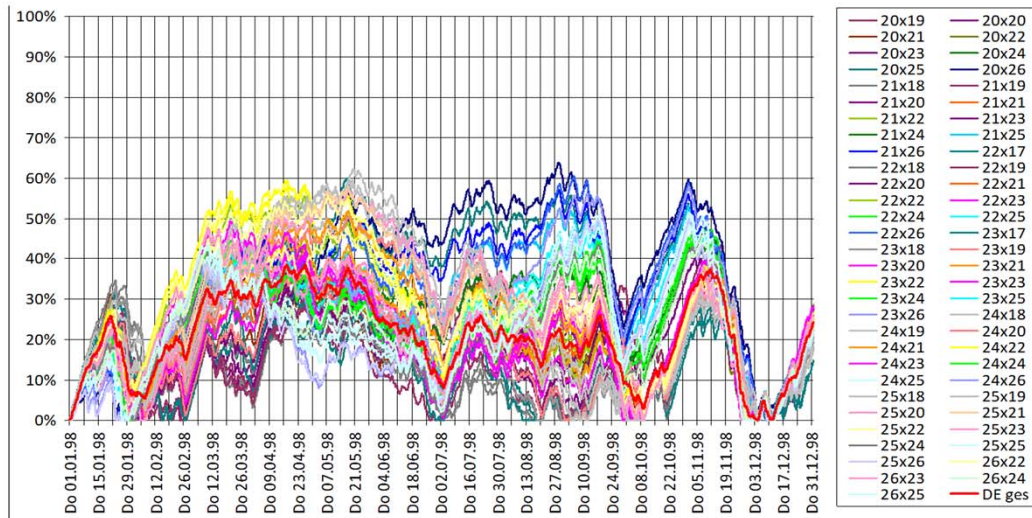
Bei gleichem Erzeugungspark wie vorher, wurden Stromnetze angenommen, die maximal 50% der durchschnittlichen Nachfrage übertragen könnten. Überregionaler Netzausbau müsste dafür im Vergleich zu heute kaum erfolgen.

Über die Speicher müsste nur geringfügig mehr Energie ausgeglichen werden, als bei maximalem Netzausbau.

Beobachten Sie nun, die Verhältnisse, die sich einstellen würden, wenn es überhaupt keine großräumige Leistungsübertragung gäbe.

Methan Speicher Ladezustand, regionale Autarkie

Annahmen: 30% Erzeugungsreserve, 10% Grundleistung, 120% volatile Erzeugung mit Wind und Sonne, 20 Tagesladungen Speicherkapazität, Start mit leeren Speichern, reale Wetterdaten beispielhaft von 1998



Speicher Ladezustand für alle Rastergebiete Deutschlands
Bedarfsorientierter Ausbau mit 80%/20% Mix von Wind und Sonne, Speichern mit 38% Wirkungsgrad, 50% Wind-Benutzungsgrad, **keine Fernübertragungsleistung (nur Theorie, da Leitungsnetz existiert)**

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

52

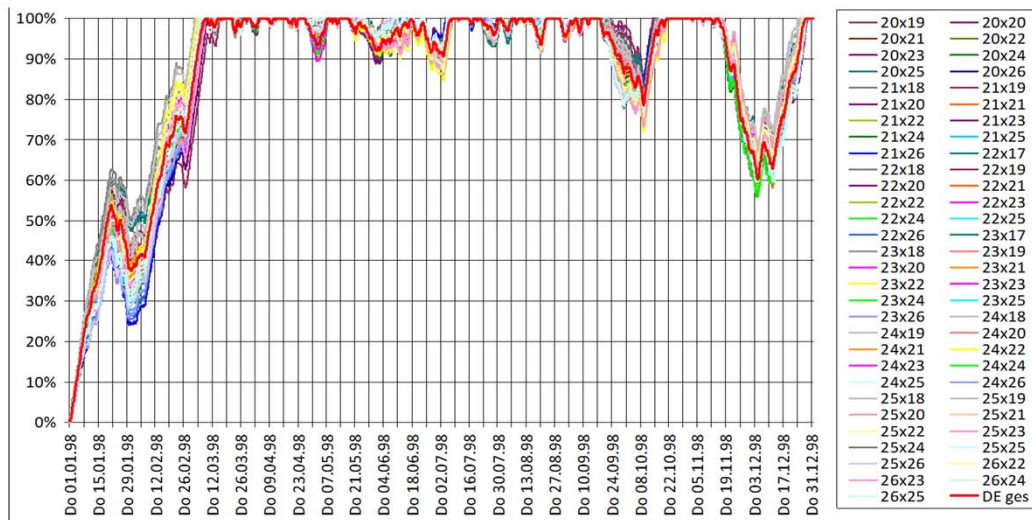
Die Speicher wären beinahe in der Lage gewesen, das gesamte Jahr über die volatile Erzeugung mit der Nachfrage zum Ausgleich zu bringen.

Für eine sichere Versorgung müsste jedoch eine etwas größere Erzeugungsreserve vorgehalten werden.

In diesem theoretischen und nicht anzustrebenden Fall würde eine regionale Versorgungsautarkie entstehen.

Pumpspeicher Ladezustand, optimaler Netzausbau

Annahmen: 30% Erzeugungsreserve, 10% Grundleistung, 120% volatile Erzeugung mit Wind und Sonne, 20 Tagesladungen Speicherkapazität, Start mit leeren Speichern, reale Wetterdaten beispielhaft von 1998



Speicher Ladezustand für alle Rastergebiete Deutschlands
Bedarfsorientierter Ausbau mit 80%/20% Mix von Wind und Sonne, Speichern mit 76% Wirkungsgrad, 50% Wind-Benutzungsgrad, **Fernübertragungsleistung orientiert am maximalen Exportpotential**

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

53

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.

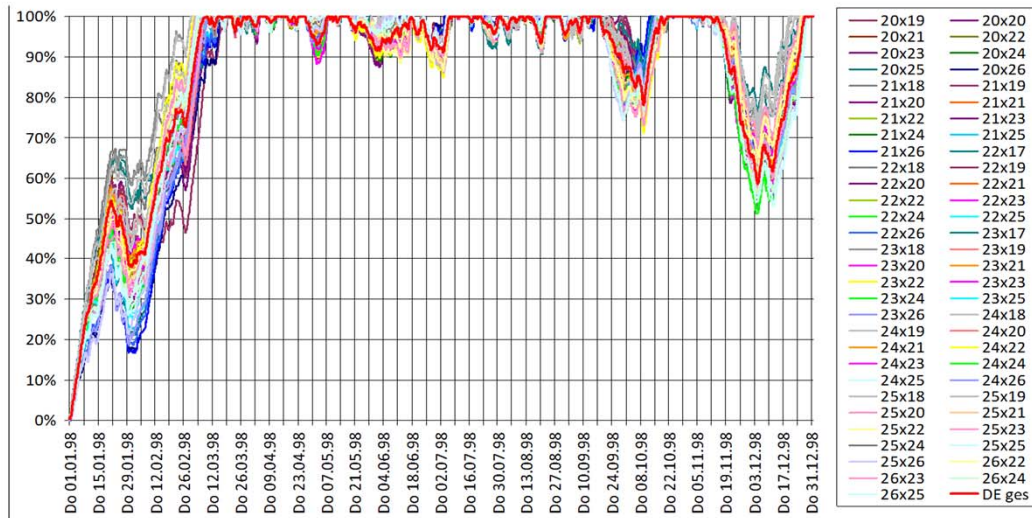
Die Speicherleerungen zur Überbrückung der Flaute würden aber in der gleichen Größenordnung anfallen.

Der Vorteil von Pumpspeichern liegt darin, dass weniger Erzeugungsleistung, also weniger Windenergie- und Solarenergieanlagen ausreichen würden, um die Speicher füllen zu können.

Man könnte den zugrunde liegenden Erzeugungspark folglich erheblich abspecken und würde immer noch eine robuste und bedarfsgerechte Stromversorgung erreichen.

Pumpspeicher Ladezustand, 50% Netzausbau

Annahmen: 30% Erzeugungsreserve, 10% Grundleistung, 120% volatile Erzeugung mit Wind und Sonne, 20 Tagesladungen Speicherkapazität, Start mit leeren Speichern, reale Wetterdaten beispielhaft von 1998



Speicher Ladezustand für alle Rastergebiete Deutschlands
 Bedarfsorientierter Ausbau mit 80%/20% Mix von Wind und Sonne, Speichern mit 76% Wirkungsgrad,
 50% Wind-Benutzungsgrad, **Fernübertragungsleistung begrenzt auf 50% des Durchschnittsverbrauchs**

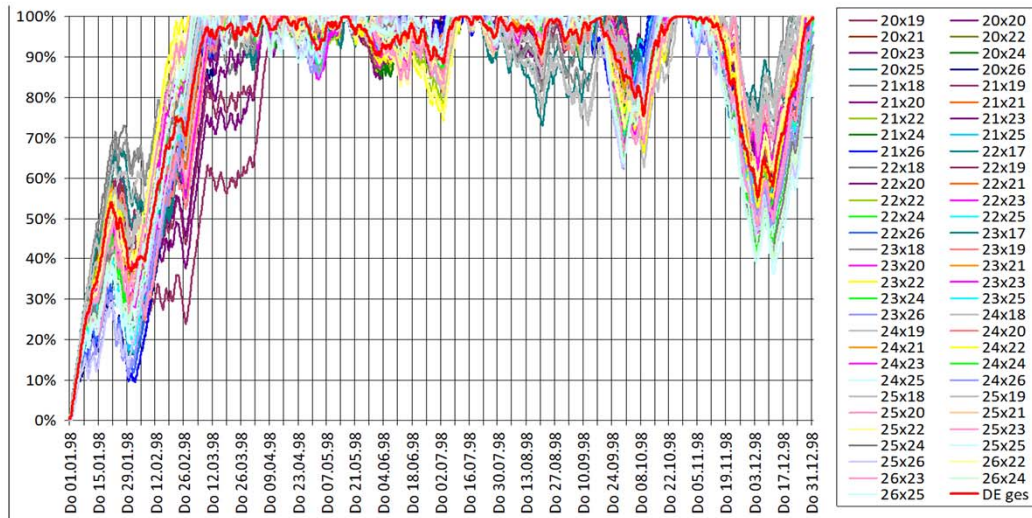
(C) Prof. Dr.-Ing Matthias Popp, Technische Hochschule Nürnberg

54

Auch hier würde ein Fernübertragungsnetz, mit dem maximal 50% der landesweiten Last auf große Entfernungen übertragen werden kann, nur zu einer geringfügigen Erhöhung des regionalen Speicherbedarfs führen.

Pumpspeicher Ladezustand, regionale Autarkie

Annahmen: 30% Erzeugungsreserve, 10% Grundleistung, 120% volatile Erzeugung mit Wind und Sonne, 20 Tagesladungen Speicherkapazität, Start mit leeren Speichern, reale Wetterdaten beispielhaft von 1998



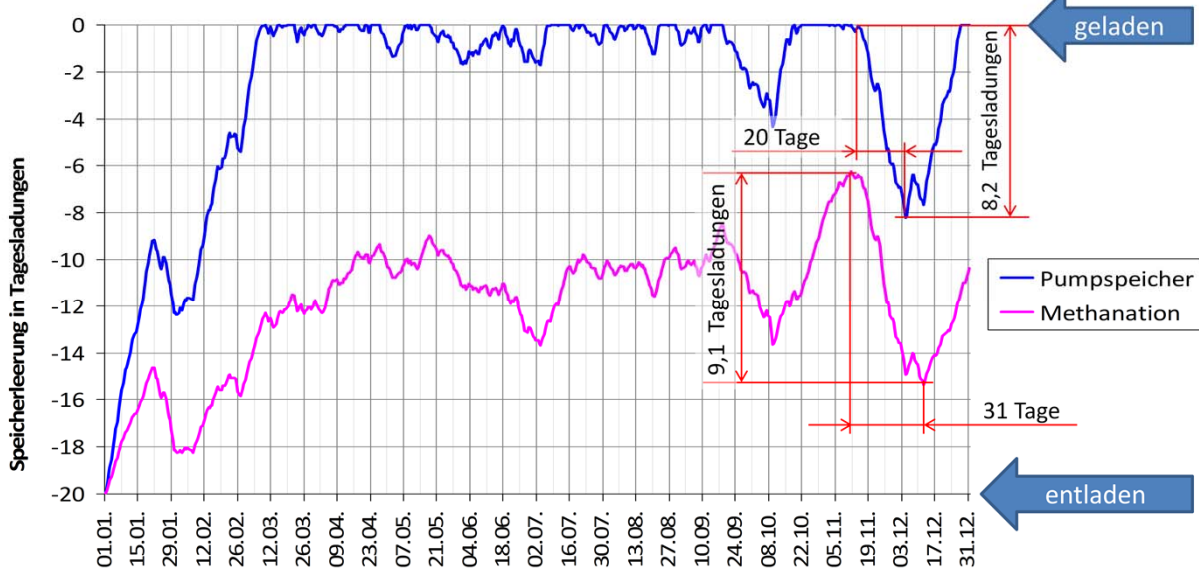
Speicher Ladezustand für alle Rastergebiete Deutschlands
Bedarfsorientierter Ausbau mit 80%/20% Mix von Wind und Sonne, Speichern mit 38% Wirkungsgrad, 50% Wind-Benutzungsgrad, **keine Fernübertragungsleistung (nur Theorie, da Leitungsnetz existiert)**

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

55

Selbst wenn theoretisch überhaupt keine Fernübertragung elektrischer Leistung vorgesehen wäre, würde der Speicherbedarf zur Überbrückung der Flauten denjenigen bei besten Übertragungsbedingungen um gerade einmal 20% übersteigen.

Speichernutzung bei Systemen mit niedrigem und hohem Wirkungsgrad bei üblichen deutschen Wetterverhältnissen



76% | 38% Speicherwirkungsgrad | bezogen auf den Verbrauch 100% Erzeugung aus bedarfsgerecht über das Land verteilter Windenergie mit 50% Benutzungsgrad, kombiniert mit 20% Solarenergie und 10% regenerativer Grundleistung z.B. aus Laufwasser, Biomasse, Geothermik | Stromnetz bei dem 50% des landesweiten Verbrauchs fernübertragen werden kann.

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

56

Längere Schwachwindphasen definieren die zukünftige Herausforderung an Speichersysteme und nicht mehr der Kurzausgleich zwischen Tag und Nacht.

Bei entsprechend lang anhaltenden großräumigen Wetterbedingungen können weder ein leistungsstarkes Übertragungsnetz noch Lastmanagement mit kurzzeitigen Lastverschiebungen den Fehlbedarf ausgleichen.

Wenn nicht ein leistungsstarker konventioneller bedarfsgerecht anforderbarer Kraftwerkspark in ständiger Einsatzbereitschaft gehalten werden soll, benötigt man Speichersysteme, die über die erforderlichen Kapazitätsreserven verfügen.

Sobald entsprechende Speichersysteme aber zur Verfügung stehen, entfällt bei geeigneter regionaler Verteilung der Erzeugungssysteme sowohl der Bedarf für hochgerüstete Fernübertragungsnetze als auch für Lastmanagement und für Kurzzeitspeichersysteme, sofern diese nicht anderweitigen Aufgaben zur Netzstabilisierung dienen.

Das alles können dann die Langzeitspeicher mit erledigen.

Fernübertragungsleistung wird zunehmend erforderlich, wenn von einer bedarfsorientierten Verteilung der Erzeugungsanlagen abgewichen wird. Gleichzeitig ist dabei mit einem erhöhten Speicherbedarf zu rechnen, weil damit die Möglichkeit des großräumigen Volatilitätsausgleichs tendenziell abnimmt (*siehe potentialorientierter Ausbau im Anhang*).

Die örtliche und regionale Leistungsübertragung zwischen dezentralen Erzeugungsorten und Speichersystemen muss auf alle Fälle gelöst werden.

Diese Zusammenhänge sollten bei heutigen Investitionsentscheidungen in zukünftig ggf. weniger ausgelastete Systeme berücksichtigt werden.

Speicher - Anforderungen und Systeme

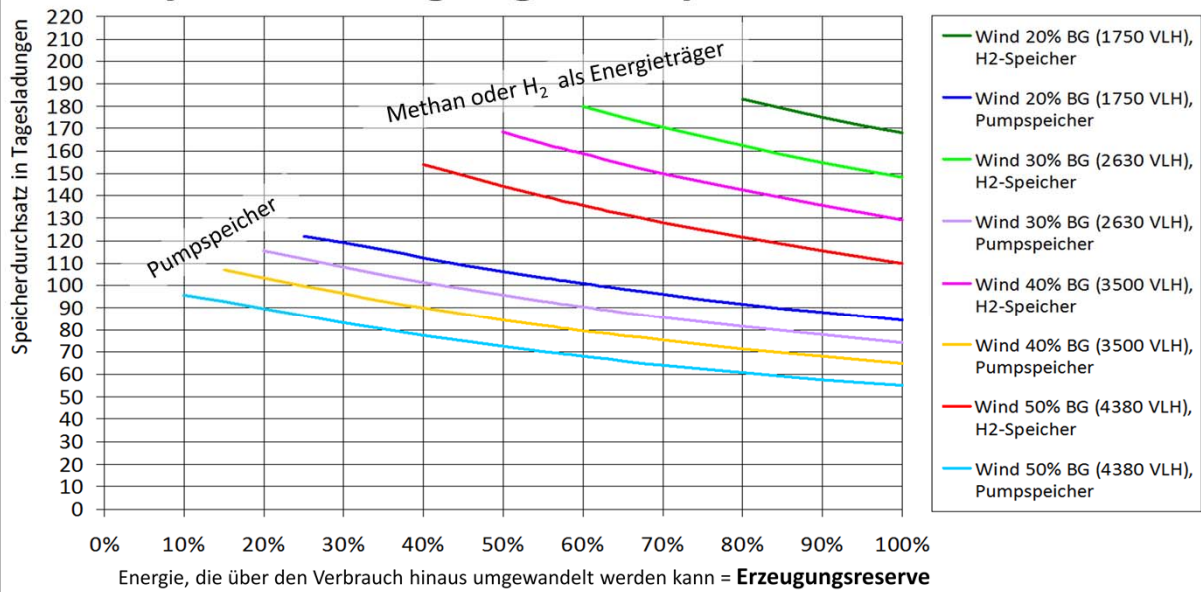
Speicherdurchsatz

Speicherkapazität

Speichersysteme

- **Gasspeicher (Wasserstoff, Methan)**
- **Druckluftspeicher**
- **Pumpspeicher und Ringwallspeicher**

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.

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

58

Der **Speicherdurchsatz** ist die pro Jahr im Durchschnitt benötigte Energie, um die Speicher nach allen Entladungsphasen immer wieder aufzuladen.

Energie für Verluste, die bei einem Speicherprozess anfällt, braucht bei wirkungsgradstarken Speichern nicht erzeugt werden.

Wirkungsgradschwache Speichersysteme würden unter den angenommenen Randbedingungen nahezu einen halben Jahresverbrauch als Speicherdurchsatz erfordern, um nach Flaute-Phasen immer wieder aufgeladen zu werden.

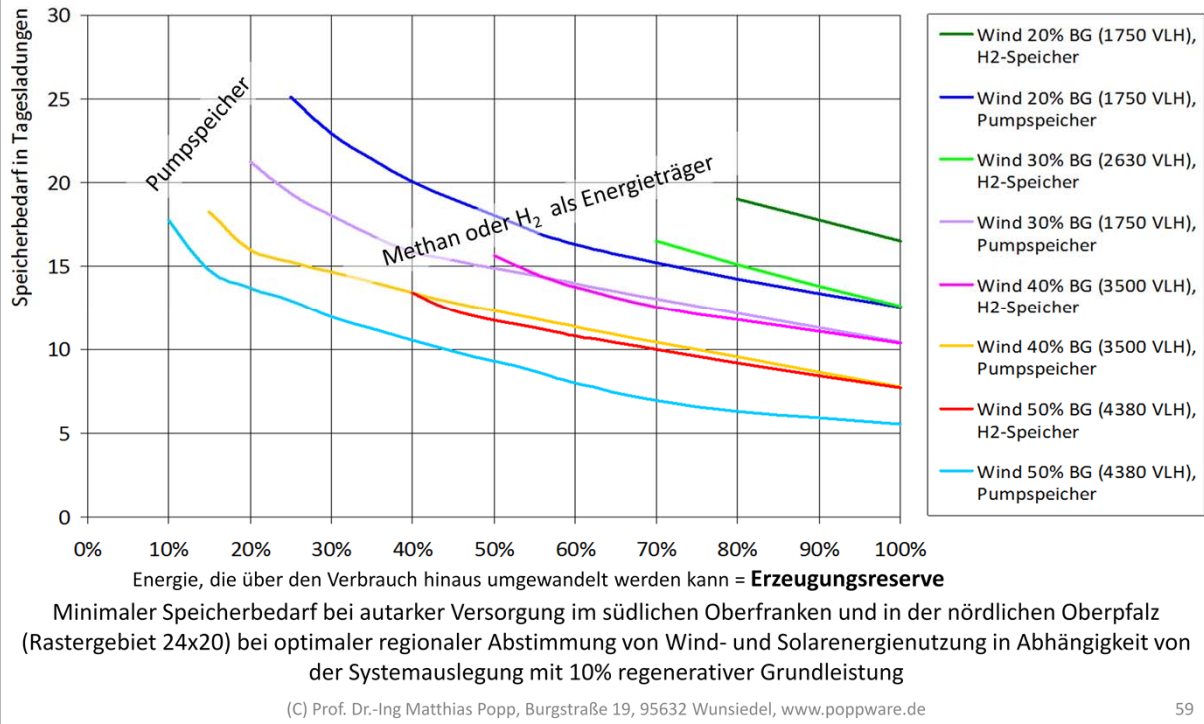
Mit wirkungsgradstarken Speichern ließe sich dieser Wert auf ca. einen viertel Jahresverbrauch reduzieren, der in hohem Maße zeitversetzt wieder abgerufen wird.

Der Unterschied resultiert aus den Speicherverlusten aufgrund des schlechteren Wirkungsgrads.

Um überhaupt ein stabiles Versorgungssystem zu erreichen, erfordern wirkungsgradschwache Speicher und ein ungünstig ausgelegter Erzeugungspark deutlich höhere Erzeugungsreserven, als optimale Systemauslegungen.

Neben der Akzeptanzgewinnung handelt es sich bei den zur Wahl stehenden Speichertechnologien, dem Netzausbau und der Verteilung und Auslegung der Erzeugungsanlagen auch um eine wirtschaftliche Frage, welche Systemlösung bei ganzheitlicher Betrachtung die attraktiveren Entwicklungskorridore eröffnet.

Systemauslegung und Speicherbedarf



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

Die Speicherkapazität ergibt sich aus der im Langzeitbetrieb zu erwartenden größten Speicherleerung.

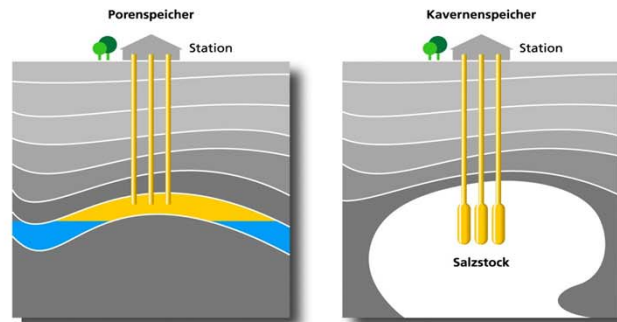
Die Kennlinien zeigen unter der Annahme eines jeweils optimal auf die regionalen Verhältnisse abgestimmten Energiemix, das Minimum an vorzuhaltender Erzeugungsleistung und die größten zu erwartenden Speicherleerungen.

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

Erdgasspeicher

Erdgasspeicher in Deutschland im Jahr 2011:

- Gesamtes Speichervolumen ca. 35.000 Mio. $\text{m}^3 V_n$
- Maximale Arbeitsgaskapazität ca. 20.800 Mio. $\text{m}^3 V_n$
- Energiegehalt von Erdgas ca. $10 \text{ kWh} / \text{m}^3 V_n = 10 \text{ GWh} / \text{Mio. m}^3 V_n$
- Energiespeicherkapazität ca. 208 TWh
- Verstromungswirkungsgrad (GuD) ca. 60%
- **Stromspeicherkapazität** ca. **125 TWh**, das entspricht ca. **87 Tagesladungen** des durchschnittlichen Strombedarfs Deutschlands

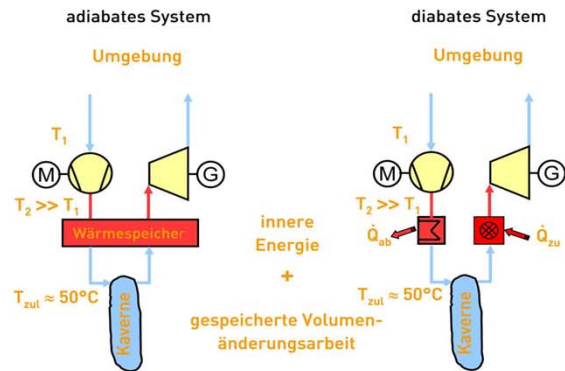
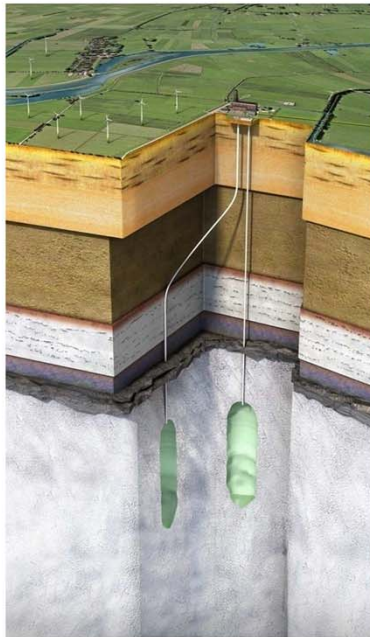


Wegen des immensen Speicherbedarfs, der mit dem weiteren Ausbau der erneuerbaren Stromversorgung auf uns zukommt, wird stark über Alternativen zu der bewährten und technisch ausgereiften Pumpspeichertechnik nachgedacht, mit Wasserstoff oder Erdgas als Energieträger.

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

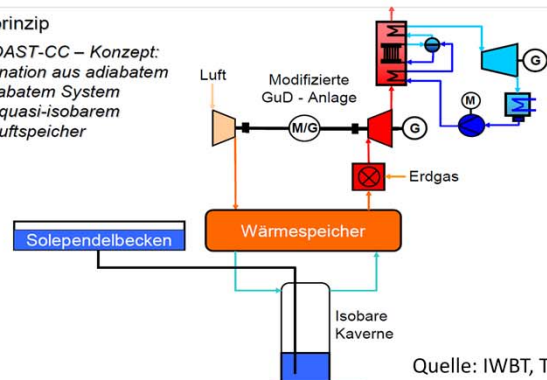
Im Gegensatz zur Pumpspeichertechnik entstehen dabei aber erheblich höhere Verluste und die technische Entwicklung der dazu erforderlichen Systeme steckt noch in den Kinderschuhen.

Druckluftspeicher



Grundprinzip

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



Quelle: IWBT, TU-BS

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

61

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.

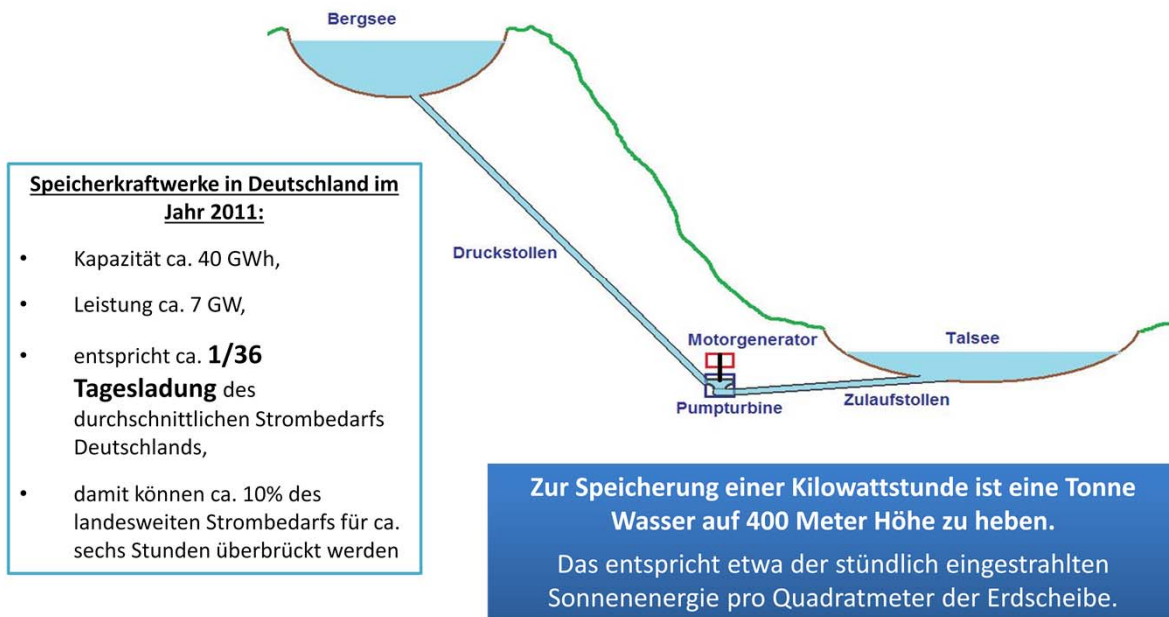
Bei einem bedeutenden Ausbau dieser Technik käme es zu einer Nutzungskonkurrenz mit den Erdgasspeichern.

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



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.

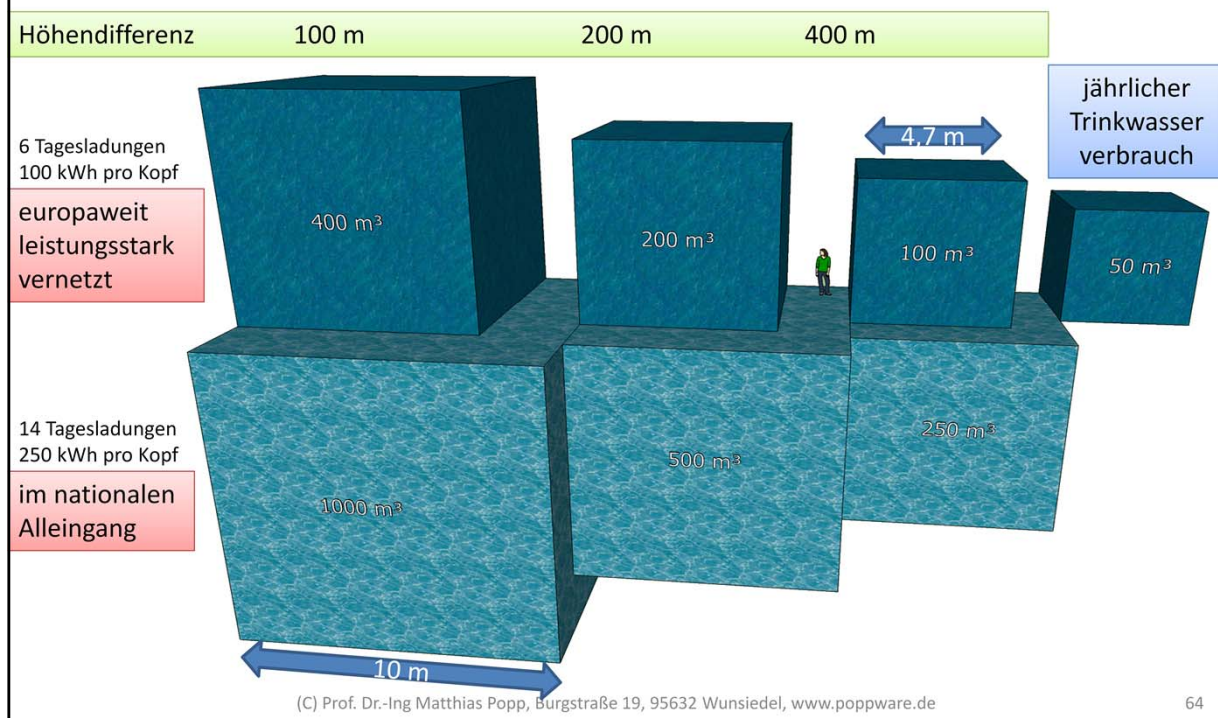
Die Leistung dieser Systeme müsste jedoch lediglich beim etwa 13-fachen von heute liegen.

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 entladenen 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

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 66

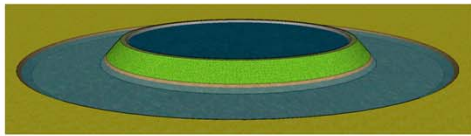
Die landesweit zu schaffenden Wasserflächen zur Energiespeicherung wären marginal im Vergleich zu vielen anderen Landnutzungen.

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

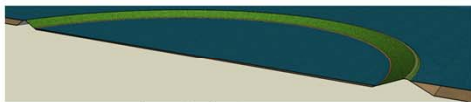
All diese Überlegungen führen zum Vorschlag des Ringwallspeichers.

Ringwallspeicher

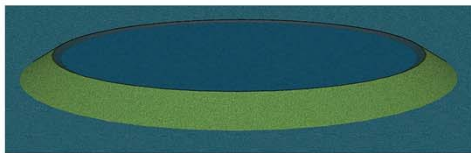
als geotechnische Option zur Schaffung großer Speicherkapazitäten



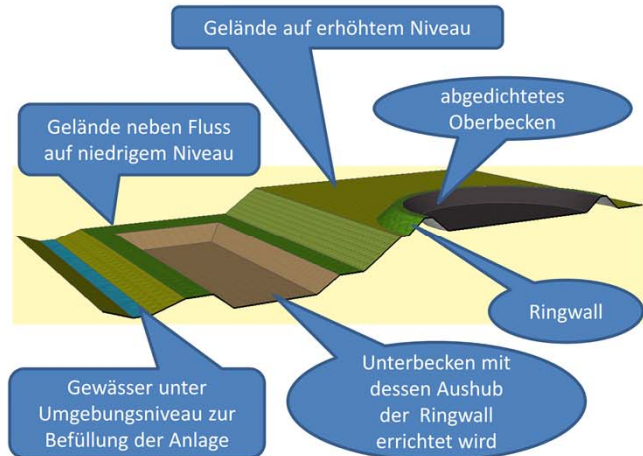
für das „flache Land“



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.

Ringwallspeicher 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 nachfolgende 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

68

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 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

69

Derartige Wasserflächen gibt es.

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

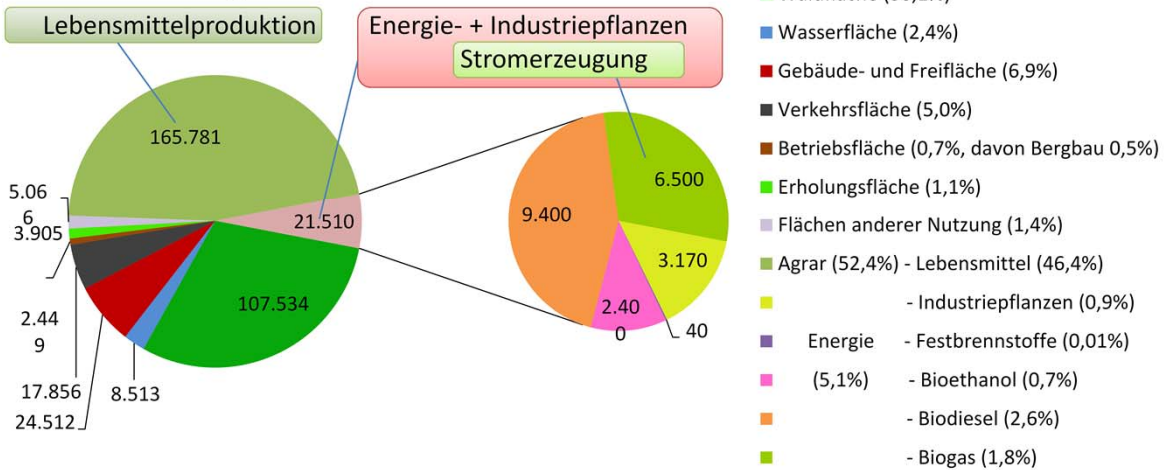
Als ich im Jahr 2008 diese Bilder machte, betrug die Absenkung etwa 20 Meter. An diesem Tag ging es noch einmal um mehr als einen Meter nach unten.

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



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

70

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 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 der von Biomasse.

Wo Biomasse 40 MW Leistung bereitstellen kann, könnten Ringwandspeicher 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



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

Landschaftseingriffe größeren Ausmaßes als für Ringwallspeicher sind in Deutschland Realität.

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

73

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.

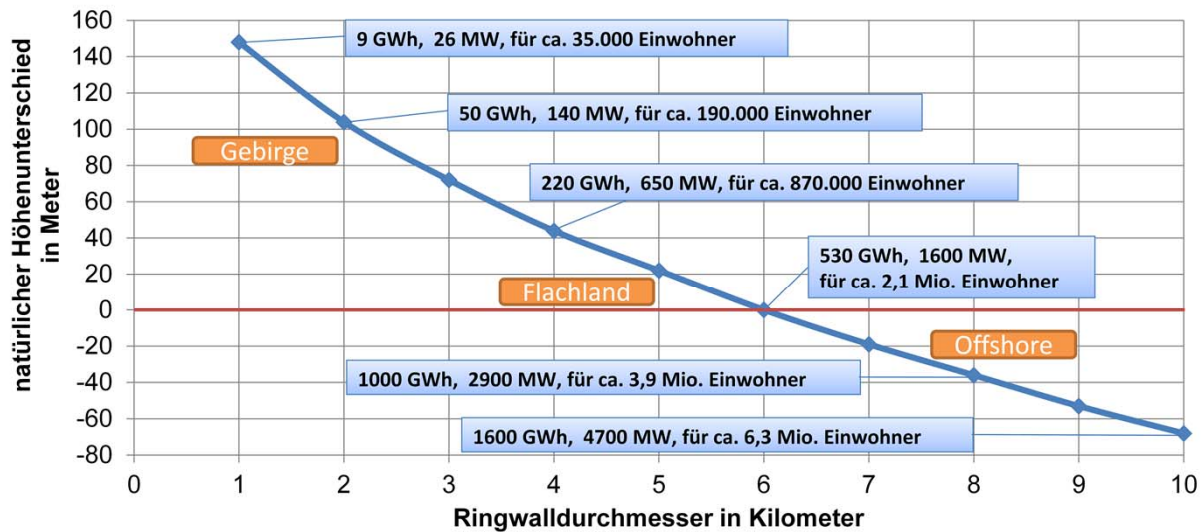
Dafür besteht auch keine Notwendigkeit.

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.

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

76

Dämme verschlingen das größte Bauvolumen im Fußbereich.

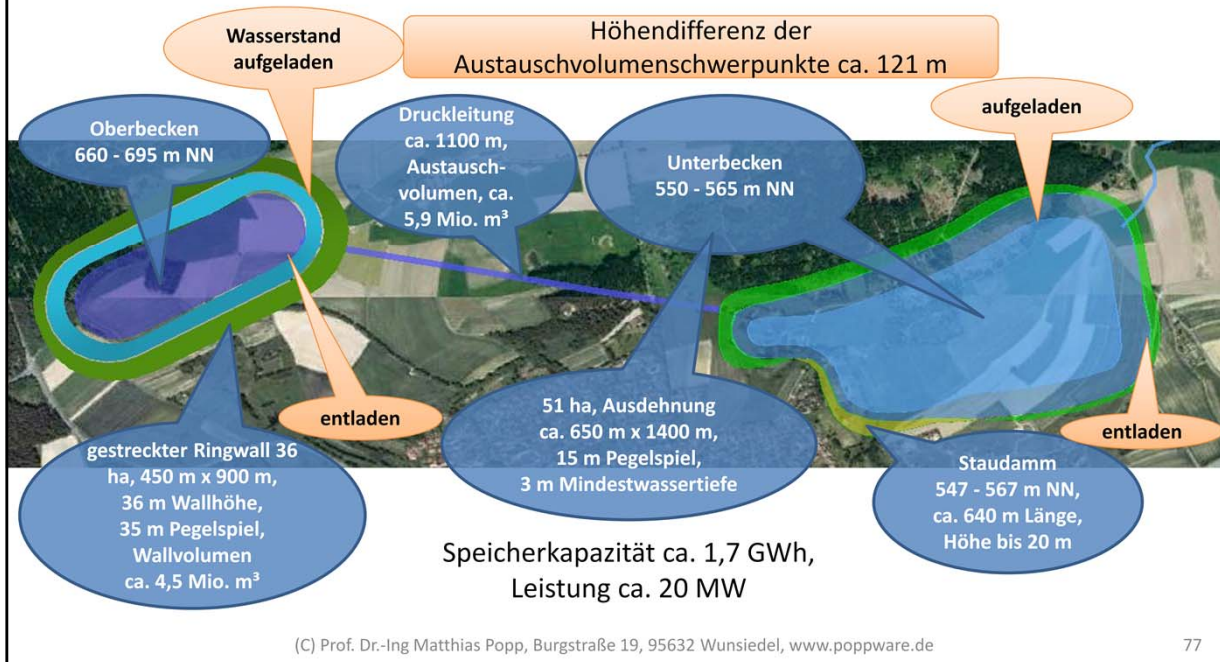
Bereits geringe Höhenunterschiede, bei denen man kaum an die Errichtung eines klassischen Pumpspeicherkraftwerks denken würde, ermöglichen die Errichtung von Ringwallspeichern.

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 Speicher 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.

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 m² Solarmodulfläche und beispielsweise ca. 40 m² 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 Deutschlands mit Biomasse pro Einwohner ca. 2200 m² oder nahezu die Hälfte der Landesfläche 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 Information und Willensbildung und die Schaffung geeigneter rechtlicher und betriebswirtschaftlicher Rahmenbedingungen, welche die erforderlichen Investitionen in Gang bringen.

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



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

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.