

Anhänge

- I. Wechselwirkungen zwischen Erzeugung, Netzausbau und Speicherbedarf (27 Folien, 52 -77)
- II. Benutzungsgrad von Windenergieanlagen (4 Folien, 78 - 81)
- III. Speicherbedarf einer bedarfsgerechten Stromversorgung in Abhängigkeit von Erzeugung, länderübergreifender Kooperation und Speichersystemen (1 Folie, 82)
- IV. Herausforderung der Transformation (3 Folien, 83 - 85)
- V. Ideale und reale Transformation des Energiesystems (13 Folien, 86 - 98)
- VI. Energiesystem in Deutschland vor der Energiewende 2010 (1 Folie, 99)
- VII. Potentialorientierter Ausbau der regenerativen Energiesysteme (2 Folien, 100 - 101)

Wechselwirkungen zwischen Stromnetzausbau, Speichertechnologie und Bedarf an Energieumwandlungsanlagen einer regenerativen Stromversorgung Deutschlands

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

52

Die nachfolgend angewandte **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.

Umgang mit regionalen Überschüssen und Defiziten

Verwendung

regionaler Erzeugungsüberschüsse

1. Regionaler Eigenverbrauch
2. Export zum direkten Verbrauch in Defizitgebiete
3. Aufladung der eigenen regionalen Speichersysteme
4. Aufladung von Speichersystemen in entfernten Gebieten
5. Abregelung nicht nutzbarer Überproduktion (Erzeugungsmanagement)

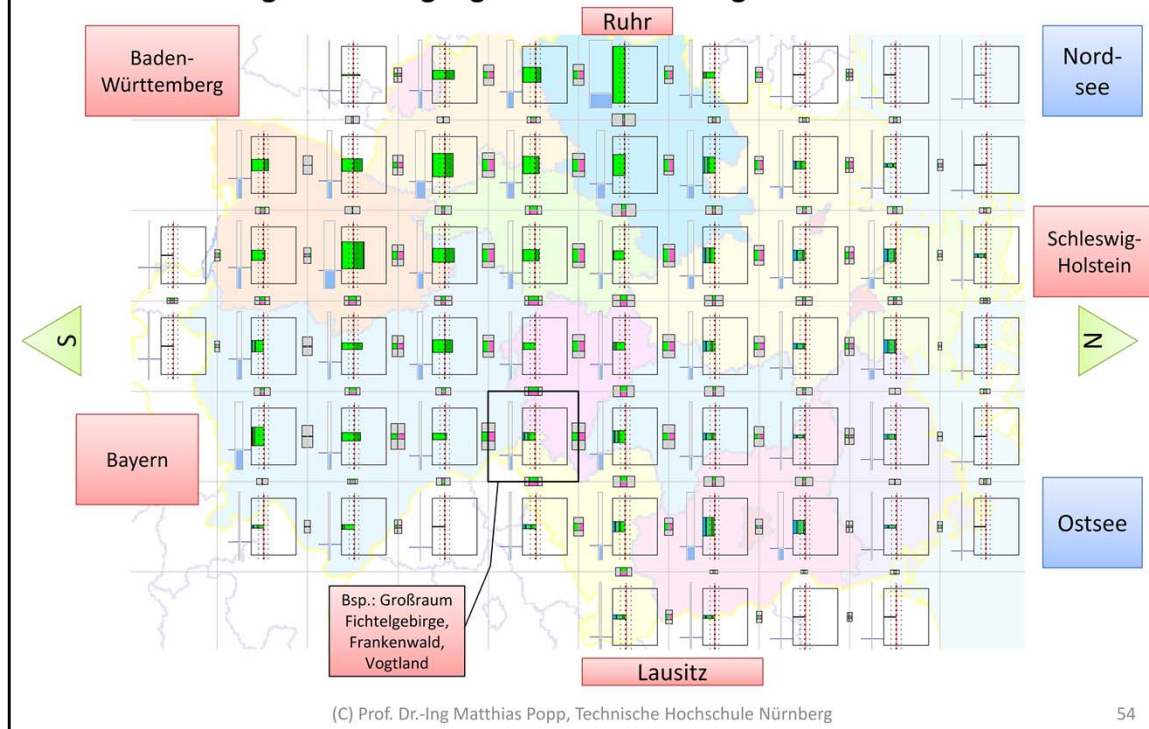
Deckung

regionaler Erzeugungsdefizite

1. Vollständige Nutzung der unzureichenden Eigenproduktion
2. Import von Erzeugungsüberschüssen aus entfernten Gebieten
3. Entnahme aus den eigenen Speichersystemen
4. Entnahme aus Speichersystemen entfernter Gebiete
5. Lastabwurf (Lastmanagement)

Zeitschrittanalyse

Darstellung der Versorgungssituation einer Region im Gesamtkontext



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.

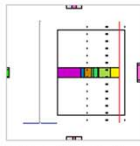
Je breiter der farbige Balken einer Region ausfällt, desto höher sind die dort statt findenden Leistungsumsätze. Spitzenreiter ist das Ruhrgebiet mit über sechs Millionen Einwohnern. Sowohl der Verbrauch als auch die Erzeugung können ursächlich für den maximalen Leistungsumsatz einer Region sein.

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

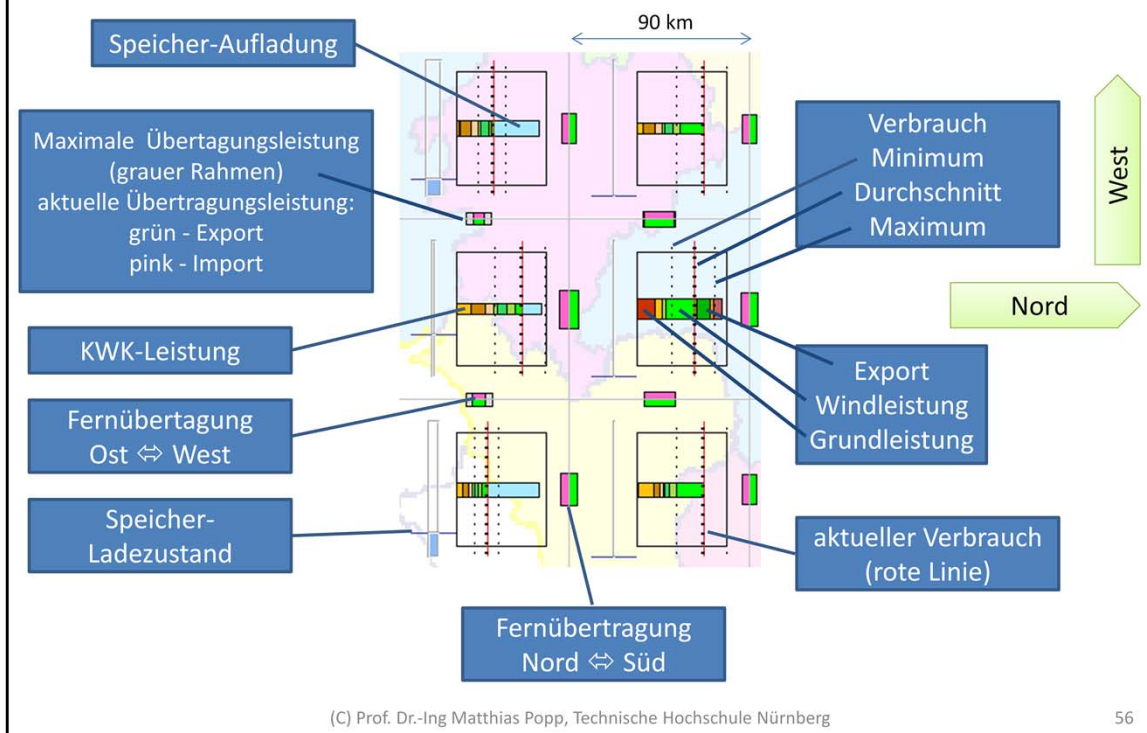
Lastabwurf	0,00 MW
bedarfsgerechter konventionelle Leistung aus Importen	607,64 MW
eigenerzeugte bedarfsgerechte konventionelle Leistung	0,00 MW
konventionelle Grundleistung zum Eigenverbrauch	0,00 MW
Kraft-Wärme gekoppelte Leistung zum Eigenverbrauch	0,00 MW
aus fremden Speichern importierte Leistung	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

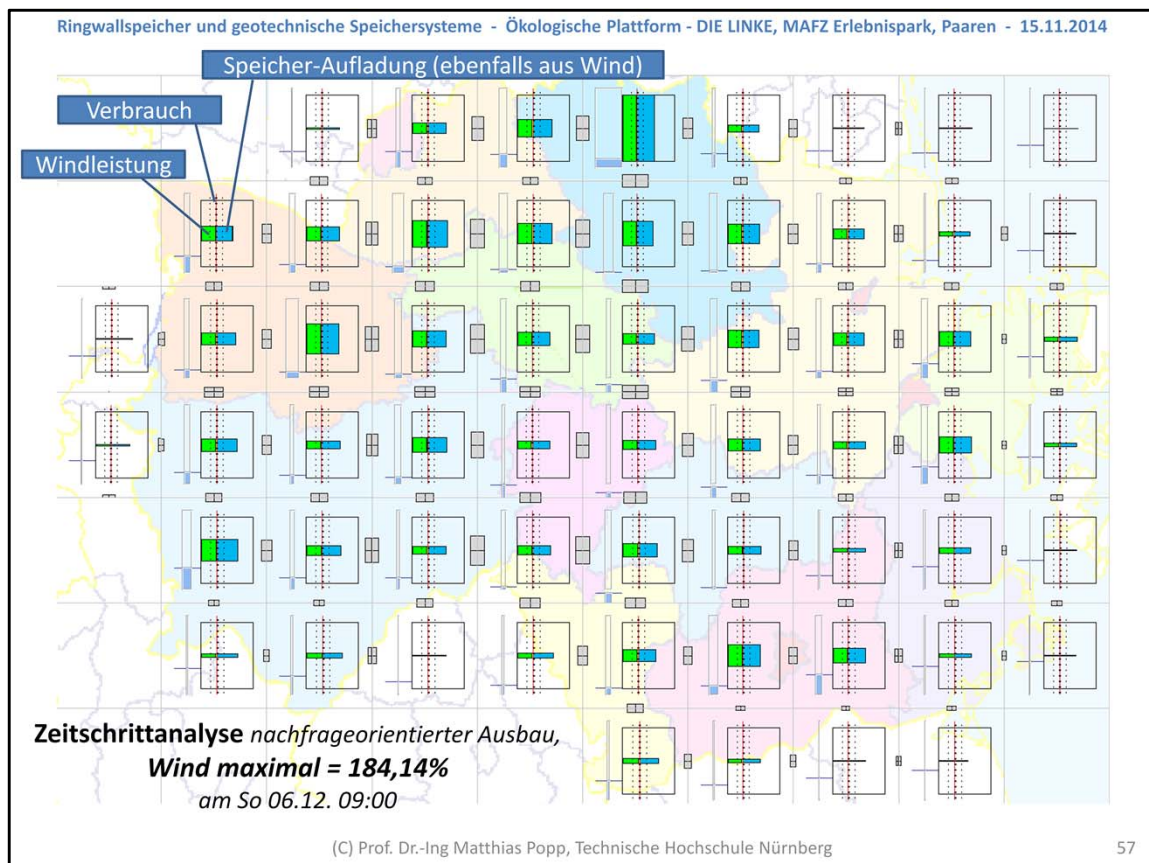
Überschussverwendung

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



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.



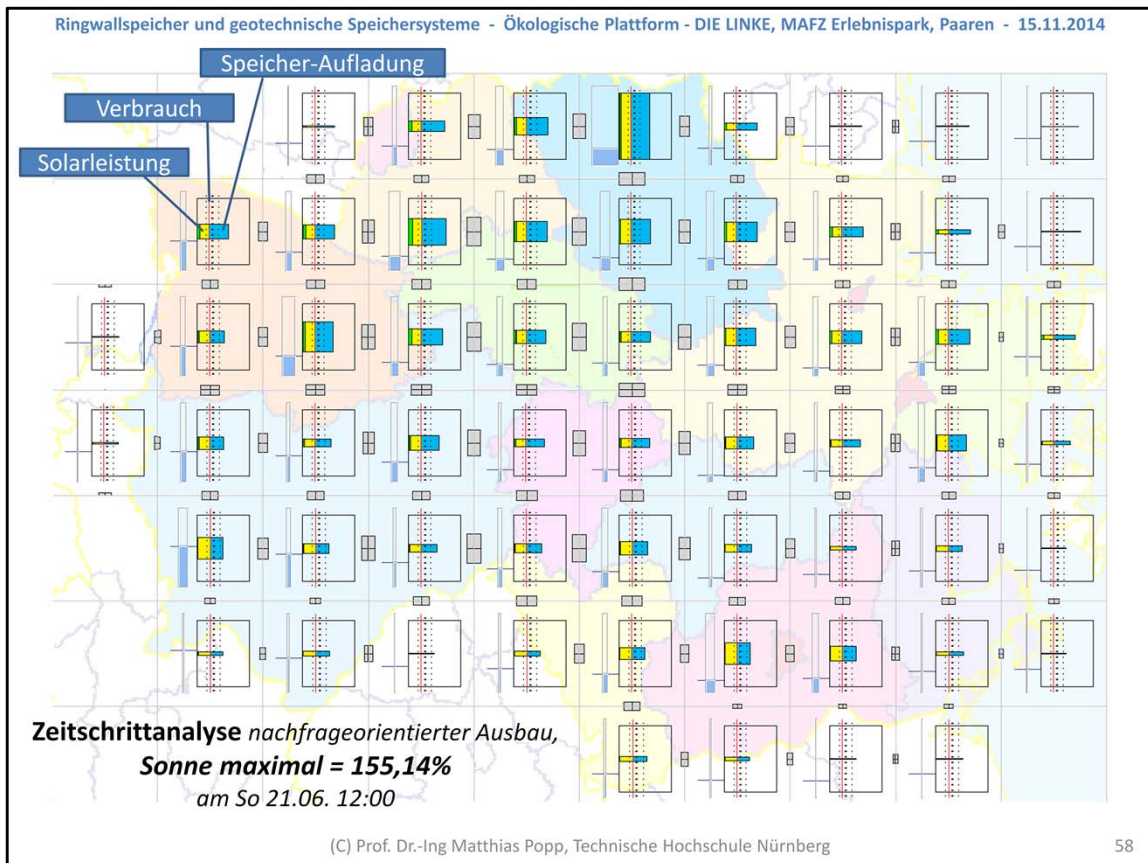
Extremwertanalysen gestatten es, gezielt Versorgungssituationen herauszufiltern, die besondere Systemanforderungen hervorrufen. Diese müssen jeweils beherrscht werden, wenn das Gesamtsystem in einem dauerhaft stabilen Zustand gehalten werden soll.

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.

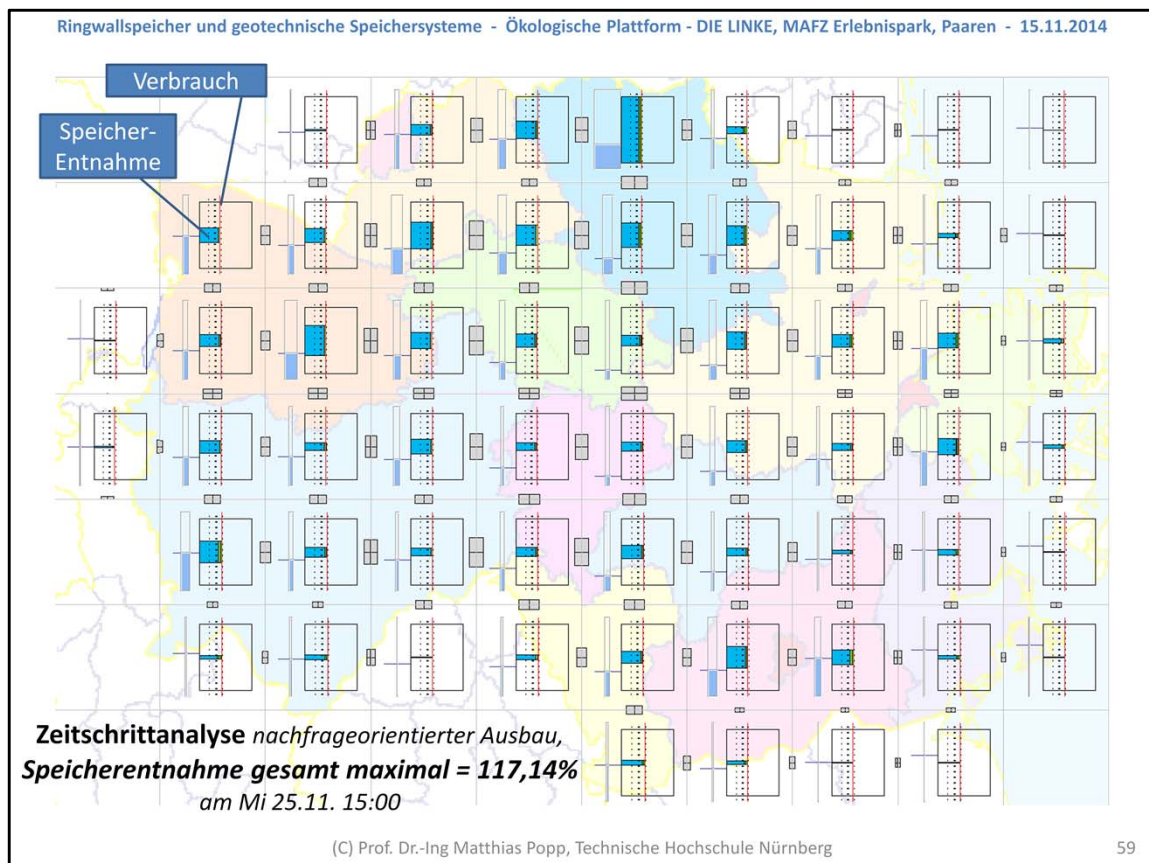
Weiter wird von einem sowohl in Nord-Süd als auch in Ost-West Richtung optimal ausgebauten Übertragungsnetz ausgegangen, mit dem temporär auftretende Überschüsse und Defizite ausgeglichen werden können.

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.

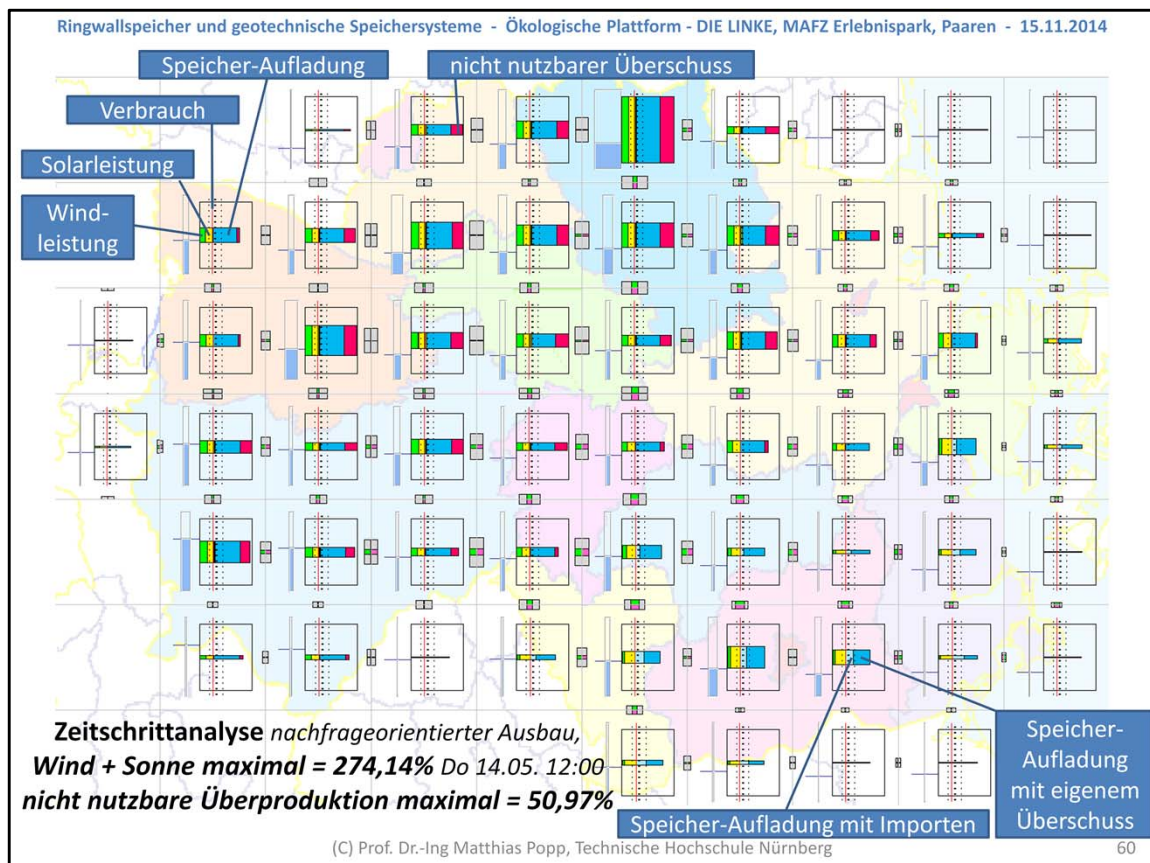
Wegen landesweiter Überschüsse findet auch hier keine großräumige Leistungsübertragung statt.



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.

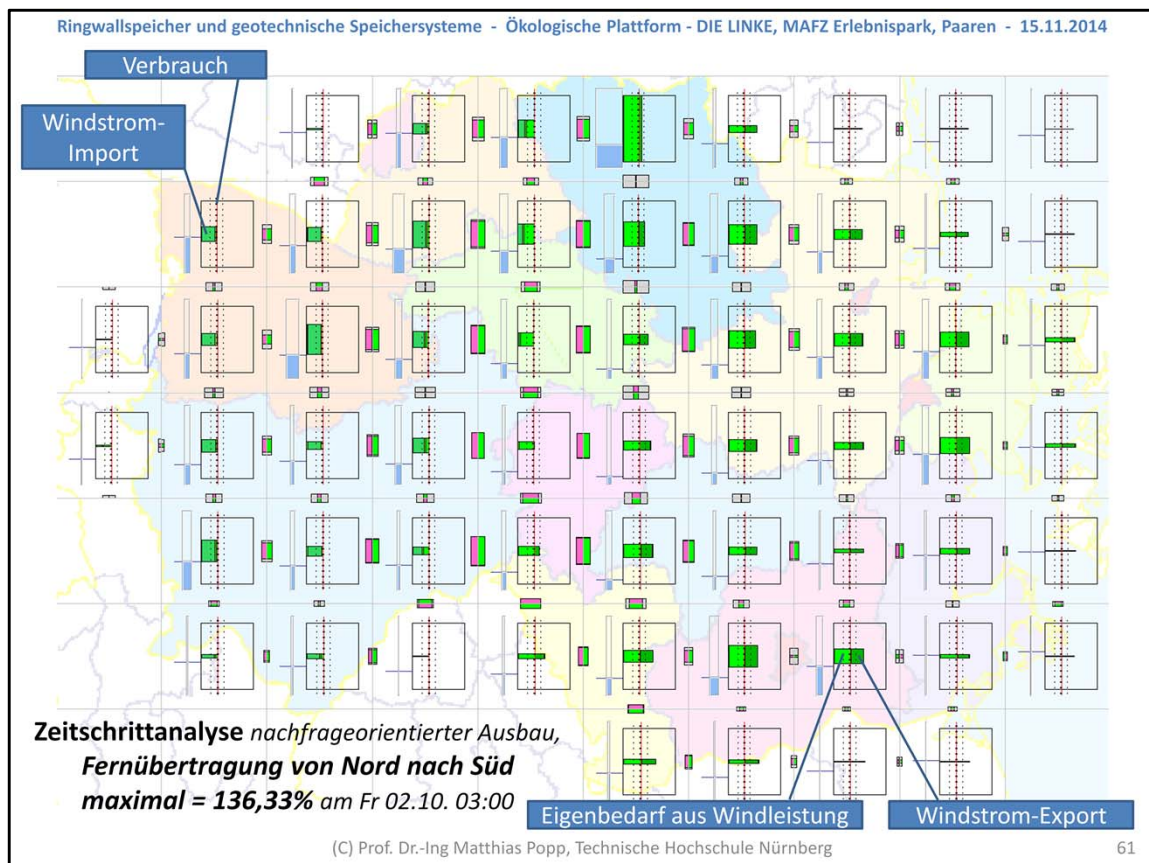
Dies würde auf ein weniger optimal ausgelegtes Versorgungssystem hindeuten.



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.

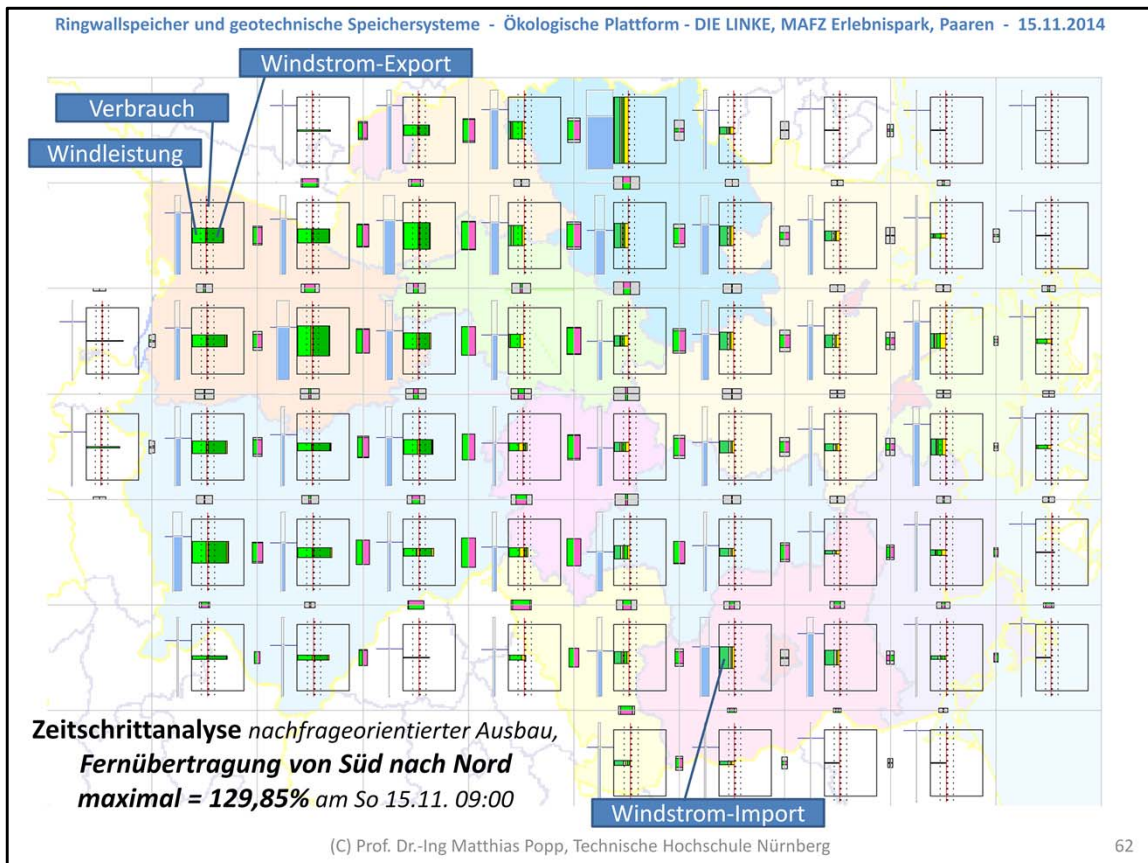
Mit Erzeugungsmanagement muss dafür gesorgt werden, dass der vorliegende Verbrauch plus die maximale Ladeleistung der Speichersysteme nicht überschritten werden.



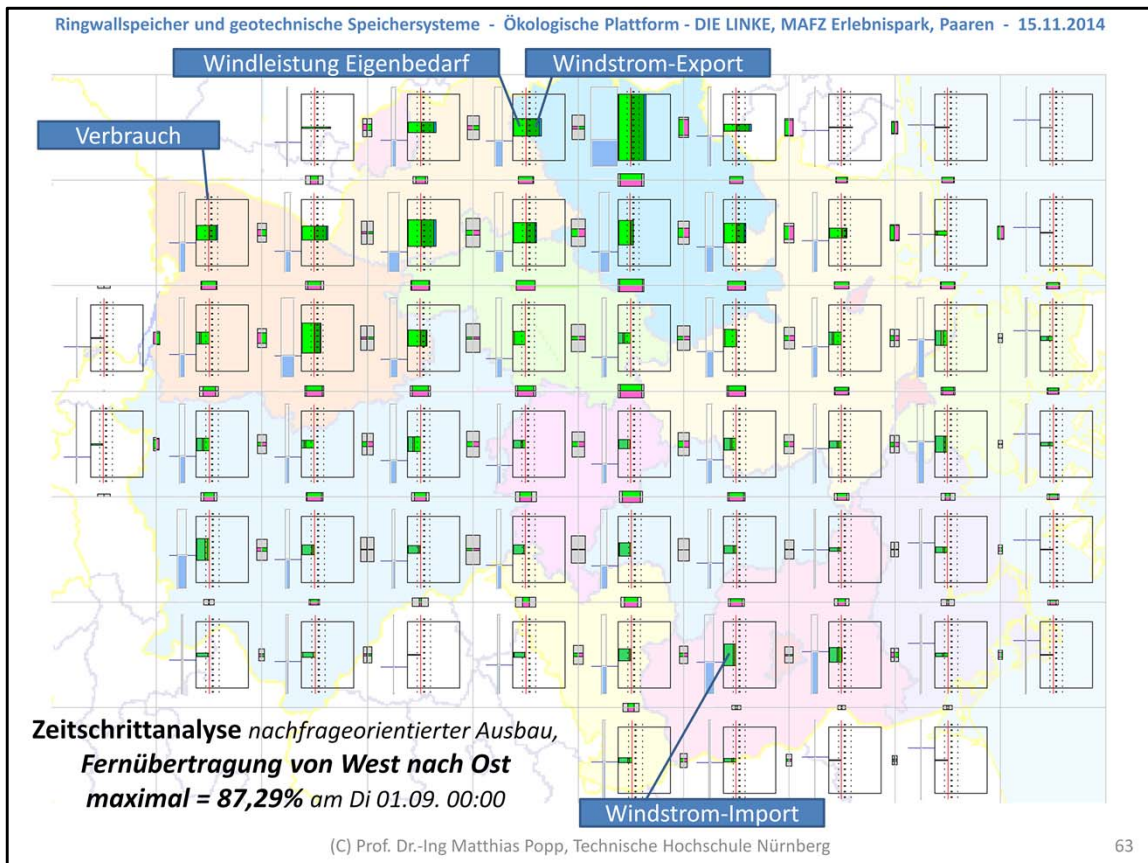
Es gibt aber auch Situationen, in denen in bestimmten Landesteilen besonders gute Erzeugungsbedingungen vorliegen, während andere Landesteile Defizite aufweisen.

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

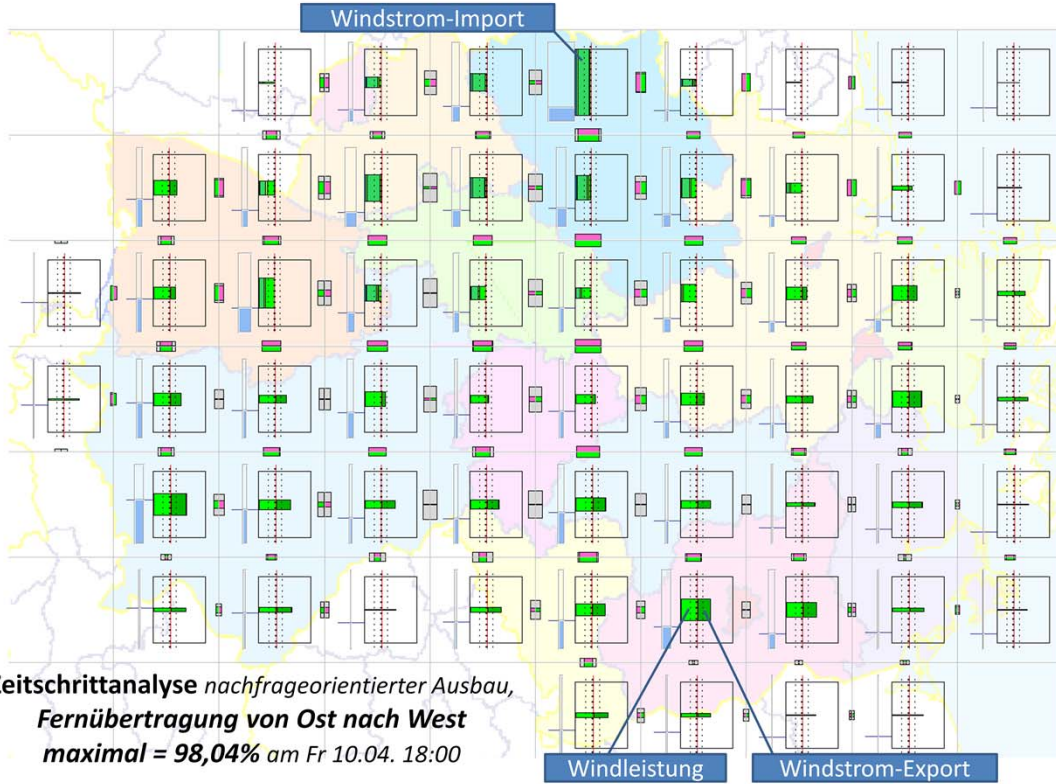
Je nach Lage der Hoch- und Tiefdruckgebiete kommt es dabei zu erheblichen Übertragungsleistungen vom Norden in den Süden, ...



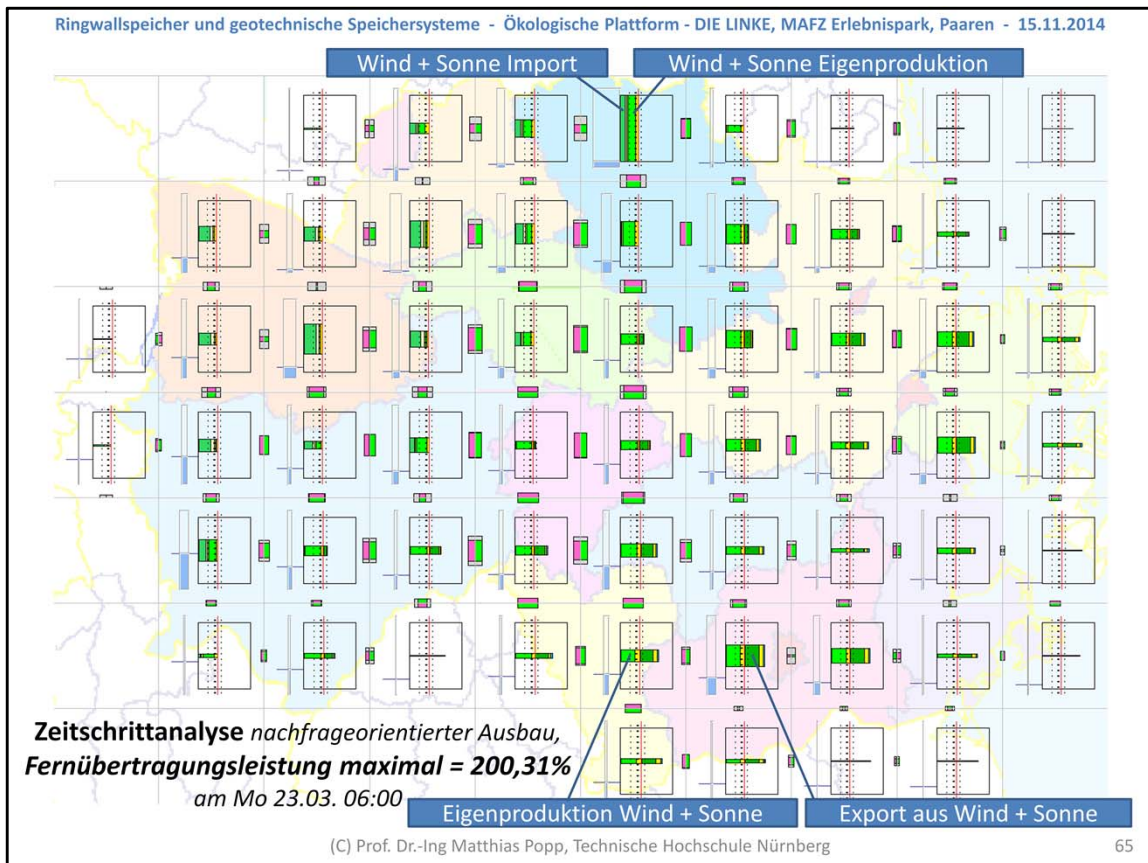
..., vom Süden in den Norden, ...



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



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



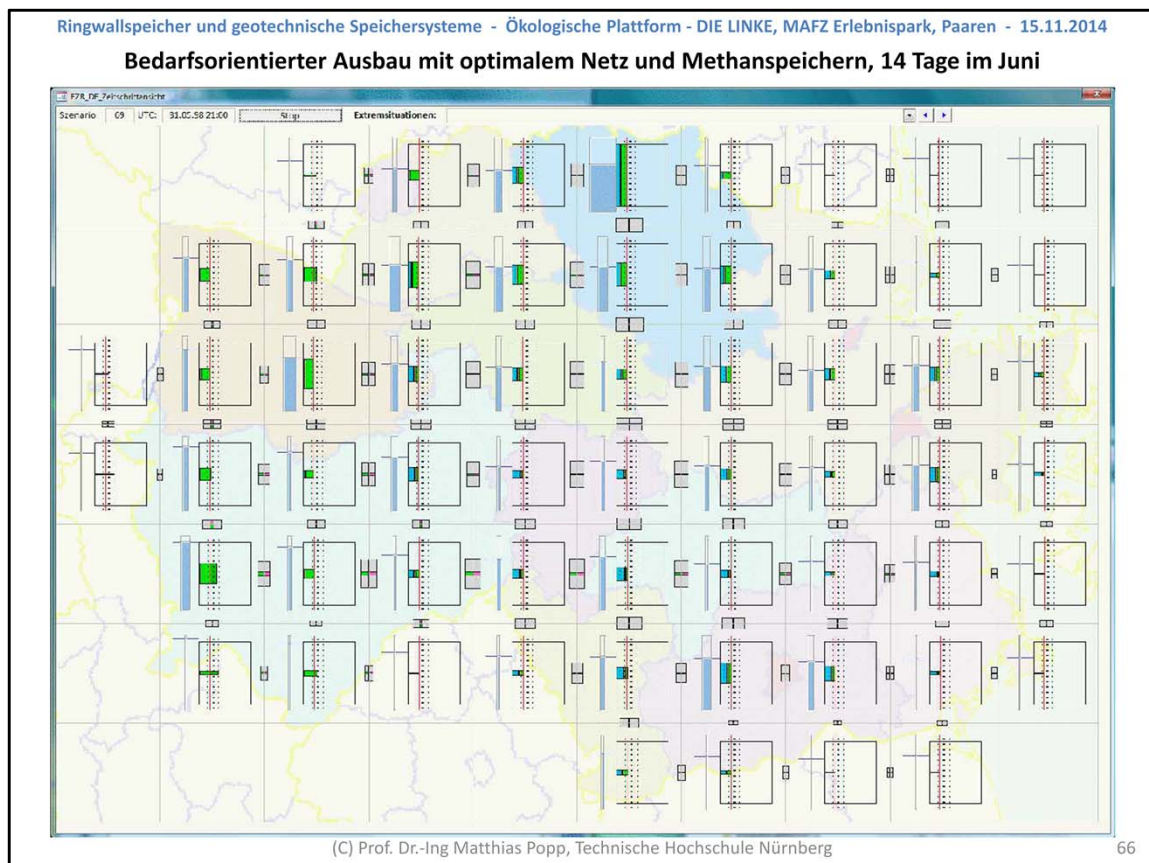
... oder vom Nordosten in den Südwesten oder umgekehrt.

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 in der übernächsten Folie die zugehörigen Speicherladungskurven eingeführt.



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:

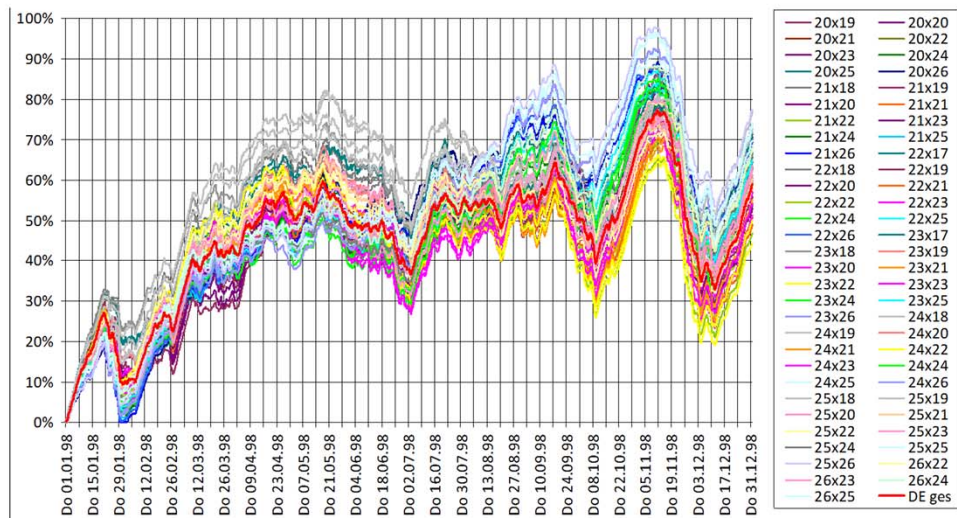
Der Ausbau erfolgt bevorzugt dort, wo die höchsten Energieerträge erwartet werden können. Solarenergie wird verstärkt im Süden, Windenergie verstärkt im Norden und im Meer vor der Küste ausgebaut. Das bedingt ganz besonders den Ausbau leistungsstarker Stromnetze.

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.

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

67

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.

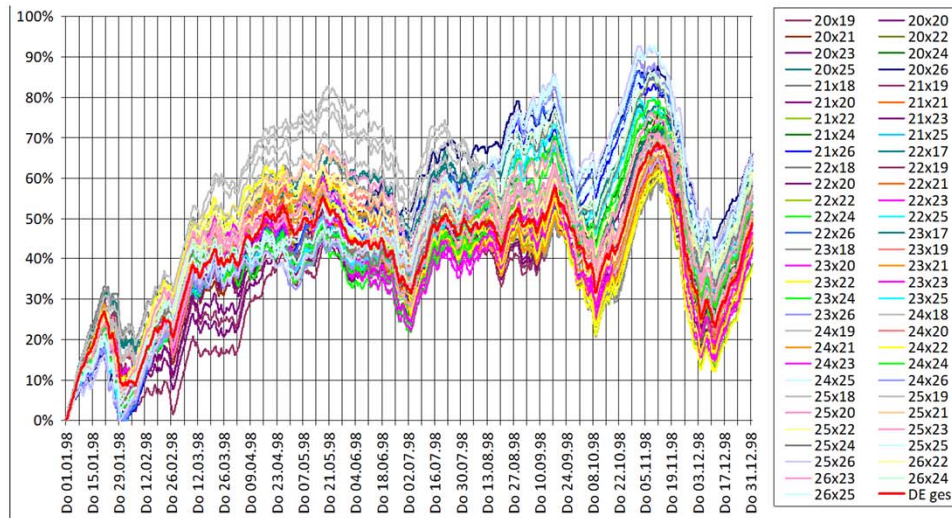
Eine wichtige Erkenntnis dieser Analyse mit realen Wetterdaten, ist die sehr ähnliche Volatilität des Energiewetters in allen Gebieten Deutschlands.

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

68

Die Speicherbewirtschaftung würde sich kaum verändern.

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

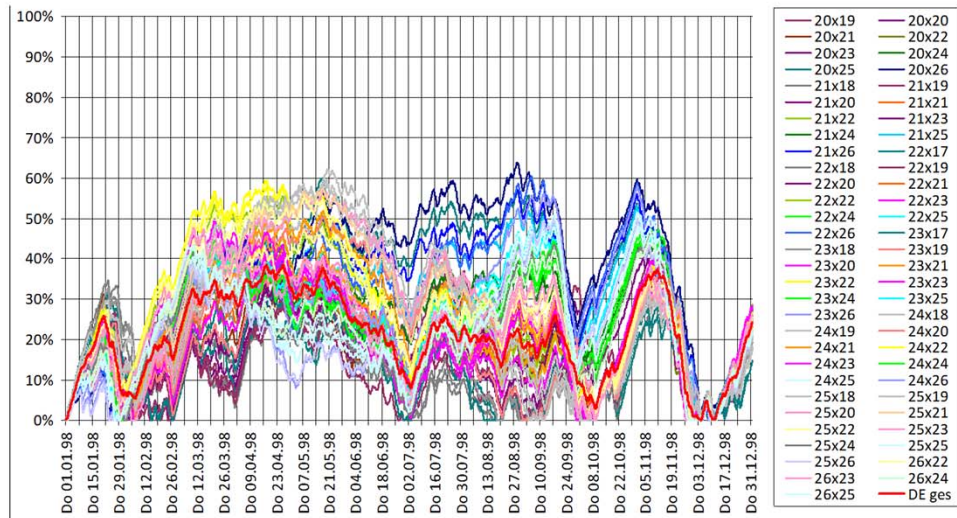
Bei gleichem Erzeugungspark wie vorher, wurden Stromnetze angenommen, die maximal 50% der durchschnittlichen Nachfrage übertragen könnten. Überregionaler Netzausbau müsste dafür im Vergleich zu heute kaum erfolgen.

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

69

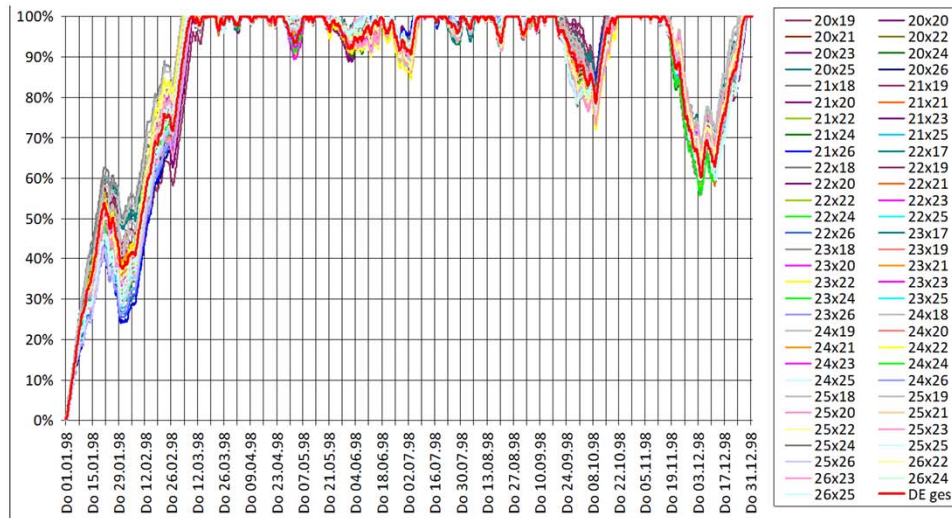
Die Speicher wären beinahe in der Lage gewesen, das gesamte Jahr über die volatile Erzeugung mit der Nachfrage zum Ausgleich zu bringen.

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

70

Würde der gleiche regenerative Erzeugungspark nicht über die vorher gezeigten wirkungsgradschwächeren Methanspeichersysteme, sondern über wirkungsgradstarke Pumpspeichersysteme ausgeglichen, dann würden sich die Speicher wegen der geringeren Wirkungsgradverluste deutlich schneller aufladen.

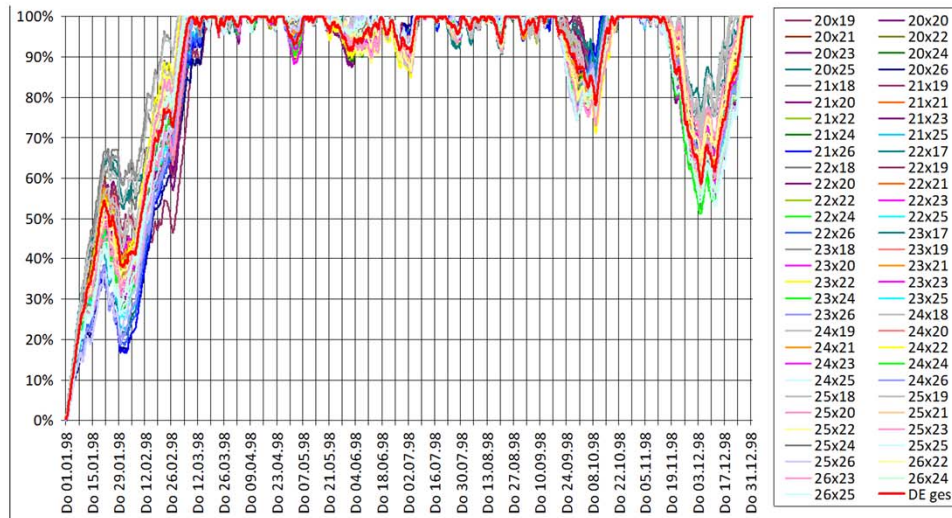
Die Speicherleerungen zur Überbrückung der Flauten würden aber in der gleichen Größenordnung anfallen.

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

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**

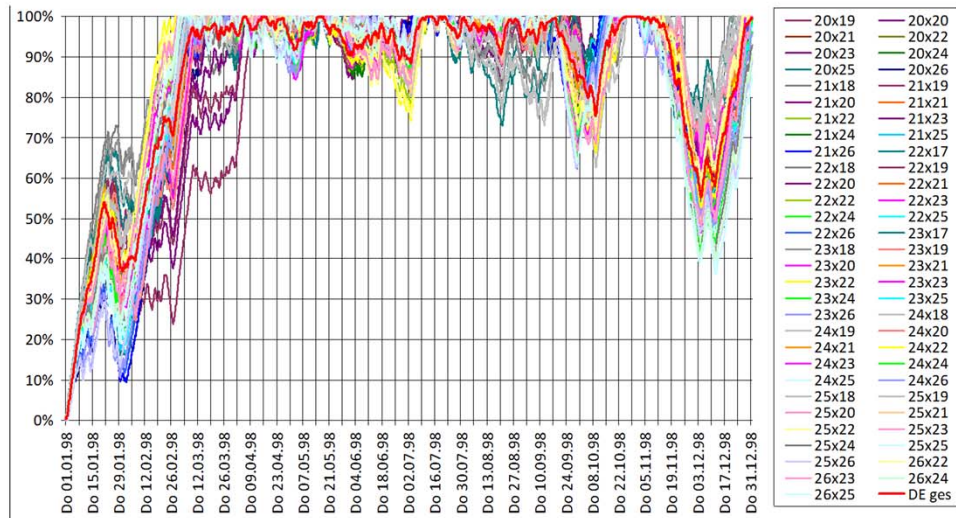
(C) Prof. Dr.-Ing Matthias Popp, Technische Hochschule Nürnberg

71

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

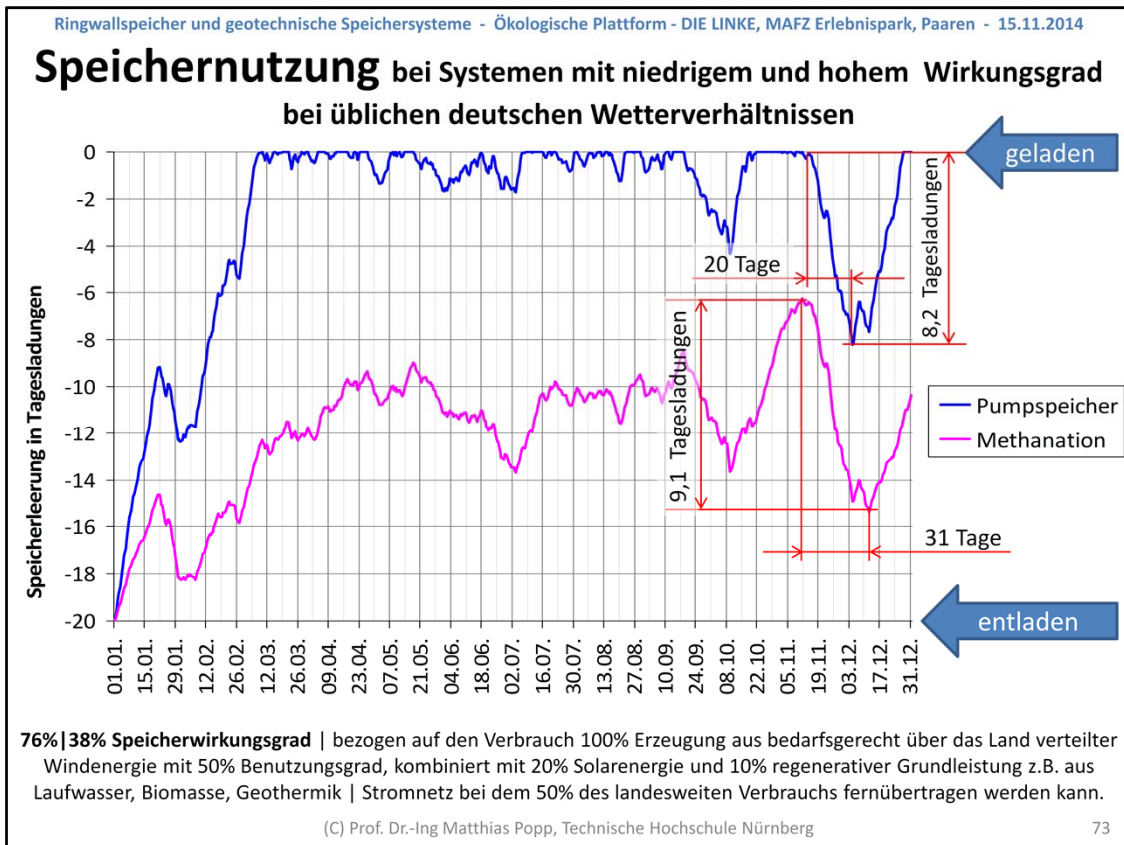


Speicher Ladezustand für alle Rastergebiete Deutschlands
 Bedarfsorientierter Ausbau mit 80%/20% Mix von Wind und Sonne, Speichern mit 76% Wirkungsgrad,
 50% Wind-Benutzungsgrad, **keine Fernübertragungsleistung (nur Theorie, da Leitungsnetz existiert)**

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

72

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.



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

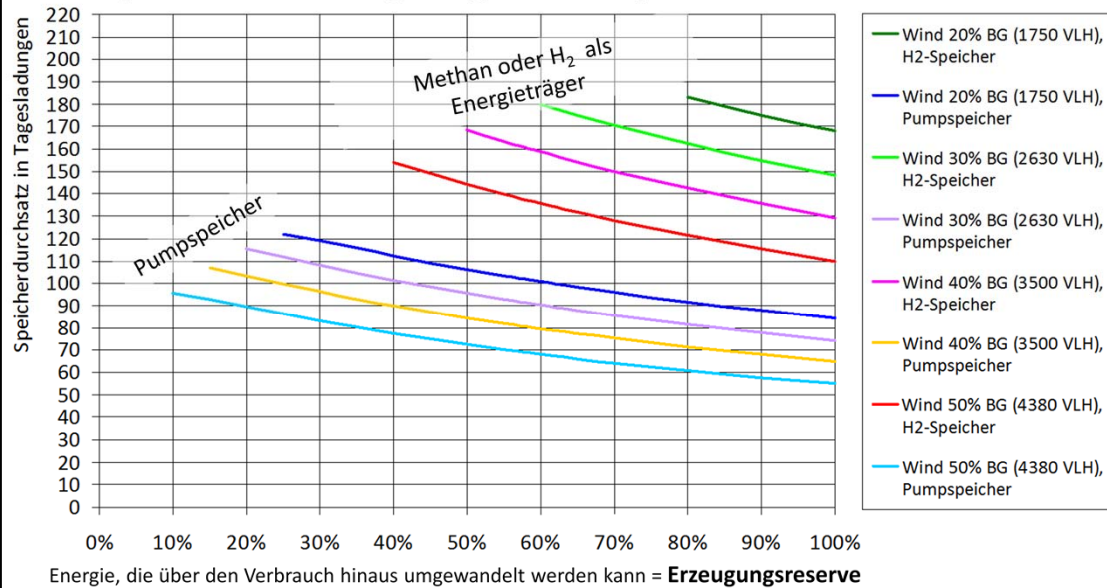
Speicherdurchsatz

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

75

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.

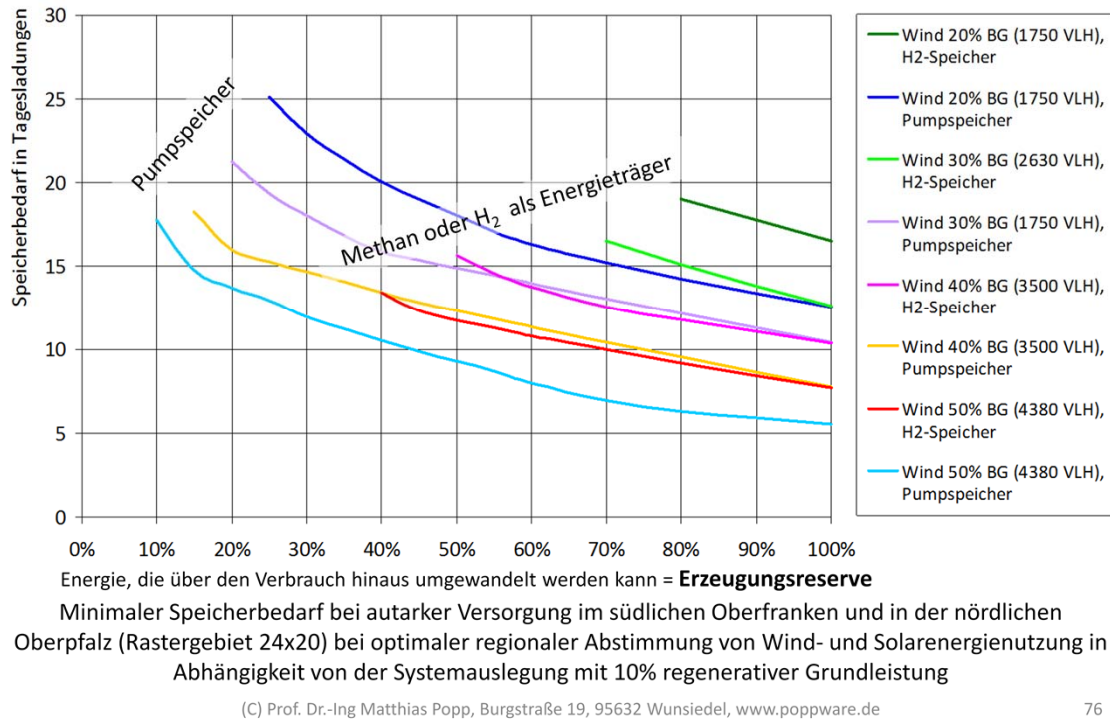
Mit wirkungsgradstarken Speichern ließe sich dieser Wert auf ca. einen viertel Jahresverbrauch reduzieren, der in hohem Maße zeitversetzt wieder abgerufen wird.

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



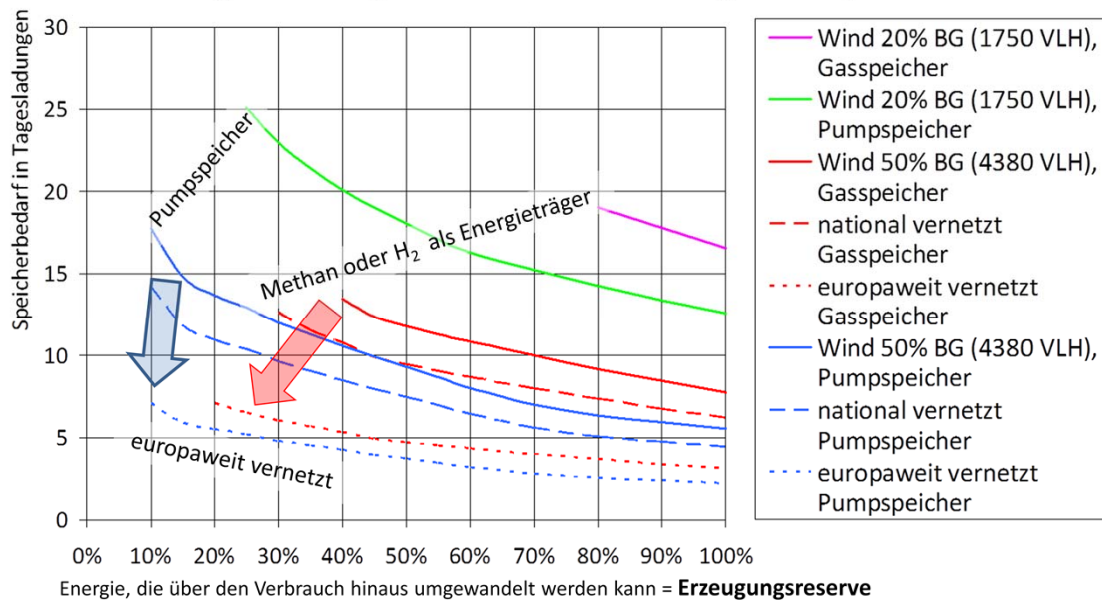
Sowohl die Auslegung des Erzeugungssystems als auch der Speicherwirkungsgrad haben erheblichen Einfluss auf die vorzuhaltende **Speicherkapazität**.

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.

Großräumig leistungsstarke Vernetzung und Speicherbedarf



Die vorzuhaltende **Speicherkapazität** reduziert sich durch großräumig leistungsstarke Vernetzung möglichst vieler Regionen, die über einen gut an den Eigenbedarf angepassten Erzeugungsmix verfügen.

Die Vernetzung ermöglicht häufig, den verlustarmen Export temporärer Überschüsse aus der Region. Sie ermöglicht ebenso häufig den verlustarmen Ausgleich temporärer Defizite durch Import von andernorts auftretenden Überschüssen.

Die Ausgleichswirkung nimmt erheblich zu, je größer der leistungsstark vernetzte Verbund ausfällt.

Bei steigender Versorgungssicherheit reduziert sich durch großräumige Kooperation sowohl der Speicherkapazitätsbedarf als auch der Bedarf an Erzeugungssystemen.

Erhöhung des Benutzungsgrads (Volllaststundenzahl)

- **größere Rotordurchmesser**
- **größere Nabenhöhen in Luftschichten mit höheren Windgeschwindigkeiten**

Die Windleistung

- erhöht sich mit dem Quadrat der Rotordurchmesser
doppelter Durchmessers => vierfache Leistung
- erhöht sich mit der Dritten Potenz der Windgeschwindigkeit
doppelte Windgeschwindigkeit => achtfache Leistung

Wird bei diesen Maßnahmen die Nennleistung einer Windenergieanlage beibehalten, dann erhöht sich die im Durchschnitt abgegebene Leistung und damit der Benutzungsgrad **bei deutlich reduzierter Ladungsabweichung.**



Werden Windenergieanlagen auf größere Volllaststundenzahlen oder gleichbedeutend auf einen höheren Benutzungsgrad ausgelegt, dann reduziert sich die Ladungsabweichung der damit umgewandelten elektrischen Energie deutlich.

Werden gleichartige Windenergieanlagen an unterschiedlichen Standorten aufgestellt, dann erreichen sie an windschwächeren Standorten niedrigere und an windstärkeren Standorten höhere Volllaststundenzahlen.

Dieser nicht an die Standortverhältnisse angepasste Einsatz führt dazu, dass Windenergieanlagen im Meer, wo der Wind ungestört bis nahe an den Boden sein Geschwindigkeitsprofil ausbilden kann, höhere Volllaststundenzahlen erreichen, als im Binnenland, wo die hohen Windgeschwindigkeiten erst in größeren Höhen erreicht werden.

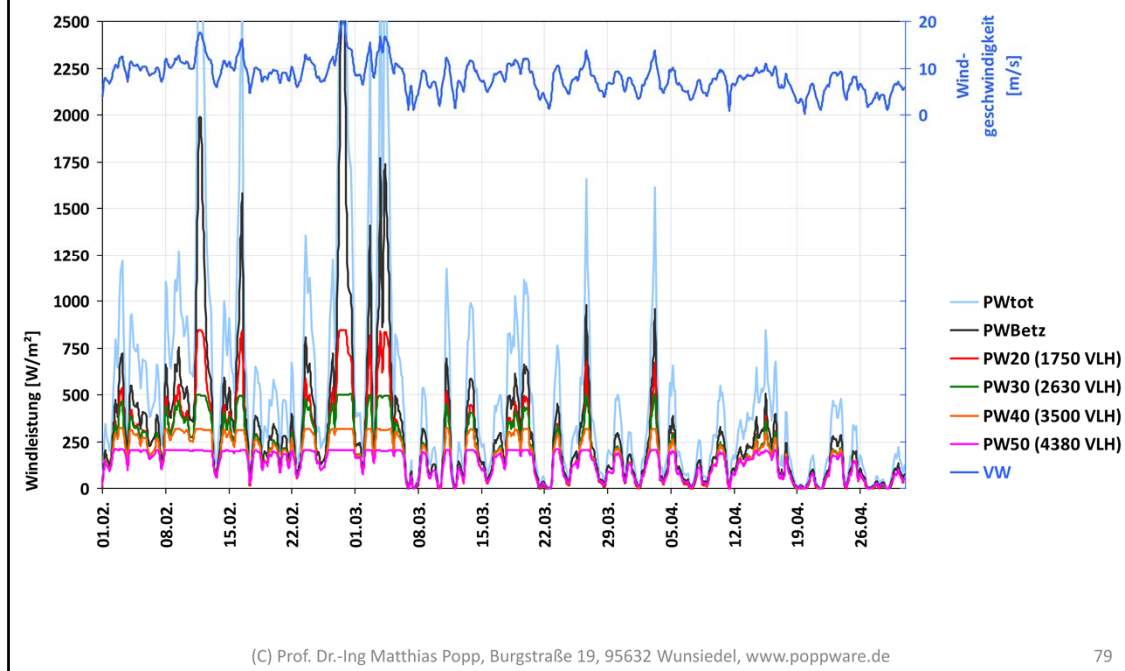
Würden Offshore-Anlagen, bei erhöhtem Bauaufwand, mit stärkeren Generatoren ausgerüstet, dann würde deren Energieertrag zunehmen, bei gleichzeitig abnehmender Volllaststundenzahl.

Würde, bei reduziertem Bauaufwand, die Generatorleistung von Binnenlandanlagen zurückgenommen, dann würde deren Volllaststundenzahl zunehmen, bei etwas reduziertem Energieertrag.

Einige Hersteller bieten sogenannte „Schwachwindanlagen“ an, die in diese Richtung weisen.

Benutzungsgrad und Leistungsabgabe

in einer beispielhaft gewählten Region für einen beispielhaft gewählten Zeitraum



Dieses Diagramm zeigt im oberen Bereich beispielhaft den zeitlichen Verlauf der Windgeschwindigkeit einer Region für einen gewissen Zeitabschnitt bezüglich der rechten Y-Achse.

An der linken Y-Achse ist die Windleistung aufgetragen, die pro Quadratmeter Strömungsquerschnitt in diesen Luftmassen steckt bzw. über technische Systeme aus diesen Luftmassen abgegriffen werden kann. Weil sich die Windleistung PW proportional zur dritten Potenz der Windgeschwindigkeit VW verhält, kommt es bei höheren Windgeschwindigkeiten zu enormen Leistungsspitzen, mit mehreren Kilowatt pro Quadratmeter Strömungsquerschnitt.

Bedenkt man, dass bei großen Windenergieanlagen Flächen von über 10.000 Quadratmetern aus den bewegten Luftmassen abgegriffen werden, dann wird deutlich, dass dabei erhebliche Leistungen mit mehreren Megawatt auftreten.

Die bewegten Luftmassen können nicht auf null abgebremst werden. Deshalb kann nur ein Teil der ihnen innewohnenden totalen Leistung PW_{tot} in andere Leistungsformen umgewandelt werden.

Der Physiker Betz wies in den 20-er Jahren des letzten Jahrhunderts nach, dass physikalisch maximal $16/27$ ($\approx 59,3\%$) der totalen Windleistung geerntet werden kann, wenn die bewegte Luftmasse in einer verlustfreien Energieumwandlungsanlage auf ein Drittel ihrer ursprünglichen Geschwindigkeit verlangsamt wird.

Technisch ist man mit guten Windenergieanlagen in optimierten Betriebsbereichen in der Lage über 50% der totalen Windleistung abzugreifen.

Man verzichtet allerdings darauf, diesen hohen, als Leistungsbeiwert bezeichneten Erntefaktor, auch bei selten auftretenden hohen Windgeschwindigkeiten zu erreichen.

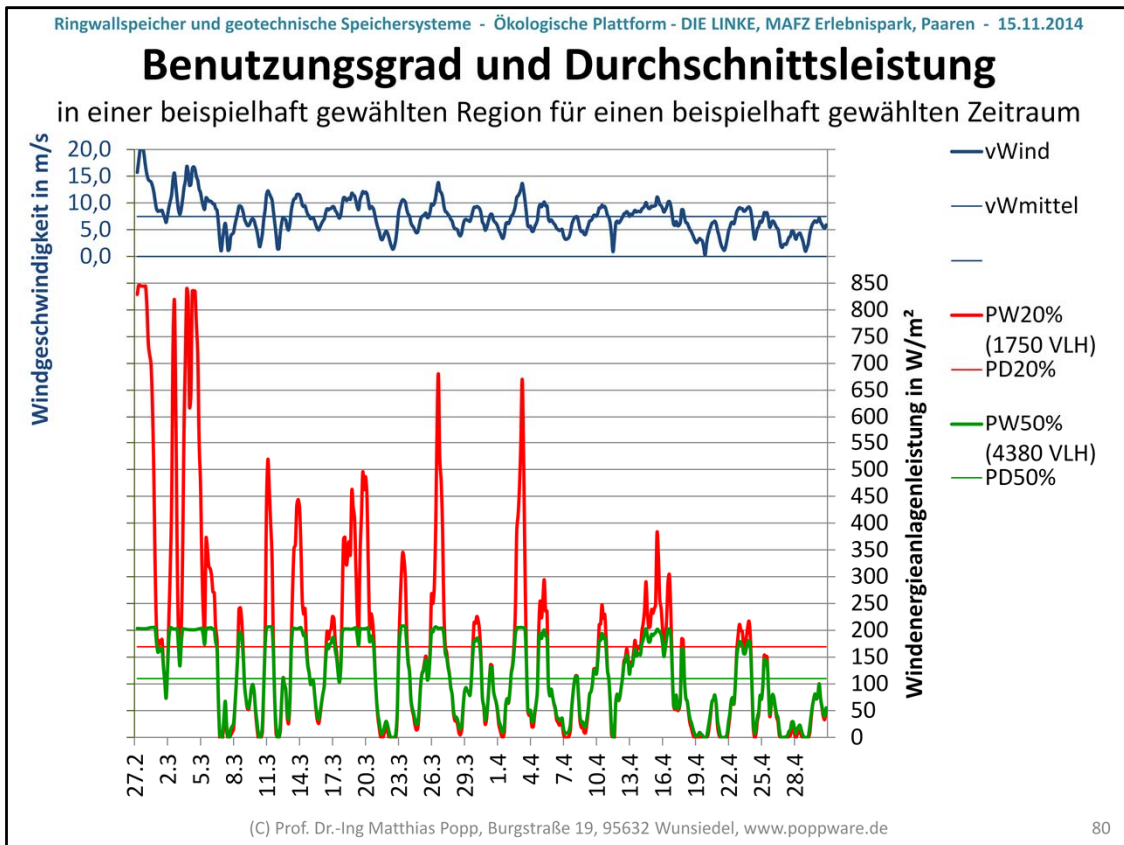
Ab einer Abregelungswindgeschwindigkeit verändert man die Anstellwinkel der Rotorblätter so, dass der Wind weniger verlangsamt und die maximale Leistung des Generators nicht überschritten wird.

Je nach technischer Auslegung der Windenergieanlage kann diese Abregelung bei niedrigeren oder höheren Windgeschwindigkeiten einsetzen.

Je höher diese Abregelungswindgeschwindigkeit gewählt wird, desto seltener wird die Nennleistung der Windenergieanlage erreicht, desto weniger Volllaststunden kommen zustande und desto niedriger bleibt der Benutzungsgrad.

Umgedreht steigt der Benutzungsgrad bei einer Auslegung auf eine niedrigere Abregelungswindgeschwindigkeit.

Die aus der totalen Windleistung abgegriffenen Anlagenleistungen sind in dem Diagramm für Benutzungsgrade von 20% (PW20) bis 50% (PW50) dargestellt.



Den technisch interessierenden, umwandelbaren Leistungsbereich veranschaulicht dieses Diagramm in größerer Auflösung.

Zusätzlich sind darin die sich ergebenden Langzeitdurchschnittsleistungen als gestrichelte Linien eingezeichnet.

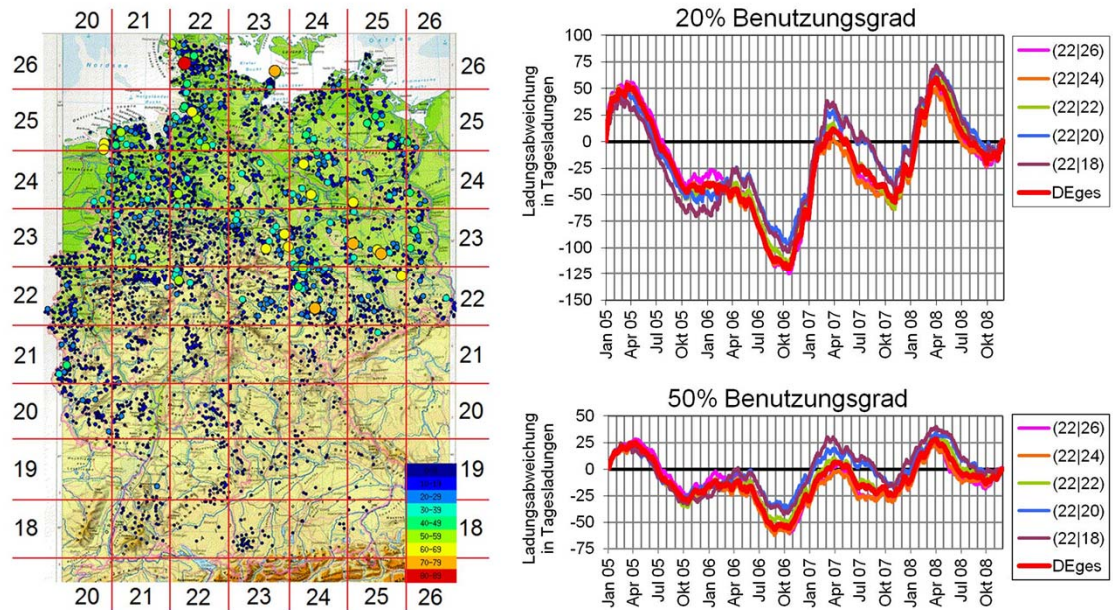
Während die Nennleistungen (= Maximalleistungen) in Abhängigkeit des Benutzungsgrades einen erheblichen Unterschied aufweisen, liegen die erreichten Durchschnittsleistungen viel näher beisammen.

Im gezeigten Beispiel läge bei einer Viertelung der installierten Nennleistung bei gleichem Rotordurchmesser die abgegebene Leistung bei 50% Benutzungsgrad immer noch bei ca. 61% der Durchschnittsleistung, die bei 20% Benutzungsgrad erreicht wird.

Mit einem hohen Benutzungsgrad verbessert sich die Gleichmäßigkeit der umgewandelten elektrischen Leistung, bei gleichzeitig reduziertem Bauaufwand.

Der Energieertrag ist proportional zur erreichten Durchschnittsleistung.

Benutzungsgrad und Ladungsabweichung



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

81

Herunter gebrochen auf Deutschland zeigt die Karte die Rastergebiete des verwendeten europäischen Windatlas.

Vergleicht man die Ladungsabweichungen der einzelnen Gebiete Deutschlands, dann stellt man fest, dass die Kurvenverläufe alle sehr ähnlich sind.

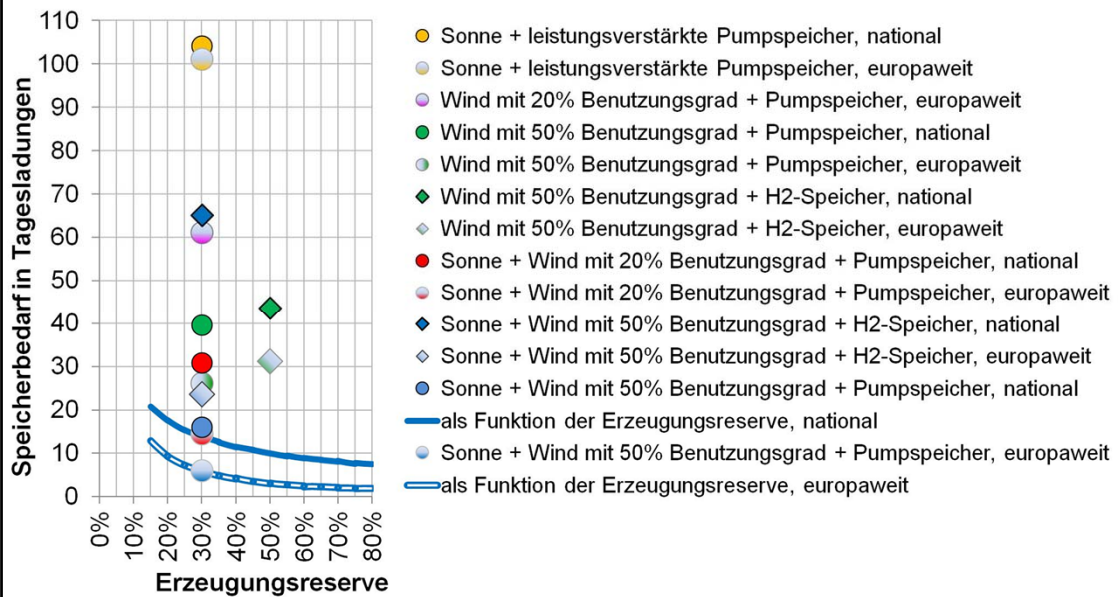
Die Diagramme zeigen beispielhaft für vier Jahre von Nord nach Süd die Ladungsabweichungen einiger Gebiete.

Die Ähnlichkeit der Verläufe liegt daran, dass die Windverhältnisse in der Regel einem großräumigen Wettergeschehen folgen, das weit über die Grenzen einzelner Länder hinausreicht.

Die Ausgleichseffekte durch eine leistungsstarke nationale Vernetzung werden sich deshalb bezüglich der Windenergie in Grenzen halten.

Viel größer ist jedoch der Effekt, der sich über einen höheren Benutzungsgrad erzielen lässt.

Wie groß müsste die „Batterie“ sein?



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

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

82

Eine Auswahl von untersuchten Szenarien zeigt dieses Diagramm.

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

Der notwendige Speicherbedarf variiert von mehr als 100 Tagesladungen bei reinen Solarenergieszenarien, herunter zu wenigen Tagesladungen, bei optimierten Verhältnissen.

Je besser die Abstimmung zwischen Wind und Sonne, die grenzüberschreitende Kooperation, je höher die Erzeugungreserve und der Speicherwirkungsgrad, desto niedriger wird die erforderliche Speicherkapazität zum Ausgleich der Volatilität – und umgekehrt.

Dabei sind nationale Lösungen mit 14 Tagen Speicherkapazität, und länderübergreifende Lösungen mit 6 Tagen und darunter, erreichbar.

Versorgungssysteme mit Gasspeichern, auf der Basis von Wasserstoff oder Methan würden ebenfalls funktionieren.

Wegen der größeren Verluste würden diese höhere Erzeugungsrerven und Speicherkapazitäten erfordern.

Herausforderung der Transformation

Kraftwerke,

deren **Leistung nach Bedarf** angefordert werden kann

werden **ersetzt durch** Energieumwandlungsanlagen,

die **Leistung nach Wetterlage** abgeben.

Stromerzeugung nach Anlagentypen

Leistungs- verfügbarkeit	konventionelle Systeme (endliche, knapper werdende Energieträger)	regenerative Systeme (aus natürlichen Kreisläufen entnommene Energiepotentiale, die sich immer wieder neu bilden)
bedarfsgerecht	<ul style="list-style-type: none"> • Gaskraftwerke, • Ölkraftwerke, • Steinkohlekraftwerke 	<ul style="list-style-type: none"> • Speicherwasserkraftwerke (soweit Kapazität vorhanden), • Biomethankraftwerke
weitgehend konstant	<ul style="list-style-type: none"> • Kernkraftwerke, • Braunkohlekraftwerke 	<ul style="list-style-type: none"> • Geothermikkraftwerke, • Biomassekraftwerke, • Gruben-/Deponiegaskraftwerke, • Müllverbrennungsanlagen
Energiewetter abhängig	<ul style="list-style-type: none"> • wärmegeführte Heizkraftwerke (KWK, mit fossilen Energieträgern betrieben) 	<ul style="list-style-type: none"> • Laufwasserkraftwerke, • Solarenergieanlagen, • Windenergieanlagen, • wärmegeführte Heizkraftwerke (KWK, mit regenerativen Energieträgern betrieben)

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

84

Von entscheidender Bedeutung für die Möglichkeit zur bedarfsgerechten Verbrauchsdeckung ist die kurzfristige Leistungsverfügbarkeit der bereitstehenden Kraftwerke.

Bei der Weiterentwicklung der heute vorliegenden Situation geht es zugleich darum, konventionelle durch regenerative Stromerzeugungssysteme abzulösen.

Wenn das dabei entstehende Stromerzeugungssystem für sich alleine nicht in der Lage ist, eine jederzeit bedarfsgerechte Versorgung zu gewährleisten, sind zusätzliche Systeme erforderlich, um Erzeugung und Verbrauch in einer jederzeitigen präzisen Balance zu halten.

Ausgleich von Erzeugung und Verbrauch

Ebene	Technologie	Varianten	Wirkung
Nachfrageseite	Lastmanagement	<ul style="list-style-type: none"> • Tarifieren • Lastverschiebung • Lastabwurf • 	Verbrauchsverschiebung, Verbrauchsverzicht oder Versorgungsunterbrechung bei Erzeugungsdefiziten
Erzeugungsseite	Erzeugungsmanagement	<ul style="list-style-type: none"> • Abregelung • Abschaltung 	Verzicht auf die Nutzung ausgebauter Potentiale von Laufwasser, Wind, Sonne, Biogas bei Überangebot
Übertragungsnetz	leistungsstarke großräumige Vernetzung	<ul style="list-style-type: none"> • HGÜ (Hochspannungs-Gleichstrom Übertragung) • HDÜ (Hochspannungs-Drehstrom Übertragung) 	Nutzung großräumiger statistischer Ausgleichseffekte zur Reduzierung regionaler Anforderungen
zusätzlich	Speicher	<ul style="list-style-type: none"> • Pumpspeicher • Druckluftspeicher • Gasspeicher • Batteriespeicher 	Bedarfsgerechte Versorgung durch Aufladung bei Erzeugungsüberschüssen und Entladung bei Erzeugungsdefiziten

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

85

Die mit Zusatzinvestitionen und -Aufwand verbundenen Maßnahmen ermöglichen über unterschiedliche Ansätze einen teilweisen oder vollständigen Ausgleich zwischen Erzeuger und verbrauchter Leistung.

Nachfrageseitige Ausgleichsmaßnahmen können eine reduzierte Versorgungsqualität bewirken.

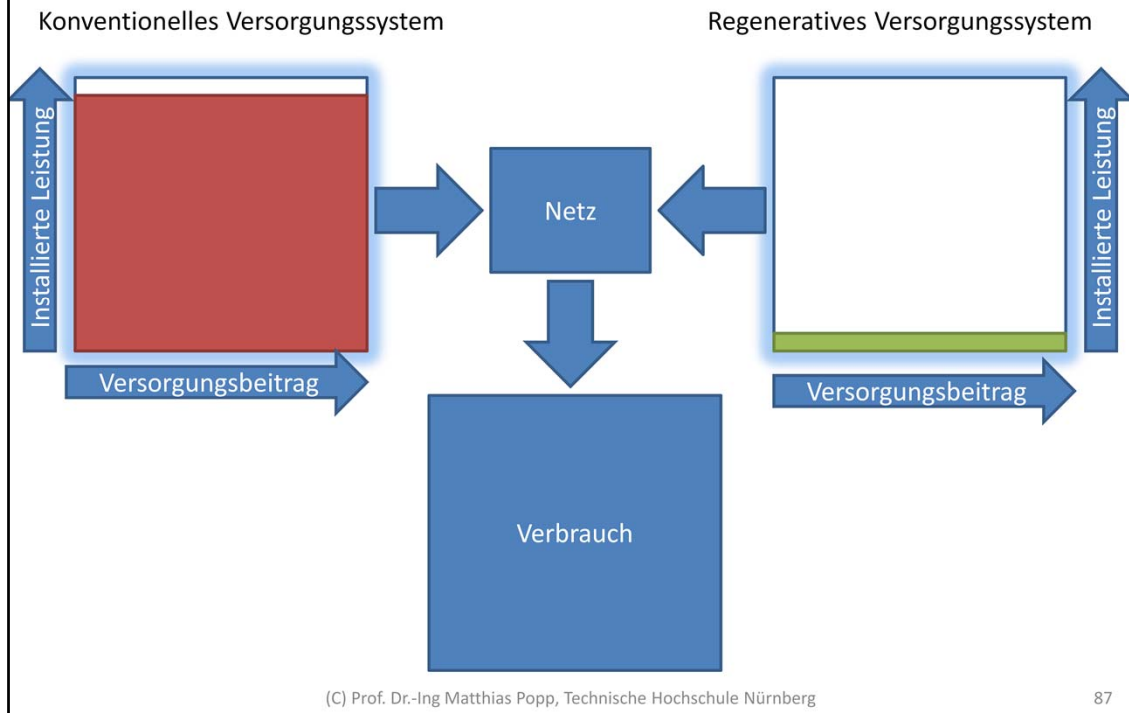
Passend ausgelegte Speichersysteme ermöglichen eine bedarfsgerechte Stromversorgung.

ideale und reale Transformation

ideal: Regenerative ersetzen Konventionelle

**real: Regenerative überlassen Konventionellen
die Versorgungssicherheit**

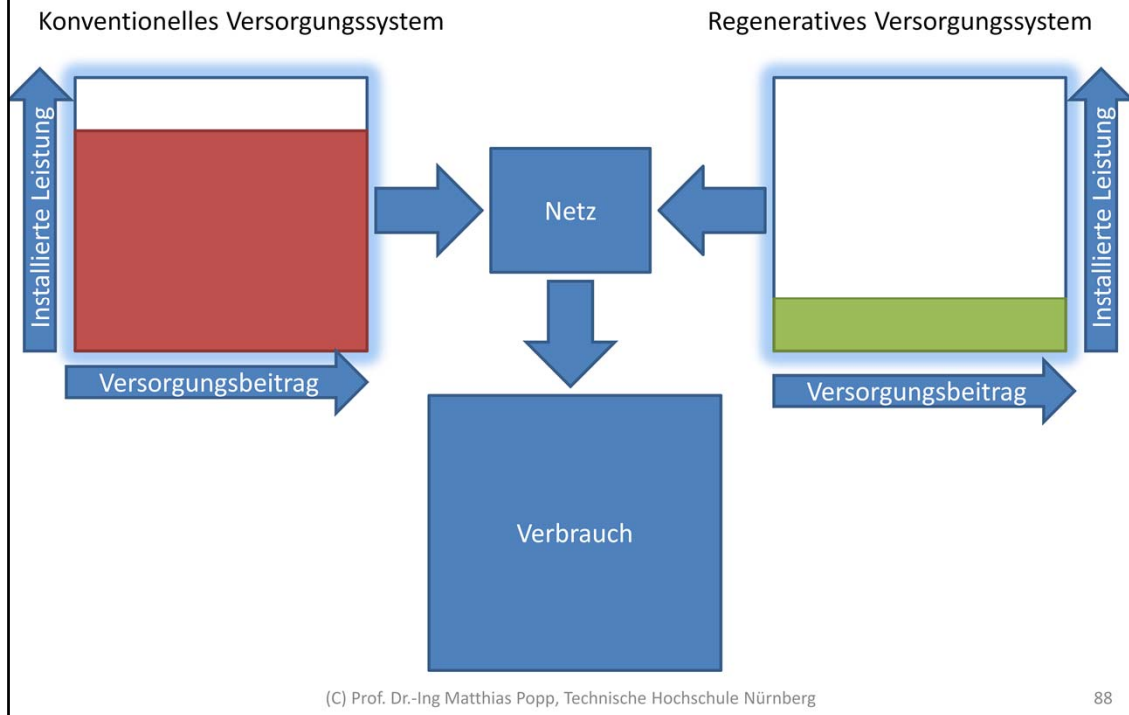
ideale Transformation der Stromversorgung mit Speichern



Historisch gesehen war ein konventioneller Kraftwerkspark darauf ausgelegt, den Verbrauch der Stromabnehmer jederzeit bedarfsgerecht zu decken.

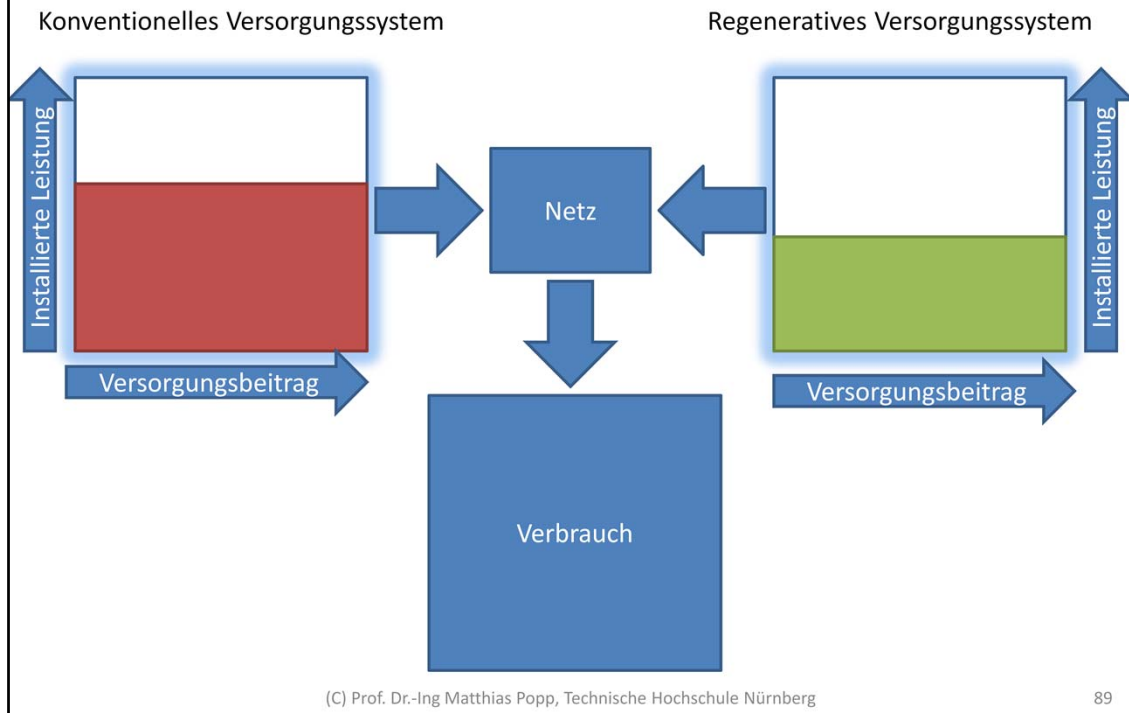
Mit der Wasserkraft in Form von Speicherwassersystemen (z.B. Walchensee, Saaletalsperren, usw.) stand von Anfang an auch ein regenerativer Anteil zur Verfügung, der einen eigenständigen Versorgungsbeitrag leisten konnte.

ideale Transformation der Stromversorgung mit Speichern



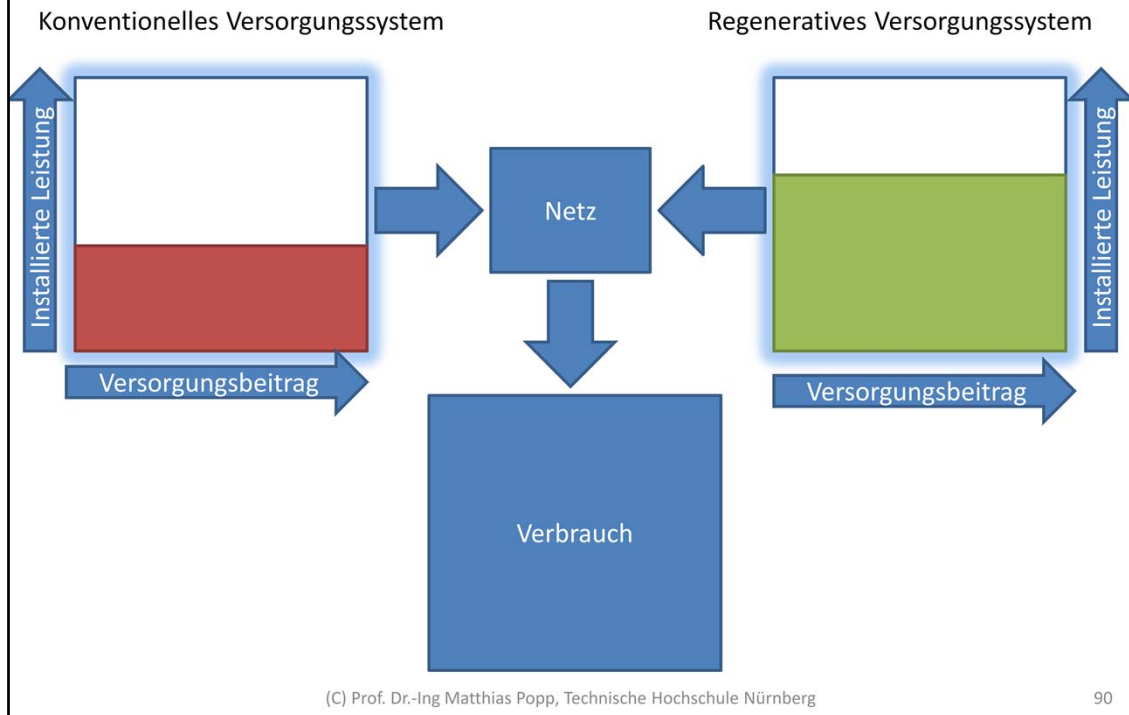
Bei einer idealen Transformation des Stromversorgungssystems könnte mit dem Zubau regenerativer Versorgungseinheiten die entsprechende Kapazität konventioneller Systeme stillgelegt werden.

ideale Transformation der Stromversorgung mit Speichern



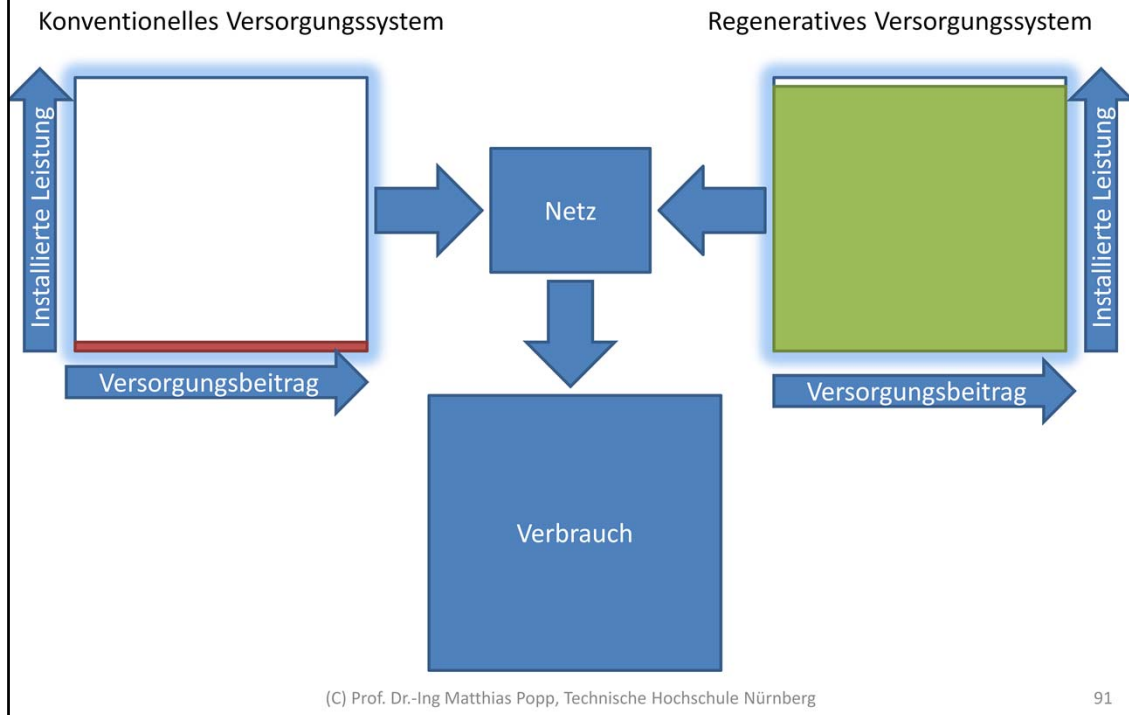
Erneuerbare Energiesysteme, die von Anfang an darauf ausgelegt wären, den Bedarf nachfragegerecht zu decken, würden es ermöglichen, auf konventionelle Kraftwerke zu verzichten.

ideale Transformation der Stromversorgung mit Speichern



Die Auslastung und damit die Rentabilität, der verbleibenden konventionellen Kraftwerke bliebe auf dem Niveau, für das sie ausgelegt waren.

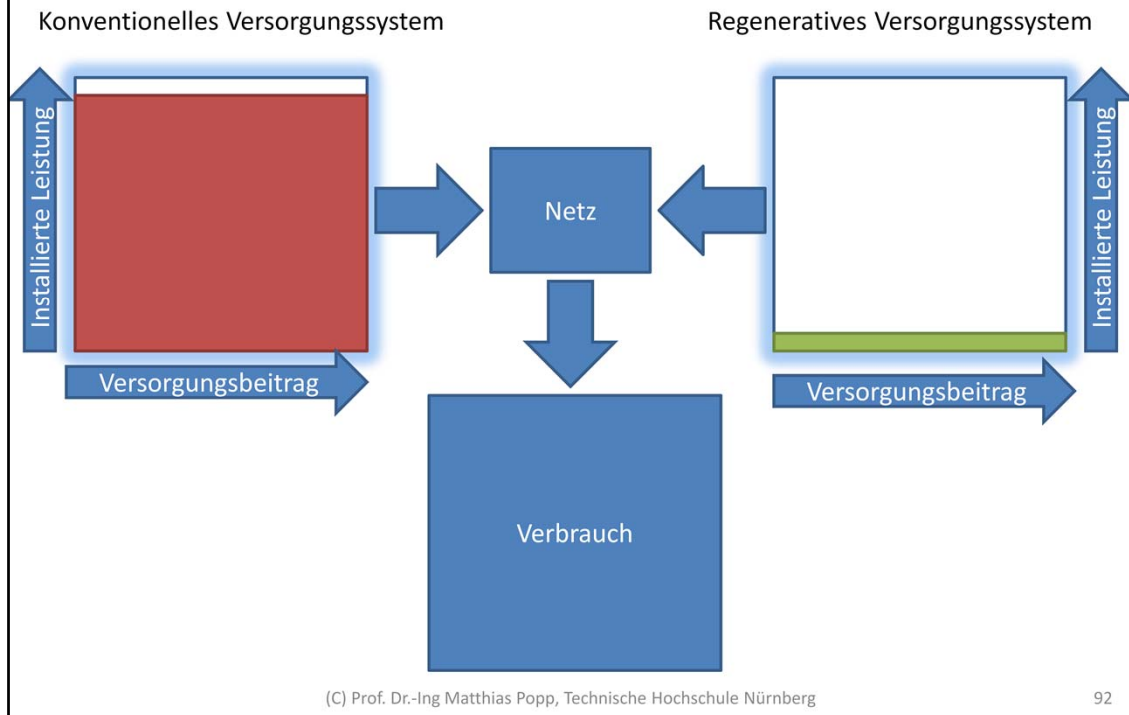
ideale Transformation der Stromversorgung mit Speichern



Am Ende hätten die regenerativen Versorgungssysteme die konventionellen abgelöst.

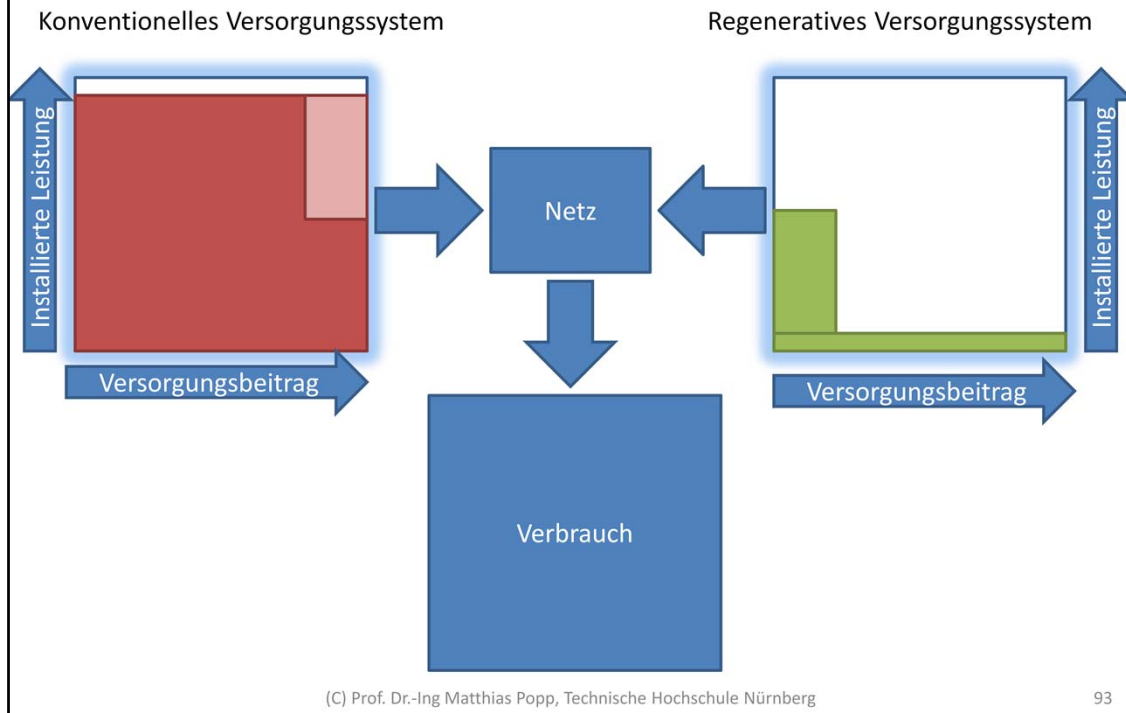
Das regenerative Versorgungssystem wäre so ausgelegt, dass es passend zu den Anforderungen der Verbraucher dimensioniert ist und die Versorgung jederzeit sicher stellen kann.

reale Transformation der Stromversorgung ohne Speicher



Real haben wir es mit der gleichen Ausgangssituation zu tun, die am Anfang der idealen Transformation stand.

reale Transformation der Stromversorgung ohne Speicher



Mit Wind- und Solarenergieanlagen wurden und werden regenerative Erzeugungsleistungen zugebaut.

Dies erfolgte jedoch ohne den Zubau von Einrichtungen, welche einen bedarfsgerechten Ausgleich der volatilen Erzeugungsleistungen herbeiführen konnten.

Die zugebauten Energieumwandlungsanlagen sind damit nicht in der Lage, für Ihren Anteil die Systemverantwortung zu übernehmen.

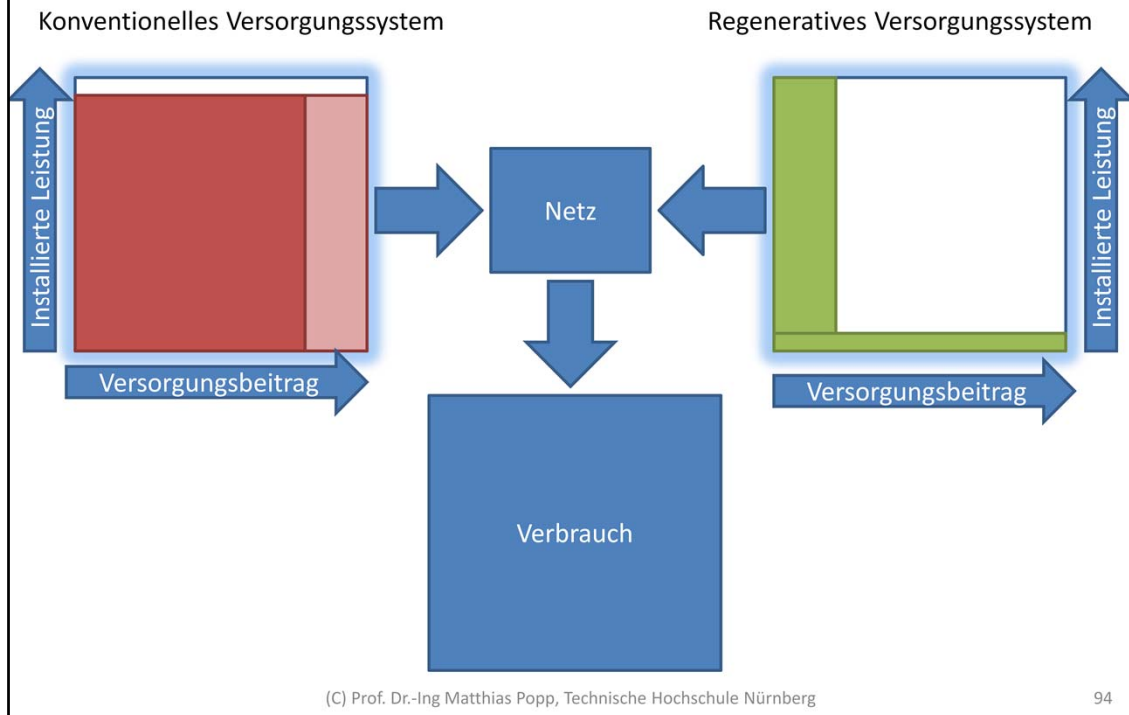
Das ist ein fundamentaler Unterschied zu vielen Wasserkraftanlagen, die über entsprechende Stauhaltungen über einen Energiespeicher verfügen und in der Lage sind, Leistung nach Bedarf zu liefern.

Solange die regenerativen Erzeugungssysteme Strom liefern, werden entsprechende konventionelle Kapazitäten außer Betrieb genommen um Erzeugung und Verbrauch im Gleichgewicht zu halten.

Der auf diese Weise erfolgte Zubau regenerativer Kraftwerksleistung führt zwar zu einer Reduzierung des Brennstoffverbrauchs konventioneller Kraftwerke, nicht aber zu einem Ersatz dieser Kraftwerkskapazität.

Immer dann, wenn das regenerative Versorgungssystem nicht in der Lage ist, den anteiligen Versorgungsbeitrag zu leisten, muss die konventionelle Kraftwerksleistung bereitstehen und einspringen.

reale Transformation der Stromversorgung ohne Speicher



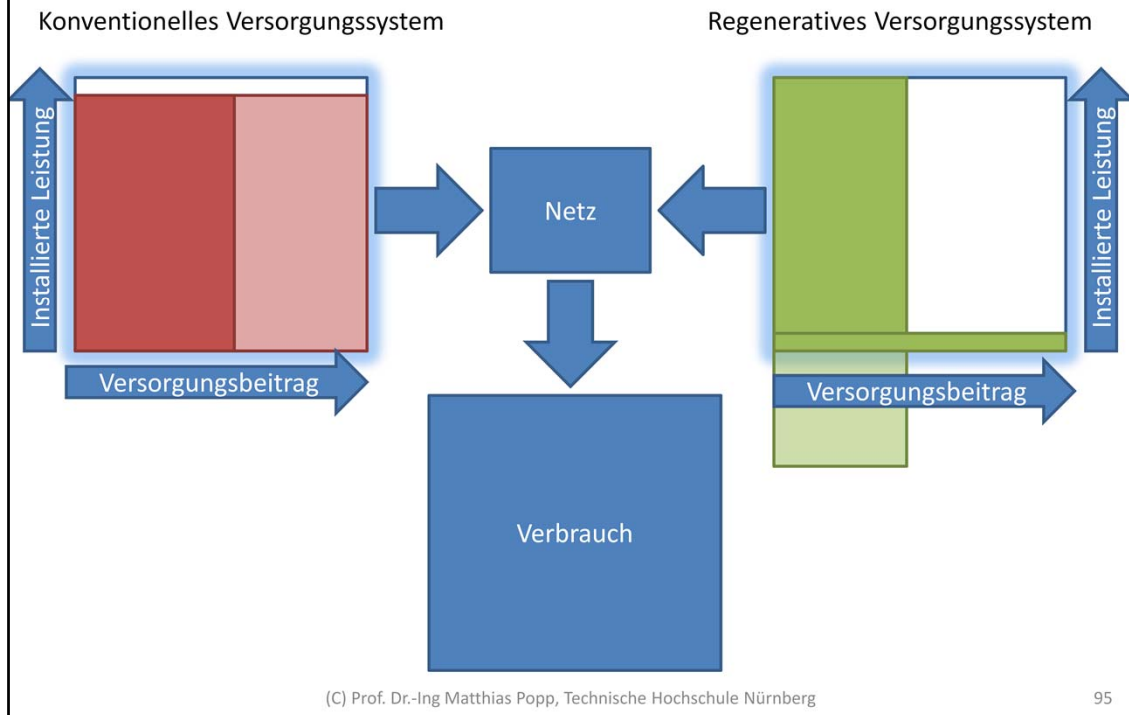
Mittlerweile erreicht die installierte Leistung der regenerativen Erzeugungssysteme die nachgefragte Leistung.

Die wetterlaunige Windstromerzeugung und der Ausfalls der Solarstromerzeugung während der Nacht ermöglichen keine jederzeitige Bedarfsdeckung.

Die volatil auftretenden Erzeugungsleistungen lassen sich jedoch noch in hohem Maße dem Verbrauch zuführen.

Der konventionelle Kraftwerkspark wird dabei weniger ausgelastet, muss aber mit seiner vollen Erzeugungskapazität vorgehalten werden.

reale Transformation der Stromversorgung ohne Speicher

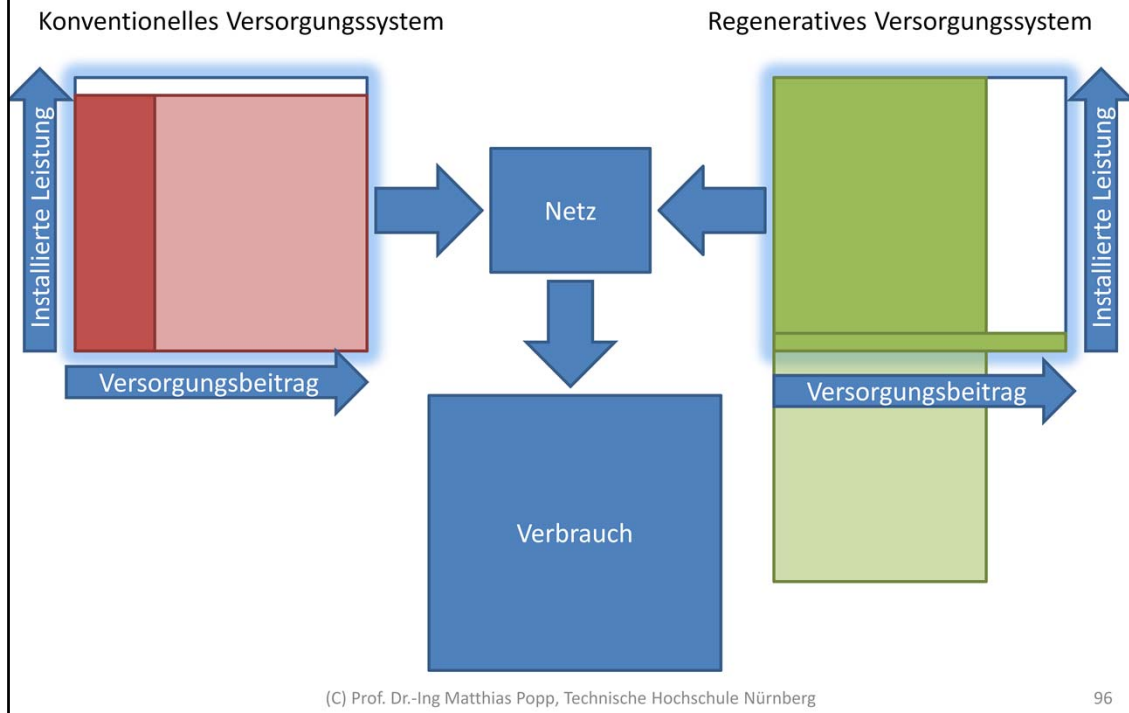


Baut man die volatilen regenerativen Erzeugungssysteme weiter aus, ohne dabei Einrichtungen zum bedarfsgerechten Ausgleich dieser meist von der Nachfrage abweichenden Erzeugungsleistung zu errichten, dann kann nur noch ein Teil der installierten Leistung zur Versorgung beitragen.

Die Überkapazität muss ungenutzt bleiben.

Der konventionelle Kraftwerkspark bleibt jedoch mit seiner gesamten Erzeugungskapazität zur Überbrückung von Flauten erforderlich.

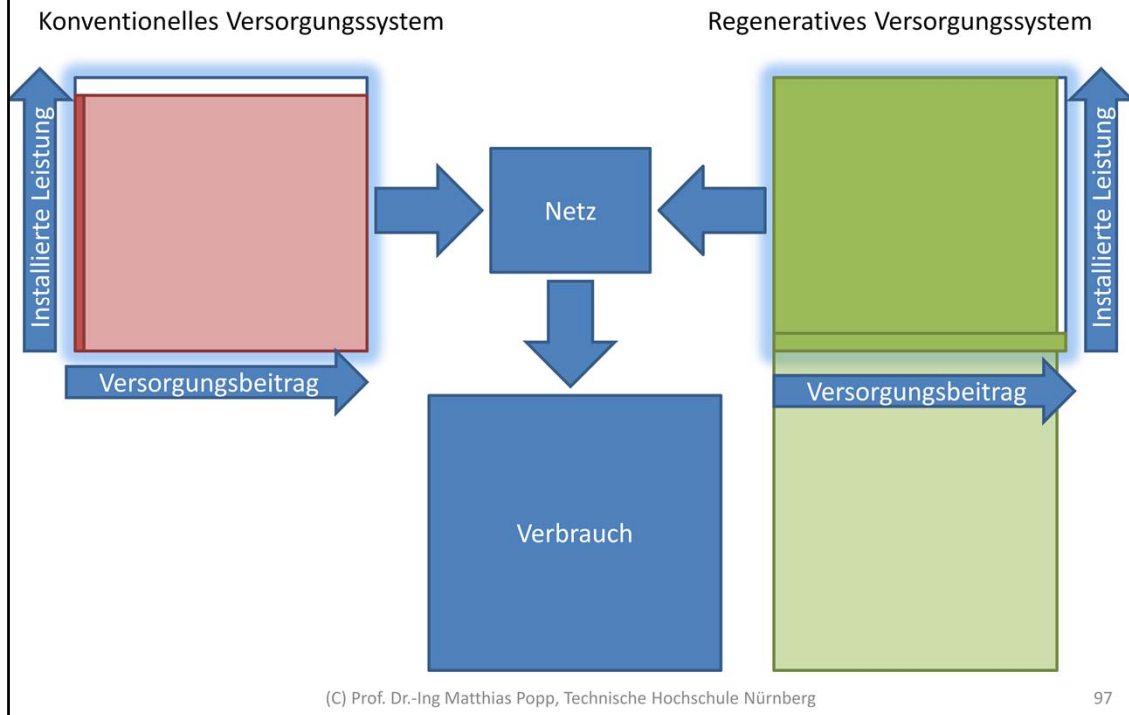
reale Transformation der Stromversorgung ohne Speicher



Die Vorhaltung von Kraftwerkskapazität wird bei dieser Art der Transformation des Stromversorgungssystems zunehmend fragwürdig.

Trotz regenerativer Leistungsinstallation mit einer Energieumwandlungskapazität weit über dem Verbrauch, muss der konventionelle Kraftwerkspark zur Garantie der Versorgungssicherheit in Flautephasen in voller Höhe einsatzbereit vorgehalten werden.

reale Transformation der Stromversorgung ohne Speicher

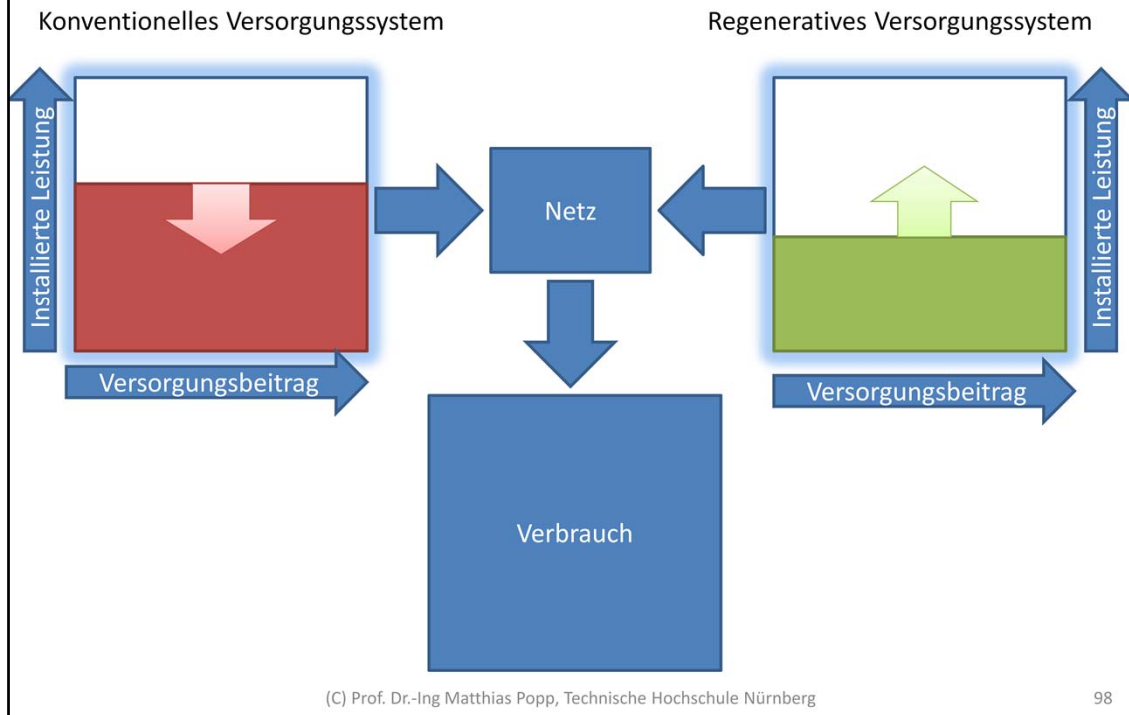


Am Ende unterhält man zwei Kraftwerksparks, die ein Mehrfaches der benötigten Energie umwandeln könnten.

Der Einsatz von Speichersystemen ermöglicht einen Ausweg aus dieser unvorteilhaften Entwicklung.

Unnötige Erzeugungsüberkapazität wird dabei gar nicht erst aufgebaut und regenerative Energiesysteme entwickeln sich derart, dass sie Systemverantwortung übernehmen und konventionelle Energiesysteme ersetzen können.

ideale Transformation der Stromversorgung



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

98

Eine ideale Transformation der Stromversorgung gibt es, wenn im Gleichklang mit dem Ausbau der Erzeugungsleistung auch die Möglichkeit der bedarfsgerechten Leistungsbereitstellung gelöst wird.

Dann sind regenerative Stromversorgungssysteme in der Lage, konventionelle zu ersetzen, anstelle allein deren Auslastung zu reduzieren.

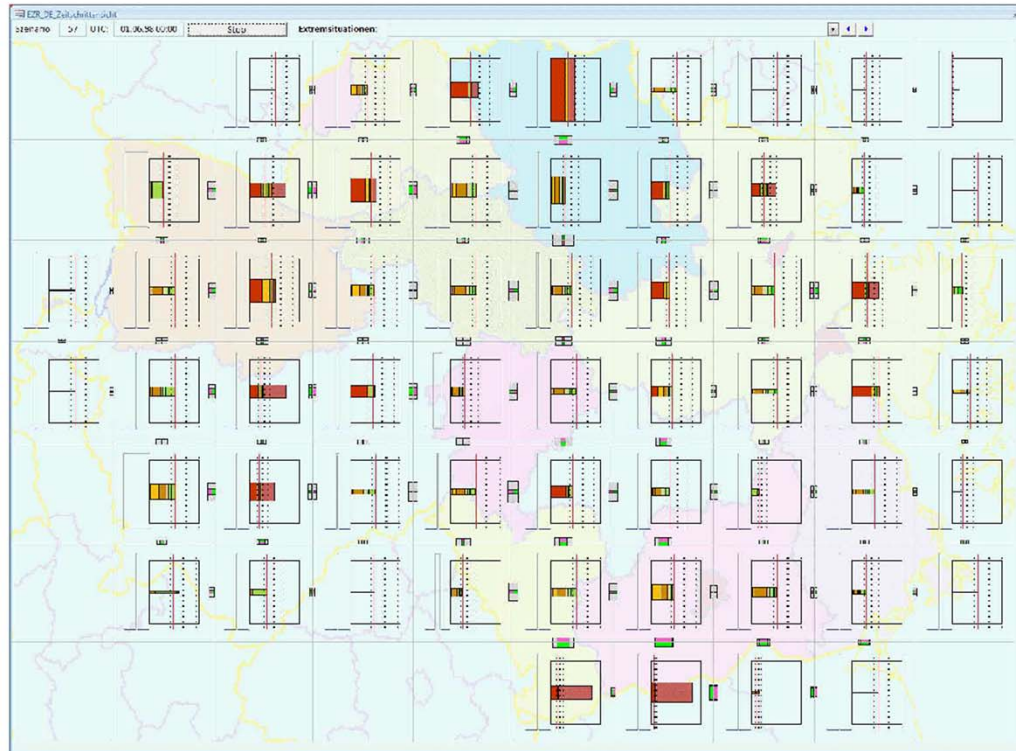
Bei der Weiterentwicklung der elektrizitäts- und energiewirtschaftlichen Rahmenbedingungen sollte darauf geachtet werden, dass die Vorgaben und Anreiz-Mechanismen für das regenerative System so beschaffen sind, dass damit konventionelle Erzeugungssysteme vollständig ersetzt werden können.

Wird das nicht beachtet, dann nehmen wir uns als Volkswirtschaft bei Fortsetzung der bisher praktizierten, einseitig auf die regenerative Erzeugungsleistung fixierten Umsetzung der Energiewende, eine Hypothek auf die Zukunft.

Die Speicherfrage wird zukünftig trotzdem gelöst werden müssen und die Kosten zur Einsatzbereithaltung des konventionellen Kraftwerksparks werden bis dahin immer weiter auflaufen.

Aktuell müssen die Energieversorgungsunternehmen unter den vorhandenen Rahmenbedingungen ihre Versorgungsaufgabe erfüllen und andererseits betriebswirtschaftlichen Ergebniserwartungen gerecht werden. Eine ganzheitlich vorteilhafte Transformation der Stromversorgung findet unter diesen Zwängen leider nicht statt.

Zeitschrittanalyse mit optimalem Netzausbau, vor Energiewende, 14 Tage im Juni



Hinweis:

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

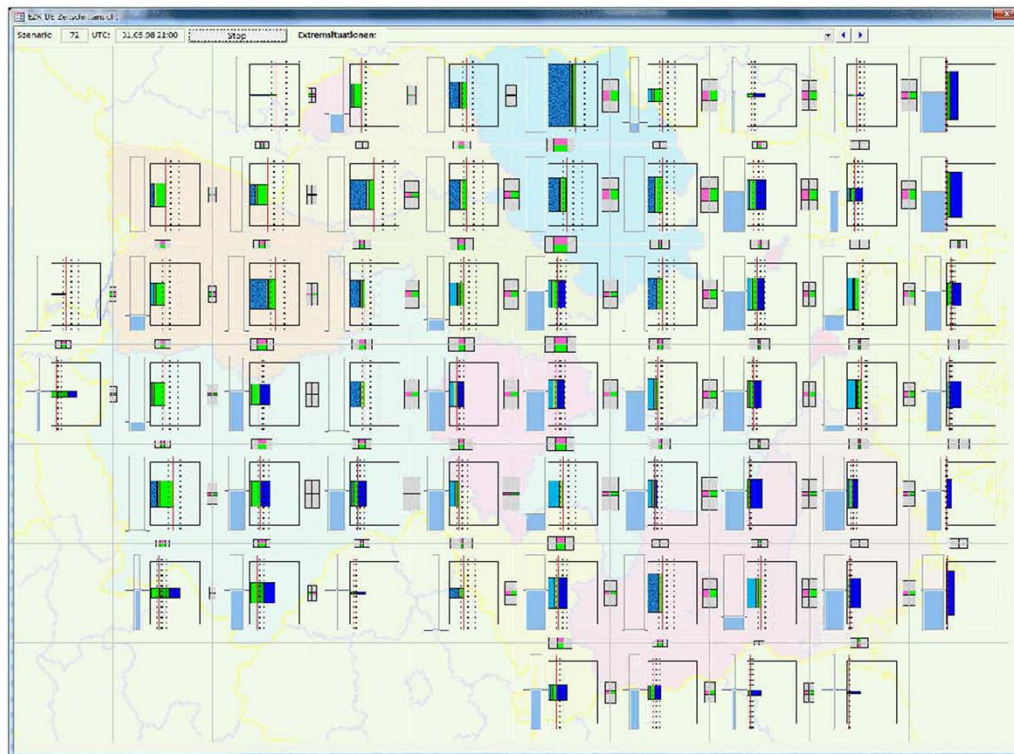
Lässt man die aufeinander folgenden Systemzustände als Animation in rascher Folge ablaufen, dann bekommt man einen Eindruck von der Dynamik der Stromversorgung mit den Wechselbeziehungen zwischen Erzeugung, Verbrauch, Übertragungsnetz und Speichersystemen.

Die Sequenz zeigt die Versorgungssituation mit dem Kraftwerkspark in Deutschland vor der Energiewende im Jahr 2010, auf Basis von realen Wetterdaten und Verbrauchsdaten, eines beispielhaft ausgewählten Jahres.

Die volatilen regenerativen Energien aus Wind und Sonne spielen darin noch keine bedeutende Rolle.

Die Sequenz kann zum Vergleich mit dem nachfolgenden Szenario verwendet werden, um den Transformationsaufwand abschätzen und einordnen zu können.

Potentialorientierte Erzeugung mit optimalem Netzausbau und Methanspeichern, 14 Tage im Juni



Hinweis:

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

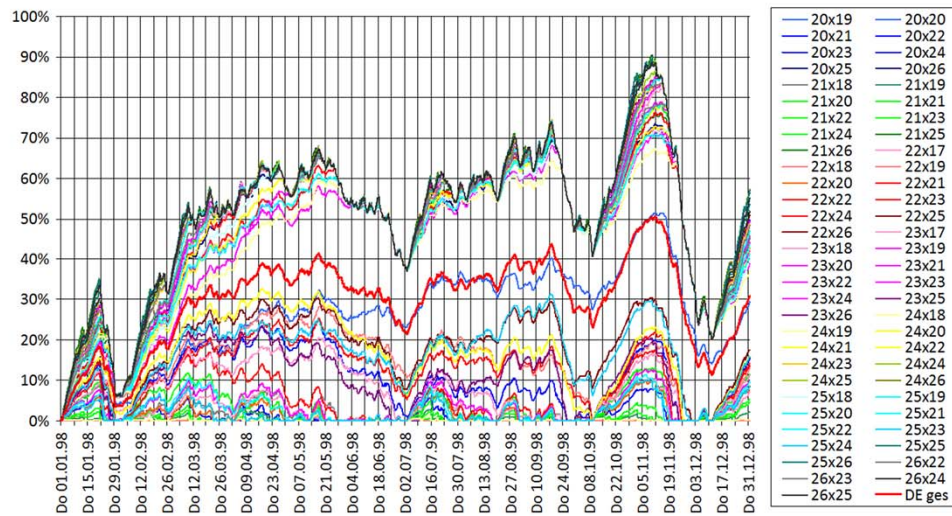
Die potentialorientierte Erzeugung von Strom entspricht der gängigen Vorstellung zur Umsetzung der Energiewende.

Potentialorientiert bedeutet, dass Wind und Sonne verstärkt dort umgewandelt werden, wo sie in der bodennahen Schicht mit der größten Leistungsdichte anfallen (Wind Offshore und im Norden, Sonne im Süden).

Diese Strategie erfordert einen erheblichen Aus- und Neubau von Stromnetzen, weil sich die Verbrauchszentren meist anderswo befinden und weil sich die Ausgleichswirkungen zwischen Sonne und Wind nur über die großen Distanzen der jeweiligen Erzeugungsschwerpunkte realisieren lassen.

Methan Speicher Ladezustand, potentialorientierte Erzeugung

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
 Potentialorientierter Ausbau von Wind und Sonne, Speichern mit 38% Wirkungsgrad,
 50% Wind-Benutzungsgrad, **Fernübertragungsleistung orientiert am maximalen Exportpotential**

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

101

Würde man nicht, wie vorher angenommen, die Erzeugungssysteme bevorzugt dort aufstellen, wo auch die Nachfrage stattfindet, sondern möglichst dort anhäufen, wo besonders gute Erträge zu erwarten sind (Wind im Norden, Photovoltaik im Süden), dann müsste ein deutlich stärkerer Netzausbau dafür sorgen, dass überall, auch bei längeren Flauteperioden, genügend elektrische Leistung bereitgestellt werden kann.

Gasnetze hätten bei dieser Systemauslegung gegenüber Pumpspeichern den Vorteil, dass Methanisierung und Rückverstromung an unterschiedlichen Stellen erfolgen könnte. Dies könnte die hier dargestellten Ungleichgewichte bei der Speicherbewirtschaftung relativieren.

Wichtig ist, dass die für Gesamtdeutschland gemittelte Speicherladungskurve sich in ihrem qualitativen Verlauf kaum von der Speicherladungskurve unterscheidet, die sich bei bedarfsorientierter Verteilung der Erzeugungssysteme einstellt.

Die höheren Speicherverluste dieser Systemgestaltung mit gleicher Erzeugungskapazität erkennt man an der insgesamt niedrigeren Speicherladung am Ende des beispielhaften Untersuchungszeitraums.

Explizit sei darauf hingewiesen, dass die immer wieder vorgetragene Auffassung, Offshore könne mit beständigen Windverhältnissen gerechnet werden, **nicht zutrifft!**

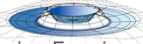
Offshore kommt es ebenso regelmäßig wie Onshore zu Flauteperioden. Offshore findet alles nur auf einem höheren Windgeschwindigkeitsniveau in den für Windenergieanlagen erreichbaren Höhenschichten statt. Vom Durchzug der Hoch- und Tiefdruckgebiete und damit einhergehenden stetigen Windgeschwindigkeitsänderungen sind Offshore und Onshorestandorte gleichermaßen betroffen.

Weitere Informationen unter

- www.ringwandspeicher.de
- www.poppware.de
- www.stuelpmembranspeicher.de

MATTHIAS POPP

Ingenieurbüro


Erneuerbare Energien, Energiespeicherung
Simulationen, Software-Entwicklung

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

Internetseiten:

- www.ringwandspeicher.de
- www.poppware.de
- www.stuelpmembranspeicher.de

Email: matthias.popp@t-online.de