

# Erzeugung, Netzausbau und Speicher für eine sichere regenerative Versorgung

Vortrag mit Diskussion  
am 23. November 2013  
zum



## Innovative Speichertechnologien.

Der Schlüssel zur regenerativen  
Energieversorgung?!

Eine Veranstaltung im Fachbereich Ingenieurwissenschaften  
und Mathematik der Fachhochschule Bielefeld  
Wilhelm-Bertelsmann-Straße 10  
33602 Bielefeld

**MATTHIAS POPP**  
Ingenieurbüro



Erneuerbare Energien, Energiespeicherung  
Simulationen, Software-Entwicklung

Prof. Dr.-Ing. Matthias Popp  
Technische Hochschule Nürnberg  
Georg-Simon-Ohm

Büro und privat:  
Schönbrunn-Burgstraße 19  
D-95632 Wunsiedel  
Telefon: 09232 / 9933-10  
Telefax: 09232 / 9933-40  
[matthias@POPPware.de](mailto:matthias@POPPware.de)  
[www.poppware.de](http://www.poppware.de)

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

## Prof. Dr.-Ing. Matthias Popp

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



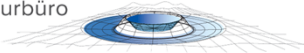
Dabei intensive Auseinandersetzung mit Fragen der Energieversorgung.

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

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

- 2010 Doktor-Ingenieur an der TU Braunschweig
- 2011 Finalist um den RWE Zukunftspreis 2011
- 2013 Professor für Energietechnik, Technische Hochschule Nürnberg

**MATTHIAS POPP**  
Ingenieurbüro



Erneuerbare Energien, Energiespeicherung  
Simulationen, Software-Entwicklung



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

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

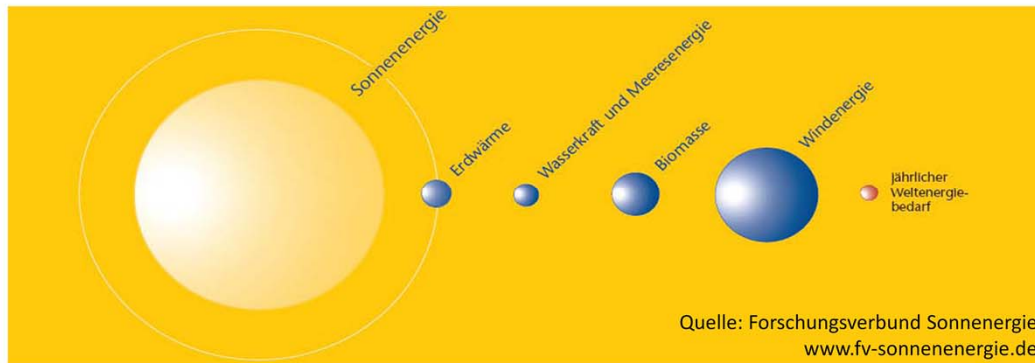
Damals gab es dazu in Deutschland weder eine Literatur noch eine Forschungseinrichtung, welche eine Antwort auf diese Frage geben konnte.

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

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

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

## Ist eine zu 100% erneuerbare Stromversorgung überhaupt möglich?



- Das Energieangebot der Sonne übertrifft den Weltenergiebedarf der Menschheit um das ca. 8000-Fache,
- das der damit angefachten Windbewegungen um das ca. 700-Fache.

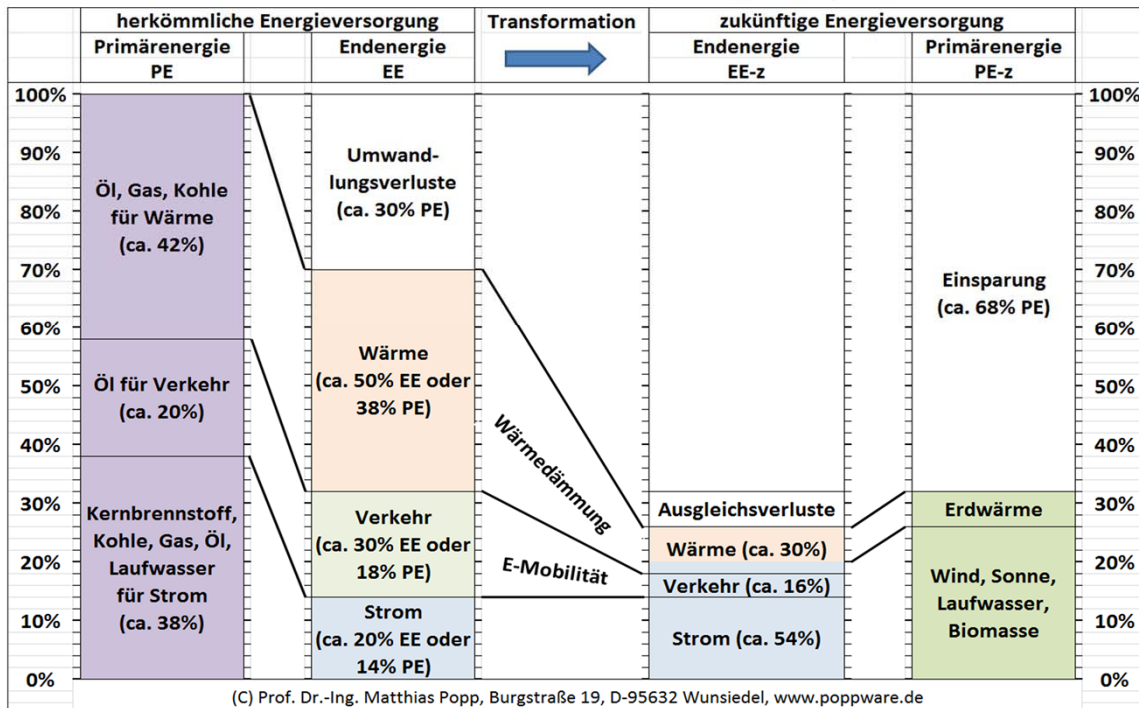
Der **Weltenergiebedarf** wird von der einstrahlenden Sonne und den dadurch angefachten Winden um viele Größenordnungen übertroffen.

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

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

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

# Transformation des Energiesystems



4

Die zukünftige Energieversorgung soll ohne fossile und nukleare Rohstoffe zurechtkommen.

Um den gewohnten Lebensstandard zu erhalten, können erhebliche Einsparpotentiale durch die Wärmedämmung von Gebäuden und durch Elektrofahrzeuge erschlossen werden.

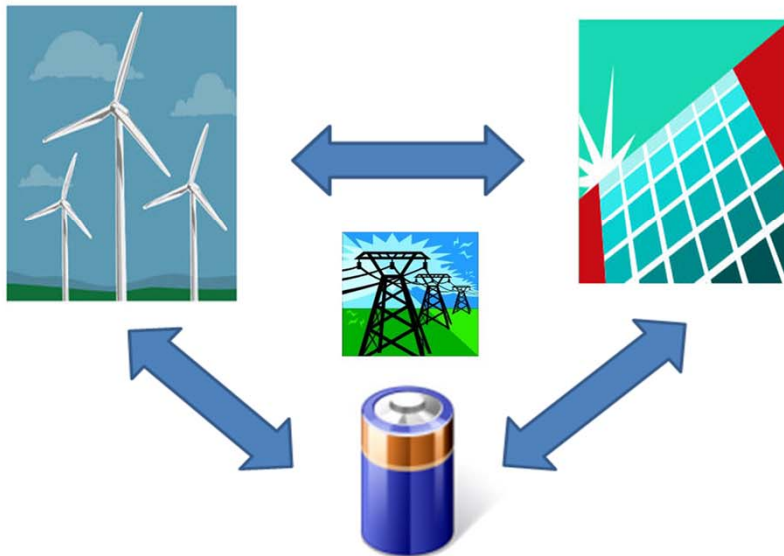
Der dabei voraussichtlich zunehmende Strombedarf wird aus natürlichen Energiekreisläufen zu decken sein.

Ohne Elektromobilität, z.B. durch Substitution der fossilen Brennstoffe mit beispielsweise Methan, das aus Wind- und Solarstrom erzeugt wird, lassen sich die Umwandlungsverluste in Verbrennungsmotoren kaum reduzieren. In diesem Fall müsste deutlich mehr regenerative Energie gewonnen werden und eine entsprechend größere Anzahl von Wind- und Solarenergiesystemen errichtet werden.

Auch die Wärmebereitstellung für Gebäude ließe sich ohne saisonale Wärmespeicherlösungen mit Kraft-Wärme gekoppelten Heiz- und Stromerzeugungsanlagen oder zukünftig auch mit Brennstoffzellen z.B. auf Methanbasis realisieren. Auch dieser Ansatz erfordert mehr Energieumwandlungsanlagen, als in der gezeigten Grafik angenommen wird.

Die Verfügbarkeit von regenerativer Energie als Solches ist kein Problem. Vielmehr geht es um die Frage des Aufwands und die Bereitschaft, entsprechende Veränderungen im Lebensumfeld zuzulassen.

## Stromverbrauch, Wind, Sonne und Speicher



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

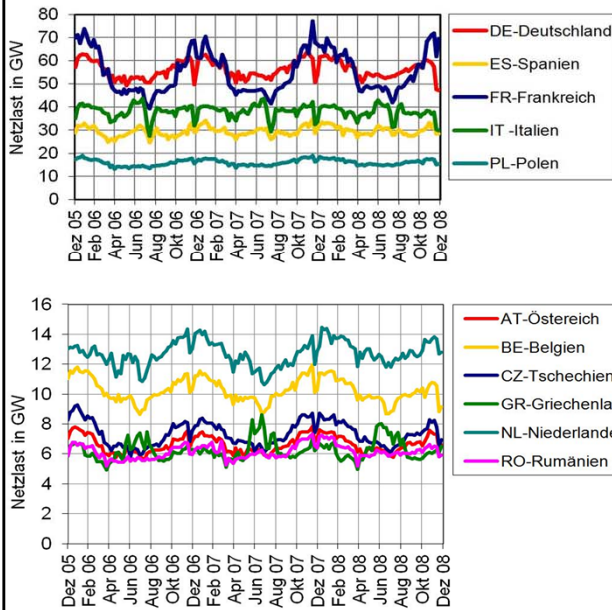
5

Die maßgeblichen regenerativen Energien stehen aber volatil, also wetterlaunig zur Verfügung.

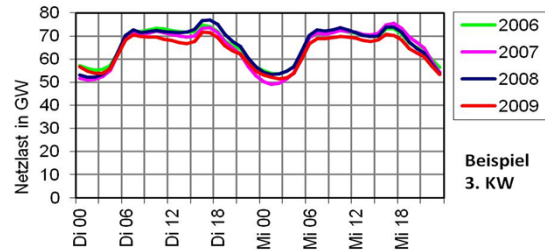
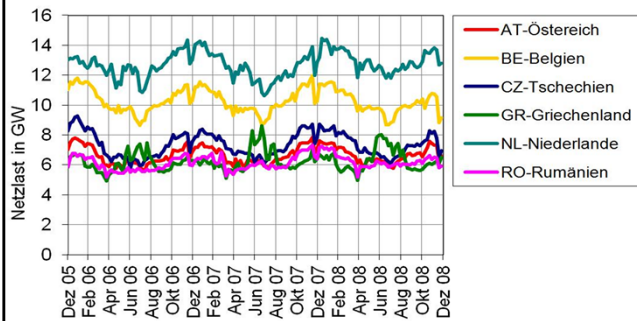
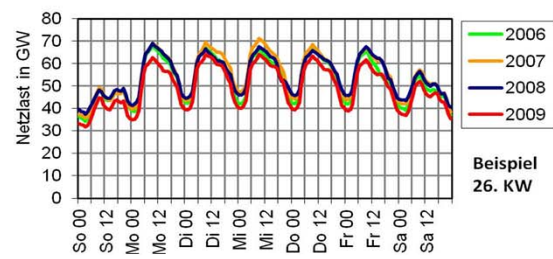
Durch Speichereinsatz können sie der Nachfrage angepasst werden.

# Stromverbrauch in Europa

wöchentliche Netzlasten europäischer Länder



tageszeitliche Netzlasten in Deutschland



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

6

Der **Verbrauch** in den europäischen Ländern ist im Normalfall im Winterhalbjahr höher als im Sommer.

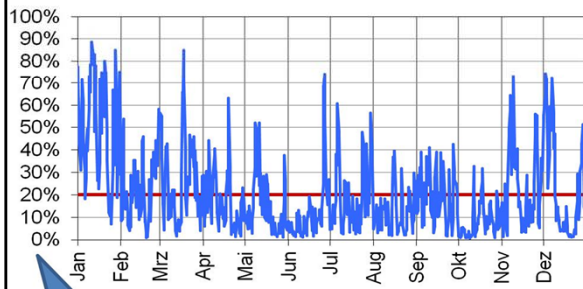
Er zeigt in Abhängigkeit von den elektrisch betriebenen industriellen Prozessen, der Jahreszeit, den Wetterverhältnissen, Ferienzeiten, Feiertagen, Großereignissen, der Nutzung elektrischer Heizeinrichtungen und dem Verbrauchsverhalten in den verschiedenen Ländern einen typischen wöchentlichen Verlauf.

Elektrische Energie kann im Stromnetz nicht direkt gespeichert werden, sondern muss in jedem Moment mit der Leistung bereitgestellt werden, die verbraucht wird.

Die Energiewirtschaft hat diese Versorgungsaufgabe, die der Verbrauch vorgibt, in jedem Moment präzise zu erfüllen, egal welcher Kraftwerkspark sich dahinter befindet.

## Charakteristik der Windenergie

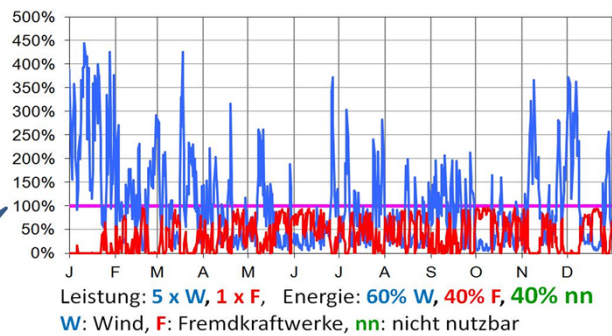
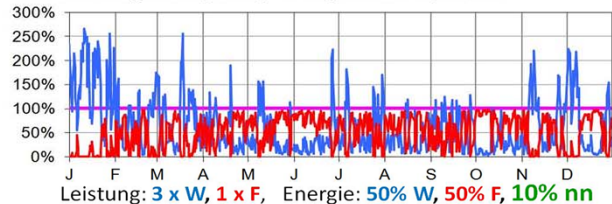
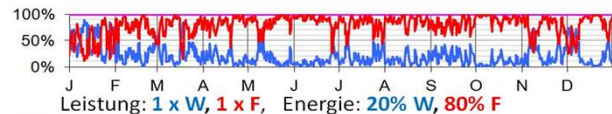
**Tatsächliche  
Windstromeinspeisung in  
Deutschland  
beispielhaft für 2005 (blau)  
Benutzungsgrad ca. 20%**



100% = installierte  
Nennleistung

100% =  
durchschnittliche  
Nachfrage

### Ausbauszenarien ohne Speicher



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

7

Die in den Windenergieanlagen installierte maximale Generatorleistung wird bei deutschlandweiter Betrachtung, wegen meist schwächerer Winde, praktisch nie erreicht.

Ab und zu gibt es landesweite Flauten, in denen die Windstromproduktion gegen Null abfällt.

Die gewählte Darstellung vergleicht die verfügbare Windleistung mit der in den Generatorgondeln installierten maximalen Leistung. Damit können auch Versorgungsverhältnisse untersucht werden, mit denen bei einem weiteren Ausbau der Windenergie zu rechnen ist.

Immer dann, wenn der Windstrom nicht ausreicht, um die ihm zugedachte Versorgungsaufgabe zu erfüllen, müssen andere Kraftwerke einspringen, um das Defizit auszugleichen.

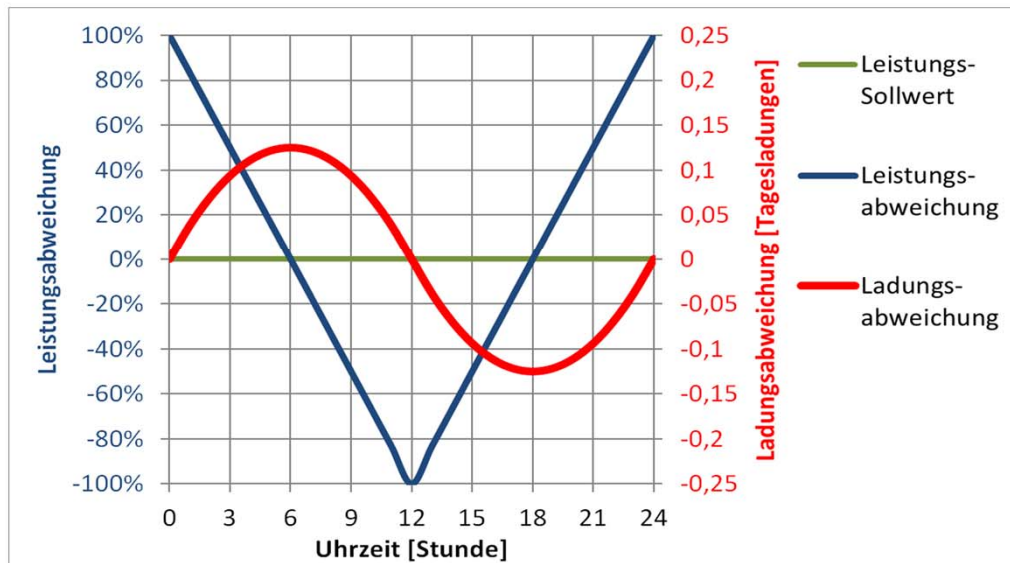
Im Durchschnitt lieferten die Windenergieanlagen Deutschlands etwa 20% der Leistung auf die sie ausgelegt sind.

Ihr Benutzungsgrad lag damit bei durchschnittlich 20% oder erreichte 1750 Volllaststunden. Windenergieanlagen können jedoch auch so ausgelegt werden, dass sie höhere Benutzungsgrade erreichen.

Zur Ermittlung der notwendigen Speichereigenschaften zum Ausgleich von Überschüssen und Defiziten wird die Ladungsabweichung eingeführt.

# Ladungsabweichung

als charakteristisches Merkmal volatiler Stromquellen



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

8

Die **Ladungsabweichung** zeigt, wie ein idealer Speicher bewirtschaftet werden müsste, um aus einer volatilen Erzeugungsleistung eine konstante Versorgungsleistung zu machen, wenn genau gleich viel Strom erzeugt und verbraucht würde.

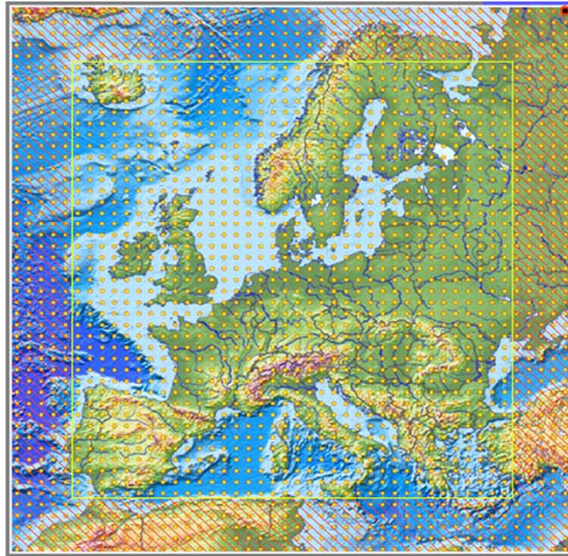
Zeitweise Leistungsüberschüsse würden einen Speicher aufladen und Defizite würden ihn entleeren.

Am Ende eines Untersuchungszeitraums hätte der Speicher wieder den anfänglichen Ladezustand.

Mathematisch handelt es sich um das Integral der Durchschnittsleistungsabweichung über der Zeit.



## Windenergie in Europa - Datengrundlage



Rastergebiete

90 x 90 km

Windgeschwindigkeit

100 Meter über Grund

1970 bis 2008

3-stündige Zeitschritte

Quelle:

Anemos Gesellschaft für  
Umweltmeteorologie mbH

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

9

Mit diesem Konzept wurde die Windenergie in Europa untersucht.

Zur Verfügung stand ein digitaler Windatlas.

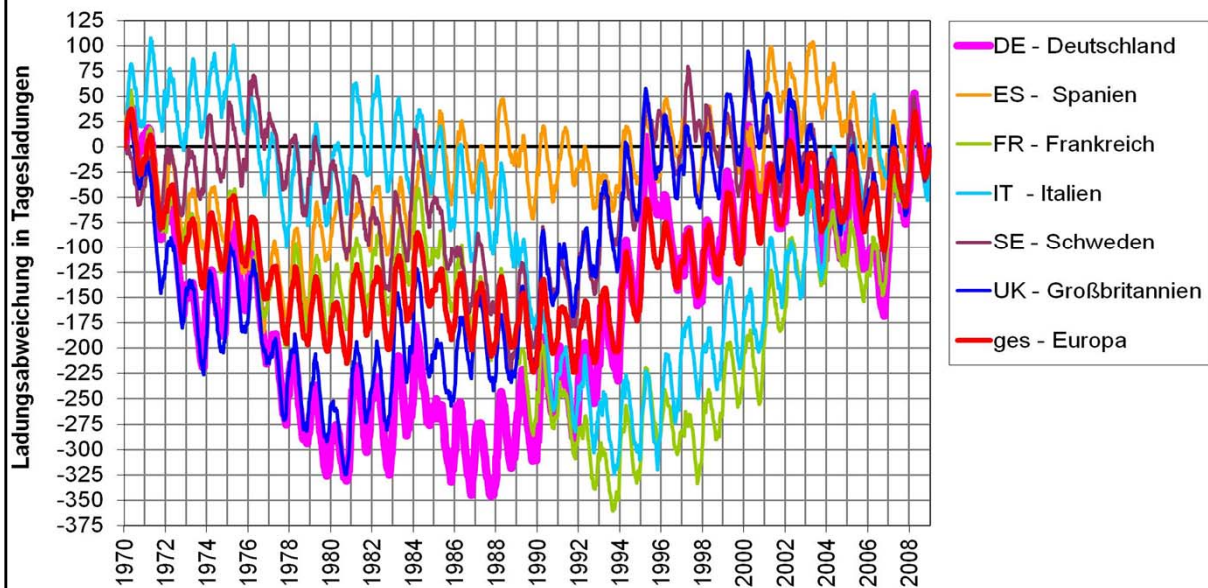
In dreistündigen Zeitschritten wurden Windleistungen für alle Länder Europas berechnet, die sich an den Kennlinien realer Windenergieanlagen orientieren.

Der Vergleich dieser berechneten Werte, mit den tatsächlichen Windstromeinspeisungen in Deutschland, ergab eine gute Übereinstimmung und begründet das Vertrauen in die angewandte Vorgehensweise.

Betrachten wir die dabei ermittelten Ladungsabweichungen.

## Ladungsabweichung der Windenergie in Europa

für Windenergieanlagen mit 20% Benutzungsgrad



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

10

Für den Untersuchungszeitraum ergeben sich für einige große Stromverbrauchsländer und für Europa insgesamt die dargestellten Ladungsabweichungen.

Eine Tagesladung ist die elektrische Energie, die im Langzeitdurchschnitt an einem Tag im jeweiligen Gebiet verbraucht wird.

Zugrunde liegt die Annahme, dass in jedem europäischen Land, und damit auch in Europa insgesamt, Windenergieanlagen zur Verfügung gestanden hätten, mit denen im Gesamtzeitraum genau so viel Strom hätte produziert werden können, als über diesen Zeitraum verbraucht wurde. Folglich ist die Ladungsabweichung am Anfang und am Ende der Untersuchung genau auf Null.

In windschwachen Perioden kommt es zu einer Speicherleerung, in windstarken zu einer Speicheraufladung.

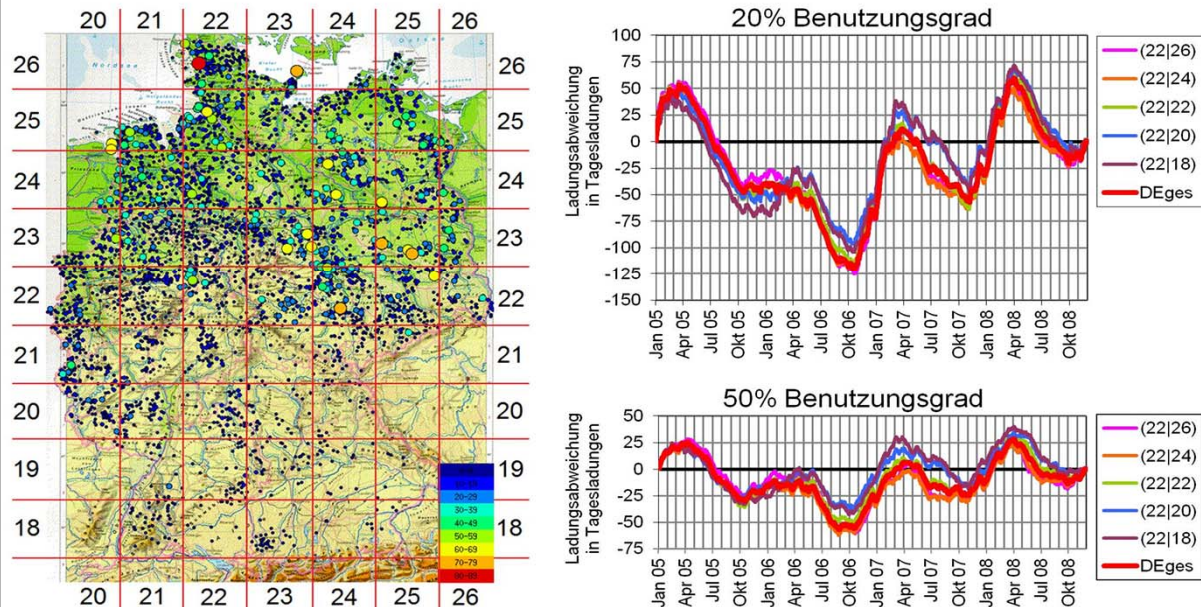
Die Kurven zeigen erhebliche Unterschiede im jährlichen Windenergiedargebot der einzelnen Länder.

Die Ladungsabweichungen bauen sich dabei in einigen Ländern zu Beträgen auf und wieder ab, die dem Stromverbrauch eines gesamten Jahres entsprechen.

Besonders zu beachten ist, dass es in allen Ländern Europas im Winter, wegen durchschnittlich stärkerer Winde zu einer Ladungszunahme und im Sommer, wegen schwächerer Winde zu einer Ladungsabnahme käme.

Die bei der Windenergienutzung auftretende Ladungsabweichung hängt dabei stark von der technischen Auslegung der Windenergieanlagen ab.

## Benutzungsgrad und Ladungsabweichung



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

11

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.

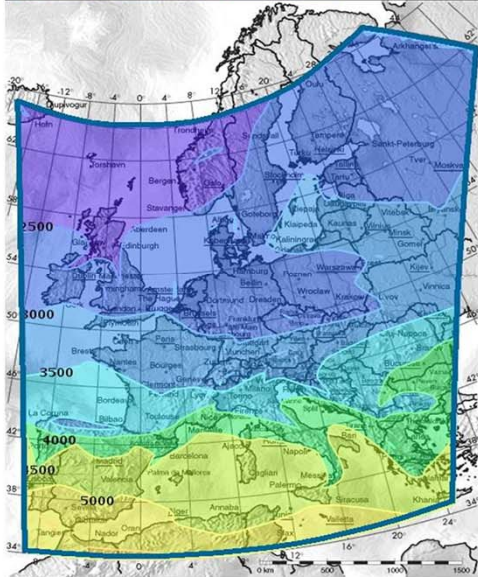
Die Ausgleichseffekte durch eine leistungsstarke nationale Vernetzung werden sich deshalb bezüglich der Windenergie in Grenzen halten.

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

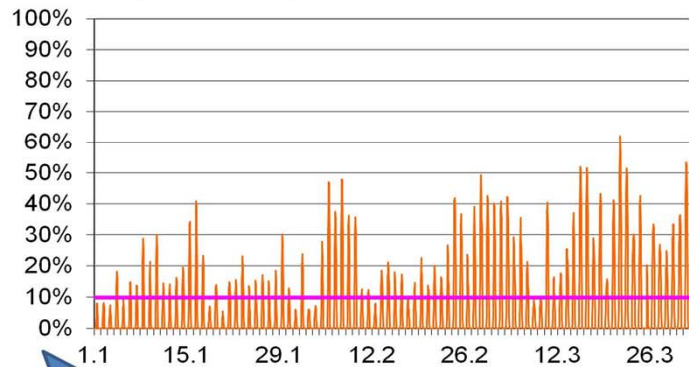
*(Details dazu befinden sich im Anhang)*

## Solarenergie Dargebot

Satellite Light Zone: Europe From Sunrise To Sunset Clock Time, 1996 to 2000  
Jan Feb Mar Apr May Jun Jul Aug Sep Oct Nov Dec All Year  
Information: Mean Daily Global Horizontal Irradiation  
1500 2000 2500 3000 3500 4000 4500 5000 5500 6000 Date: 12/05/09  
wfh/m2 www.satellite-light.com



tatsächliche Solarstromerzeugung  
in Deutschland im 1. Quartal 2005 (orange)  
Benutzungsgrad, bezogen auf das Gesamtjahr ca. 10%



100% = installierte  
Nennleistung (= Peakleistung)

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

12

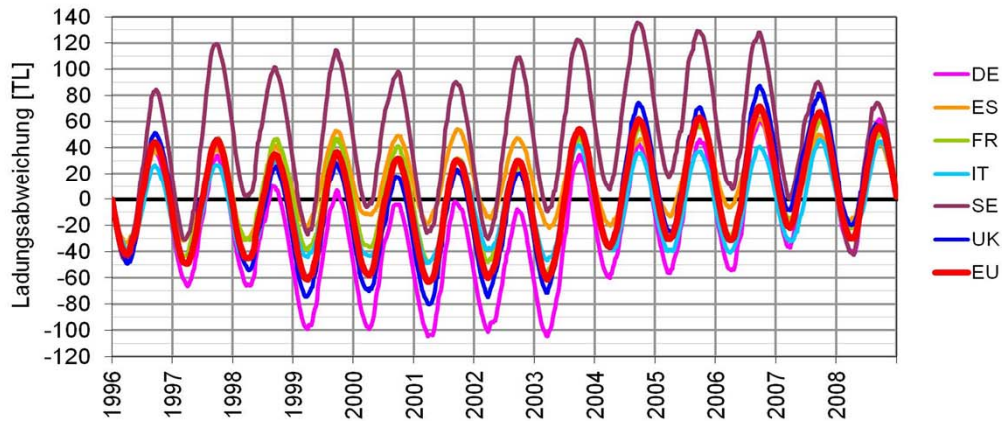
Für die analog untersuchte **Solarenergie** standen Globalstrahlungsdaten aus Meteosat Messungen zur Verfügung.

Die Einspeiseleistung kommt in täglichen Pulsen an und erreicht im Langzeitdurchschnitt für Deutschland ca. 10% der mit Solarmodulen installierten Peakleistung.

*(Peakleistung ist die Leistungsabgabe eines Solarmoduls bei einer genormten hohen Einstrahlung ( $1000 \text{ W/m}^2$ ), die in Deutschland über Mittag an einem klaren Sommersonnentag erreicht werden kann)*

Auch dafür wurden die Ladungsabweichungen ermittelt.

## Ladungsabweichung einer Solarstromversorgung



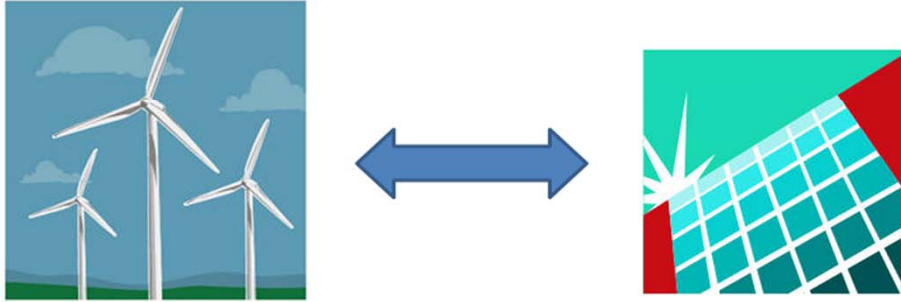
(C) Prof. Dr.-Ing Matthias Popp, Technische Hochschule Nürnberg

13

Das Diagramm zeigt erwartungsgemäß, dass sich die Speicher im Sommer füllen und im Winter leeren würden.

Damit verhält sich die Ladungsabweichung der Sonnenenergie in Europa gegenläufig zur Ladungsabweichung der Windenergie.

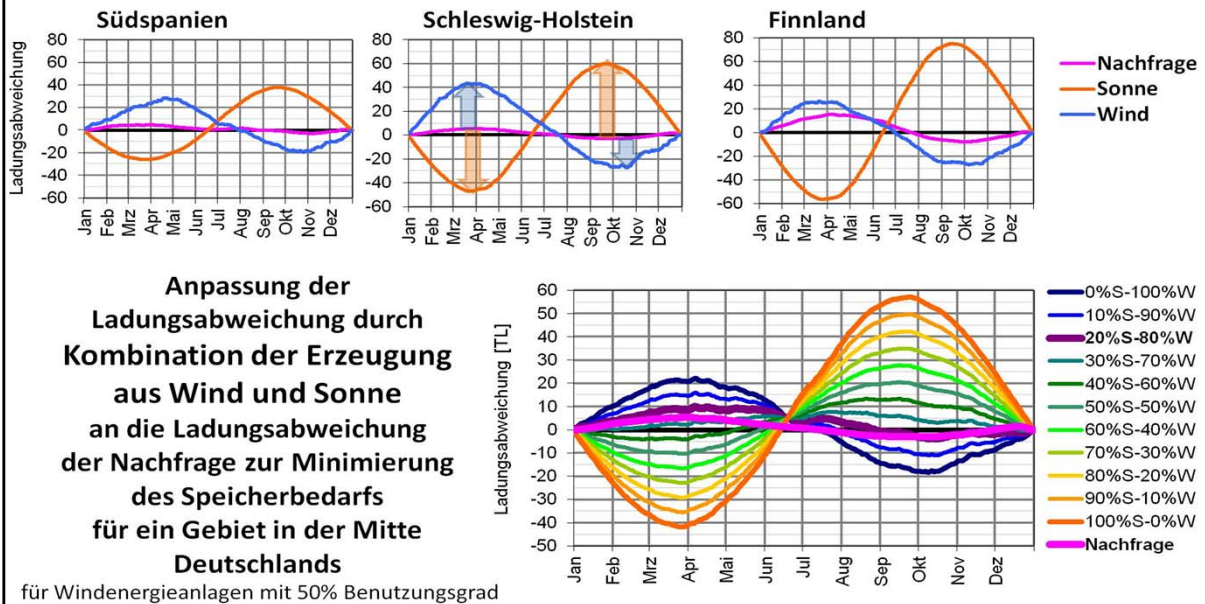
## Kombination von Wind und Sonne



Daher liegt es nahe, über eine Kombination dieser beiden volatilen Energieressourcen nachzudenken.

## jahresdurchschnittliche Ladungsabweichungen

der Nachfrage sowie des Solar- und Windenergieangebots in Beispielregionen



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

15

Zur Veranschaulichung dieser Verhältnisse wurden die Wochenmittelwerte der Ladungsabweichungen von Wind, Sonne und der Nachfrage aus 13 Jahren auf einen Jahreszeitraum zusammengefasst.

Die Summe der beiden blauen Pfeile im Beispiel für Schleswig-Holstein gibt die Speicherkapazität wieder, die dort ein bedarfsgerechter Ausgleich der Windenergie erfordern würde.

Ein realer Speicher müsste den Unterschied zwischen maximaler Aufladung über der Verbrauchskurve und maximaler Entnahme unterhalb der Verbrauchskurve ausgleichen können.

Die Summe der beiden orangen Pfeile ergibt analog die erforderliche Speicherkapazität für eine reine Fotovoltaik Versorgung.

Die Erzeugungsbeiträge von Wind und Sonne können für jede Region und jedes Land so aufeinander abgestimmt werden, dass sie in Summe eine minimale Abweichung von der regionstypischen Nachfrage aufweisen.

Über den darüber ermittelten Erzeugungsmix lässt sich die erforderliche Speicherkapazität minimieren.

## Reale Versorgung und Speicherbedarf



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

16

Reale Versorgungssysteme müssen mit verlustbehafteten Speichern und mit verlustbehafteten Übertragungsnetzen zurechtkommen.

Speicher können zudem nur über begrenzte Kapazität und Übertragungsnetze nur über begrenzte Übertragungsleistungen verfügen.



# Sichere Stromversorgung durch Erzeugungsreserven

## Erzeugungsreserven

dienen neben dem

## Ausgleich von Speicher- und Übertragungsverlusten

auch dazu,

**verbrauchsstarke** und/oder **erzeugungsschwache Jahre** mit **begrenzten Speicherkapazitäten** sicher **überbrücken** zu können.

Damit sich damit trotzdem eine sichere und jederzeit bedarfsgerechte Stromversorgung aufbauen lässt, sind **Erzeugungsreserven** erforderlich.

Diese erlauben es, im Langzeitdurchschnitt mehr volatile Energie in elektrischen Strom umzuwandeln, als tatsächlich verbraucht wird.

Erzeugungsreserven werden benötigt, um Speicher- und Übertragungsverluste auszugleichen und um nach erzeugungsschwächeren Perioden die Speicher immer wieder aufladen zu können.

### *Hinweis:*

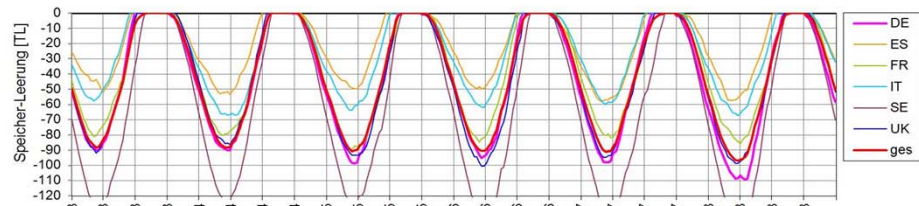
*Auch die konventionelle Stromversorgung erfordert einen Kraftwerkspark mit erheblichen Erzeugungsreserven. Nicht die durchschnittlich nachgefragte Leistung, sondern die höchste einmalig zu erfüllende Leistungsspitze muss abgedeckt werden können.*

*Die in Einsatzbereitschaft gehaltene Kraftwerksleistung lag vor der Energiewende in Deutschland deshalb etwa beim Doppelten, der im Durchschnitt nachgefragten Leistung.*

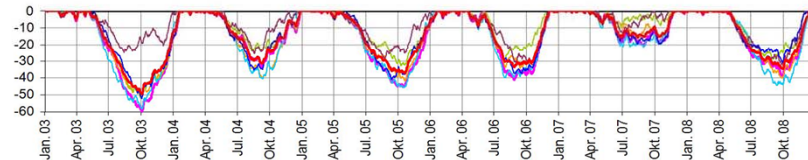
## Speicherleerungskurven bei 30% Erzeugungsreserve

Solarenergie  
mit leistungsverstärkten  
Speichern

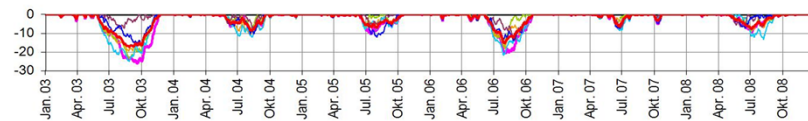
mit 80%  
Speicherwirkungsgrad  
bei leistungsstarker  
kontinentaler Vernetzung



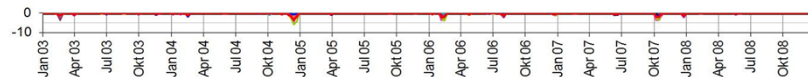
Windenergie mit  
20% Benutzungsgrad



Windenergie mit  
50% Benutzungsgrad



optimierte Kombination  
aus Sonne und Wind  
mit 50% Benutzungsgrad



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

18

Die Speicherbewirtschaftung für reale, technisch umsetzbare Bedingungen, lässt sich über **Speicherleerungskurven** darstellen.

Diese sind hier dargestellt unter der Annahme einer 30 prozentigen Erzeugungsreserve und eines länderübergreifend ideal kooperierenden Europas.

Bei einer reinen Photovoltaik Versorgung ergäben sich die größten Speicherleerungen am Ende des Winters mit teilweise über 100 Tagesladungen.

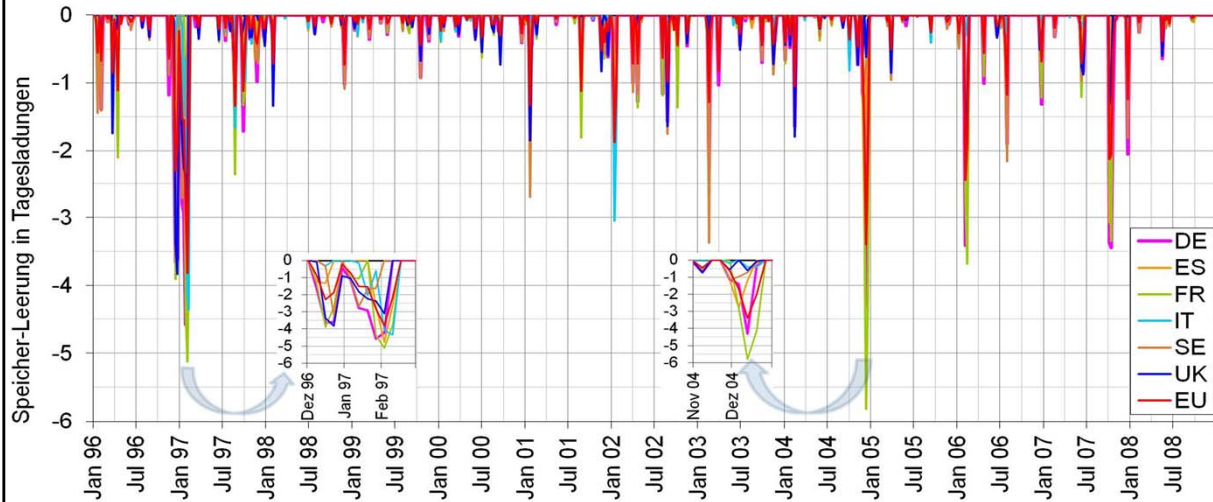
Windenergie mit dem niedrigen, derzeit in Deutschland feststellbaren Benutzungsgrad von ca. 20% hätte die größten Speicherleerungen am Ende des Sommers mit bis zu 60 Tagesladungen.

Windenergie mit höherem Benutzungsgrad könnte die Speicherleerung und damit die für eine sichere Stromversorgung erforderliche Speicherkapazität auf ca. 26 Tagesladungen reduzieren.

Ein optimaler Mix dieser beiden Energiearten würde eine drastische Reduzierung der maximal notwendigen Speicherkapazität bewirken.

## Speicherbedarf minimierende Kombination

aus Windenergie mit 50% Benutzungsgrad und Solarenergie  
bei leistungsstarker kontinentaler Vernetzung



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

19

Diese Verhältnisse werden in diesem Diagramm, für eine europaweit optimierte Zusammenarbeit, über einen längeren Zeitraum genauer aufgezeigt.

Man erkennt, dass es nur alle paar Jahre, während des Winters, zu einer bedeutenden Inanspruchnahme der Speicherkapazität käme.

Häufig würden die Speicher über viele Monate hinweg mit weniger als einer halben Tagesladung beansprucht, meistens wären die Speicher gut gefüllt.

## 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"> <li>• Gaskraftwerke,</li> <li>• Ölkraftwerke,</li> <li>• Steinkohlekraftwerke</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Speicherwasserkraftwerke (soweit Kapazität vorhanden),</li> <li>• Biomethankraftwerke</li> </ul>
weitgehend konstant	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Kernkraftwerke,</li> <li>• Braunkohlekraftwerke</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Geothermiekraftwerke,</li> <li>• Biomassekraftwerke,</li> <li>• Gruben-/Deponiegaskraftwerke,</li> <li>• Müllverbrennungsanlagen</li> </ul>
Energiewetter abhängig	<ul style="list-style-type: none"> <li>• wärmegeführte Heizkraftwerke (KWK, mit fossilen Energieträgern betrieben)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Laufwasserkraftwerke,</li> <li>• Solarenergieanlagen,</li> <li>• Windenergieanlagen,</li> <li>• wärmegeführte Heizkraftwerke (KWK, mit regenerativen Energieträgern betrieben)</li> </ul>

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

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

22

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.

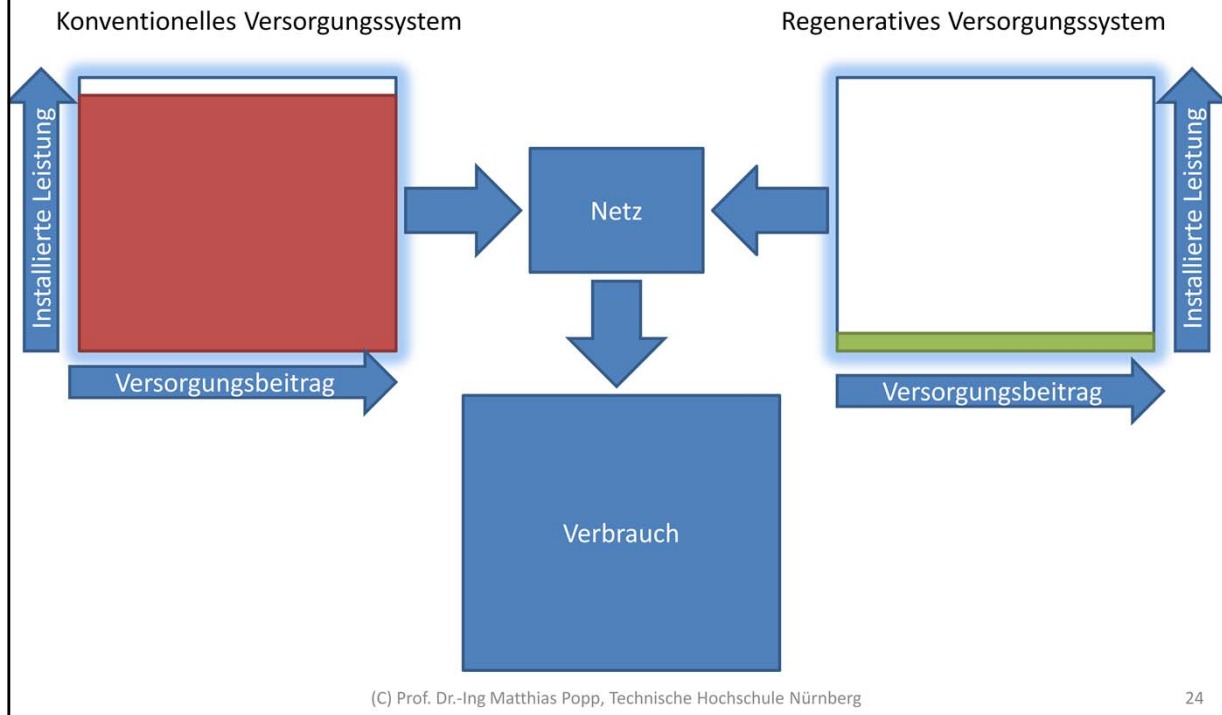
Passend ausgelegte Speichersysteme ermöglichen eine bedarfsgerechte Stromversorgung.

## **ideale und reale Transformation**

**ideal:        Regenerative ersetzen Konventionelle**

**real:         Regenerative überlassen Konventionellen  
die Versorgungssicherheit**

## ideale Transformation der Stromversorgung mit Speichern

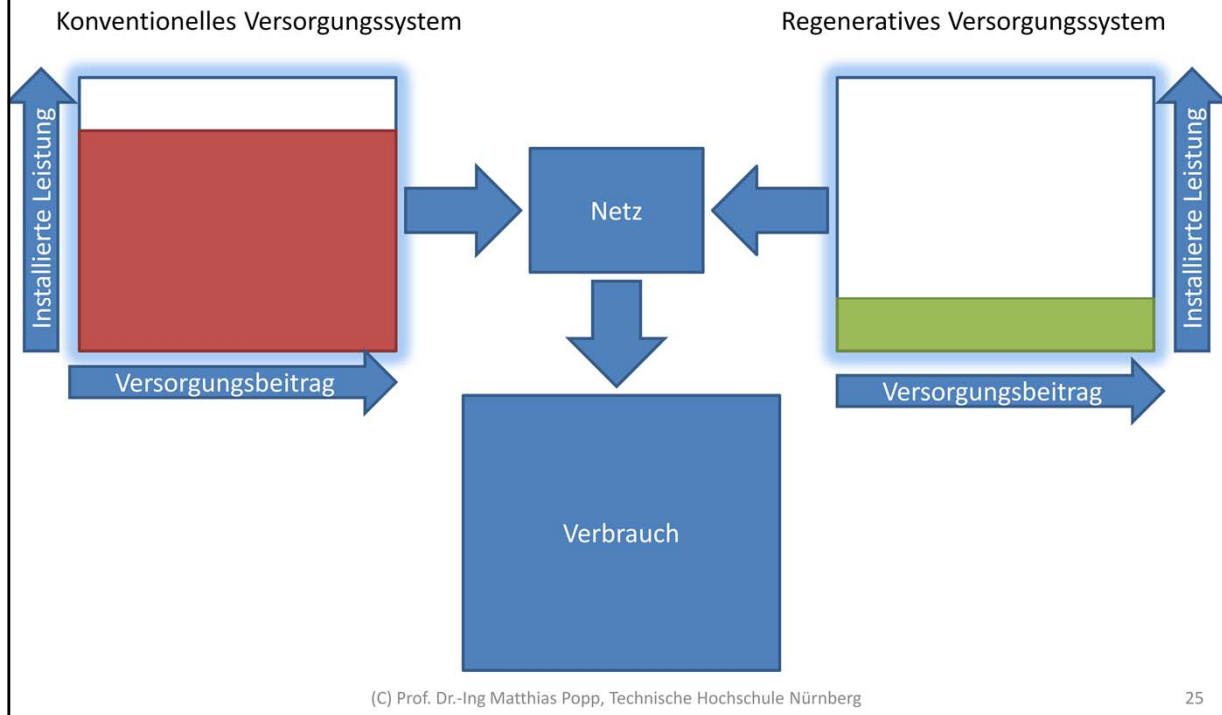


Historisch gesehen war ein konventioneller Kraftwerkspark darauf ausgelegt, den Verbrauch der Stromabnehmer jederzeit bedarfsgerecht zu decken.

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.

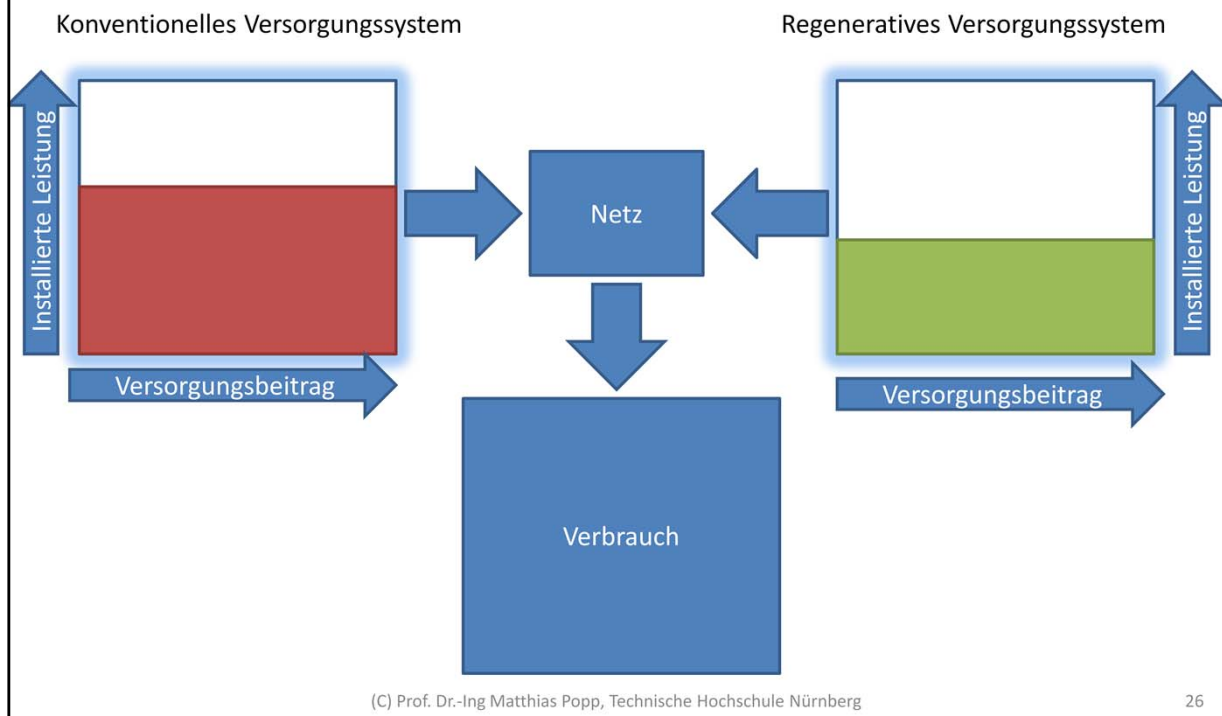


## ideale Transformation der Stromversorgung mit Speichern



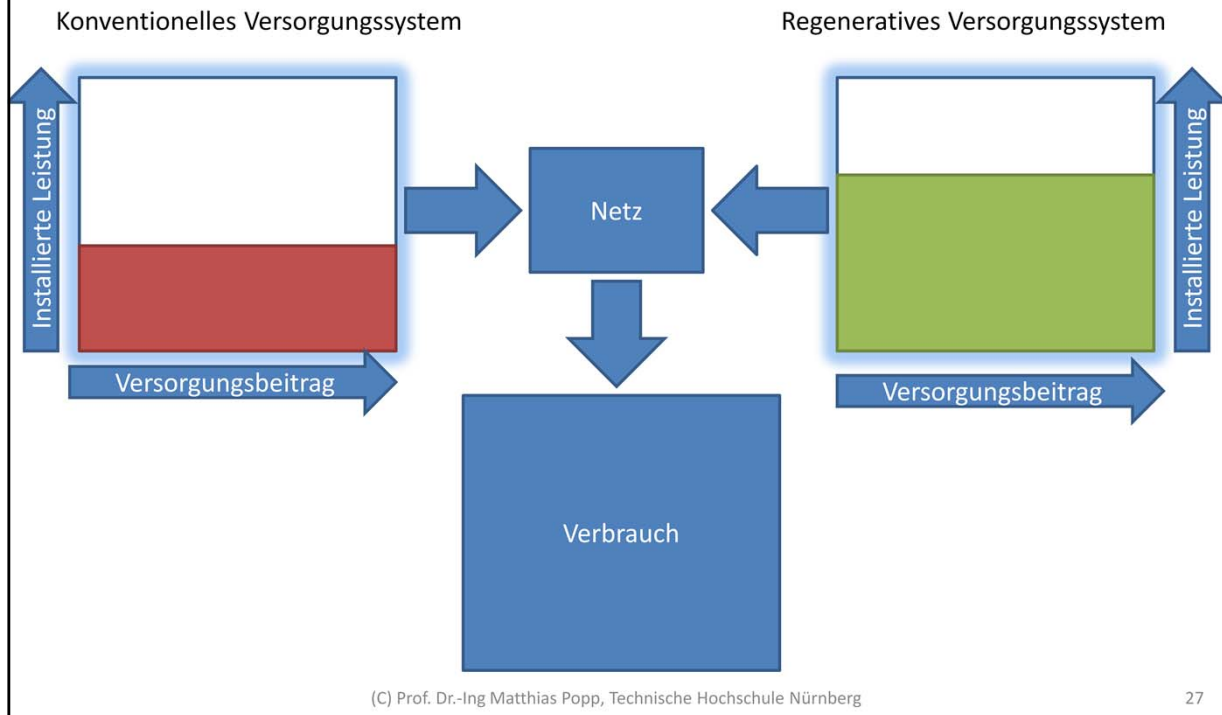
Bei einer idealen Transformation des Stromversorgungssystems könnte mit dem Zubau regenerativer Versorgungseinheiten die entsprechende Kapazität konventioneller Systeme stillgelegt werden.

## ideale Transformation der Stromversorgung mit Speichern



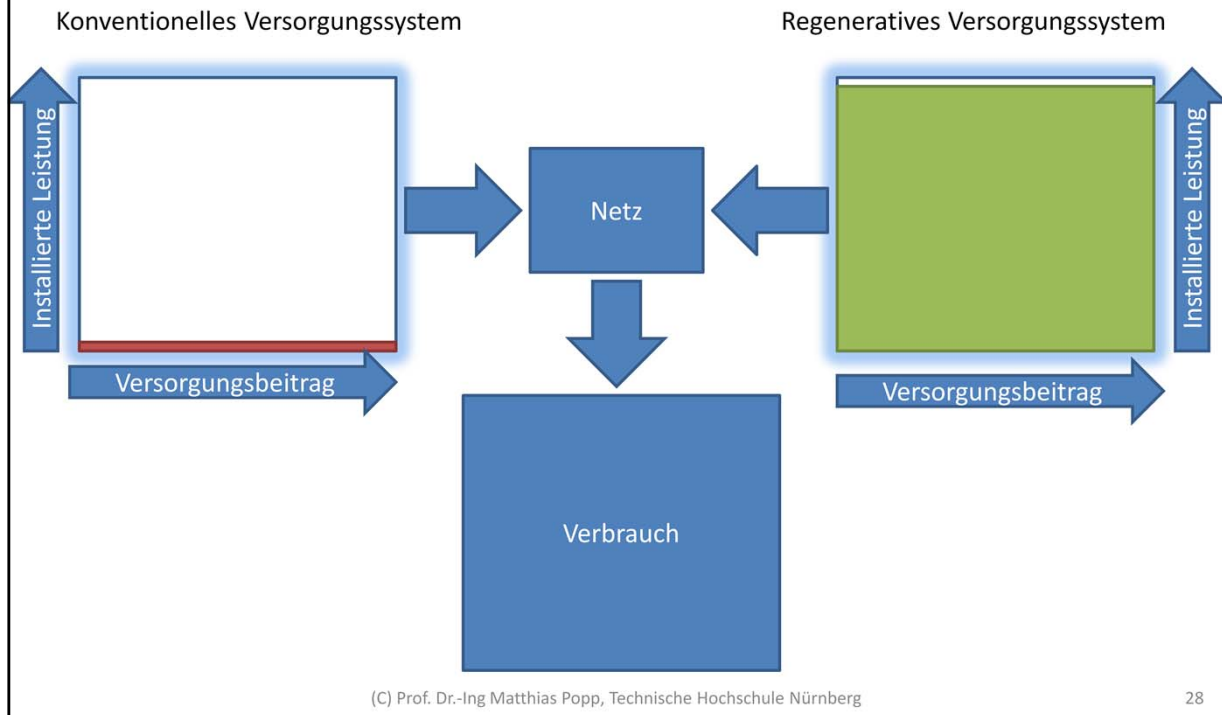
Erneuerbare Energiesysteme, die von Anfang an darauf ausgelegt wären, den Bedarf nachfragegerecht zu decken, würden es ermöglichen, auf konventionelle Kraftwerke zu verzichten.

## 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.

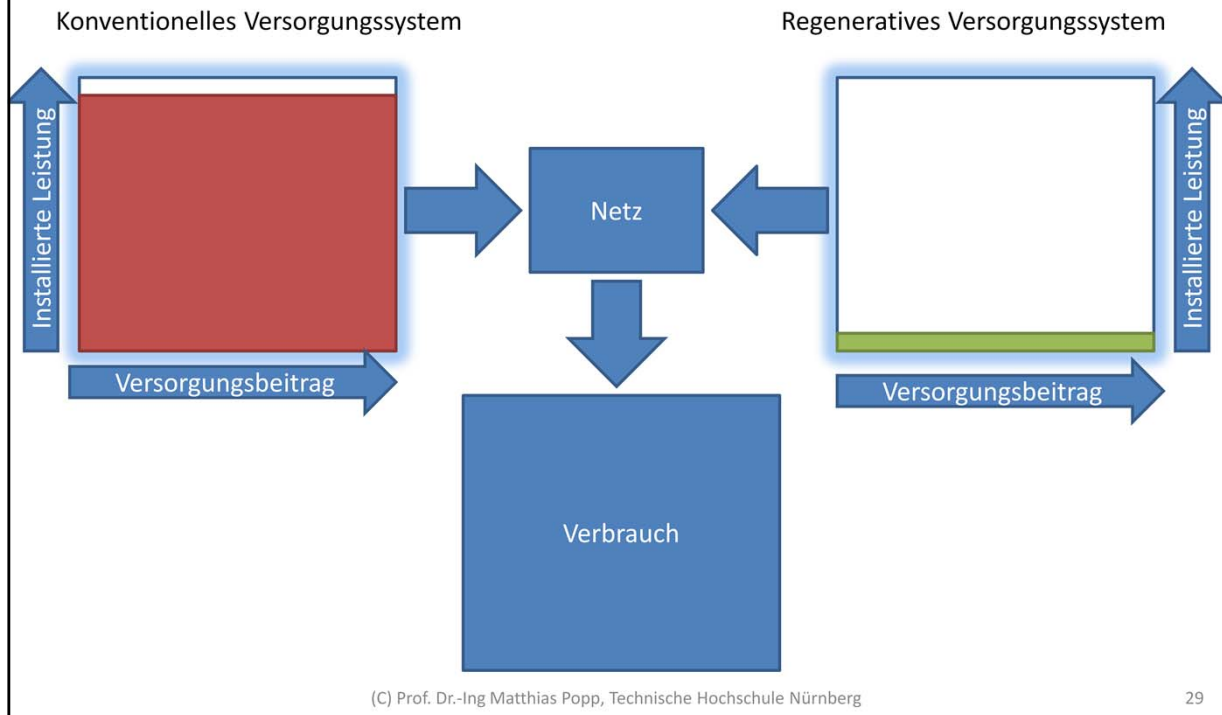
## ideale Transformation der Stromversorgung mit Speichern



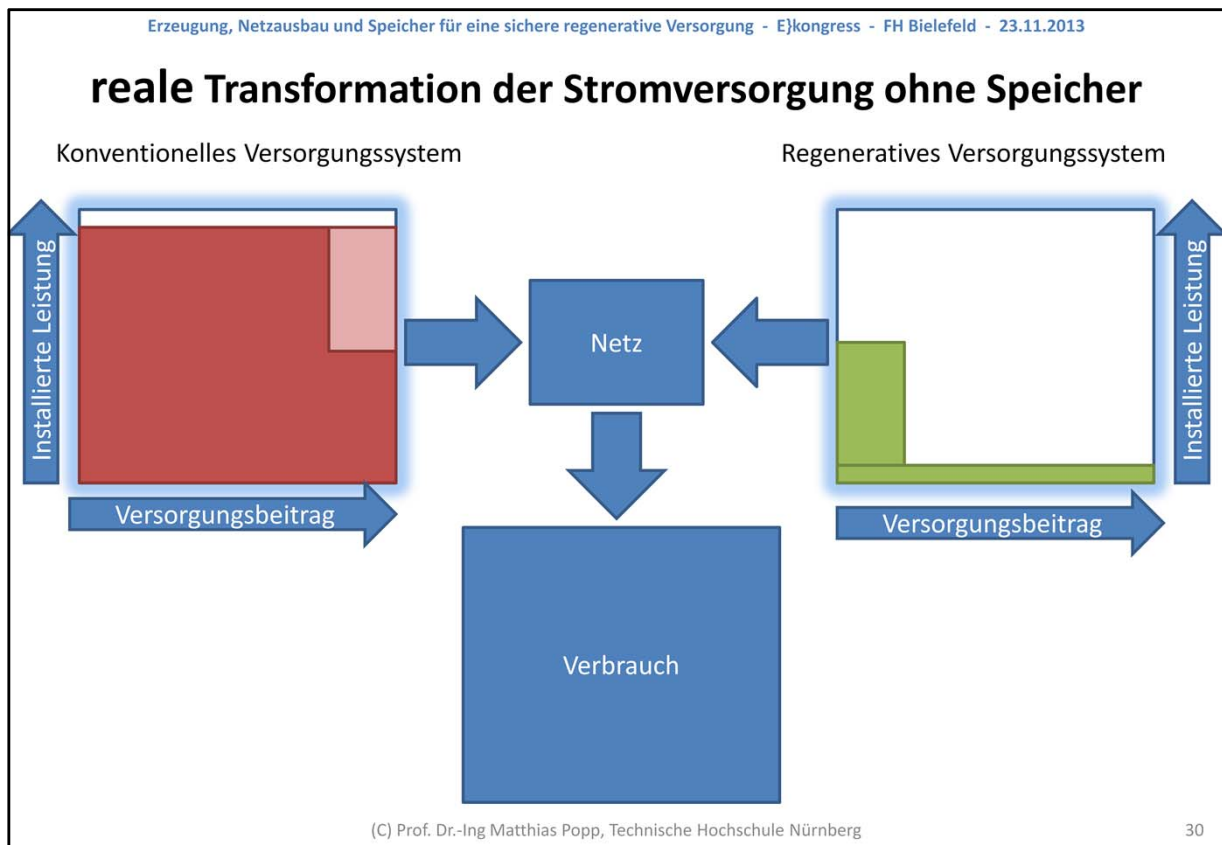
Am Ende hätten die regenerativen Versorgungssysteme die konventionellen abgelöst.

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.



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.

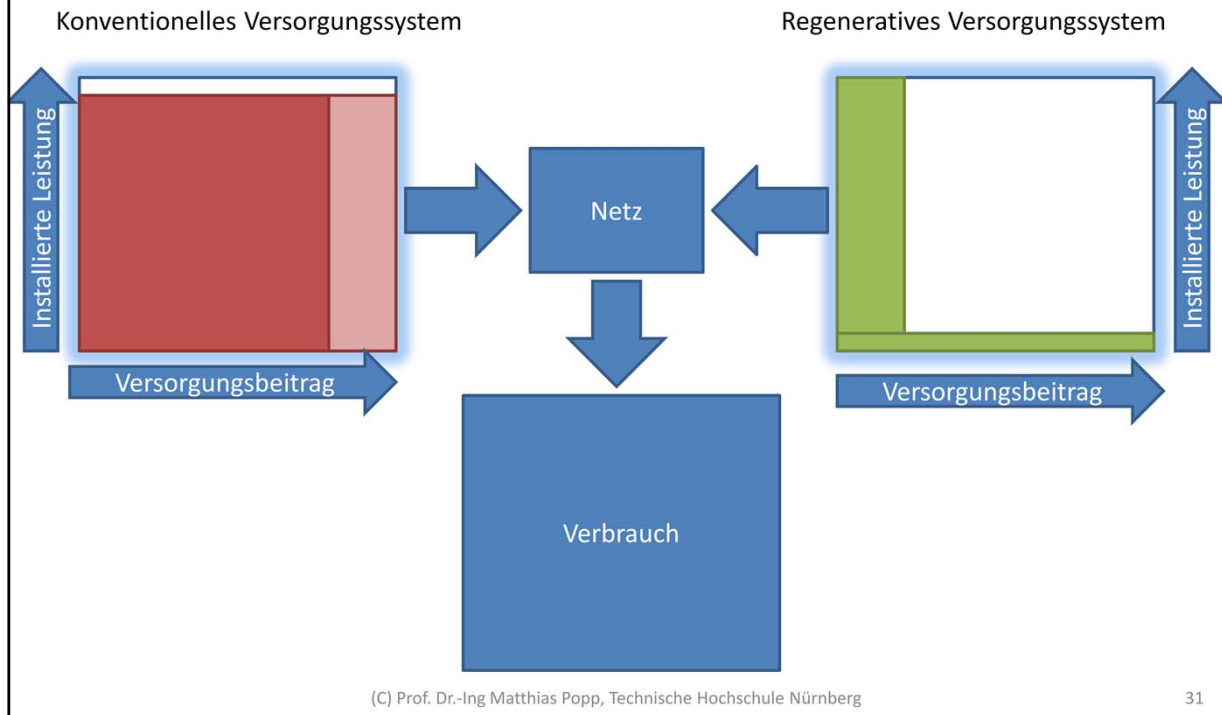
Das ist ein fundamentaler Unterschied zu vielen Wasserkraftanlagen, die über entsprechende Stauhaltungen über einen Energiespeicher verfügen und in der Lage sind, Leistung nach Bedarf zu liefern.

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



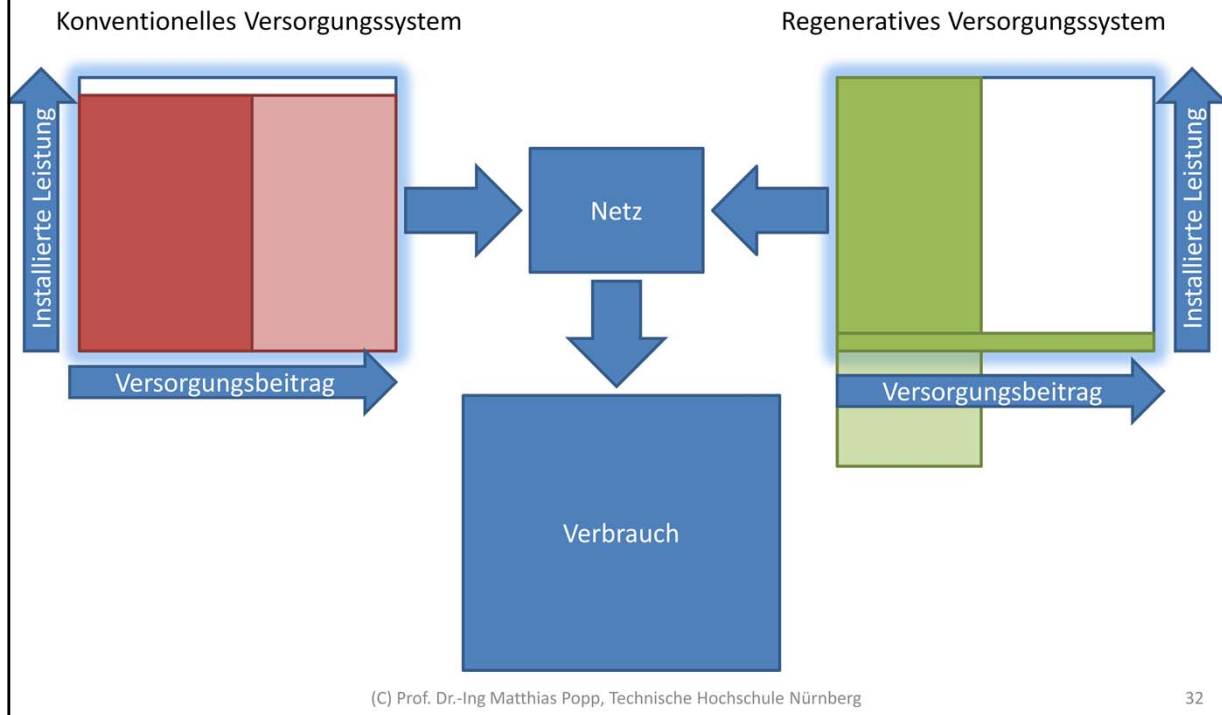
Mittlerweile erreicht die installierte Leistung der regenerativen Erzeugungssysteme die nachgefragte Leistung.

Die wetterlaunige Windstromerzeugung und der Ausfall 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



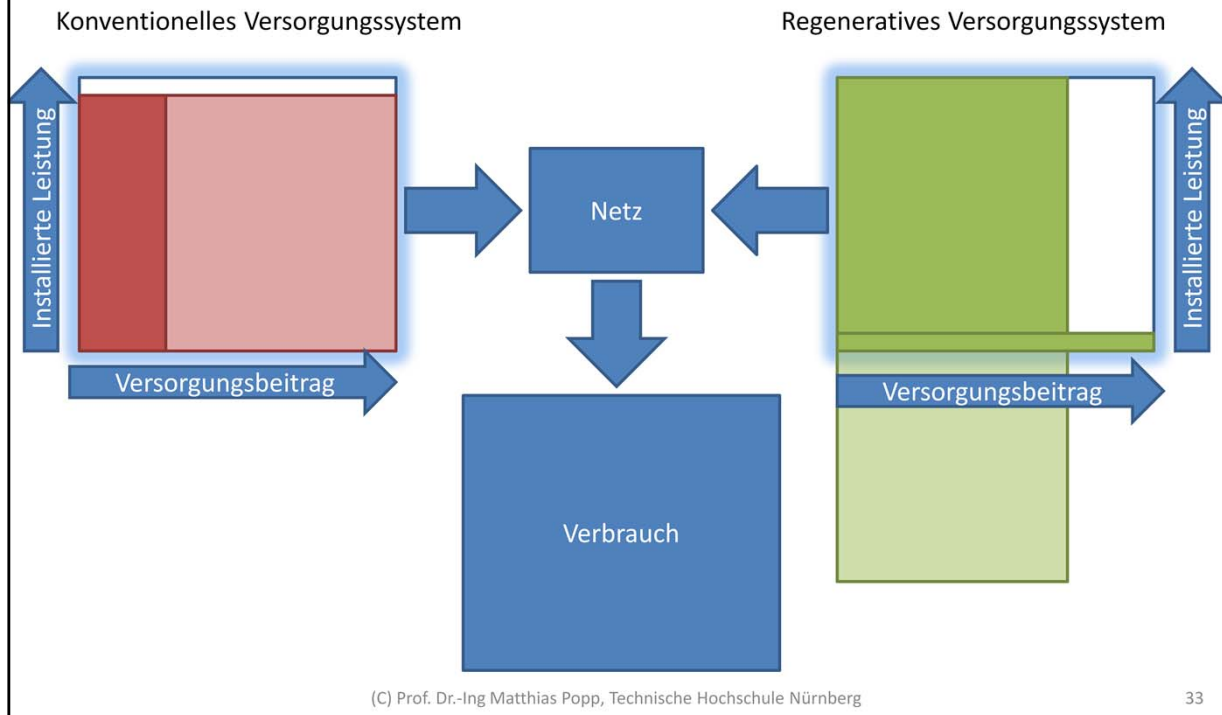
Baut man die volatilen regenerativen Erzeugungssysteme weiter aus, ohne dabei Einrichtungen zum bedarfsgerechten Ausgleich dieser meist von der Nachfrage abweichenden Erzeugungsleistung zu errichten, dann kann nur noch ein Teil der installierten Leistung zur Versorgung beitragen.

Die Überkapazität muss ungenutzt bleiben.

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



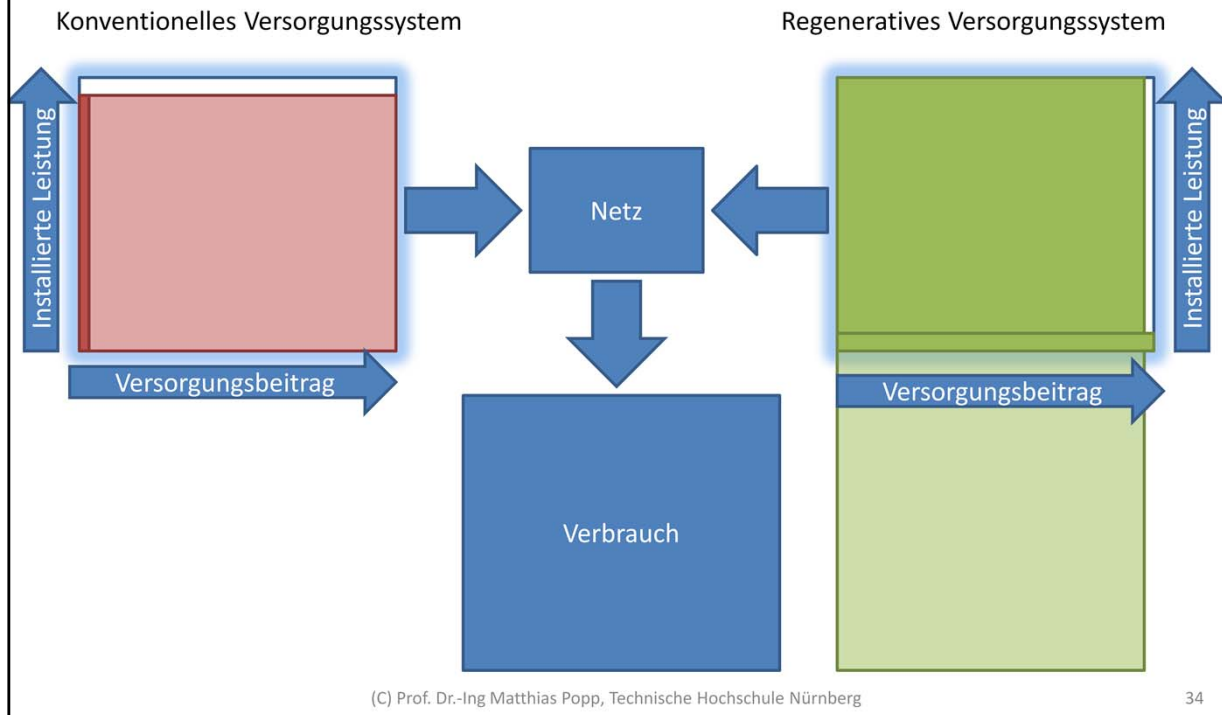
## reale Transformation der Stromversorgung ohne Speicher



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

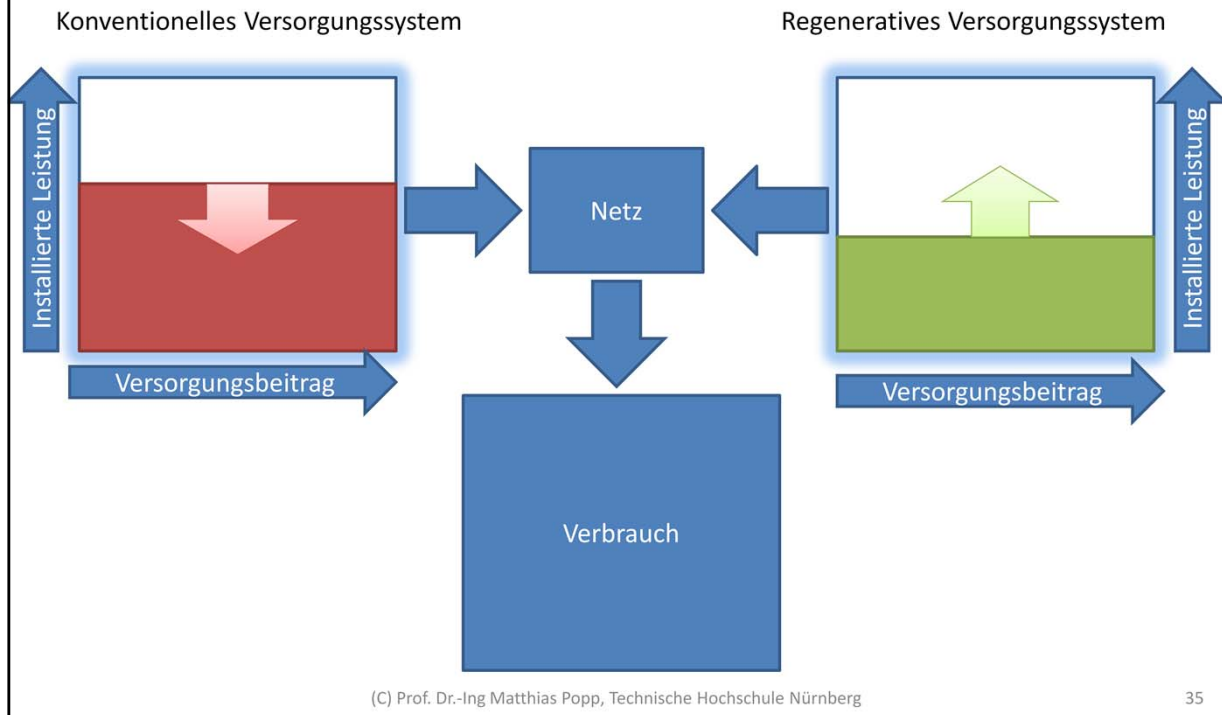


Am Ende unterhält man zwei Kraftwerksparks, die ein Mehrfaches der benötigten Energie umwandeln könnten.

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



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.