

# Wie viel Erneuerbare Energie verträgt unser Stromnetz? – Intelligente Stromnetze und Erneuerbare Energien in Bayern

Johannes Brantl, Leiter Assetmanagement, Bayernwerk AG, Regensburg  
Ruhstorf a. d. Rott, 31.03.2014

# Agenda

1. Vorstellung der Bayernwerk AG
2. Entwicklung der Erneuerbaren Energien
3. Entwicklung der Versorgungsqualität
4. Effekte der volatilen Einspeisungen
5. Speicher und steuerbare Lasten
6. Projekt „Netz der Zukunft“
7. Fazit

# Agenda

1. Vorstellung der Bayernwerk AG
2. Entwicklung der Erneuerbaren Energien
3. Entwicklung der Versorgungsqualität
4. Effekte der volatilen Einspeisungen
5. Speicher und steuerbare Lasten
6. Projekt „Netz der Zukunft“
7. Fazit

# Unser Stromnetz\*

Netzgebiet	41.434 km <sup>2</sup>
Mittelspannungsnetz (Verteilnetz)	
Kabel	24.600 km
Freileitung	20.700 km
Verkabelungsgrad:	54,8 %
Niederspannungsnetz (Ortsnetz inkl. Hausanschlüsse)	
Kabel	92.700 km
Freileitung	6.200 km
Verkabelungsgrad:	93,7 %
Straßenbeleuchtungsnetz	35.300 km
Umspannwerke	283
(Schnittstelle zwischen Hoch- und Mittelspannung; mit 557 Großtransformatoren)	
Trafostationen inklusive	
Übergabestationen	45.100
(Schnittstelle zwischen Mittel- und Niederspannung)	
Anzahl Neuanschlüsse in 2013	13.400
Anzahl PV-Anlagen Ende 2013	rd. 240.000



- Stromnetzgebiet
- Unternehmenssitz
- Regionalleitungen

bayernwerk

# Unser Erdgasnetz\*

Gasleitung (inkl. Hausanschlussleitung):

Hochdruckebene (HD) 910 km

Mitteldruckebene (MD) 4.320 km

Niederdruckebene (ND) 280 km

Anzahl Ausspeisepunkte:

HD-Ebene 2.900

MD-Ebene 71.500

ND-Ebene 7.100

Entnommene Jahresarbeit: 5,9 Mrd. kWh  
(für Weiterverteiler und Letztverbraucher)

Stationen:

Bezugsstationen 128

Verteilstationen 376

Abgabestationen 650

Odorierungsanlagen 74

Erdgastankstellen 4



# Agenda

1. Vorstellung der Bayernwerk AG
2. Entwicklung der Erneuerbaren Energien
3. Entwicklung der Versorgungsqualität
4. Effekte der volatilen Einspeisungen
5. Speicher und steuerbare Lasten
6. Projekt „Netz der Zukunft“
7. Fazit

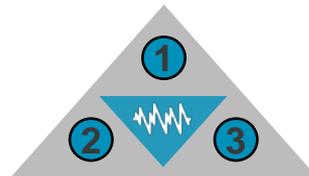
# Erneuerbare Energien bis 2050 bei 80 % als Ziel

- **Ausstieg Kernenergie** bis 2022 beschließt **Einstieg** in Zeitalter der **Erneuerbaren Energien** in Deutschland
- **Umstieg Energieversorgung erfordert einen umfassenden Systemumbau der Netze** (z. B. Lastverschiebung Norden, Süden)



- **Heute & morgen: Sicherstellung Balance im energiepolitischen Zieldreieck**

- Wirtschaftlichkeit
- Nachhaltigkeit
- Sicherheit

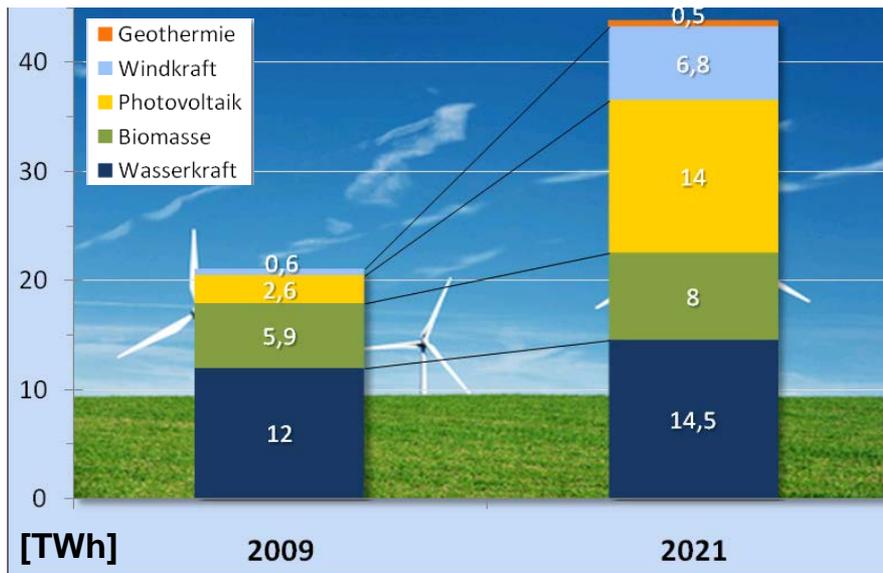


Die Gesellschaft muss den Kraftwerks- und Netzausbau mittragen

bayernwerk

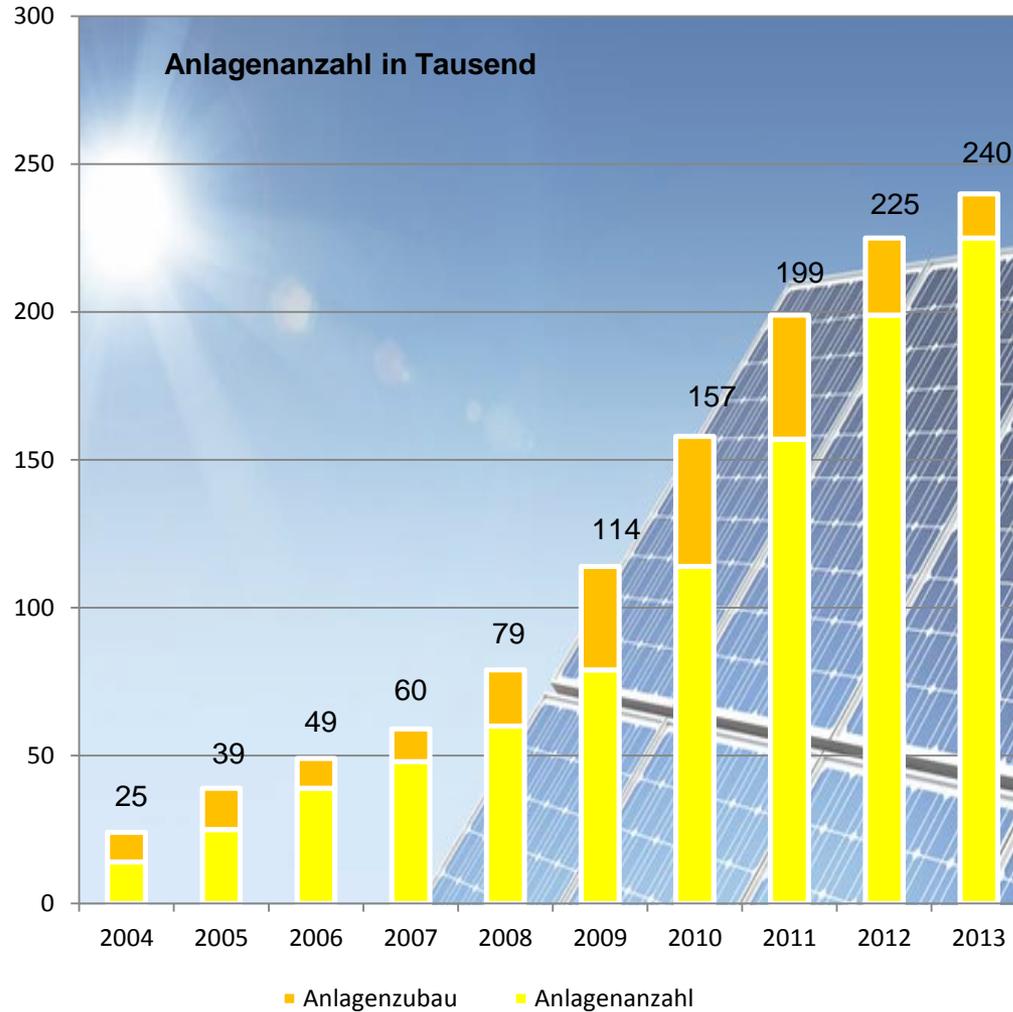
# Die Energiewende – Das Bayerische Energiekonzept

## Zielsetzungen

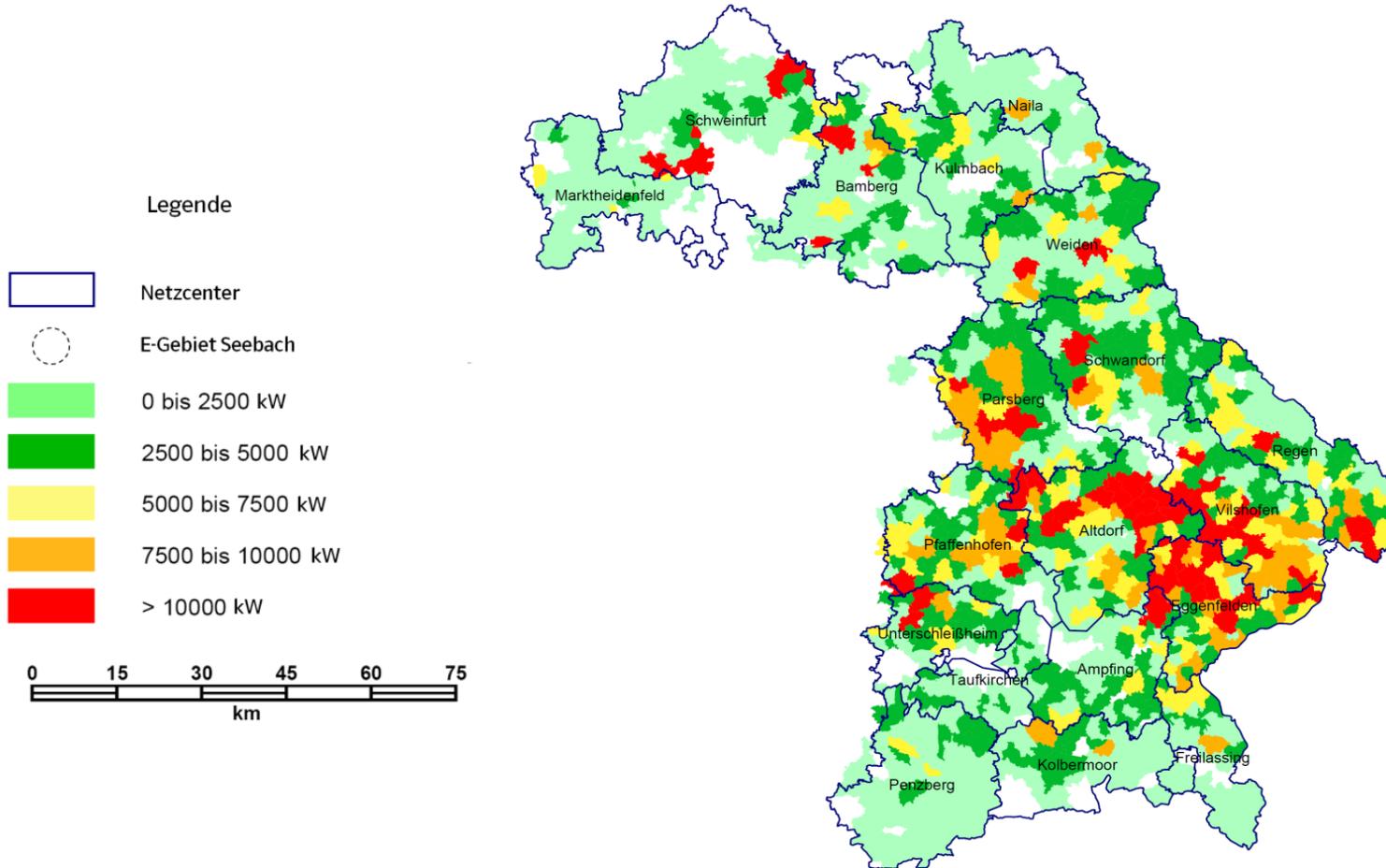


- Nach dem bayerischen Energiekonzept soll die Kernenergie ersetzt werden durch:
  - Ausbau der erneuerbaren Energien bis 2021 auf 50 % des Stromverbrauchs
  - Verstärkter Einsatz von Erdgas (5 neue große Erdgaskraftwerke)
  - Weitgehende eigene Erzeugung, um nicht auf Stromimporte angewiesen zu sein.

# Entwicklung PV-Anlagen beim Bayernwerk



# „Hot-Spot-Gebiete“ beim Bayernwerk



**Insbesondere die Region Niederbayern ist von hoher PV-Einspeisung betroffen**

**bayernwerk**

# Anteil der Erneuerbaren Energien (EE) an der Stromversorgung

## Ausbauziele

Anteil der Erneuerbaren Energien an der Stromversorgung

- **Bundesregierung (EEG 2012):**

bis 2020 → 35%

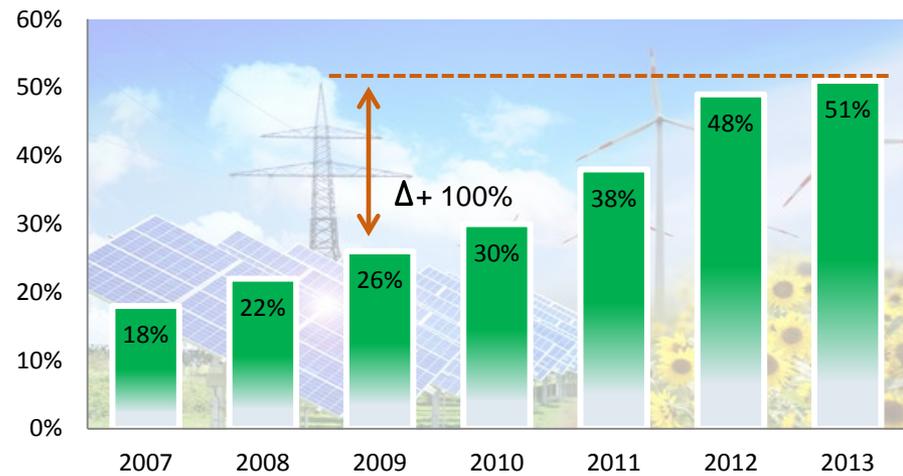
bis 2030 → 50%

- **Bayern:**

bis 2018 → 40%

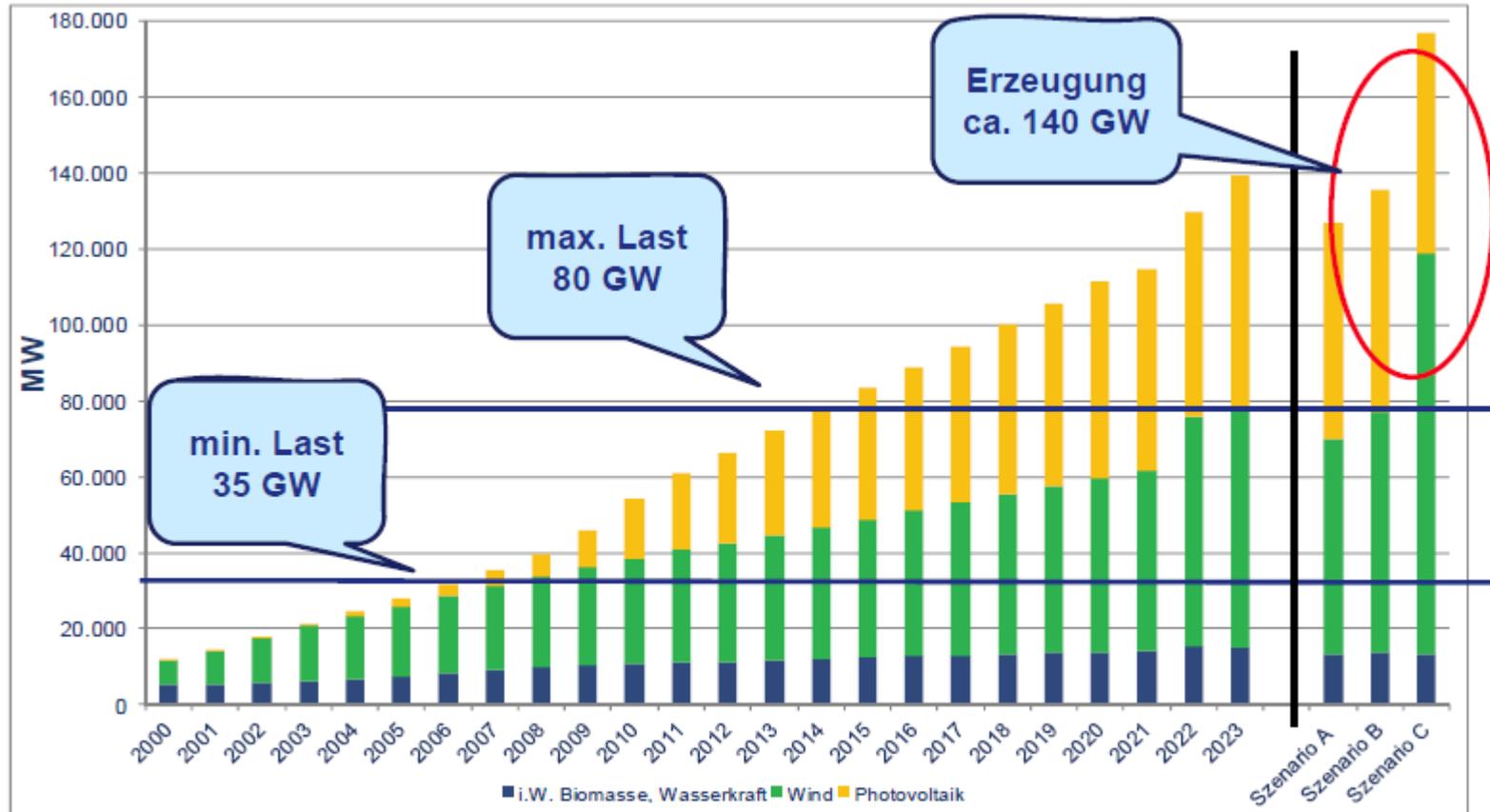
bis 2021 → 50%

## Anteil der EE an der Stromversorgung beim Bayernwerk



# Erzeugungsszenarien NEP 2024

Zubau erfolgt zumeist lastfern!



➤ SZENARIO A ENERGIE- UND KLIMAPOLITISCHEN ZIELE DER BUNDESREGIERUNG

➤ SZENARIO B LEITSZENARIO ANALOG BMU-STUDIE

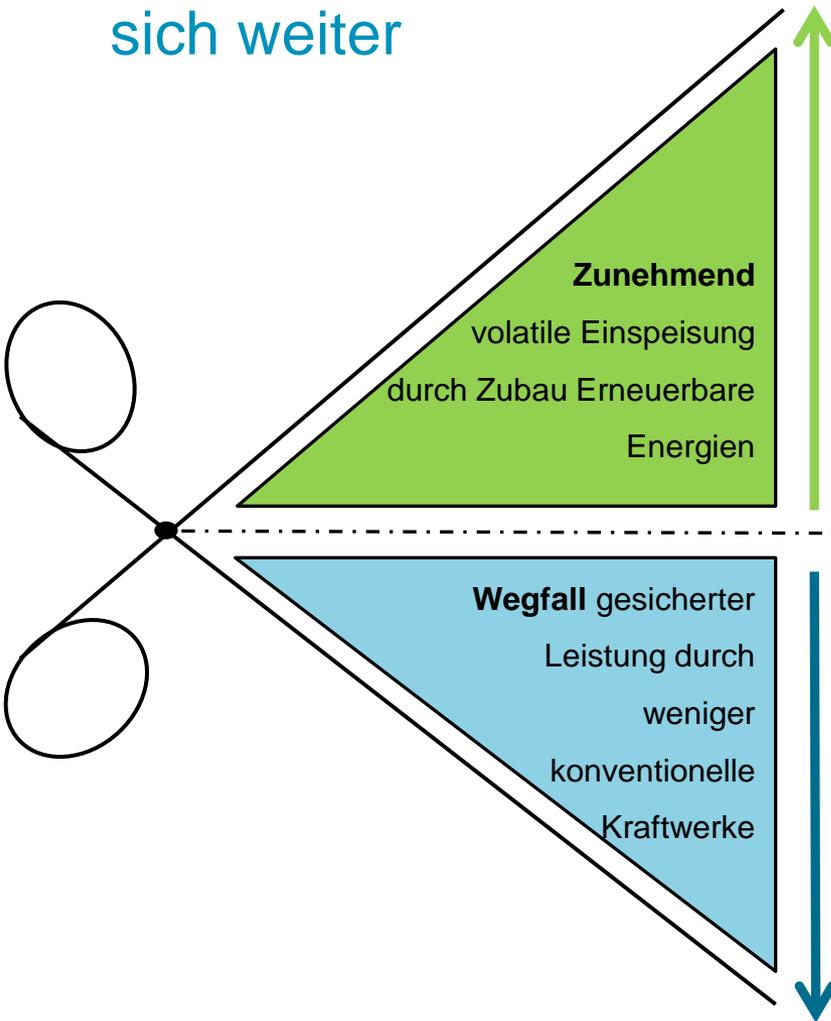
12 ➤ SZENARIO C ENTWICKLUNGSPROGNOSEN UND ZIELE DER BUNDESLÄNDER



bayernwerk

Quelle: TenneT

# Schere zwischen Erneuerbaren und konventionellen öffnet sich weiter



Erneuerbare Energien 2013 beim Bayernwerk

	Zubau		Gesamt	
	Anzahl	Leistung [MW]	Anzahl	Leistung [MW]
PV	15.000	300	240.000	5.200
Wind	61	110	312	426
Sonstige	48	19	4.131	1.237
Gesamt	~ 16.000	~ 430	~ 245.000	~ 6.870

→ Lücken im bayerischen Kraftwerkspark



→ Bürgerproteste gegen Ausbau Übertragungsnetz (ÜNB)



→ BAG treibt Integration Erneuerbarer Energien und Netzausbau voran – **bayernwerk** wesentliche Randbedingungen auf Kraftwerks- und ÜNB-Seite offen

# Agenda

1. Vorstellung der Bayernwerk AG
2. Entwicklung der Erneuerbaren Energien
3. Entwicklung der Versorgungsqualität
4. Effekte der volatilen Einspeisungen
5. Speicher und steuerbare Lasten
6. Projekt „Netz der Zukunft“
7. Fazit

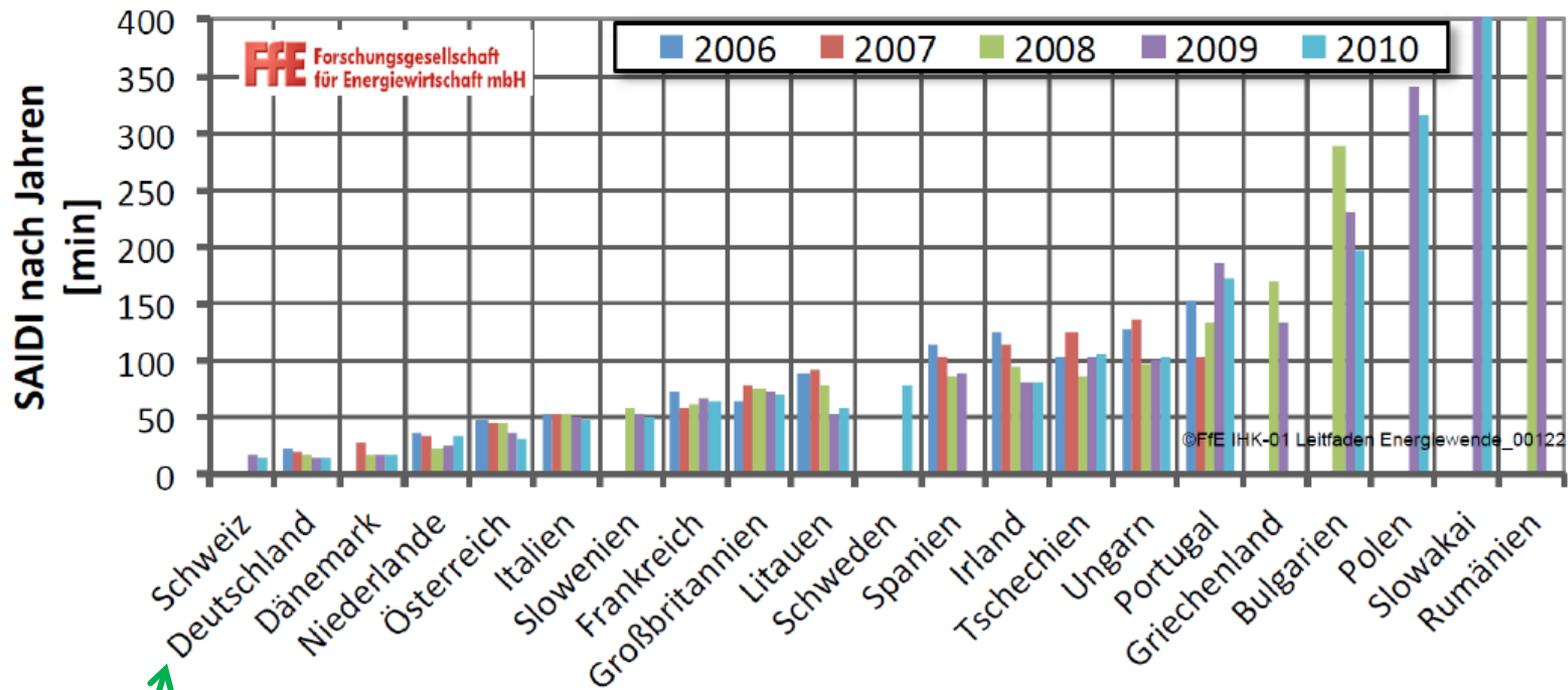
# Begriffe

Kenngröße	Einheit	Berechnung
Mittlere Unterbrechungshäufigkeit $H_u$ (SAIFI) <sup>1)</sup>	1/a	$\frac{\text{Summe aller Kundenunterbrechungen/a}}{\text{Anzahl aller angeschlossenen Kunden}}$
Mittlere Unterbrechungsdauer $T_u$ (CAIDI) <sup>2)</sup>	min	$\frac{\text{kumulierte Dauer der Kundenunterbrechungen/a}}{\text{Summe aller Kundenunterbrechungen/a}}$
Mittlere Nichtverfügbarkeit $Q_u$ (SAIDI) <sup>3)</sup>	min/a	$H_u \times T_u$ $\frac{\text{kumulierte Dauer der Kundenunterbrechungen/a}}{\text{Summe aller angeschlossenen Kunden}}$

- 1) system average interruption frequency index
- 2) customer average interruption duration index
- 3) system average interruption duration index

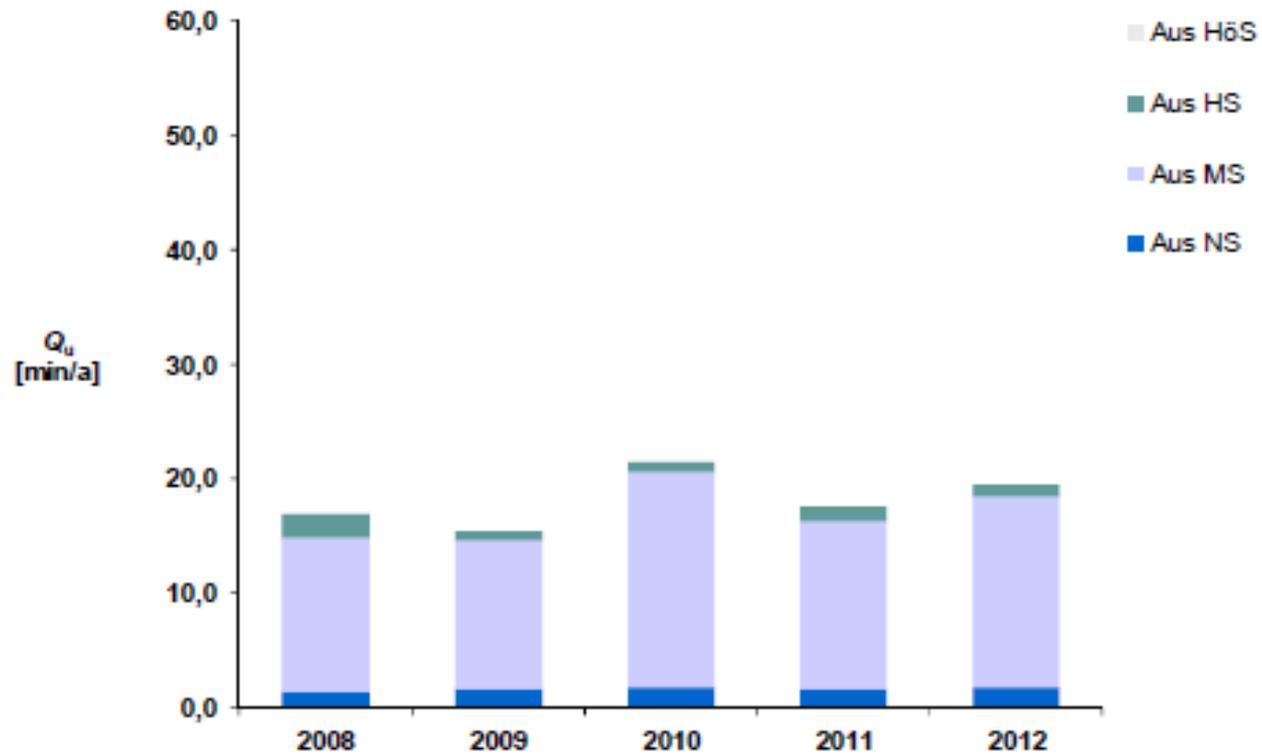
# Internationaler Vergleich der Versorgungszuverlässigkeit

## Unterbrechungsdauer in Europa



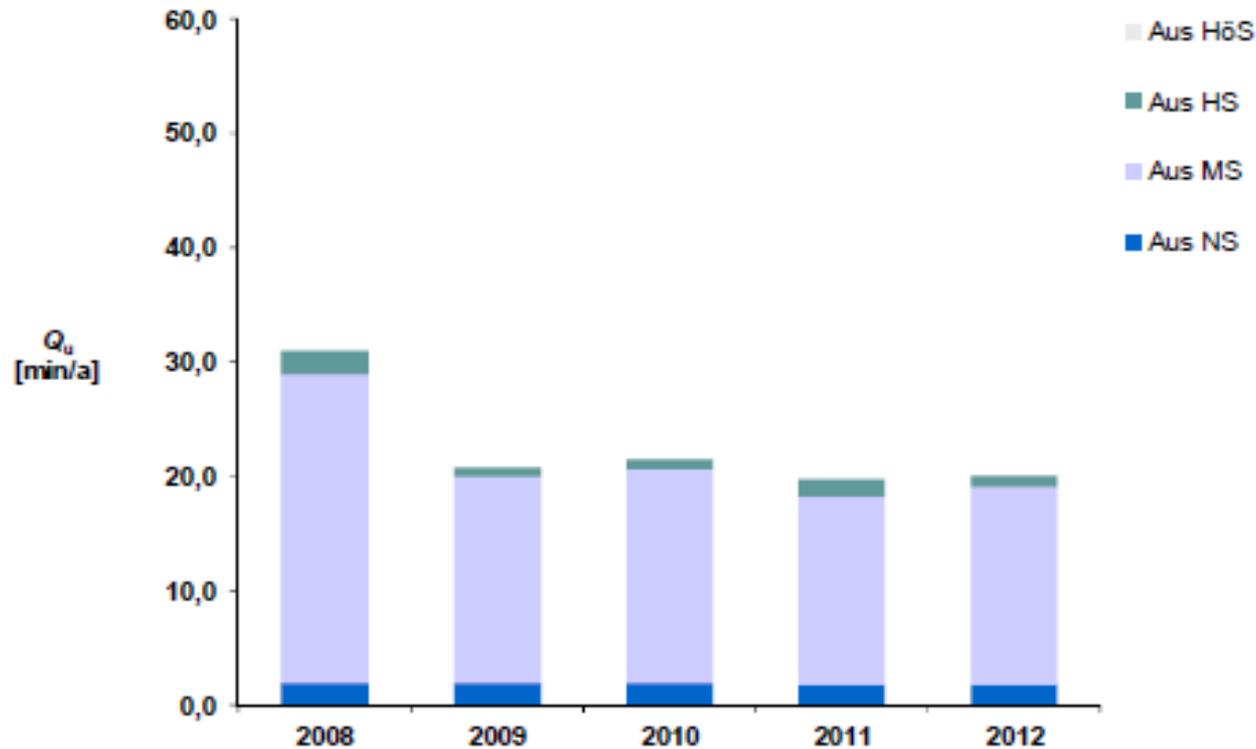
Quelle: FfE

# Störungs- und Verfügbarkeitsstatistik BAG 2012 (1)



**Bild 2-5** DISQUAL-Kenngröße Nichtverfügbarkeit  $Q_U$  in min/a im 5-Jahres-Fenster, ungeplante VU ohne HG

# Störungs- und Verfügbarkeitsstatistik BAG 2012 (2)

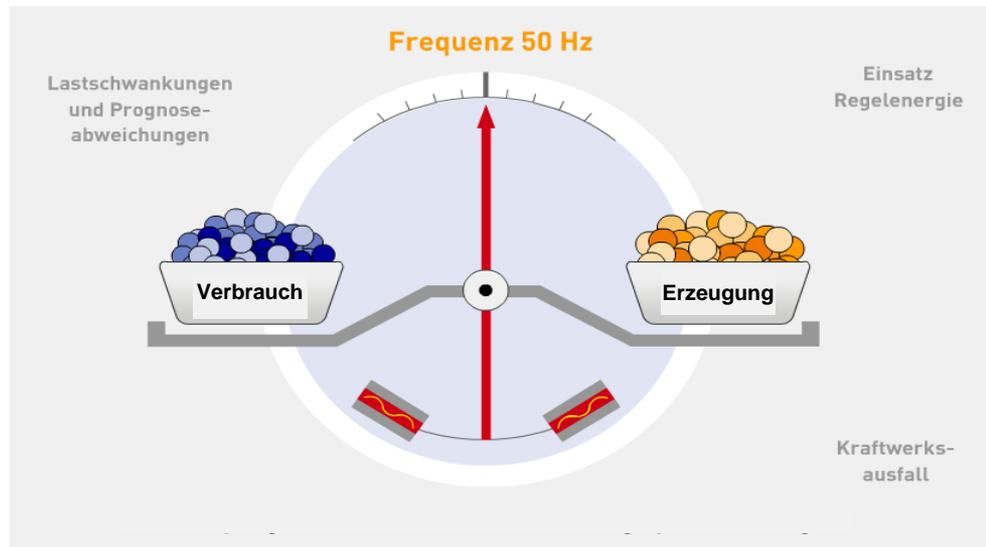


**Bild 2-6** DISQUAL-Kenngröße Nichtverfügbarkeit  $Q_u$  in min/a im 5-Jahres-Fenster, ungeplante VU mit HG

# Agenda

1. Vorstellung der Bayernwerk AG
2. Entwicklung der Erneuerbaren Energien
3. Entwicklung der Versorgungsqualität
4. Effekte der volatilen Einspeisungen
5. Speicher und steuerbare Lasten
6. Projekt „Netz der Zukunft“
7. Fazit

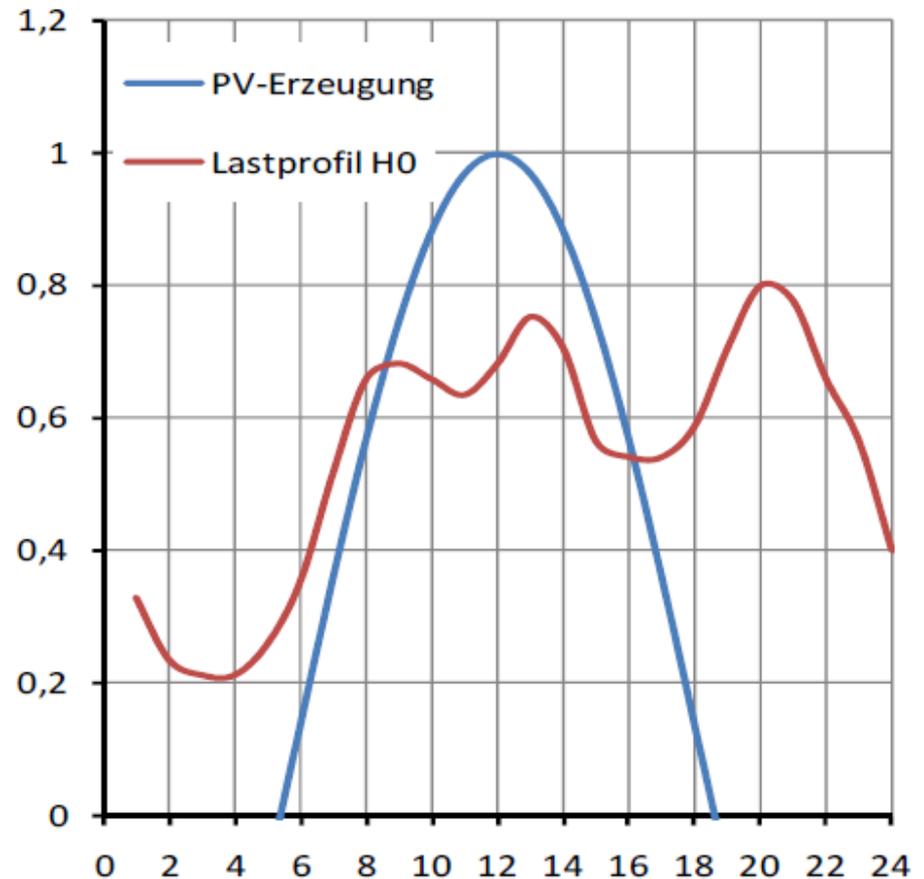
# Grundvoraussetzung in der elektrischen Energieversorgung: permanentes Gleichgewicht zwischen Verbrauch und Erzeugung



- Verbrauch > Erzeugung: Frequenzrückgang
- Verbrauch < Erzeugung: Frequenzanstieg

# Lastprofil und Erzeugung aus Photovoltaik (PV)

- Abends und nachts: Bezug aus Netz
- Mittags: z. T. hohe Rückspeisung in das Netz



**Abb. 2** Elektrizitätserzeugung durch Fotovoltaik in energieaktiven Siedlungen

# Einspeisecharakteristik

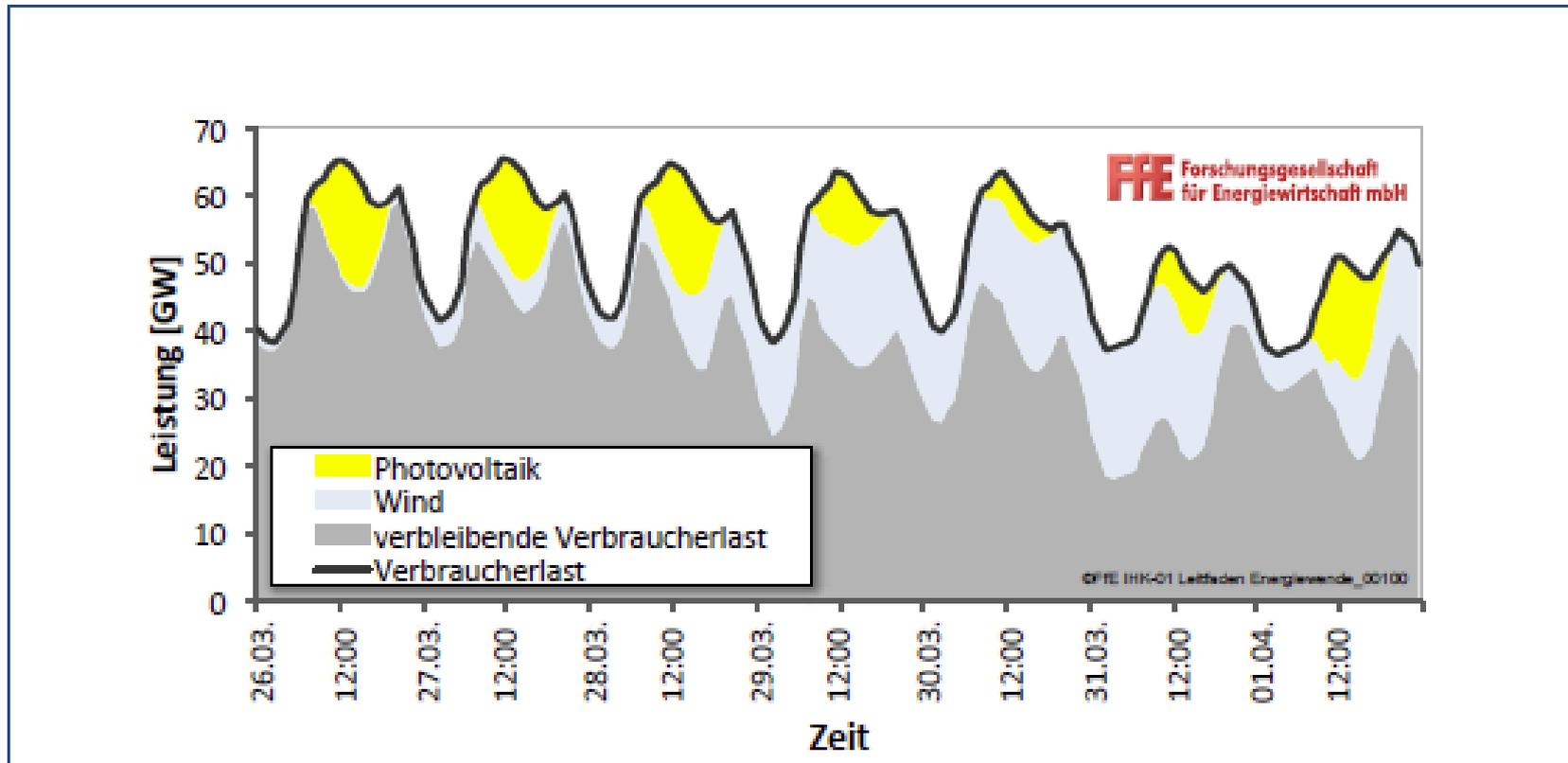
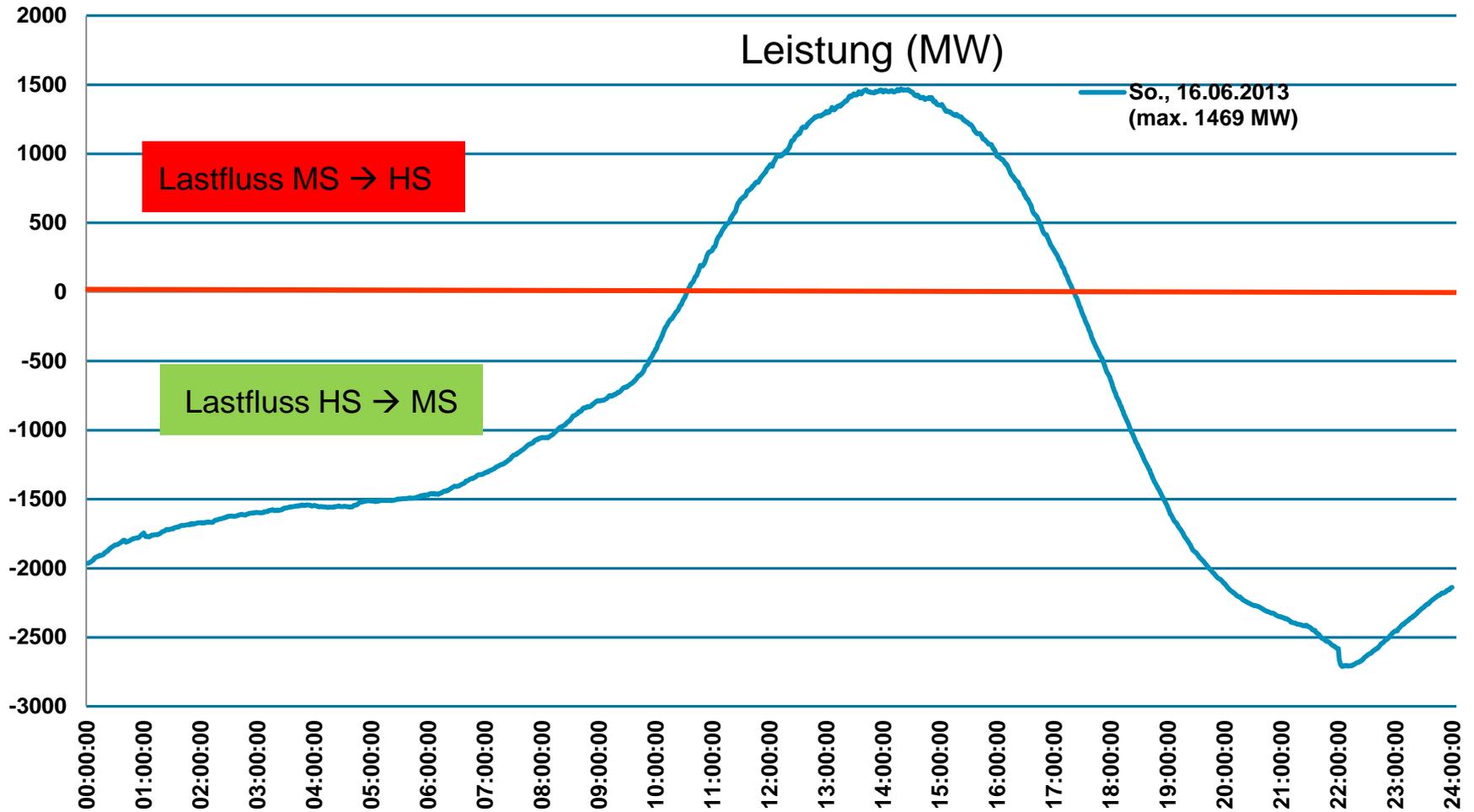
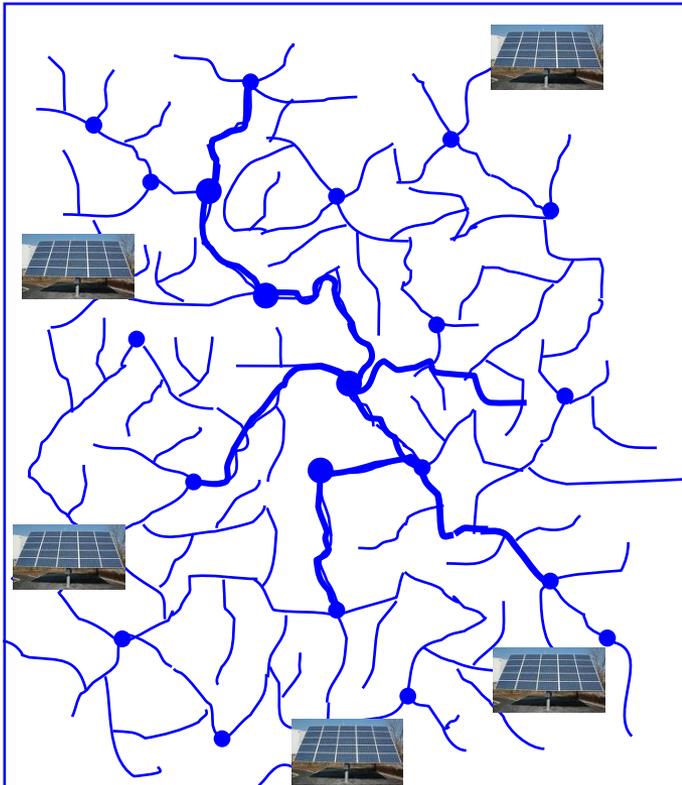


Abbildung 1.3: Einspeisecharakteristik Photovoltaik und Windenergie für Deutschland insgesamt in der Woche vom 26.03. bis 01.04.2012, eigene Darstellung nach /EEX-08 12/ und /ENTSOE-01 12/

# Lastflussumkehr



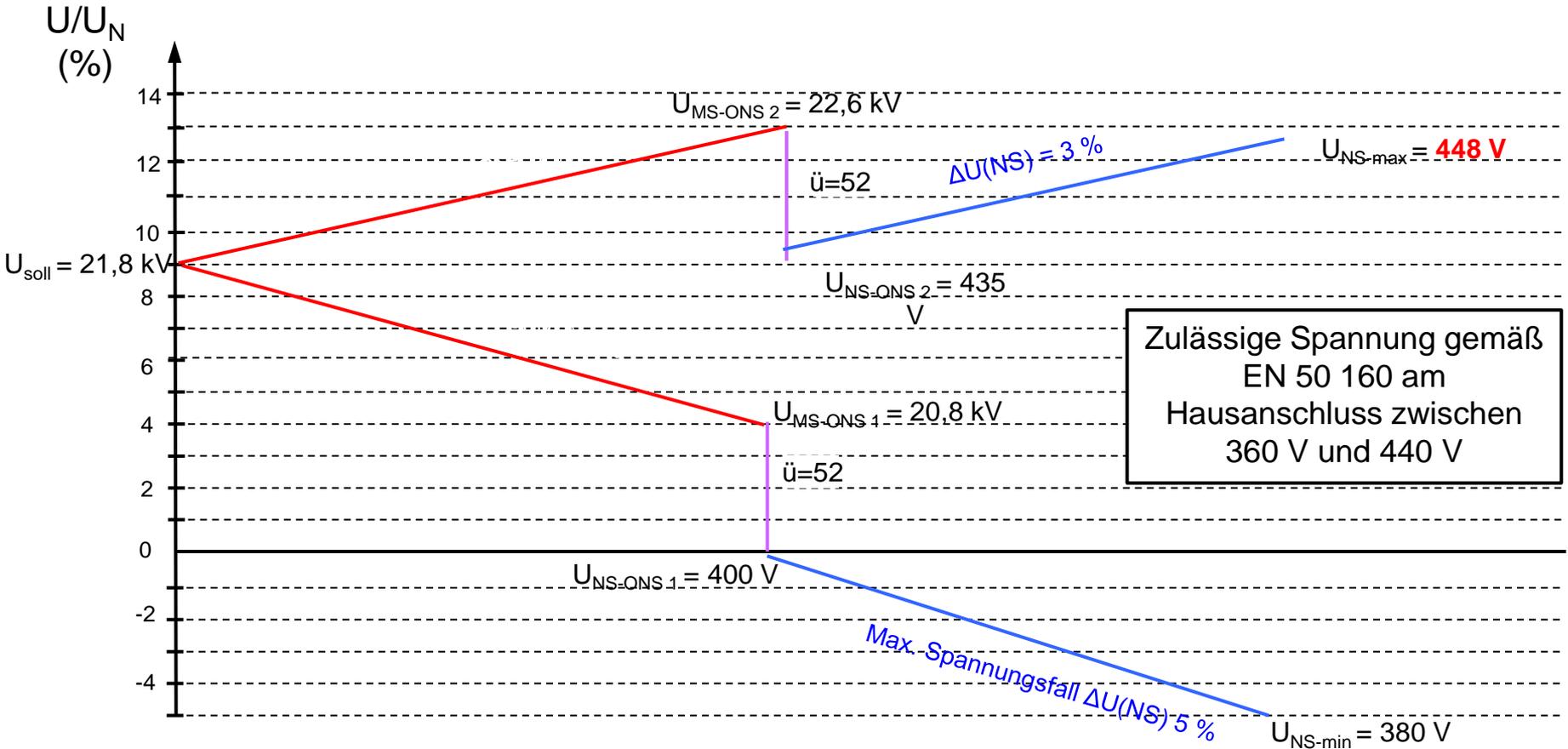
# Ausbau der regenerativen Erzeugung



Große Einspeiseleistungen vielfach an netztechnisch schlecht erschlossenen Stellen:

- in ländlichen Verteilnetzen treten in der Regel zunächst Spannungsprobleme auf
- im 2. Schritt folgen dann Betriebsmittelüberlastungen

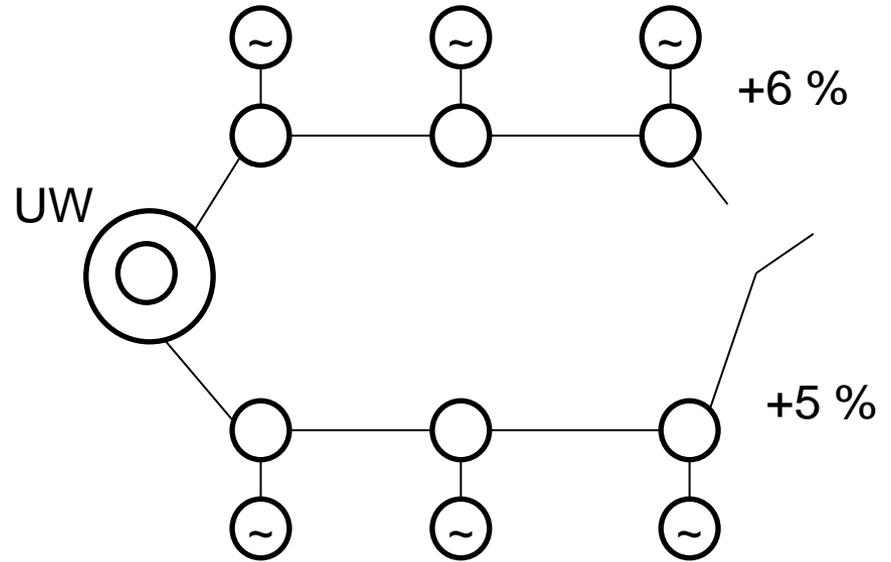
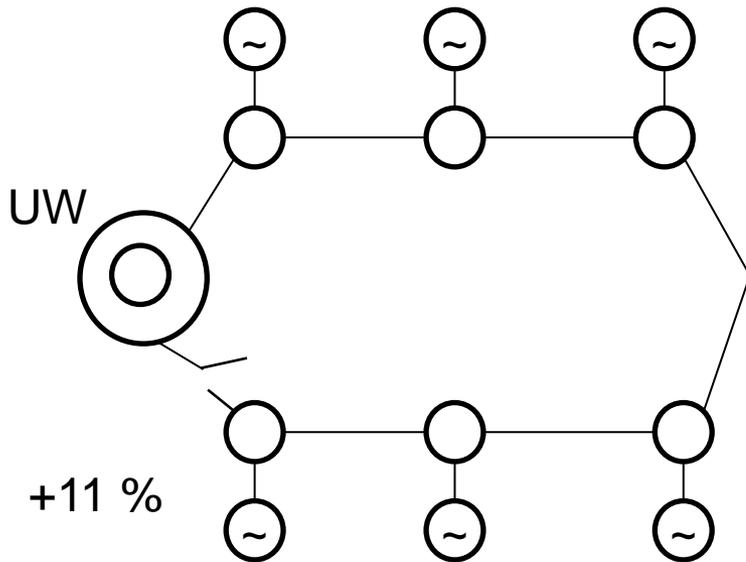
# Spannungsverhältnisse im MS- und NS-Netz am Beispiel Ostbayern – $\Delta U_{MS} = 4\%$ und $\Delta U_{NS} = 3\%$ (UW-Ausgangsspannung exemplarisch!)



Betrachtung von Lastfall und Einspeisefall erforderlich!

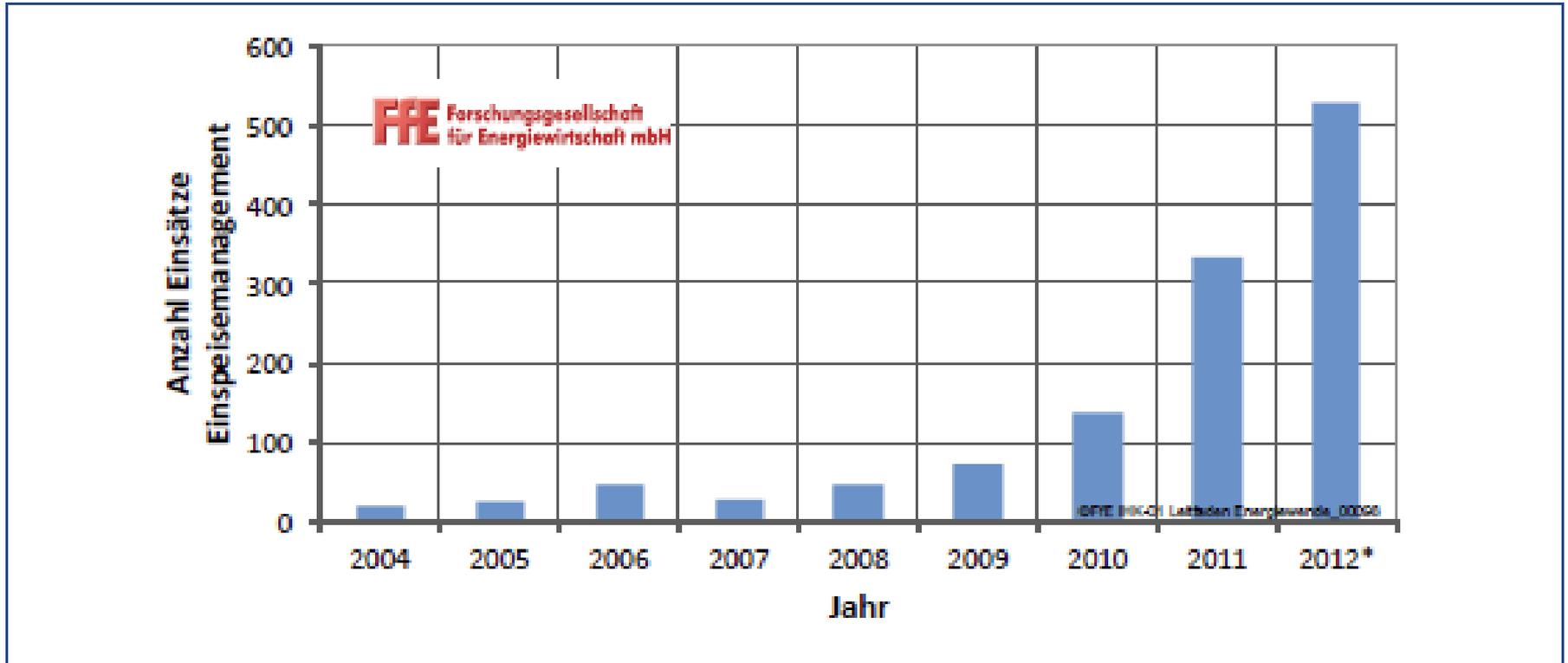
# Einspeisefall: (n-1)-Ausbau ist nicht Planungskriterium

Betrachtung Spannungshub

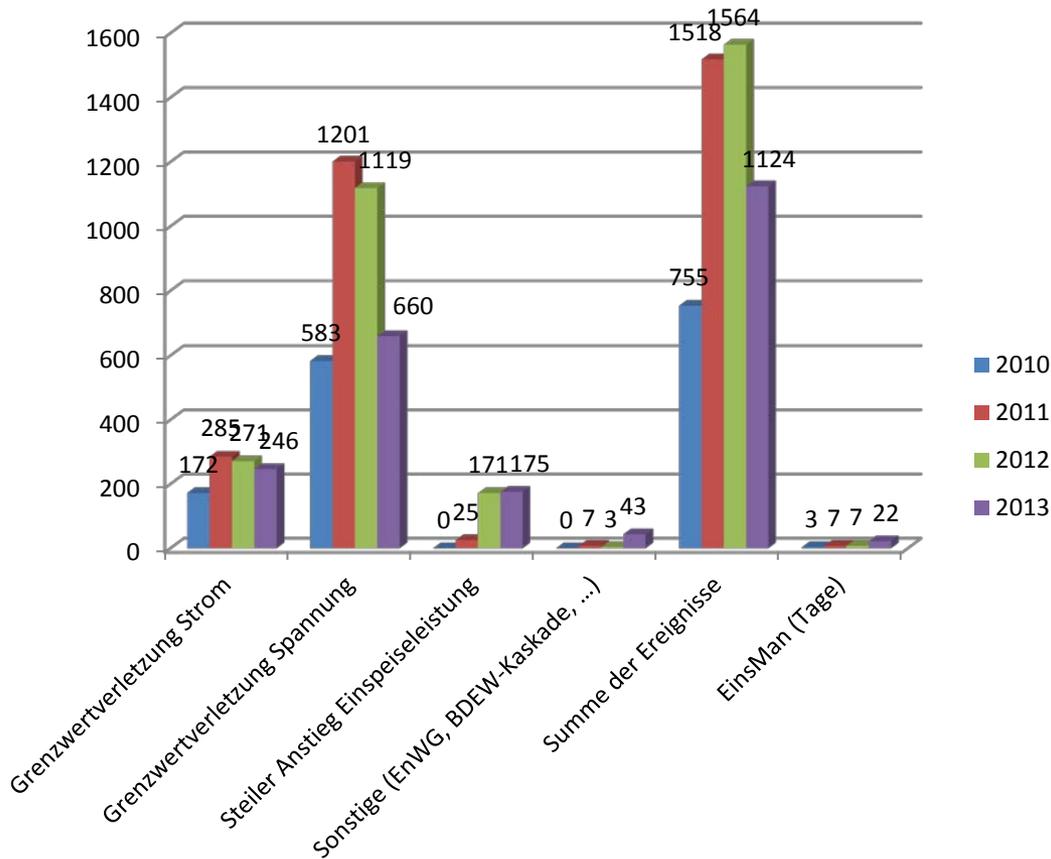


Die Delta U-Werte resultieren aus der MS **und** NS! (physikalisch richtig). Bei der Ermittlung des Verknüpfungspunktes wird gemäß BDEW-Richtlinie nur jeweils **eine** Spannungsebene betrachtet!

# Entwicklung der Einspeisemanagement-Vorgänge bei E.ON Netz



# Entwicklung der Netzeingriffe beim Bayernwerk



- Deutliche Zunahme 2010 → 2011
- Geringe Zunahme 2011 → 2012
  - Wirkung EEG-Netzausbau und intelligenter Regelkonzepte
- Deutlicher Rückgang 2012 → 2013
  - Wirkung intelligenter Regelkonzepte
- Laufende Zunahme Einsman
  - Zunehmende Netzauslastung
  - Instandhaltung nur noch mit Einsman möglich



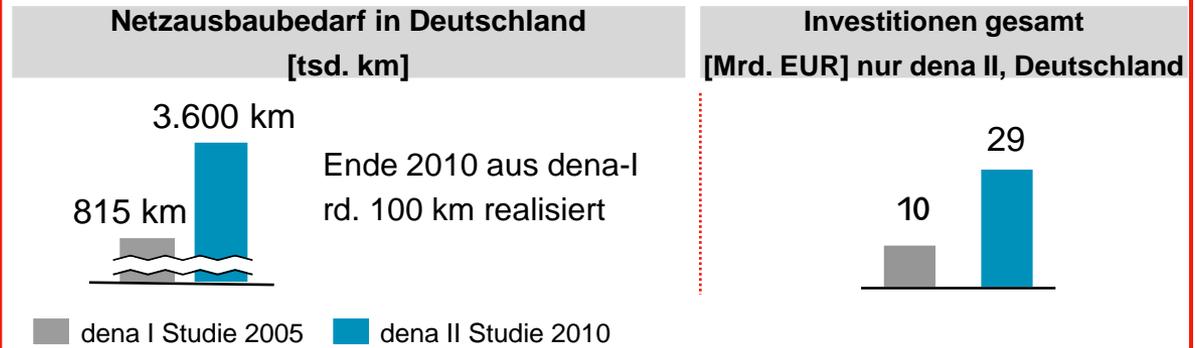
## Zur Einhaltung der zulässigen technischen Parameter/ Beherrschung der Einspeiseleistung sind erforderlich:

- Klassischer Netzausbau
  - Neubau / Erweiterung von Umspannwerken
  - neue Ortsnetzstationen, Wechsel von Transformatoren
  - Neue Leitungen (in der Regel als Kabel in der MS und NS)
  - Verkabelung von Freileitungen
- „Smarte (intelligente) Technologien“
  - Dynamische Regelung von Netztransformatoren
  - Regelbare Ortsnetztransformatoren
  - Blindleistungsbereitstellung durch Wechselrichter
  - Einspeisemanagement
- Einsatz von Speichern – noch zu entwickeln
- Demand Site Management – noch weiter zu entwickeln

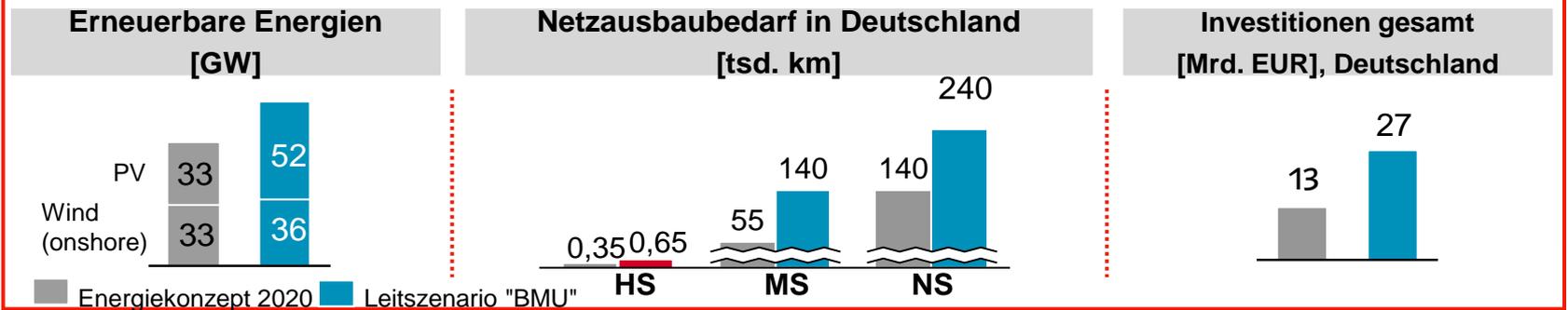
# Milliarden-Investitionsbedarf für den Ausbau im Übertragungs- und Verteilnetz



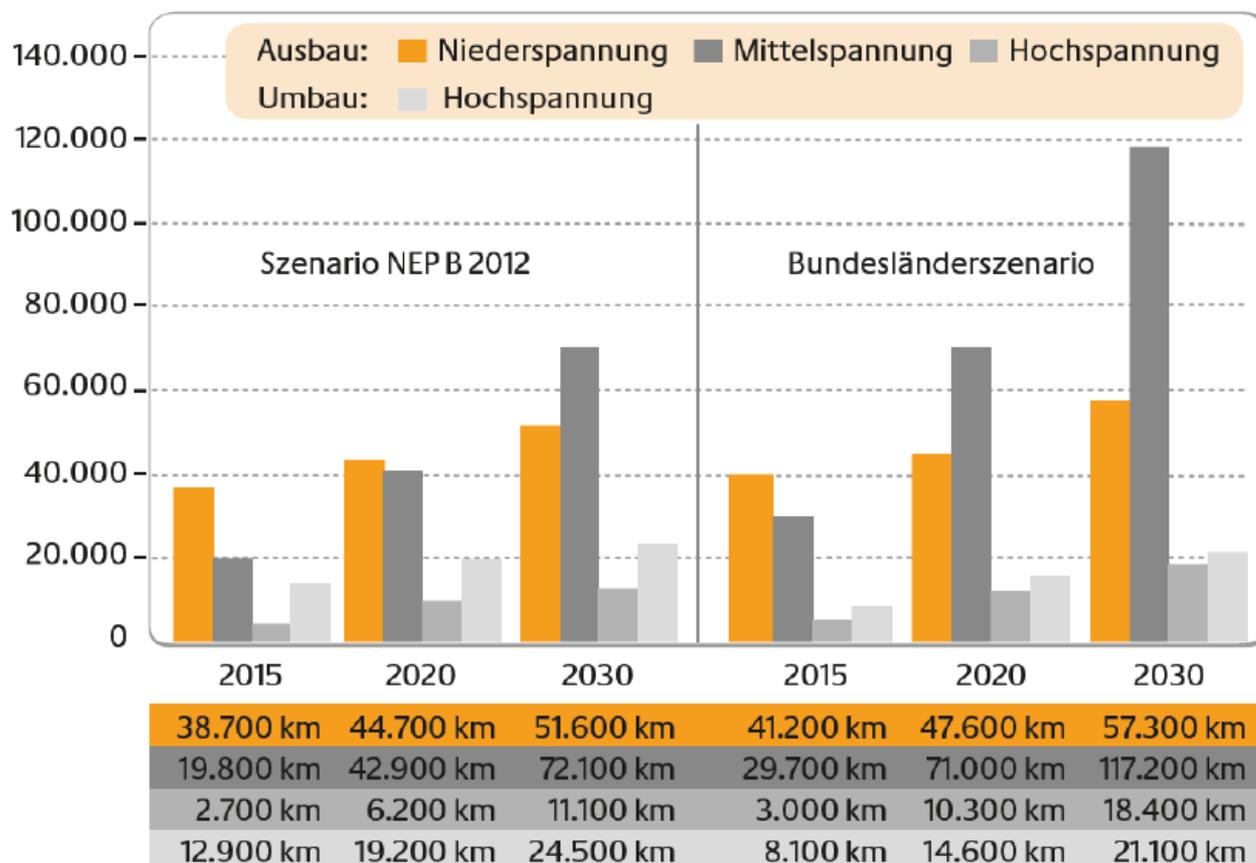
## Derzeitige Szenarien Übertragungsnetz bis 2020\*



## Derzeitige Szenarien Verteilnetze bis 2020\*



## Ausbaubedarf der deutschen Stromverteilnetze bis 2030.



EFFIZIENZ ENTSCHEIDET. 26

# Agenda

1. Vorstellung der Bayernwerk AG
2. Entwicklung der Erneuerbaren Energien
3. Entwicklung der Versorgungsqualität
4. Effekte der volatilen Einspeisungen
5. Speicher und steuerbare Lasten
6. Projekt „Netz der Zukunft“
7. Fazit



# Erzeugungsdefizit – was tun?

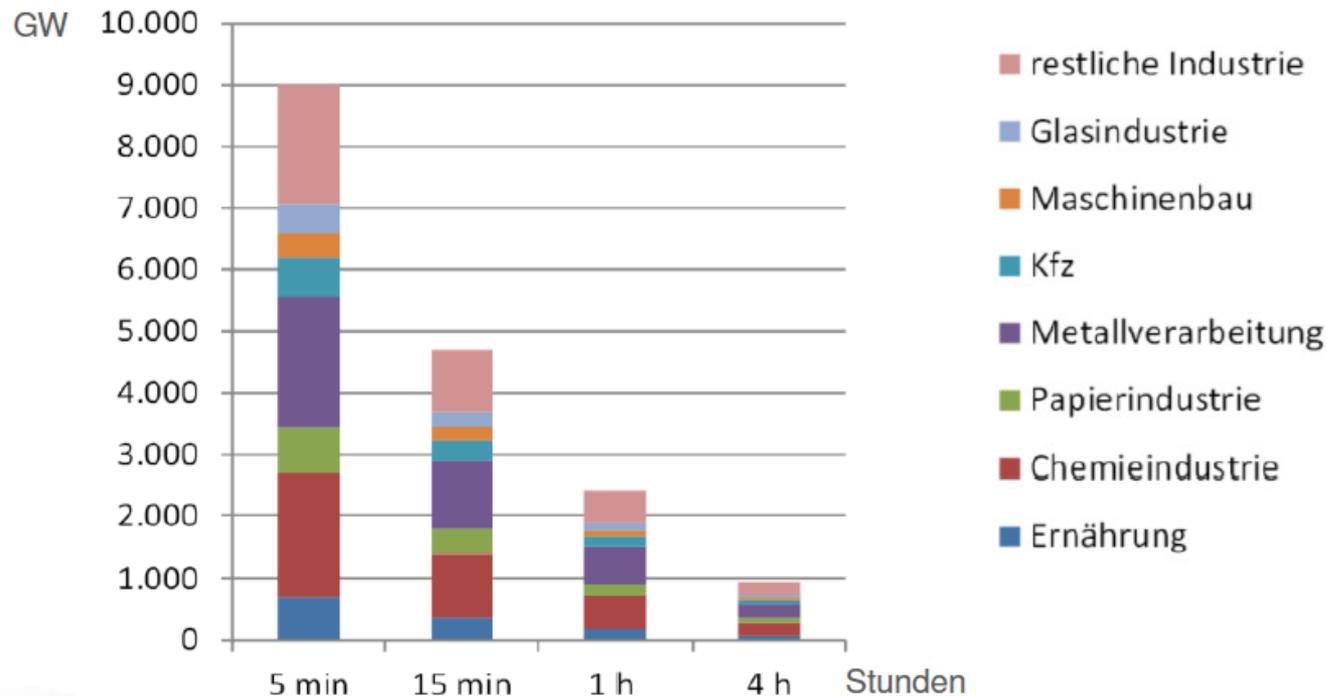
- Verbrauch senken
- Speicher leeren
- Erzeugung einkaufen
- Konventionelle Kraftwerke hochfahren



# Steuerbare Verbraucher – Industrie

Das technische Potential abschaltbarer Lasten in Industrie & Gewerbe summiert sich auf ~ 9 GW.

## Flexibilitätspotenziale



Source: FfE, München

© 2012 Entelios • All Rights Reserved • 20

bayernwerk

# Steuerbare Verbraucher – Haushalt

- Direktes Ein-/Ausschalten im Haushaltsbereich meist nicht praktikabel
- Option: Steuerung durch variable Tarife



Bilder: IBC Solar, BSH, Viessmann

# Bayernplan



## Flexibilisierter Einsatz von Biogas zur Stromerzeugung

- Möglicher Beitrag zur Deckung der Residuallast
- Bedarfsgerechte Stromerzeugung anstatt Grundlastherzeugung mit konstanter Leistung

## Potentiale und Bewertung

- Gesicherte Leistung von 233 MW bei Einsatz nur von Biogas
- Gesicherte Leistung von 700 MW bei zusätzlichem Einsatz von konvent. Gas
- Gesicherte Leistung von 1.375 MW bei zusätzlichem Umbau bestehender Anlagen

## Anteil an Residuallast

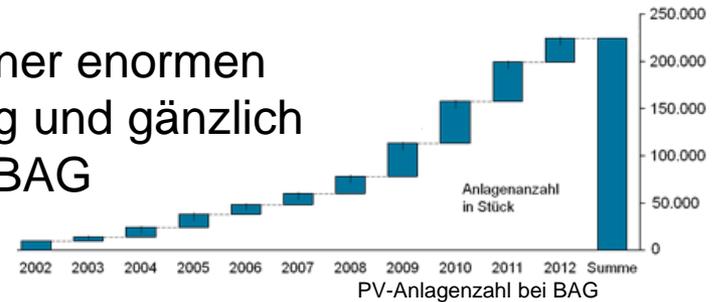
- 1.375 MW aus Bayernplan und 3.500 MW aus 5 großen Gaskraftwerken vs. 8.000 MW max. Residuallast 2023

# Agenda

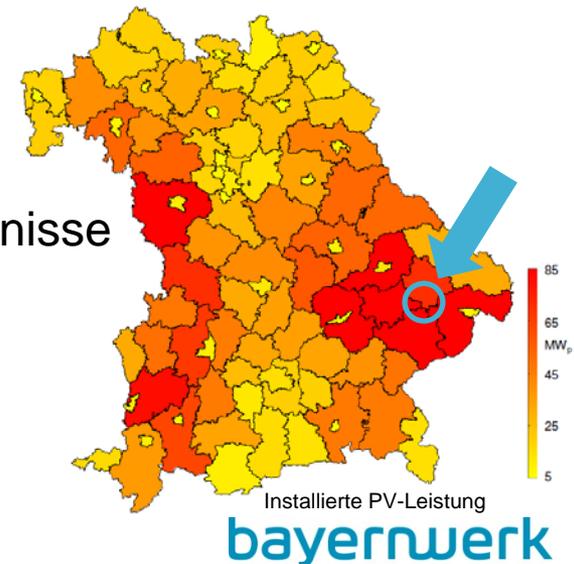
1. Vorstellung der Bayernwerk AG
2. Entwicklung der Erneuerbaren Energien
3. Entwicklung der Versorgungsqualität
4. Effekte der volatilen Einspeisungen
5. Speicher und steuerbare Lasten
6. Projekt „Netz der Zukunft“
7. Fazit

# Projektanstoß und Intention

- Das EEG und die Energiewende führen zu einer enormen Zunahme von dezentraler Energieeinspeisung und gänzlich neuen Anforderungen an das Verteilnetz der BAG

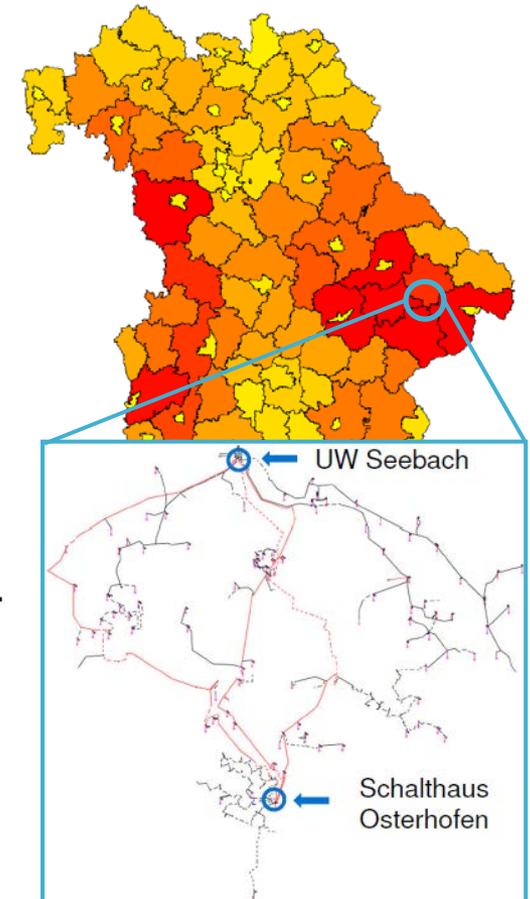


- Um diesen Anforderungen effizient und zukunftsorientiert begegnen zu können wurde die Untersuchung des Einflusses zunehmender Einspeisung aus PV- und Biogasanlagen auf das Mittel- und Niederspannungsnetz notwendig
- Für die Untersuchung wurde eine Messinfrastruktur in einem bereits stark von Einspeisung geprägten Netzgebiet aufgebaut, aus dem sich wertvolle Erkenntnisse für das gesamte Netzgebiet der BAG ableiten lassen



# Projektgebiet und Messkonzept

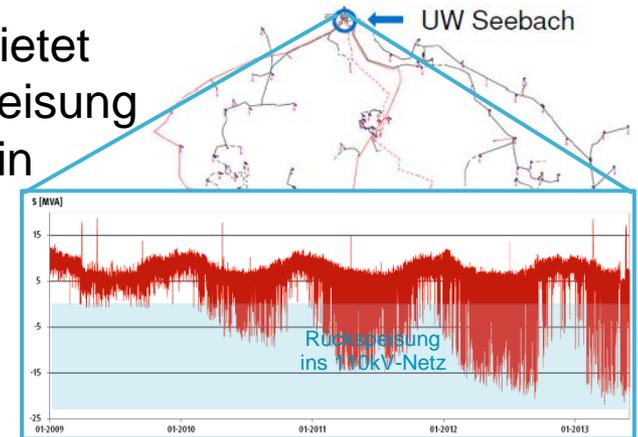
- Das Projektgebiet liegt nahe der niederbayrischen Stadt Deggendorf und umfasst mit den Gemeinden Niederalteich, Moos, Osterhofen, Winzer, Hengersberg ein ca. 12 x 12 km großes Gebiet
- Die eigens entwickelte Messinfrastruktur besteht aus Messschranken mit hochgenauen Power Quality (PQ) Messgeräten und gesicherter Onlinemesswertabfrage, sowie intelligenten Zählern mit einem speziellen PQ-Messmodul mit Fernabfrage
- Etwa 170 PQ-Messgeräte (a-eberle) sind im Umspannwerk Seebach, dem Schaltheis Osterhofen, sowie Trafostationen und speziellen Kundenanlagen verbaut
- Rund 580 intelligente Zähler mit PQ-Modul sind bei etwa 300 teilnehmenden Kunden als Einspeise- oder Bezugszähler installiert



MS-Netz des Projektgebietes

# Projektgebiet und Messkonzept

- Die Messinfrastruktur im Projektgebiet Seebach bietet einen einzigartigen Einblick in ein stark von Einspeisung geprägtes „Netz der Zukunft“ und die Möglichkeit in einer Art „Labornetz“ Maßnahmen zu entwickeln und umfassend zu bewerten.
- Steckbrief:
  - Anzahl versorgter Kunden: ~5000
  - Installierte PV-Leistung: ~30,5 MWp
  - Anzahl PV-Anlagen: >1000 NS-Anlagen
  - Je 8 PQ-Messgeräte in UW Seebach und SH Osterhofen
  - >150 PQ-Messgeräte in Stationen und spez. Kundenanlagen
  - Rund 580 intelligente Zähler bei ca. 300 teilnehmenden Kunden
  - Meteorologische Messung im SH Osterhofen



Leistungsfluss über Netztrafo in UW Seebach (2009-2013)



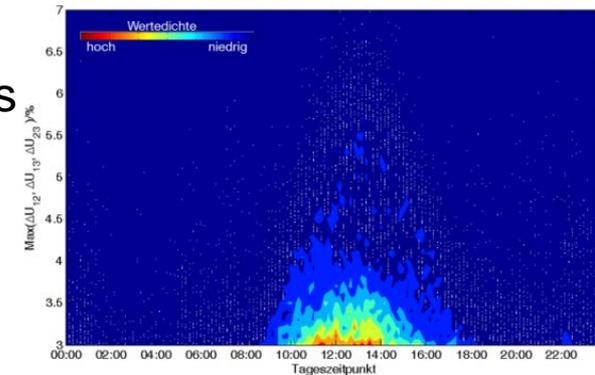
Intelligenter Zähler



PQ-Messschrank

# Ergebnisse der Untersuchungsschwerpunkte

- Detaillierter Einblick in das Verhalten und den Einfluss der PV auf das NS- und MS-Netz hinsichtlich Gleichzeitigkeiten, Flicker, Oberschwingungen, Unsymmetrie, Meteorologische Einflüsse
  - ➔ Ableitung und Weiterentwicklung von Planungsgrundsätzen
- Einspeisemanagement für EEG-Bestands- und Neuanlagen
  - ➔ Begleitung vom Piloteinsatz bis zum Serieneinsatz von Fernwirktechnischer Anbindung und Funkrundsteuerung, sowie der Test und die (Weiter-) Entwicklung von Tools und neuen Technologien



Unsymmetrie durch PV-Einspeisung



Einspeisemanagement über FRE

# Ergebnisse der Untersuchungsschwerpunkte

- Begegnung der Anforderungen mit neuen Technologien und Regelstrategien
  - Dynamische MS-Regelung im UW
    - Begleitung vom Piloteinsatz zu einem Standard-Regelverfahren
  - Regelbarer Ortsnetztrafo (rONT)
    - Überführung des rONTs vom Prototyp zu einem neuen Standard-Betriebsmittel, Entwicklung der Regelparameter und Richtlinien
  - NS-Strangregler
    - Überführung des Strangreglers vom Piloten zu einem neuen Standard-Betriebsmittel, Entwicklung der Regelparameter und Richtlinien
  - Blindleistungsregelungskonzepte von EEG-Anlagen
    - stabiles und netzdienliches Anlagenverhalten auf dem Weg zum umfassenden Blindleistungsmanagement
  - Neue Meßsensorik für die Mittelspannungsebene
    - Begleitung vom Piloteinsatz zur anwendbaren Alternative für Wandlermessungen



rONT in Kompaktstation



NS-Strangregler



MS-Sensor in Schaltanlage

# Offene Untersuchungsschwerpunkte und Projektabschnitt

- Übergreifendes Blindleistungsmanagement der Einspeiseanlagen
- Optimierung und Weiterentwicklung des Einspeisemanagements
- Bewertung und Evaluierung von Speichern
- Weitere Feldtests von neuen Betriebsmitteln für die Mittel- und Niederspannung
- Weitere Optimierung von Regelverfahren und Anpassung von Richtlinien



# Agenda

1. Vorstellung der Bayernwerk AG
2. Entwicklung der Erneuerbaren Energien
3. Entwicklung der Versorgungsqualität
4. Effekte der volatilen Einspeisungen
5. Speicher und steuerbare Lasten
6. Projekt „Netz der Zukunft“
7. Fazit

# Fazit

1

- Netze stellen das Fundament für unser Energiesystem. Die Energiewende bringt große Herausforderungen für Übertragungs- und Verteilnetze mit sich. Die Politik hat dies grundsätzlich erkannt.

2

- Der Verteilnetzausbau wird über die nächsten Jahre hinweg weiter zunehmen müssen. Klassischer Netzausbau und „smarte“ Technologien müssen sinnvoll kombiniert werden. Die Bevölkerung muss den Netzausbau mittragen, nur so kann die Energiewende gelingen.

3

- Die Anzahl der Netzeingriffe zur Aufrechterhaltung der Netzstabilität nimmt deutlich zu. Damit steigt die Wahrscheinlichkeit für Versorgungsunterbrechungen. Dennoch konnten die Netzbetreiber bis dato die gewohnte hohe Versorgungssicherheit aufrecht erhalten.

4

- Speicher und steuerbare Lasten sind wichtige Elemente zum Ausgleich der volatilen Erzeugung bei erneuerbaren Energien. Die derzeitigen Kapazitäten sind aber noch sehr gering.

5

- Umfang und Komplexität des Netzausbaus nehmen kontinuierlich zu. Der Netzausbau muss mit dem Zubau der Einspeiseanlagen Schritt halten können. Wesentliche Themen auf Seite der Übertragungsnetze und der Kraftwerke sind noch ungeklärt!

# Vielen Dank für die Aufmerksamkeit!

- Kontakt: Dipl.-Ing. (Univ.) Johannes Brantl  
[johannes.brantl@bayernwerk.de](mailto:johannes.brantl@bayernwerk.de)

Bayernwerk AG  
Lilienthalstraße 7  
93049 Regensburg  
[www.bayernwerk.de](http://www.bayernwerk.de)