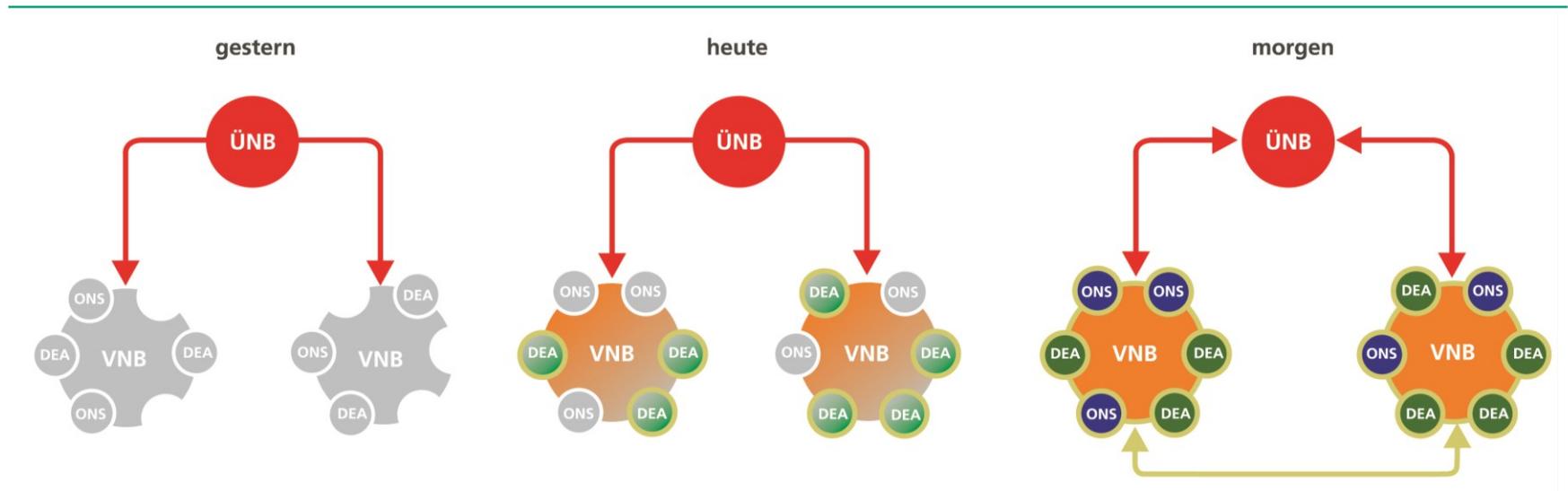


# NETZ:KRAFT

Netzwiederaufbau unter Berücksichtigung zukünftiger Kraftwerksstrukturen



Wolfram Heckmann,  
Fraunhofer-Institut für Windenergie und Energiesystemtechnik IWES,  
[www.Netz-Kraft-Projekt.de](http://www.Netz-Kraft-Projekt.de)

# Überregionale Störfälle – Beispiel Italien

## ■ Italien 2003

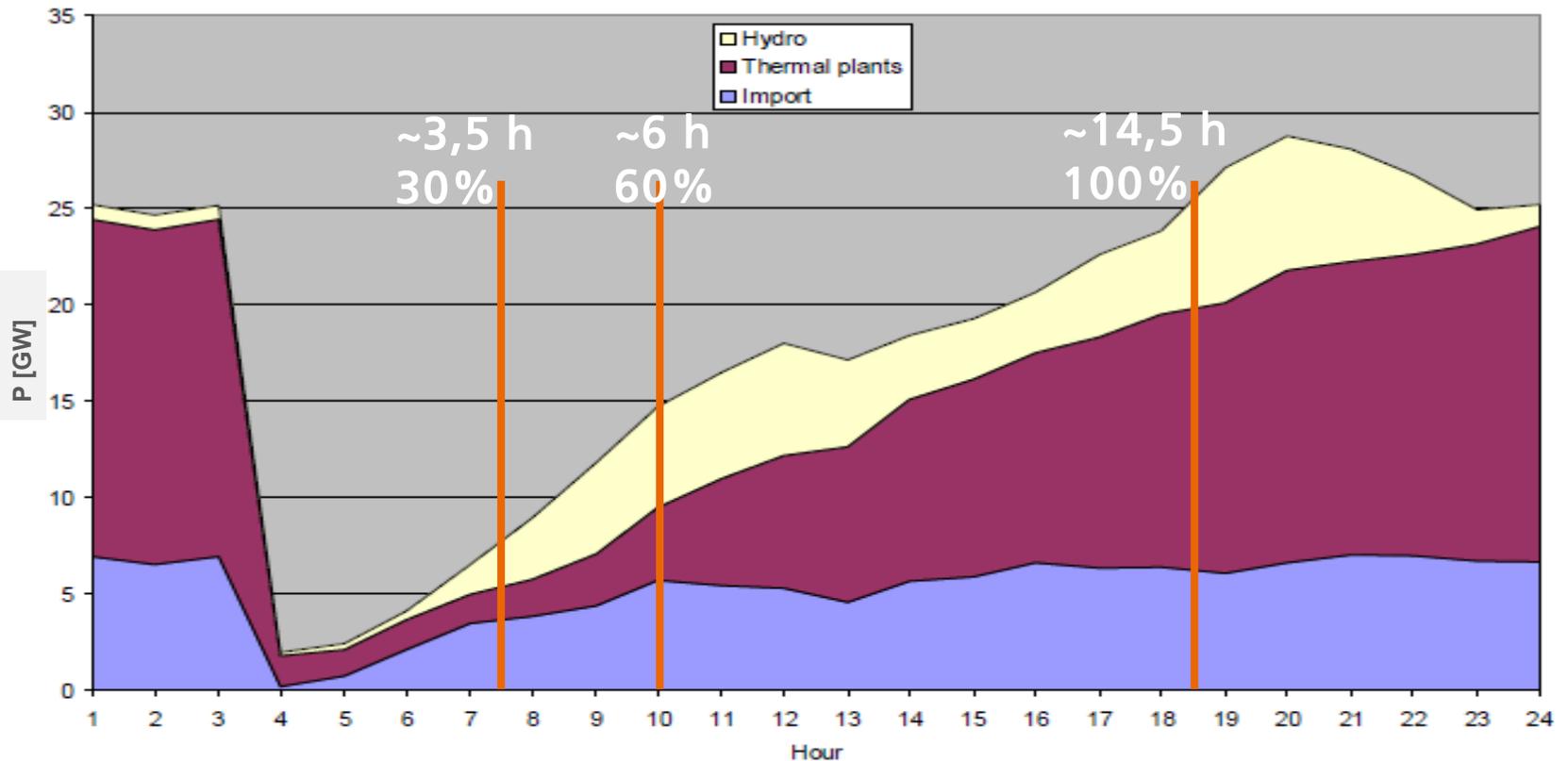


Fig.9 – The energy supply in Italy on Sept.28<sup>th</sup>, 2003.

[Beri 2004]

# Überregionale Störfälle – International

|                      |   |
|----------------------|---|
| 26. Februar<br>2008  | Störfall in einem Umspannwerk in Florida<br>Direkter Verlust von drei Kraftwerksböcken, Ausfall 8 weiterer Kraftwerke – über 3 Millionen Menschen betroffen |
| 8. September<br>2011 | Fehler einer 500-Kilovolt-Leitung, Stromausfall in Teilen Kaliforniens, Arizonas und Mexikos – 5,7 Millionen Menschen betroffen                             |
| 31. Juli<br>2012     | Überlastung des Stromnetzes, Stromausfall in 20 von 28 Bundesstaaten Indiens – 600 Millionen Menschen betroffen   |
| 31. März<br>2015     | Nach Ausfall von Kraftwerken, Abtrennung der Türkei vom europäischen Netz – 76 Millionen Menschen – Dauer 9 Stunden   |

[[de.wikipedia.org/wiki/Liste\\_historischer\\_Stromausfälle](http://de.wikipedia.org/wiki/Liste_historischer_Stromausfälle)]

# Regionale Störung „Münsterländer Schneechaos“

- Freitag, 25. November 2005
  - Stromausfall für 25 Gemeinden, rund 250.000 Einwohner
- Sonntag, 27. November 2005
  - Große Teile wiederversorgt
- Montag, 28. November 2005
  - Notabschaltung zweier 110 kV-Leitungen
  - Massiver Einsatz von Netzersatzanlagen
  - Rund 50.000 Einwohner weiterhin betroffen
- Dienstag, 29. November
  - Ochtrup zu 95% wiederversorgt
  - Weniger als 20.000 nicht versorgte Personen
- Mittwoch, 30. November 2005
  - Knapp 2.000 Personen ohne Netzanschluss

## Schneebabys

Es ist ein immer wieder gern erzähltes Märchen, dass immer dann, wenn durch besondere Umweltbedingungen der häusliche Herd von der Außenwelt und Elektrizität abgeschnitten ist, besonders viele Babys aufgrund fehlender Alternativen gezeugt werden. Schon nach einem Stromausfall am 9. November 1965 in New York berichtete 9 Monate später die „New York Times“ von ungewöhnlichen Geburtshäufungen in einigen Kliniken. Dies konnte aber von der Fachzeitschrift „Demography“ nicht bestätigt werden. Auch berichteten im August 2006 viele Zeitungen im Münsterland begeistert über den „Babyboom nach Stromausfall“ aufgrund des Schneechaos Ende November 2005. Das war zwar schön erzählt, aber falsch. Wie das Landesamt für Datenverarbeitung und Statistik NRW richtigstellte, gab es in den besonders vom Schneechaos betroffenen Landkreisen eher weniger als mehr Geburten.

[BNetzA 2006]

[Mich 2009]

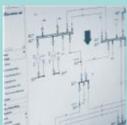
# Notwendige Berücksichtigung Erneuerbarer Energien

Szenario aus „Roadmap Speicher“ orientiert an den Langfristszenarien des BMU

| Ungefähres Szenariojahr           | 2020                    | 2030                                   | 2050                     |                               |
|-----------------------------------|-------------------------|--|--------------------------|-------------------------------|
| EE-Anteil DE                      | 45-50%                  | 69%                                    | 88%                      | } EE-Anteil am Stromverbrauch |
| EE-Anteil EU                      | 26%                     | 37%                                    | 82%                      |                               |
| Sensitivitäten (vgl. Kapitel 6.3) | <i>Wind- / Wind+</i>    | <i>Flex- / Flex+<br/>Netz- / Netz+</i> | Szenario A-C + Varianten |                               |
| Wind gesamt (GW)                  | 53 ( <i>Wind+</i> : 65) | 85                                     | 97                       | } Installierte Leistung       |
| Wind onshore (GW)                 | 45 ( <i>Wind+</i> : 55) | 60                                     | 65                       |                               |
| Wind offshore (GW)                | 8 ( <i>Wind+</i> : 10)  | 25                                     | 32                       |                               |
| Photovoltaik (GW)                 | 53,5                    | 59,3                                   | 67,2                     |                               |
| Laufwasser (GW)                   | 4,7                     | 4,9                                    | 5,2                      |                               |
| Biomasse (GW)                     | 8,1                     | 8,8                                    | 9,7                      |                               |
| Geothermie (GW)                   | 0,3                     | 1,0                                    | 3,0                      |                               |

[IWES 2014]

# Konventionelle Mindestenerzeugung



**Studie zur Ermittlung der technischen Mindestenerzeugung des konventionellen Kraftwerksparks zur Gewährleistung der Systemstabilität in den deutschen Übertragungsnetzen bei hoher Einspeisung aus erneuerbaren Energien**



fangen, festgehalten wird. Das Netzwiederaufbaukonzept muss aber auch alleine mit schwarzstartfähigen Kraftwerken durchführbar sein. Demzufolge ist die Schwarzstartfähigkeit eines Systems mit einem grundsätzlich **technisch geeigneten Kraftwerkspark** - dafür kommen heute nur konventionelle Kraftwerke in Frage – sicherzustellen und es ergibt sich demnach keine Anforderung an eine jeweils im Betrieb befindlichen Mindestenerzeugung konventioneller Anlagen. Allerdings begünstigt ein größeres Potenzial konventioneller Erzeugung, die sich bei einem Netzzusammenbruch im Eigenbedarf fängt, selbstverständlich einen erfolgreichen und zügigen Versorgungswiederaufbau.

[FGH 2012]

# Netzdienstleistungen

- Regelenergie
  - Primär/ Sekundär/ Tertiär
- Spannungshaltung
  - Statisch/ Dynamisch
- Systemwiederherstellung/  
Netzwiederaufbau
  - Schwarzstartfähigkeit
  - Inselbetriebsfähigkeit
- Kurzschlussstrombereitstellung
- Kompensation der Wirkverluste
- Systemkoordination
- Betriebliche Messung

## Schwarzstartfähigkeit

- Startfähigkeit (in weniger als 2 Stunden)
- Aufnahme von Lastsprüngen (Lastblöcke größer 20 MW)
- Wiederholtes Anfahren
- Brennstoffverfügbarkeit/ Vorrat (3 Tage und mehr)
- Verfügbarkeit größer 90%
- Blindleistung zum Laden von Leitungsabschnitten (größer 100 MVar im Transportnetz)

(beispielhafte Größen für Großbritannien [Nati 2012])

# Netzdienstleistung - Inselbetriebsfähigkeit

## 3.3.14.1 Abfangen von Erzeugungseinheiten auf Eigenbedarf

...

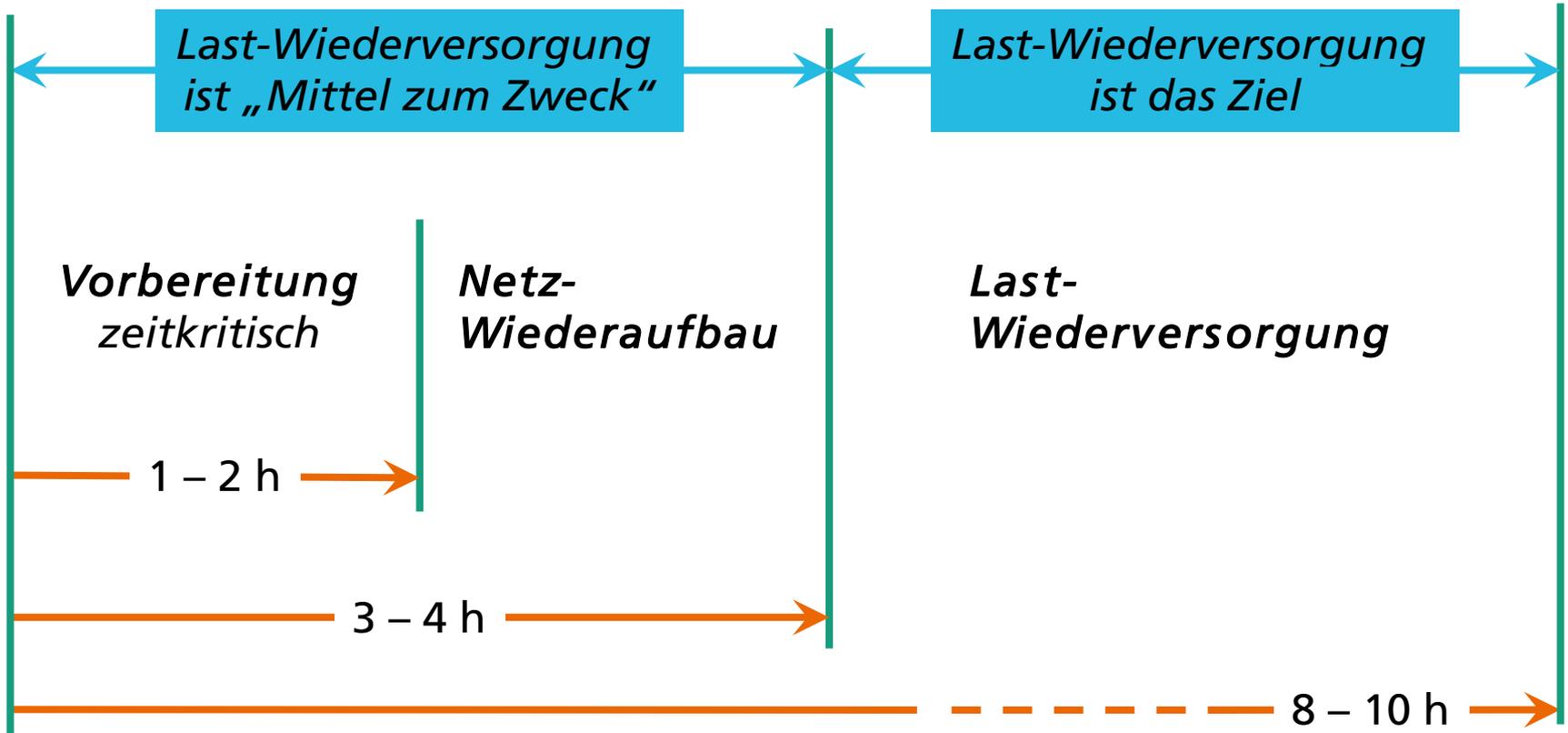
- (3) Nach Abfangen auf Eigenbedarf muss die Erzeugungseinheit mindestens 2 Stunden nur mit dem Eigenbedarf belastet betrieben werden können.
- (4) Ausnahmeregelungen für diese Anforderungen an spezielle Arten von Erzeugungseinheiten (z.B. Laufwasserkraftwerk) können vereinbart werden.

## 3.3.14.2 (Netz-)Inselbetriebsfähigkeit

- (1) Jede Erzeugungseinheit  $\geq 100$  MW muss in der Lage sein, die Frequenz zu regeln unter der Voraussetzung, dass das entstandene Leistungsdefizit nicht größer als die in der Netzzinsel vorhandene Primärregelreserve ist. (...)
- (2) Ein derartiger (Netz-)Inselbetrieb muss mehrere Stunden aufrechterhalten werden können. Die Einzelheiten (...).

[VDN 2007]

# Phasen der Systemwiederherstellung



[Adib 2008]

# Netzwiederaufbau - Wirkleistungseinspeisung

## 2.5.3 Wirkleistungsabgabe

Die Erzeugungsanlage muss mit reduzierter Leistungsabgabe betrieben werden können. In folgenden Fällen ist der Netzbetreiber berechtigt, eine vorübergehende Begrenzung der Einspeiseleistung zu verlangen oder eine Anlagenabschaltung vorzunehmen:

- potenzielle Gefahr für den sicheren Systembetrieb,
- Engpässe bzw. Gefahr von Überlastungen im Netz des Netzbetreibers,
- Gefahr einer Inselnetzbildung,

## 6.5 Nachweis der Zuschaltbedingungen

Es ist nachzuweisen, dass die Erzeugungsanlage

- erst bei einer Netzspannung von mindestens 95 %  $U_c$  und einer Netzfrequenz zwischen 47,5 Hz und 50,05 Hz zuschaltet oder wiederzuschaltet,
- im Falle einer Auslösung durch den Entkopplungsschutz nach Wiederschaltung die Wirkleistung mit einem Gradienten von maximal 10 % der Nennleistung pro Minute steigert (gilt nur für Erzeugungsanlagen > 1 MVA).

HöS, HS: nur Spannung  
MS: Spannung und Frequenz

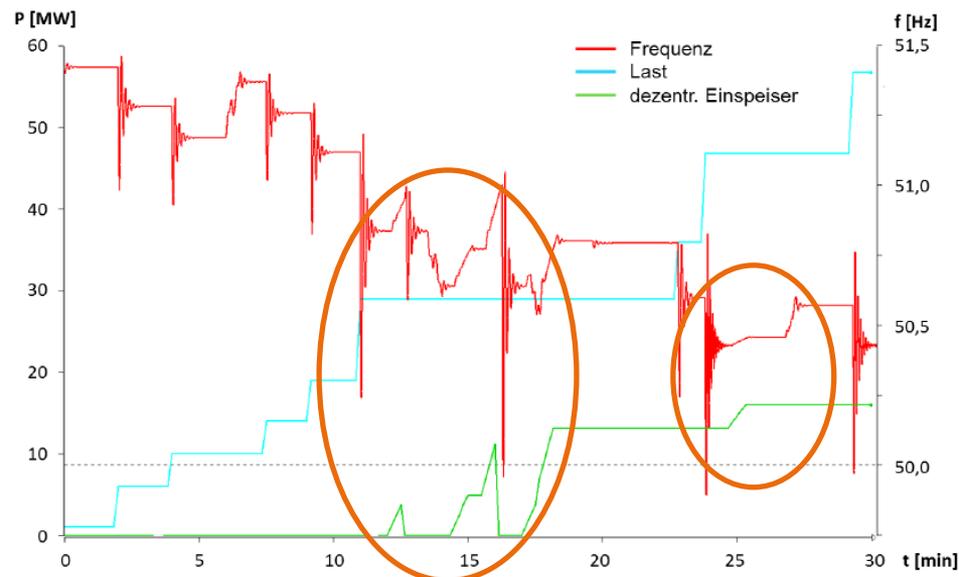
[BDEW 2008]

# Umfeld – Ungesteuerte Erneuerbare-Energie-Anlagen

## Frequenzstrategie

Kärnten  
Netz

- Festlegung der Startfrequenz
- Festlegung der max. möglichen Last bei Zuschaltung
- Berücksichtigung dezentraler Erzeuger
- Konzept für Synchronisierung



R. Scharanz

14. November 2013

22

[Schm 2013]

# Fragen zum Einsatz Erneuerbarer beim Netzwiederaufbau im Hoch- und Höchstspannungsnetz

- Verfügbarkeit Primärenergie
  - Sonne und Wind
  - Batteriespeicher
- Schwarzstartmöglichkeiten großer Wind- und PV-Parks
- Möglichkeiten der Blindleistungsbereitstellung
  - Laden von Netzabschnitten
  - Blindstrommanagement schwach belasteter Leitungen
  - Verhalten beim Anfahren großer Motoren
- Vor- und Nachteile verringerter Massenträgheit für die Frequenzregelung
  - Aufnahme von Lastblöcken

# Fragen zum Netzwiederaufbau durch dezentrale Erzeuger in einer Verteilnetzregion

## Schwarzstartfähigkeit

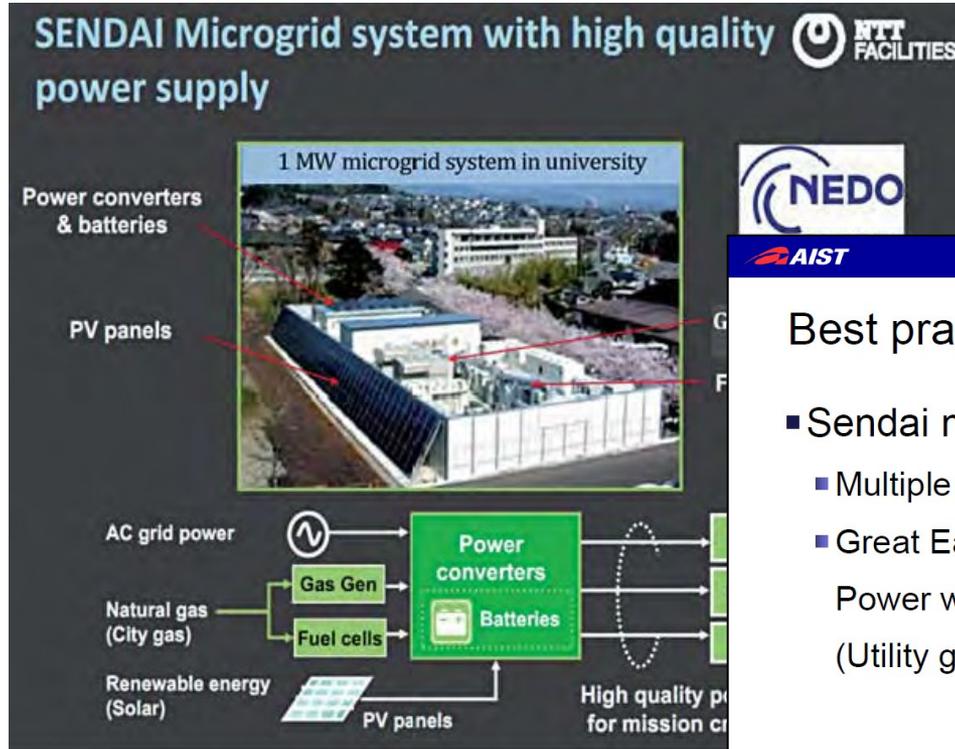
- Startfähigkeit (in weniger als 2 Stunden)
- Aufnahme von Lastsprüngen (Lastblöcke größer 20 MW)
- Wiederholtes Anfahren
- Brennstoffverfügbarkeit/ Vorrat (3 Tage und mehr)
- Verfügbarkeit größer 90%
- Blindleistung zum Laden von Leitungsabschnitten (größer 100 MVAR im Transportnetz)

(beispielhafte Größen für Großbritannien [Nati 2012])

## Übertragung auf das Verteilnetz

- Startfähigkeit von BHKW und Erneuerbaren (Netzbildner?)
- Wie groß sind die erwarteten Lastsprünge im Verteilnetz?
  - Verhältnis von gesteuerter zu ungesteuerter Erzeugung?
- Verfügbarkeit Primärenergie
  - Sonne und Wind
  - (Bio-) Gas
  - Batteriespeicher
- Technische Verfügbarkeit
- Blindleistungsanforderungen beim Laden eines Verteilnetzes?

# Versorgungsinseln – Kritische Infrastrukturen



## Best practice

- Sendai microgrid
  - Multiple quality: DC > AC-A > AC-B1 > AC-B3
  - Great East Japan Earthquake (2011):  
Power was supplied to important loads by microgrid  
(Utility grid: blackout for 3 days)



(Source: Wikipedia, this picture is not included to white paper)

Universitätsklinikum

[IEC 2014]

NATIONAL INSTITUTE OF ADVANCED INDUSTRIAL SCIENCE AND TECHNOLOGY (AIST)

NETZ:KRAFT, Projektvorstellung, Stand 11/2015 [14]

© Fraunhofer IWES

# Versorgungsinselfn – Beispiel Landwirtschaft



Hessisches Biogas-Forschungszentrum  
Fraunhofer IWES/ LLH, Schloss Eichhof, Bad Hersfeld

- Nutztierhaltungsverordnung (TierSchNutzV), §3 Absatz 5:

*Für Haltungseinrichtungen, in denen bei Stromausfall eine ausreichende Versorgung der Tiere mit Futter und Wasser nicht sichergestellt ist, muss ein Notstromaggregat bereitstehen.*

- Frage:  
Wie viele Biogasanlagen und wie viele PV-Anlagen auf Scheunen sind notstrom- bzw. inselnetzfähig?

# NETZ:KRAFT Kurzbeschreibung

NETZ:KRAFT erarbeitet neue Konzepte für den Netzwiederaufbau (NWA) bei zukünftigen Kraftwerksstrukturen. Ziel ist die Einbindung erneuerbarer Energien beim NWA zu ermöglichen.

- Weiterentwicklung der vorhandenen NWA-Konzepte der Übertragungsnetzbetreiber unter Berücksichtigung des Verhaltens von Erneuerbare-Energie-Anlagen.
- Grundlegende Untersuchungen der Möglichkeiten, dezentrale Erzeugung in Versorgungsinseln der Verteilungsnetzbetreiber zur Verkürzung von Ausfallzeiten aktiv zu nutzen.
- Übergreifend wird die Koordination der beiden Stränge untersucht.

Laufzeit: Januar 2015 – Juni 2018, Förderer: BMWi (FKZ 0325776)

# NETZ:KRAFT Projekt-Team

- Fraunhofer IWES
- 50 Hertz Transmission
- TransnetBW
- TenneT TSO
- Amprion
- Avacon
- HanseWerk
- MITNETZ STROM
- DREWAG NETZ
- EnergieNetz Mitte
- ENERCON
- Energiequelle
- SMA Solar Technology
- ÖKOBIT
- PSI
- DUtrain
- GridLab
- Friedrich-Alexander-Universität  
Erlangen-Nürnberg
- Universität Kassel
- DERlab

# NETZ:KRAFT Vorgehensweise



# NETZ:KRAFT Projektziele – Demonstrationen (1)

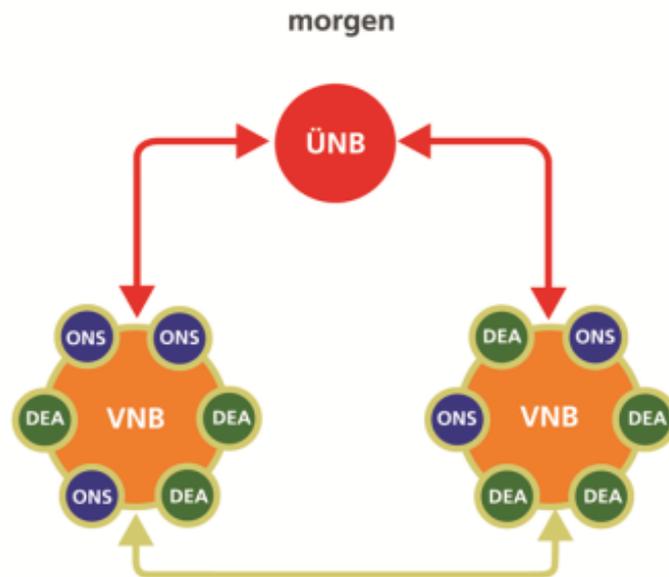
| Aufgabe   | Demonstration  | Netzebene                         | Methode                                       |
|---|--|-----------------------------------|---|
| NWA im Übertragungsnetz                         | <u>NWA Region Süd</u>  | Hoch- und Höchstspannung          | Leitstelle – Trainingssimulator               |
| NWA im überregionalen Verteilnetz               | Unterstützung <u>NWA mit PV-Parks</u>                                      | Mittel- und Hochspannung          | Feldtest an einem Megawatt-PV-Park            |
| NWA im Übertragungsnetz                         | <u>NWA Region Nord</u> , Berücksichtigung des Verhaltens von Windkraft     | Hoch- und Höchstspannung          | Leitstelle – Trainingssimulator               |
| Zusammenwirken im Übertragungs- und Verteilnetz | <u>netz-übergreifender NWA</u> , verschiedene Netzebenen und Netzbetreiber | Mittel-, Hoch- und Höchstspannung | Leitstelle – Trainingssimulator, Referenznetz |

# NETZ:KRAFT Projektziele – Demonstrationen (2)

| Aufgabe            | Demonstration   | Netzebene                  | Methode  |
|--------------------|---|----------------------------|--|
| NWA im Verteilnetz | <u>Versorgungsinsel Landwirtschaft</u> , Biomasse-Anlage als Netzbildner                              | Niederspannung             | Feldtest in einem landwirtschaftlichen Arealnetz |
| NWA im Verteilnetz | <u>Regionales Verteilnetz</u> , <u>Schwarzstart</u> mit Energetisierung eines Mittelspannungsstranges | Nieder- und Mittelspannung | Testnetz im Außenbereich Labor                   |
| NWA im Verteilnetz | <u>Regionales Verteilnetz</u> , <u>Einbindung Windpark</u>  | Mittelspannung             | Controller-Hardware-in-the-Loop                  |
| NWA im Verteilnetz | <u>Versorgungsinsel Großstadt</u>   | Mittel- und Hochspannung   | Leitstelle – Trainingssimulator                  |

# NETZ:KRAFT

## Netzwiederaufbau mit zukünftigen Kraftwerkskapazitäten



[www.netz-kraft-projekt.de](http://www.netz-kraft-projekt.de)

- Informationen zum Netzzustand
- Einbindung Windkraft und PV
- Zuschaltung „aktiver“ Verteilungsnetze
- Optimierte Netzwiederaufbaupfade
- Resynchronisierung
- Versorgungsinseln im Verteilungsnetz
- Verkürzte Ausfallzeiten
- Schwarzstartfähigkeit von EEA
- Prüf- und Qualifikationsverfahren

---

## Referenzen/ Literatur

---

|             |  |
|-------------|--|
| Adib 2008   | Adibi, M.M., Martins, N., „Power System Restoration Dynamics Issues“, IEEE PES General Meeting - Conversion and Delivery of Electrical Energy in the 21st Century, Pittsburg, PA, USA, 20.-24.07.2008  |
| Beri 2004   | Berizzi, A., „The Italian 2003 blackout“, IEEE PES General Meeting 2004, Denver, 07.06.2004  |
| BNetzA 2006 | Bundesnetzagentur für Elektrizität, Gas, Telekommunikation, Post und Eisenbahnen, „Untersuchungsbericht über die Versorgungsstörung im Netzgebiet des RWE im Münsterland vom 25.11.2005“, Bonn, Juni 2006  |
| FGH 2012    | FGH e.V., CONSENTEC GmbH, IAEW RWTH Aachen, „Studie zur Ermittlung der technischen Mindesterzeugung des konventionellen Kraftwerksparks zur Gewährleistung der Systemstabilität in den deutschen Übertragungsnetzen bei hoher Eispeisung aus erneuerbaren Energien“, Studie im Auftrag der deutschen Übertragungsnetzbetreiber, Abschlussbericht, Mannheim, 20.01.2012 |
| IEC 2014    | IEC Market Strategy Board, „ Microgrids for disaster preparedness and recovery“, White Paper, Genf, März 2014  |
| IWES 2014   | Fraunhofer IWES, IAEW RWTH Aachen, Stiftung Umweltenergierecht, „Roadmap Speicher – Bestimmung des Speicherbedarfs in Deutschland im europäischen Kontext und Ableitung von technisch-ökonomischen sowie rechtlichen Handlungsempfehlungen für die Speicherförderung“, Studie im Auftrag des BMWi, November 2014   |
| Nati 2012   | National Grid, „Black Start Service Description“, Version 2, Oktober 2012  |
| Mich 2009   | Michelmann, H.W., „Wunder, Mythen und Märchen in der Reproduktion“, Journal für Reproduktionsmedizin und Endokrinologie, 2009-6 (Sonderheft 1)   |
| Schm 2013   | Schmaranz, R., „Blackout – Die Schlüsselfaktoren eines erfolgreichen Netzwiederaufbaus“, Fachtagung „Blackout im Übertragungsnetz – den Ernstfall beherrschen“, Bonn, 14.11.2013   |
| VDN 2007    | Verband der Netzbetreiber e.V., „TransmissionCode 2007“, Version 1.1, Berlin, August 2007  |

---

# NETZ:KRAFT

Netzwiederaufbau unter Berücksichtigung zukünftiger Kraftwerksstrukturen



**Anwendungsnahe Forschung  
und Entwicklung**

Fraunhofer IWES unterstützt  
Wirtschaft und Politik in allen  
systemischen, technischen und  
wirtschaftlichen Fragestellungen  
im Kontext der deutschen  
Energiewende.

**Sprechen Sie uns an!**

Dr. Thomas Degner  
Abteilungsleiter Netztechnik und Integration  
0561 7294-232  
[thomas.degner@iwes.fraunhofer.de](mailto:thomas.degner@iwes.fraunhofer.de)

Wolfram Heckmann  
Projektmanagement  
0561 7294-126  
[wolfram.heckmann@iwes.fraunhofer.de](mailto:wolfram.heckmann@iwes.fraunhofer.de)  
[www.energiesystemtechnik.iwes.fraunhofer.de](http://www.energiesystemtechnik.iwes.fraunhofer.de)  
[www.pruefung-netzeigenschaften.de](http://www.pruefung-netzeigenschaften.de)