

# Netzwiederaufbau nach Großstörungen

Fred Prillwitz<sup>\*</sup>, Manfred Krüger<sup>\*</sup>

<sup>\*</sup> Universität Rostock, Institut für Elektrische Energietechnik, A.-Einstein-Str. 2,  
18059 Rostock, fred.prillwitz@uni-rostock.de, manfred.krueger@uni-rostock.de

## 1. Einleitung

Der Betrieb der Höchstspannungsnetze durch die Übertragungsnetzbetreiber (ÜNB) ist in den letzten Jahren schwieriger geworden. Die Liberalisierung des Strommarktes und die Durchsetzung des „Erneuerbare Energien Gesetzes“ stellt die ÜNB vor neue Herausforderungen. Durch den zunehmenden Stromhandel und die vermehrte lastferne Einspeisung von regenerativ erzeugtem Strom steigt die Länge der Leistungstransporte an und es werden ansonsten nicht beteiligte Netzabschnitte belastet (Problem der Durchleitung). Solche auftretenden horizontalen Lastflüsse bringen neben zusätzlichen Verlusten auch die Gefahr des Stabilitätsverlustes mit sich. Leitungen werden bis an die Grenzen ihrer Belastbarkeit betrieben und es entstehen „Leitungsengpässe“. Das ganze wird überlagert von einer zunehmenden Schwankungsbreite der zu transportierenden Lastflüsse im Minuten- und Stundenbereich. Erschwerend kommt hinzu, dass die regenerativ erzeugten Lastflüsse teilweise nur ungenau vorhergesagt werden können. Das erfordert zusätzliche Ausgleichsenergie, die durch Kraftwerke als Regelenergie bereitgestellt werden muss. Dem schnellen Bau neuer Leitungen stehen der wirtschaftliche Druck der ÜNB sowie die äußerst langwierigen gesetzlichen Rahmenbedingungen entgegen. Diese Entwicklung hat zu einer Erhöhung der Wahrscheinlichkeit für das Auftreten von Störungen im Allgemeinen als auch von Großstörungen im Besonderen geführt.

Mehrere Großstörungen in den letzten Jahren haben die Öffentlichkeit für dieses Thema sensibilisiert (Tab. 1). Die bei einer Großstörung ablaufenden Vorgänge sind dabei im Allgemeinen recht ähnlich. Nach einem ersten „normalen“ Ausfall eines Betriebsmittels (Leitung, Transformator,...) infolge einer Störung ergibt sich im Netz eine veränderte Lastflusssituation. Diese neue Situation hat gegebenenfalls Überlastungen weiterer Betriebsmittel und damit Schutzauslösungen zur Folge. Damit wird das Problem kaskadenartig verstärkt und es entsteht ein gestörtes Netzgebiet.

<b>Zeit</b>	<b>Ort</b>	<b>betroffene Menschen</b>
14.08.03	USA / Kanada	60 Mio.
28.08.03	London	0,4 Mio.
23.09.03	Dänemark / Südschweden	4 Mio.
28.09.03	Italien	50 Mio.
25.11.05	Münsterland (Deutschland)	0,25 Mio.
04.11.06	Gesamtes UCTE-Netz	10 Mio.

**Tab. 1: Großstörungen in den letzten fünf Jahren**

Großstörungen lassen sich allgemein einteilen (Rasch 2004):

- Regionaler Versorgungsausfall,
- stabiles Teilnetz nach Lastabwurf,
- Blackout mit Spannung beim benachbarten ÜNB,
- Blackout ohne Spannung beim benachbarten ÜNB.

Für den Fall des Auftretens einer Großstörung müssen die ÜNB entsprechend vorbereitet sein. Die Pflichten der ÜNB für den Fall einer Großstörung sind im TransmissionCode festgelegt (TransmissionCode 2003). Zur Erbringung der Systemdienstleistung „Versorgungswiederaufbau“ müssen von den ÜNB entsprechende Konzepte für präventive und operative Maßnahmen erarbeitet werden. Dazu gehören (Rasch 2004):

- Störungssichere Kommunikationssysteme,
- Vertragliche Absicherung von Systemdienstleistungen, die im Falle einer Großstörung in Anspruch genommen werden müssen, wie
  - Schwarzstartfähigkeit von Kraftwerken der Kraftwerksbetreiber (Wasserkraftwerke, Gasturbinenkraftwerke),
  - Inselbetriebsfähigkeit von Kraftwerken der Kraftwerksbetreiber (thermische Kraftwerke),
  - Bereiche für den Bezug von Wirk- und Blindleistung vom benachbarten ÜNB zum Netzwiederaufbau.
- Strategien für den Netzwiederaufbau bei verschiedenen Großstörungen,
- Hilfsmittel für die diensthabenden Mitarbeiter der Netzleitstellen.

## **2. Strategien zum Netzwiederaufbau**

Im folgenden werden die grundsätzlichen Strategien zum Netzwiederaufbau nach Blackout mit bzw. ohne eine Spannungsvorgabe von außen vorgestellt. Der allgemeine Ausgangszustand ist dadurch gekennzeichnet, dass das komplette Netz mit allen unterlagerten Ebenen spannungslos ist. Die thermischen Kraftwerke haben sich im Eigenbedarf gefangen. Als erstes muss ein definierter Ausgangsschaltzustand hergestellt werden, d.h.

- horizontale Trennung: Öffnen der Verbindungen zu den benachbarten ÜNB,
- vertikale Trennung: Abschalten der dem Höchstspannungsnetz unterlagerten Spannungsebenen.

Die nachfolgenden Handlungen unterscheiden sich danach, ob eine Spannungsvorgabe von außen möglich ist oder nicht. Im ersten Fall liegt an mindestens einem der Kuppelknoten zu den benachbarten ÜNB Spannung an, die zum Netzwiederaufbau genutzt werden kann. Die Verfahrensweise ist wie folgt:

- schrittweises Zuschalten der Leitungen ausgehend von den spannungsführenden Kuppelknoten in Richtung thermische Kraftwerke,
- Zuschalten von Teillasten und Kompensationsinduktivitäten unter Beachtung der zulässigen Grenzen für Wirk- und Blindleistung an den Kuppelknoten,
- Zuschalten schwarzstartfähiger Kraftwerke an die spannungsführenden Leitungen und g.g.f. Übernahme von Wirk- und Blindleistung,
- Synchronisation mit den im Eigenbedarf laufenden thermischen Kraftwerken,
- Übernahme der Wirkleistung durch die thermischen Kraftwerke und Zuschalten weiterer Lasten,
- Synchronisation der entstandenen Teilnetze an geeigneten Netzknoten.

Im zweiten Fall ist an den Kuppelknoten zu den benachbarten ÜNB keine Spannung verfügbar. Die Verfahrensweise ist hier wie folgt:

- Starten der schwarzstartfähigen Kraftwerke, wie Pumpspeicherkraftwerke oder Gasturbinenkraftwerke,
- schrittweises Zuschalten der Leitungen ausgehend von den schwarzstartfähigen Kraftwerken in Richtung thermische Kraftwerke,
- Zuschalten von Teillasten und Kompensationsinduktivitäten unter Beachtung der Leistungsdiagramme der einspeisenden Generatoren,
- Synchronisation mit den im Eigenbedarf laufenden thermischen Kraftwerken, weiterer Ablauf wie im ersten Fall.

Wenn keine schwarzstartfähigen Kraftwerke verfügbar sind, dann werden ausgehend von den thermischen Kraftwerken sich vergrößernde Inselnetze gebildet. Dazu müssen schrittweise geeignete Teillasten zugeschaltet werden. Diese Inselnetze werden dann später zum Gesamtnetz synchronisiert.

### **3. Technische Probleme**

Die unter Punkt 2 dargestellten Verfahrensweisen zum Netzwiederaufbau sind begleitet von einer Reihe Problemen, deren Lösung die vorherige Untersuchung mittels Simulationsmodellen erfordert. Die Probleme lassen sich allgemein in drei Bereiche einteilen:

#### **a) Problembereich Blindleistung**

Die leer laufenden Leitungen benötigen relativ große kapazitive Ladeleistungen. Die einspeisenden Generatoren bzw. Kuppelknoten müssen diese Blindleistung bereitstellen können. Abhilfe kann geschaffen werden durch Kompensationsdrosseln, Phasenschiebermaschinen oder das Betreiben der Leitungen mit abgesenkter Spannung. Nicht benötigte Leitungen sollten abgeschaltet werden. Wenn möglich sollte der Netzaufbau auf einer möglichst niedrigen Spannungsebene

erfolgen (Gudat 2003), da dort die Ladeleistung geringer ist. Beim Netzwiederaufbau ohne Spannungsvorgabe von außen müssen die Spannungsregler der einspeisenden Generatoren mit einer Blindleistungsstatik arbeiten, damit sich die Blindleistung definiert auf die beteiligten Generatoren aufteilen kann.

#### b) Problembereich Wirkleistung

Die im Eigenbedarf arbeitenden thermischen Kraftwerke können diesen für sie ungünstigen Betriebszustand nur wenige Stunden beibehalten, d.h. der Netzwiederaufbau muss zügig und möglichst komplikationslos ablaufen. Die Höhe der zugeschalteten Lasten muss begrenzt sein, um die Frequenz kurzzeitig nicht unzulässig stark absinken zu lassen. Beim Netzwiederaufbau ohne Spannungsvorgabe von außen müssen die Drehzahlregler der Turbinensätze mit einer Drehzahlstatik arbeiten, damit sich die Wirkleistung definiert auf die beteiligten Generatoren aufteilen kann. Die Bereitstellung von definierten und zuverlässigen Lasten nach einem Blackout ist schwierig. Ein zu kleines oder begrenztes Wasserreservoir von Pumpspeicherkraftwerken oder Laufwasserkraftwerken wird im Bedarfsfall auch zum Problem.

#### c) Transiente Vorgänge / Schutzauslösungen

Die Schaltvorgänge können zu Schutzauslösungen führen und damit den Netzwiederaufbau unterbrechen. Problematisch ist das Zuschalten von leerlaufenden Transformatoren bedingt durch den Rusheffekt (Gudat 2004). Abhilfe schafft hierbei ein starkes Absenken der Generatorspannung vor dem Zuschalten des Transformators. Der Ferrantieffekt auf den Leitungen kann zu Überspannungsauslösungen führen. Der Generatorschutz kann u.U. durch Untererregung auslösen. Das Zu- oder Abschalten zu großer Wirk- bzw. Blindleistungslasten kann zur Auslösung des Über-/Unterfrequenzschutzes bzw. des Über-/Unterspannungsschutzes führen.

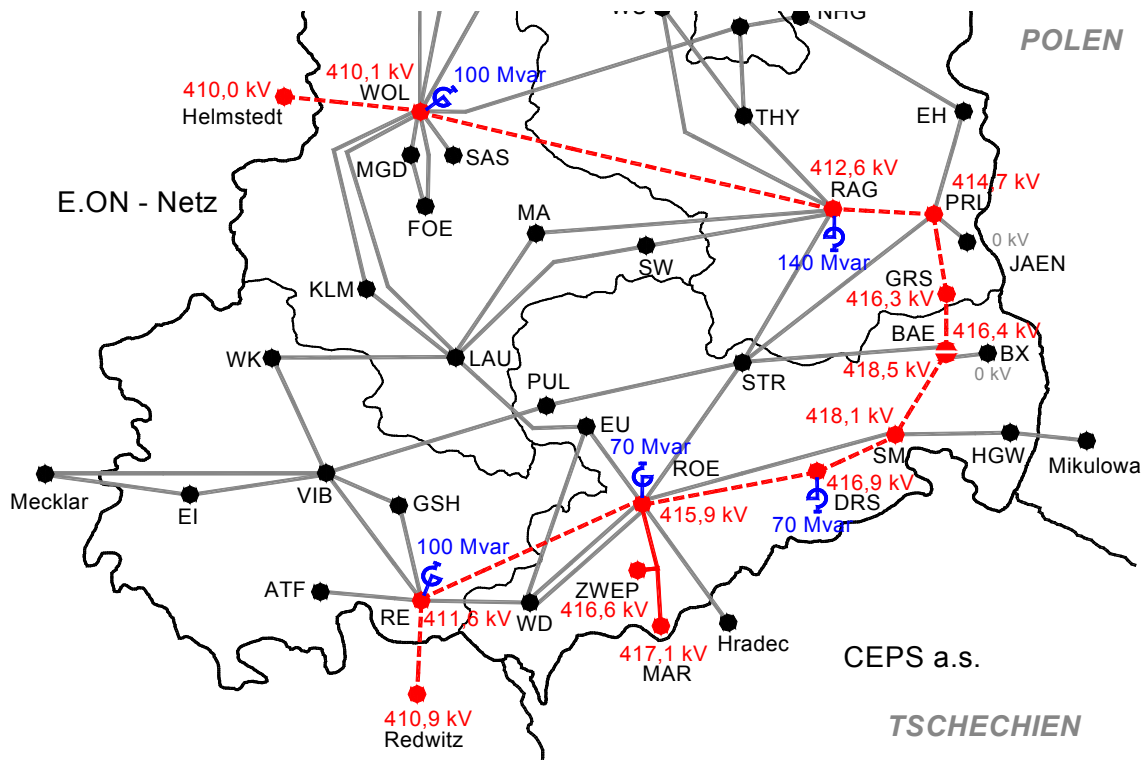
### **4. Beispiel**

Die Vielzahl der unter Punkt 3 erwähnten technischen Probleme zeigt, dass zur Erarbeitung eines realisierbaren Netzwiederaufbaukonzeptes aktuelle Modelle des Netzes und Simulationsrechnungen notwendig sind. Diese Modelle müssen sowohl das stationäre als auch das dynamische Betriebsverhalten der Netze und ihrer Betriebsmittel abbilden können (Krüger 2007). Für das Netz der Vattenfall Europe Transmission wurde ein dynamisches Netzmodell mit der Software DigSILENT erstellt, mit dem verschiedene Szenarien für den Netzwiederaufbau simuliert werden können. Im folgenden sollen beispielhaft die Ergebnisse von stationären Berechnungen für den Netzwiederaufbau im Netz der VE-T mit und ohne Spannungsvorgabe von außen vorgestellt werden. Abb. 1 zeigt den südlichen Bereich des VE-T Netzes mit den drei Kuppelknoten zum E.ON Netz Helmstedt, Mecklar und Redwitz. Das Netz der VE-T soll spannungslos sein

wobei sich die thermischen Kraftwerke im Südosten im Eigenbedarf gefangen haben. Abb. 1 zeigt die zwei Verbindungen (gestrichelt)

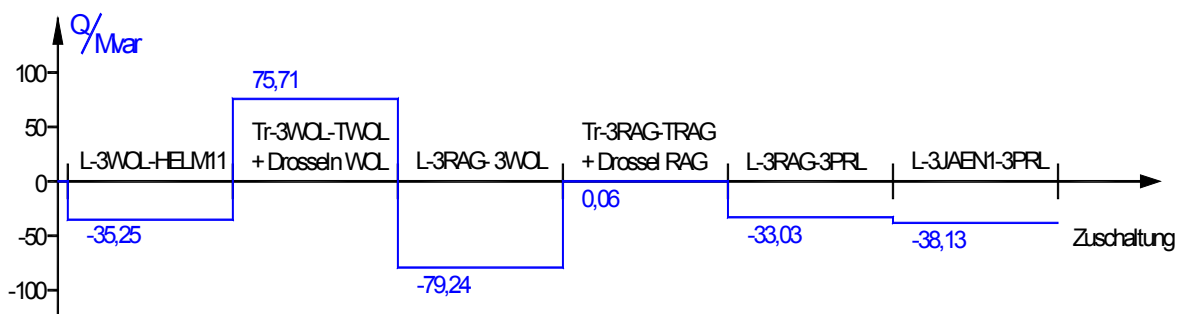
- Helmstedt – Wolmirstedt – Ragow – Preilack (KW Jänschwalde)
- Redwitz – Remptendorf – Röhrsdorf – Bärwalde (KW Boxberg)

die gleichzeitig aufgebaut werden können und letztlich am Knoten Bärwalde synchronisiert werden können.

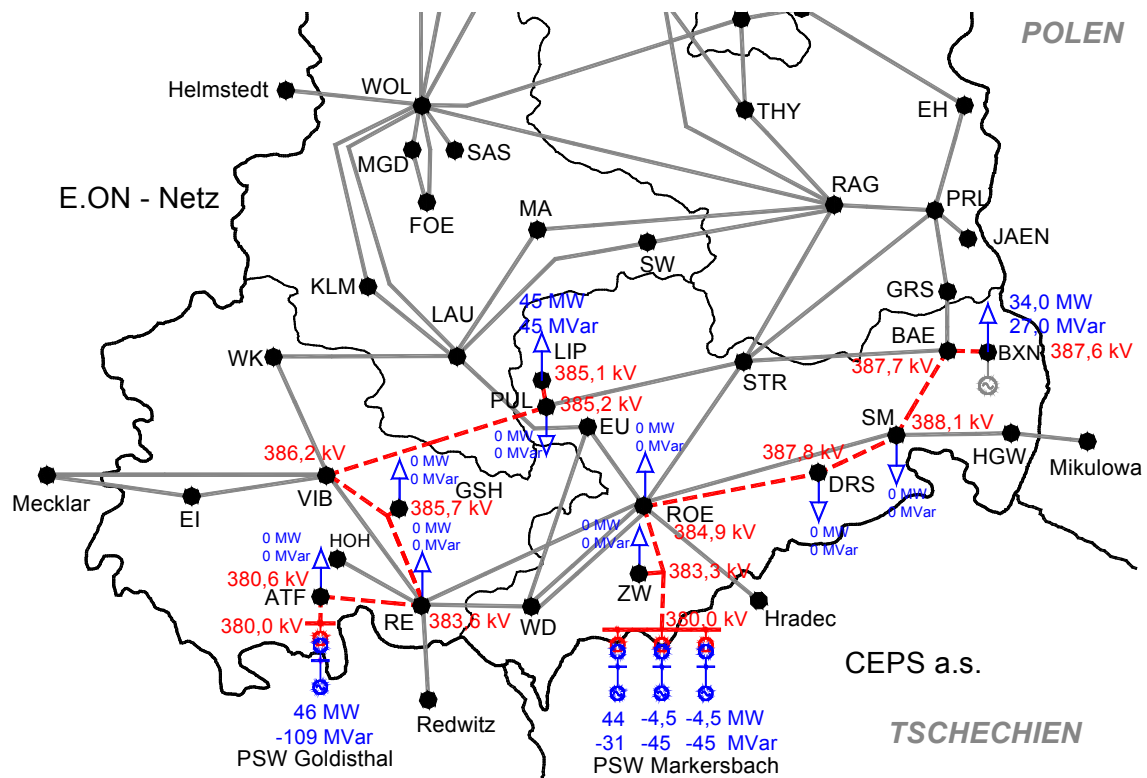


**Abb. 1: Netzwiederaufbau im VE-T Netz mit Spannungsvorgabe durch das E.ON Netz**

Abb. 2 zeigt die aus dem E.ON Netz bezogene Austauschblindleistung am Knoten Helmstedt, wenn die Leitungsabschnitte in Richtung Kraftwerk Jänschwalde nacheinander zugeschaltet werden. Hierbei wird die Notwendigkeit von Kompensationsdrosseln deutlich, um die vertraglich vereinbarten Grenzen für den Blindleistungsbezug einzuhalten.



**Abb. 2: Austauschblindleistung am Knoten Helmstedt**



**Abb. 3: Netzwiederaufbau im VE-T Netz ohne Spannungsvorgabe von außen**

In Abb. 3 wird eine mögliche Vorgehensweise beim Netzwiederaufbau ohne Spannungsvorgabe von außen gezeigt. Die Spannung der schwarzstartfähigen Pumpspeicherkraftwerke Goldisthal bzw. Markersbach wird zu den Braunkohlekraftwerken Lippendorf bzw. Boxberg geschaltet. In Abb. 3 ist der ungünstigste Fall dargestellt, bei dem die Pumpspeicherkraftwerke den Eigenbedarf der thermischen Kraftwerke versorgen müssen, nach dem diese bereits durch Generatorabschaltung in der Phase der Abkühlung sind. Die Ladeleistung wird durch die Synchronmaschinen bereitgestellt. Dazu arbeiten zwei Turbinensätze des PSW Markersbach im Phasenschieberbetrieb.

## 5. Literatur

- Gudat R., Schulz, U., Weidmann B., Kurth M., Welfonder E. (2003) Handlungsvorgaben zum Teilnetzwiederaufbau ohne Spannungsvorgabe von außen. 6.GMA/ETG-Fachtagung, 21.-22.05.2003, München.
- Krüger M., Prillwitz F. (2007) Dynamische Untersuchungen zum Netzwiederaufbau mit einem Pumpspeicherkraftwerk. 12. Symposium Maritime Elektrotechnik, Elektronik und Informationstechnik, 08.-10.10.2007, Rostock.
- Rasch P. (2004) Netzwiederaufbaukonzept und -training bei E.ON Netz. VDE Kongress 2004, 18.-20.10.2004, Berlin.
- TransmissionCode 2003 Netz- und Systemregeln der deutschen Übertragungsnetzbetreiber. Verband der Netzbetreiber VDN e.V. beim VDEW, 2003.