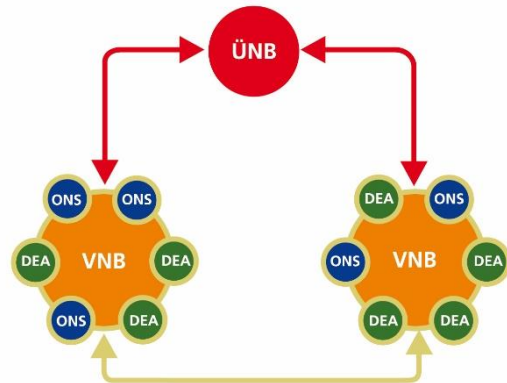


NETZ:KRAFT - Grundlagen der Netzwiederaufbau- konzepte der deutschen ÜNB

Projektbericht



Projektkonsortium



Förderung

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

STROMNETZ

Forschungsinitiative der Bundesregierung

April 2015

Autoren	
50Hertz Transmission GmbH	A. Pavic
Amprion GmbH	J. Jacobs
TenneT TSO GmbH	H. Woiton
TransnetBW GmbH	H. Langen

1. Allgemeiner Teil

1.1. Einführung

Die Übertragungsnetzbetreiber (ÜNB) sind gemäß dem Gesetz über die Elektrizitäts- und Gasversorgung (Energiewirtschaftsgesetz - EnWG) von 2005 verpflichtet mit ihrem Netz zu einem sicheren und zuverlässigen Elektrizitätsversorgungssystem in ihrer Regelzone und damit zu einer sicheren Energieversorgung beizutragen.

In diesem Kontext hat der ÜNB sicherzustellen, dass Netzzusammenbrüche durch geeignete Maßnahmen verhindert werden können, wie z. B. den 5-Stufen-Plan. Diese und andere zahlreiche Maßnahmen halten sowohl die deutschen ÜNB als auch die europäischen Partner im europäischen Synchronverbund zu diesem Zwecke vor. Die Erbringer dieser präventiven Leistungen sind dabei ÜNB sowie Verteilnetzbetreiber (VNB) und Betreiber von Erzeugungseinheiten. Die Wirksamkeit der präventiven Maßnahmen wird gemeinsam regelmäßig überprüft.

Sollte es aber trotz dieser vorgehaltenen Gegenmaßnahmen zu einem Netzzusammenbruch kommen, so muss der Netzwiederaufbau koordiniert zwischen den Partnern ablaufen. Die ÜNB koordinieren hierzu im Rahmen der Systemverantwortung die Wiederherstellung der Stromversorgung nach einem Netzzusammenbruch in Zusammenarbeit mit den jeweils benachbarten ÜNB bzw. den unterlagerten VNB sowie Betreibern von Erzeugungseinheiten in ihrer Regelzone. Alle Partner tragen die Verantwortung dafür, dass in ihrem Verantwortungsbereich, die für einen Netzwiederaufbau erforderlichen betrieblichen, technischen und organisatorischen Voraussetzungen jederzeit erfüllt sind.

Die Ursachen für eine Netzstörung, sowie die dann ablaufenden Vorgänge, welche zu einem Netzzusammenbruch führen können, sind in der Abbildung 1 dargestellt.

Da Art, Umfang und Auswirkung von Großstörungen nicht vorhersehbar sind, beschreiben die Netzwiederaufbaukonzepte lediglich die erforderlichen Rahmenbedingungen und Voraussetzungen für das gemeinsame Handeln der beteiligten Stellen.

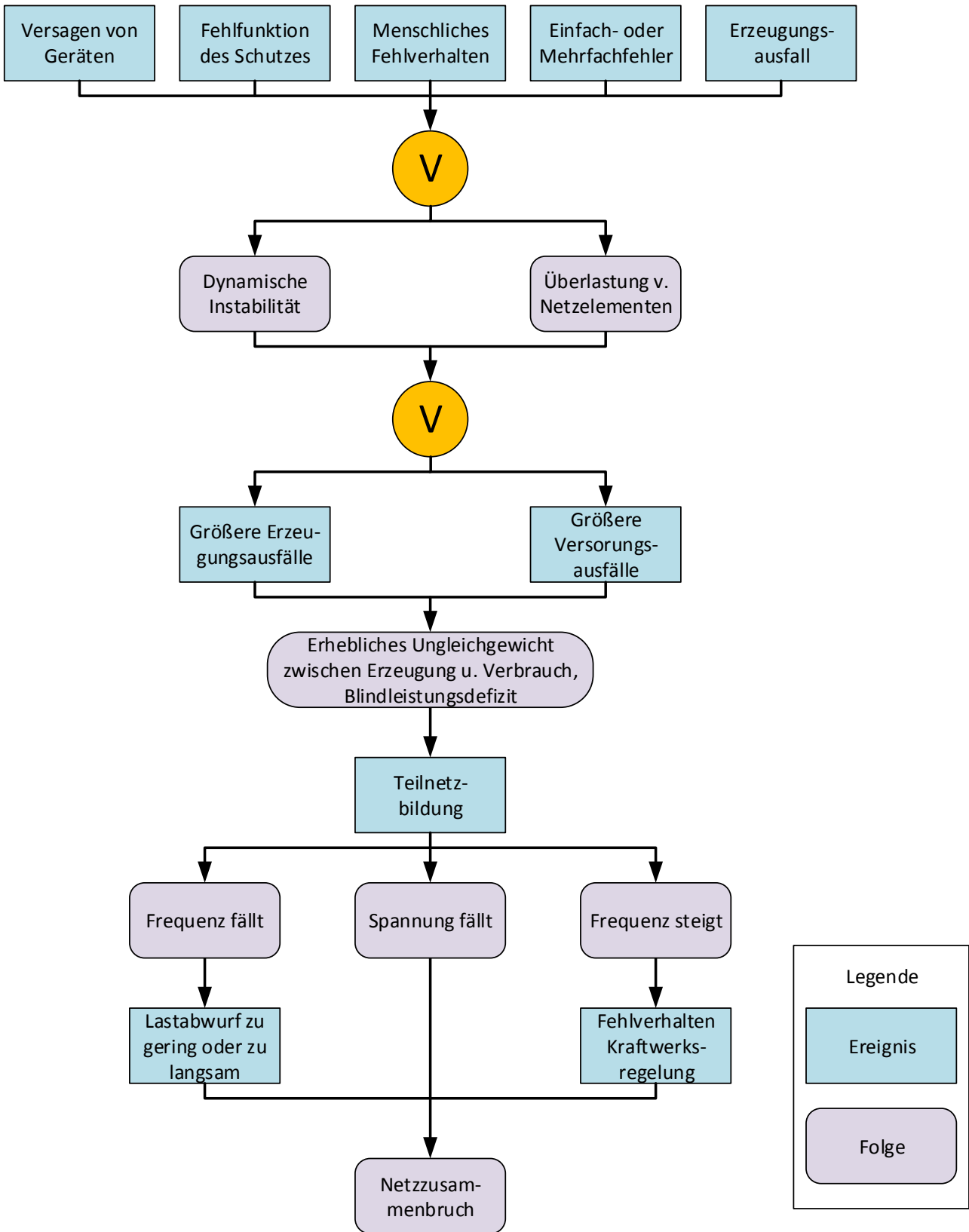


Abbildung 1: Mögliche Ursachen von Störungen im Netz

1.2. Klassifizierung von Störungstypen

Die Netzwiederaufbaukonzepte (NWAK) der ÜNB legen drei bis vier grundsätzliche Störungstypen fest, an denen sich die Netzwiederaufbaustrategien orientieren. Es wird dabei bewusst in Kauf genommen, dass jeder dieser Störungstypen in der Realität von unterschiedlicher Ausprägung sein kann. Jeder Störungstyp kann in einer Vielzahl von Varianten auftreten, die Übergänge sind fließend, wodurch eine spezifische Beschreibung nahezu unmöglich ist.

1) Regionale Spannungslosigkeit

- Regional begrenzte Spannungslosigkeit
- Übertragungsnetz im Wesentlichen nicht betroffen
- Kein Leistungsungleichgewicht (Frequenz zwischen 49,8 und 50,2 Hz)

2) Teilnetzbildung

- Stabilisierter Betrieb z.B. nach Lastabwurf
- Übertragungsnetz in stabile Netzinseln zerfallen
- Leistungsungleichgewicht im kontinentaleuropäischen ENTSO-E-Netz
- Beispiel: Europäische Großstörung 4. November 2006

3) Blackout mit Wiederaufbau aus eigener Kraft

- Überregionale Spannungslosigkeit
- Intakte Nachbarnetze vorhanden; Netzwiederaufbau über intaktes Nachbarnetz möglich
- entspricht ENTSO-E Definition: „TOP-DOWN“

4) Blackout mit Wiederaufbau aus eigener Kraft

- Überregionale Spannungslosigkeit
- Nicht leistungsfähige Nachbarnetze; Netzwiederaufbau nur aus eigener Kraft möglich
- Entspricht ENTSO-E Definition: „BOTTOM-UP“

1.3.Grundsätzliches Vorgehen beim Netzwiederaufbau

Aufgrund der Einzigartigkeit jeder Störung ist im Vorfeld das Vorgehen zur Behebung nicht detailliert für jede Störung planbar. Erforderlich ist aber in jedem Fall die koordinierte Zusammenarbeit aller Partner. Die nachfolgende Auflistung gibt das prinzipielle Vorgehen bei den unterschiedlichen Störungstypen an.

Zu 1) Regionale Spannungslosigkeit:

Jede regionale Störung muss je nach Ausmaß und Randbedingungen individuell behandelt werden. Die Störungsbehebung ist aber in der Regel relativ einfach und in kurzer Zeit möglich, da das Übertragungsnetz im Wesentlichen nicht betroffen ist und rund um das betroffene Gebiet Spannung ansteht und ausgefallene Leistung aus dem restlichen stabilen Netz ersetzt werden kann.

Zu 2) Teilnetzbildung:

Bei Absinken der Frequenz wird neben anderen Maßnahmen ggf. automatisch Last gemäß des technischen Hinweises des VDE-FNN „Technische Anforderungen an die automatische Frequenzentlastung“ abgeworfen, um Auswirkungen von Störungen, die zu weiteren Netzauftrennungen und zum Netzzusammenbruch führen können, soweit wie möglich zu begrenzen.

Nach der erfolgreichen Frequenzstabilisierung werden die eventuell entstandenen Auftrennungen im Übertragungsnetz wieder geschlossen und die abgeworfene Last bzw. Erzeugung wieder an das stabile Netz genommen.

Zu 3) Blackout mit anstehender ENTSO-E Spannung:

Sind nur einzelne Teile des Übertragungsnetzes ausgefallen und steht von einem bzw. mehreren benachbarten ÜNB stabile Spannung an, so wird das ausgefallene Übertragungsnetz mit Hilfe des bzw. der benachbarten ÜNB sowie mit Kraftwerken, die sich im Eigenbedarf/Eigenbedarfsinselbetrieb (EB(IB)) gefangen haben oder schnellstartfähig sind, wiederaufgebaut. Der Netzwiederaufbau erfolgt dabei von oben nach unten (TOP-DOWN). Hierzu bilden die unterlagerten Netzbetreiber Netzteile gemäß den Vorgaben des ÜNB.

Definition aus dem Entwurf des Network Code "Emergency and Restoration": TOP-DOWN Re-energisation Strategy means a strategy that requires the assistance of other TSOs to re-energise (part of) the system of a TSO.

Zu 4) Blackout mit Wiederaufbau aus eigener Kraft:

Ist das Übertragungsnetz großflächig ausgefallen und eine Spannungsvorgabe aus benachbarten Übertragungsnetzen nicht möglich, da diese selber ausgefallen oder nicht ausreichend leistungsfähig sind, so wird das Übertragungsnetz aus ÜNB-eigener Kraft wiederaufgebaut (BOTTOM-UP).

Definition aus dem Entwurf des Network Code "Emergency and Restoration": BOTTUM-UP Re-energisation Strategy means a strategy that does not require the assistance from other TSOs to re-energise (part of) the system of a TSO.

Dies erfolgt mit Hilfe von Kraftwerken, die sich im EB(IB) gefangen haben, und/oder mit schwarzstartfähigen Einheiten (SE). Nach dem erfolgreichen bzw. auch teilweisen Wiederaufbau des eigenen Übertragungsnetzes wird dieses wieder mit den Nachbarnetzen synchronisiert. Insbesondere für die deutschen ÜNB gilt

auch hierbei der Grundsatz, dass das Netz von oben nach unten wiederaufgebaut wird und die unterlager-ten Netzbetreiber Netzteile gemäß den Vorgaben des ÜNB bilden. Dies ist aus der vorherrschenden Erzeu-gungsstruktur mit Großkraftwerken im Übertragungsnetz begründet. Im gesamteuropäischen Kontext ist aber durchaus auch der Netzwiederaufbau „von Unten (niedrige Spannungsebenen) nach Oben (Höchst-spannung)“ zu verstehen.

1.4. Organisatorisches

Anweisungsberechtigung gegenüber Kraftwerken und Schaltleitungen

Die ÜNB-Schaltleitungen sind in ihrem jeweiligen Zuständigkeitsbereich für den sicheren Betrieb des Netzes und für die Erfüllung der Systemdienstleistung gegenüber den direkt und indirekt angeschlossenen Erzeu-gungseinheiten gemäß Energiewirtschaftsgesetz § 13 (2) in einem Störfall schaltauftrags- und wei-sungsberechtigt.

Schwarzfallfeste Telekommunikation

Für die Sicherstellung der Kommunikation während einer Störung sind schwarzfallfeste Telekommunikati-onswege vorzuhalten.

2. Vorgehen beim Netzwiederaufbau

2.1. Erkennen und Bewerten der Situation

Im Störfall ist die oberste Prämisse sich zunächst Klarheit über das Ausmaß der Störung zu verschaffen. Unmittelbar danach sind alle relevanten Akteure über die Lage zu informieren.

Für die Einteilung der Störung in einen der Störungstypen und die damit verbundene Festlegung der Herangehensweise für den Netzwiederaufbau muss der Zustand des Netzes folgendermaßen erfasst werden:

- spannungslose Netzgebiete identifizieren
- intakte Netzgebiete identifizieren
- Netzgebiete unterschiedlicher Frequenzen identifizieren
- aktuelle Lage der Kraftwerke erfassen
- aktuelle Lage der Nachbarnetze erfassen

Danach kann mit dem Netzwiederaufbau begonnen werden.

2.2. Prämissen beim Netzwiederaufbau

Das Vorgehen beim Netzwiederaufbau hängt vom aktuellen Netzzustand ab und erfordert ein individuelles Vorgehen unter festen Randbedingungen. Diese Randbedingungen sind unter den folgenden Prämissen zusammengefasst:

- Das Vorgehen ist nur innerhalb des sicheren Bereiches, das heißt innerhalb der Belastungsgrenzen der Betriebsmittel, erlaubt.
- Verhinderung von hohen Einschaltströmen durch Rush-Ströme von Transformatoren (Ströme die nach dem Einschalten von Transformatoren für ca. 0,5 Sekunden auftreten und 3-5-mal so groß wie der Nennstrom sein können).
- Bei der Behebung von Großstörungen der Typen 1), 2) und 3) werden Zuschaltungen in der Regel sukzessive, das heißt elementweise, vorgenommen (zum Beispiel: Stromkreis, danach nächster Direktkuppler, danach nächster Stromkreis usw.). Um Spannungsüberhöhungen zu vermeiden, ist es auch möglich größere Netzteile (Aufbaunetze) zuzuschalten (zum Beispiel: blockweise Zuschaltung einer Leitung mit einem Trafo und daran angeschlossener Kompensationsspule).
- Bei Großstörungen des Typs 4) ist das unter Spannung setzen mehrerer Leitungen und Transformatoren durch eine Spannungsfahrt bzw. durch Schaltung von Aufbaunetzen bei manchem ÜNB erlaubt/möglich.
- Bei leerlaufenden oder gering belasteten Leitungen besteht aufgrund des kapazitiven Charakters von Freileitungen die Gefahr einer Spannungsüberhöhung am Ende der Leitung (Ferranti-Effekt). Dies ist durch die Aufnahme von Last bzw. durch zur Verfügung stehende Kompensationsspulen zu kompensieren. Zudem können die Leitungen auch erst mit verminderter Spannung zugeschaltet werden, solange noch keine Lastaufnahme erfolgt.
- Kraftwerke im EB(IB) sollten zur Stabilisierung der Erzeugungsanlage möglichst schnell mit ihrer technischen Mindestlast belastet werden. Für thermische Kraftwerke beträgt diese etwa 35 % der Nennleistung. Soweit möglich, sind vor einem Netzwiederaufbau die Anlagen volatiler Erneuerbarer

Energien auf allen Spannungsebenen vom Netz zu trennen. Als Lasten sind vorrangig urbane Gebiete zuzuschalten.

- Priorität hat das unter Spannung setzen des HÖS-Netzes, anschließend die Wiederversorgung der Endkunden in den unterlagerten Netzen. Beim unter Spannung setzen ist jedoch auf eine ausreichende Lastmitnahme zu achten.
- Meldet ein Kernkraftwerk (KKW) den Bedarf an Not-EB-Bereitstellung an, so ist die Spannungsversorgung des KKW innerhalb von 2h sicher zu stellen. Hierzu werden noch vorhandene Netzinseln, Kraftwerke, die sich im EB gefangen haben, oder Schwarzstarteinheiten herangezogen. Grundsätzlich werden die ÜNB im Fall einer Großstörung auch ohne Anforderung von Not-EB-Bereitstellung den KKW innerhalb von 2h Spannung am Netzanschlusspunkt bereitstellen. Diese Eigenbedarfssicherung der KKW ist in das Konzept zum Netzwiederaufbau eingearbeitet und in allen ausgearbeiteten Strategien enthalten.

- Trennen von Netzen

Nach einem Netzzusammenbruch ist es nicht möglich, die jeweiligen Netzbereiche der 50Hertz, Amprion, TenneT D, und TNG mit der ersten Einschaltung insgesamt unter Spannung zu setzen. Aus diesem Grunde sind die Partner übereingekommen, im ersten Schritt des Wiederaufbaues definierte Netztrennungen vorzunehmen. Insbesondere werden alle spannungslosen Kuppelleitungen ausgeschaltet. Nach Abschluss der Netztrennungen bzw. der Bildung von Aufbaunetzen oder Hochfahrnetzen informieren sich die Partner bei Bedarf über die durchgeführten Maßnahmen und die weitere Vorgehensweise.

Durch das Trennen sowohl der Verteilungsnetze als auch der Industriekunden vom Übertragungsnetz wird gewährleistet, dass das Übertragungsnetz nach geeigneter weiterer Vorbereitung lastlos unter Spannung gesetzt werden kann.

Durch das Trennen des Übertragungsnetzes vom Netz anderer ÜNB wird gewährleistet, dass Teile des spannungslosen Übertragungsnetzes während der Durchführung der Schalthandlungen zur Vorbereitung des Übertragungsnetzes nicht vorzeitig durch Maßnahmen anderer Netzbetreiber unter Spannung gesetzt werden können. Grundsätzlich wird das gleiche Vorgehen auch in den Verteilnetzen angewendet und die Netze entsprechend vordefinierter Pläne aufgetrennt.

- Vorbereitende Maßnahmen zur Wiederaufnahme der Versorgung

Vor der koordinierten Wiederaufnahme der Versorgung sind Maßnahmen im Verteilungsnetz erforderlich, um abhängig von der Netzwiederaufbaustrategie und somit von der Belastbarkeit des Übertragungsnetzes, die Lastsprünge beim Einschalten zuschaltbarer Lasten auf ein für das Übertragungsnetz verträgliches Maß zu begrenzen. Weiterhin sind Maßnahmen zu treffen, um bei der koordinierten Wiederaufnahme der Versorgung eine Rückspeisung aus dem Verteilungsnetz in das Übertragungsnetz zu vermeiden.

Zur Begrenzung von Lastsprüngen bei der koordinierten Wiederaufnahme der Versorgung ist das Verteilungsnetz abhängig von der Netzwiederaufbaustrategie in geeigneter Weise in zuschaltbare Lasten so aufzuteilen, dass pro Einschaltvorgang eine vorgegebene Lastaufnahme nicht überschritten wird.

In den als zuschaltbare Last vorgesehenen Bereichen des Verteilungsnetzes sind alle sich selbständig auf anstehende Spannung synchronisierende Erzeugungsanlagen (EEG-Anlagen) im spannungslosen Zustand auszuschalten oder in ihrer Einspeiseleistung auf den minimal möglichen Wert zu begrenzen, sofern sie durch eine netzführende Stelle oder steuernde Stelle des VNB entsprechend fernsteuerbar sind (vgl. §6, §11 EEG).

- Spannungsvorgabe aus einem Übertragungsnetz eines Partners

Das unter Spannung setzen der 380-/220-kV-Aufbaunetze sollte, wenn möglich, mit einer an einem Randknoten anstehenden Spannung (ENTSO-E CE) erfolgen. Hierzu ist auf jeden Fall eine Rücksprache mit dem entsprechenden Partner notwendig. Der Partner, der einem anderen Partner Spannung vorgibt, gibt die Randbedingungen der Spannungsvorgabe vor.

Im Rahmen dieser Spannungsvorgabe wird ein Leistungsband ($\pm \dots$ MW), ($\pm \dots$ MVar) und ein maximaler Leistungssprung (\dots MW) vorgegeben.

- Werden Kuppelleitungen zu benachbarten ÜNB im Netzwiederaufbau genutzt, so sind diese nicht über die definierten Bänder für Wirkleistungs- und Blindleistungsaustausch hinaus zu belasten. Dieser Leistungsaustausch sollte primär dazu dienen, Leistung zum Anfahren von KW in der eigenen Regelzone bereitzustellen bzw. die Not-EB-Bereitstellung von KKW zu gewährleisten.
- Parallelschaltung von Teilnetzen (Inselnetzen):

Den größten Einfluss auf die Frequenz im Gesamtsystem hat immer das Teilnetz mit der in Summe größten rotierenden Kraftwerksleistung, wobei Speicherkraftwerke prädestiniert sind, die Frequenzführung im Teilnetz zu übernehmen.

Sollte es erforderlich sein, asynchrone Teilnetze parallel zu schalten, so sollte der Netzbetreiber (Insel-Koordinator/Frequenz-Koordinator) die Federführung (Resynchronisierungs-Koordinator) übernehmen, der mit den bei ihm angeschlossenen Maschinen den größten Einfluss auf die Frequenz hat (z.B. „Frequenzführung“ mit Speicherkraftwerken).

Der Frequenz-Koordinator legt fest:

- die Frequenzhaltung
- die Höhe der Führungsfrequenz im Teilnetzbetrieb (50,2 Hz Problematik beachten)
- die Höhe der Austauschleistung über die Verbundkuppelleitung
- die Höhe der max. zulässigen Lastsprünge

Die Aufgaben des Resynchronisierungs-Koordinators sind:

- „kleinere“ Teilnetze (höhere Frequenz) an ein „größeres“ Teilnetz heranzuführen
- Festlegung der Zielfrequenz
- Festlegung der max. Frequenzdifferenz
- Festlegung des ersten und in Folge zweiten Synchronisierungsortes
- Vorbereitung von weiteren Parallelschaltungen (Vermaschung)

Die Parallelschaltung erfolgt vorzugsweise über die Leitungen, in denen Parallelschaltgeräte mit Rückmeldung der Parallelschaltbedingungen eingebaut sind. Die Funktion des Resynchronisierungs-

Koordinator wird in der Regel von einem der beiden Frequenz-Koordinatoren der beiden zu synchronisierenden Inseln wahrgenommen. Im Bedarfsfall und in Koordination mit allen beteiligten ÜNB kann diese Funktion jedoch auch an einen dritten beteiligten ÜNB übertragen werden.

- Erfolgt eine Spannungsvorgabe vom ÜNB an einen VNB, so sind hierfür ebenfalls Bänder für Wirkleistungs- und Blindleistungsaustausch zu definieren und einzuhalten. Des Weiteren sind Maximalwerte für zulässige Leistungssprünge zu definieren.
- Kraftwerke bzw. Erzeugungseinheiten werden gemäß ihren technischen Möglichkeiten vom Netzbetreiber angewiesen und eingesetzt.
- Der Markt für Energie und Systemdienstleistungen wird im Netzwiederaufbaufall außer Kraft gesetzt.