Blackouts in der Stromversorgung

Walter Schossig, VDE Thüringen

1 Einleitung

Großflächige Stromausfälle – auch Blackouts genannt – in einem Stadtgebiet, einer Region, einem Land oder einem Länder übergreifenden Verbundnetz sind recht selten und dennoch, wie gerade die letzten sieben Jahre gezeigt haben, nicht auszuschließen. Schutz- und Leittechniksysteme sowie die Dispatcher rücken bei der Unterbrechung der Stromversorgung immer dann besonders in das Rampenlicht, wenn etwas nicht ganz optimal verlaufen ist bzw. diese gar der Auslöser dafür waren. Dies liegt u.a. auch darin begründet, dass Schutz- und Leittechniker sowie Netzführer es gewohnt sind gründlich zu analysieren, um dann Maßnahmen zur Verhinderung weiterer Fälle treffen zu können.
Man vergisst dabei, dass in zahllosen Fällen die Schutz- und Leittechnik sowie die Systembetreiber (Transmission und Distribution System Operator, TSO und DSO) Ausfälle verhindert bzw. deren Auswirkungen begrenzt haben. Auch in diesem Beitrag werden nicht ganz optimale Verhaltensweisen von Primär- und Sekundäreinrichtungen sowie des Inbetriebsetzungs-, Bedienungs- und Steuerungspersonals angesprochen, ohne – von einigen Ausnahmen abgesehen – auf die Vielzahl der Fälle eingehen zu können, in denen Ausfälle verhindert wurden bzw. eine Aufrechterhaltung des Verbundbetriebes überhaupt erst ermöglicht wird.

2 Blackouts im Jahre 2003 und danach

Der Sommer 2003 war gekennzeichnet durch eine Häufung von weiträumigen Blackouts in Nordamerika und Europa.

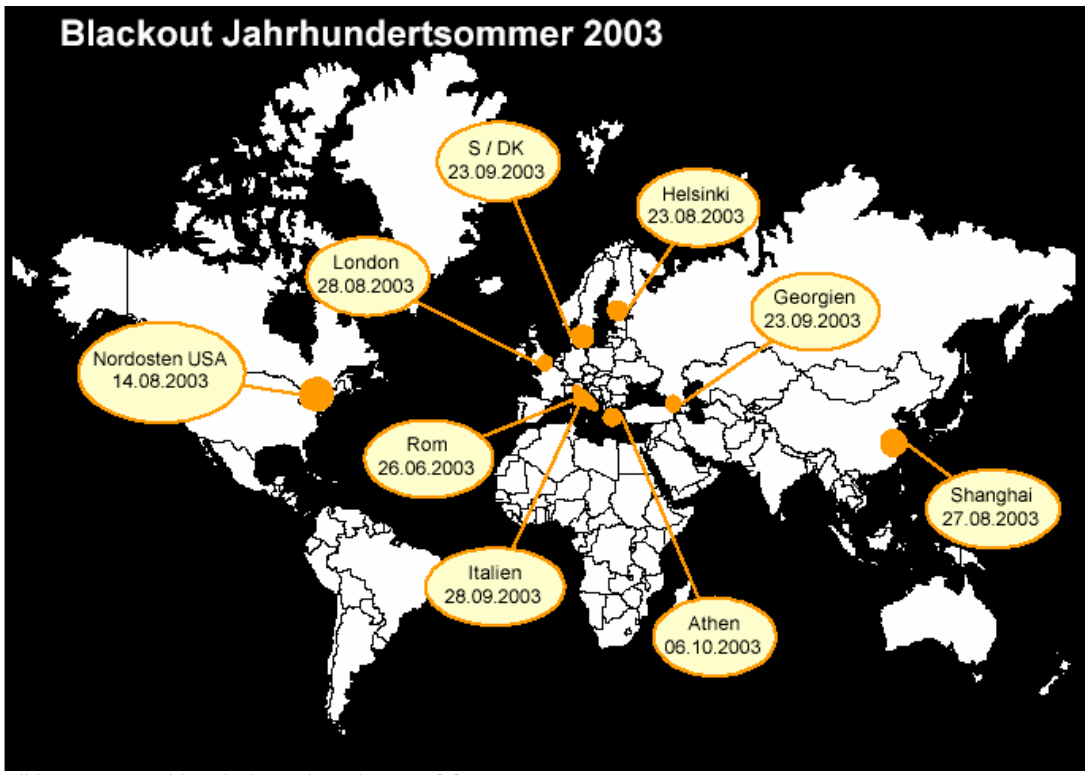


Bild 1 Ausgewählte Blackouts im Jahr 2003 [1]

Innerhalb von etwa sechs Wochen traten fünf Großstörungen auf:

- 14. August 2003 Nordamerika
- 23. August 2003 Helsinki/Vantaa
- 28. August 2003 London
- 23. September 2003 Dänemark/Südschweden
- 28. September 2003 Italien

Lokation	USA / CDN	Helsinki	London	S / DK	CH / IT
Ausfall-Leistung	61 GW	500 MW	724 MW	6,6 GW	28 GW
Problem	Hohe Belastung und Ausfälle	Schalt-fehler	Buchholz-Alarm	Seltene Kombination von Ereignissen	Hohe Belastung und Ausfälle
Beteiligte SO / TSO	viele	1 SO	2 SO	2 TSO	2 TSO
Zeit für Reaktion der Leitstelle(n)	~ 4 Stunden	→ 0	→ 0	→ 0	25 Minuten
Netzwieder-aufbau	→ 48 h	15 - 71 min.	37 min.	1 - 6 ½ h	3 - 18 h

Bild 2 Großstörungen innerhalb von etwa sechs Wochen 2003 [8]

Die ETG im VDE nahm das zum Anlass, eine Task Force aus Fachleuten aus Wirtschaft und Wissenschaft einzusetzen, um Ursachen der Blackouts zu analysieren und Schlussfolgerungen für Handlungsbedarf in Deutschland zu ziehen [2].

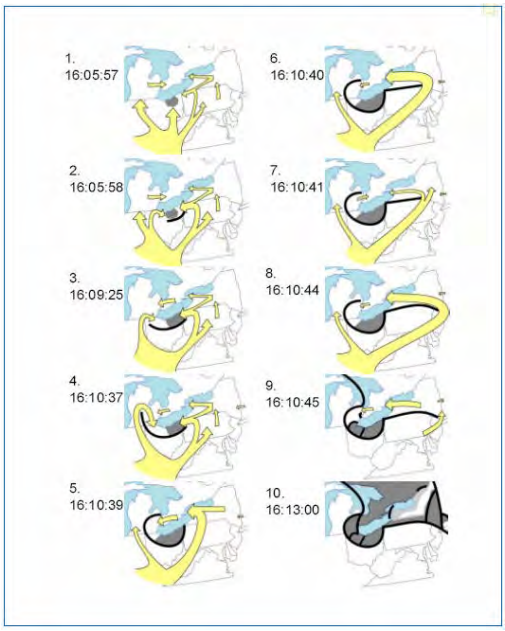


Bild 3 Versorgungsausfall am 14.08.2003 [3]

Davor und insbesondere in der Zwischenzeit bis heute kam es zu weiteren Blackouts. Im Vortrag werden an Hand von zahlreichen Folien Zeitpunkt, Ursache und Auswirkungen chronologisch vorgetragen und Schlussfolgerungen gezogen. Aufgrund des Umfanges muss auf eine Übernahme der Folien an dieser Stelle verzichtet werden. Bei Interesse an einzelnen Bildern, Quellen und Links bzw. an weiteren Informationen besteht jedoch die Möglichkeit, sich an den Autor zu wenden.

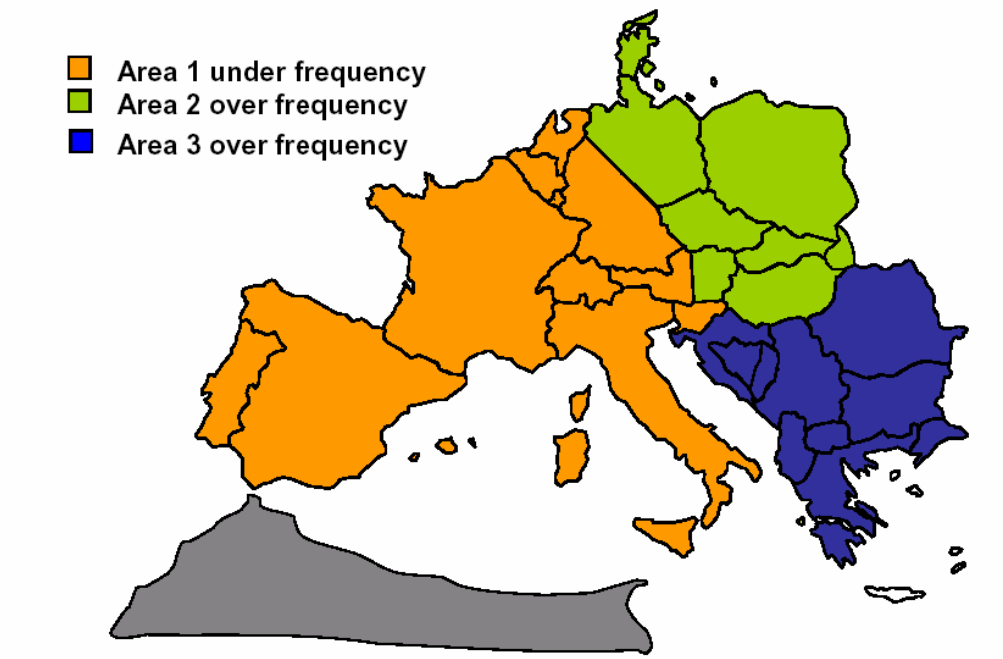


Bild 4 *Frequenzgebiete bei Störung im kontinentaleuropäischen Netz am 4. November 2006 [13]*

3 Ursachen

Als Ursachen zu den Blackouts sind besonders zu nennen:

- Witterungseinflüsse wie Sturm, Eislast und extreme Temperaturen
- Defekte Betriebsmittel der Primär- und Sekundärtechnik
- Unkontrollierter Baumwuchs
- Menschliches Versagen bei Montage- und Wartungsarbeiten sowie der Durchführung von Schalthandlungen
- Mangelhafte Inbetriebsetzungsprüfungen
- Netzengpässe vor allem an Kuppelstellen zwischen Übertragungsnetzbetreibern (ÜNB)
- Außergewöhnliche Einspeise- und Lastverhältnisse, z.B. bei Transit, Energiehandel, Sonderschaltzuständen, Windeinspeisungen
- Maroder Zustand in den Erzeugungs-, Übertragungs- und Verteilungsanlagen infolge Rückgang der Investitionen und der Wartung
- Nichtoptimale Parametrierung in der Schutz- und Leittechnik
- Ungenügende Kommunikation zwischen Einspeisern (IPP), TSOs und DSOs
- Veraltete Schutz- und Leittechnik
- Know-How-Verlust durch Personalabbau, Nachwuchsmangel

Oftmals kam es auch zum Zusammentreffen mehrerer Ursachen.
An dieser Stelle soll als Beispiel der Vermeidung eines großflächigen Stromversorgungsausfalls das Arbeiten des Lastabwurfsystems bei Ausfall der 765-kV-Leitungen Itaipu und Itaberá in Brasilien, der 500-kV-HVDC Pacific in Kalifornien und der Störung am 4.11.2006 im UCTE-Netz genannt werden.

Bild 5 Störung 765-kV-Leitung in Brasilien [38]

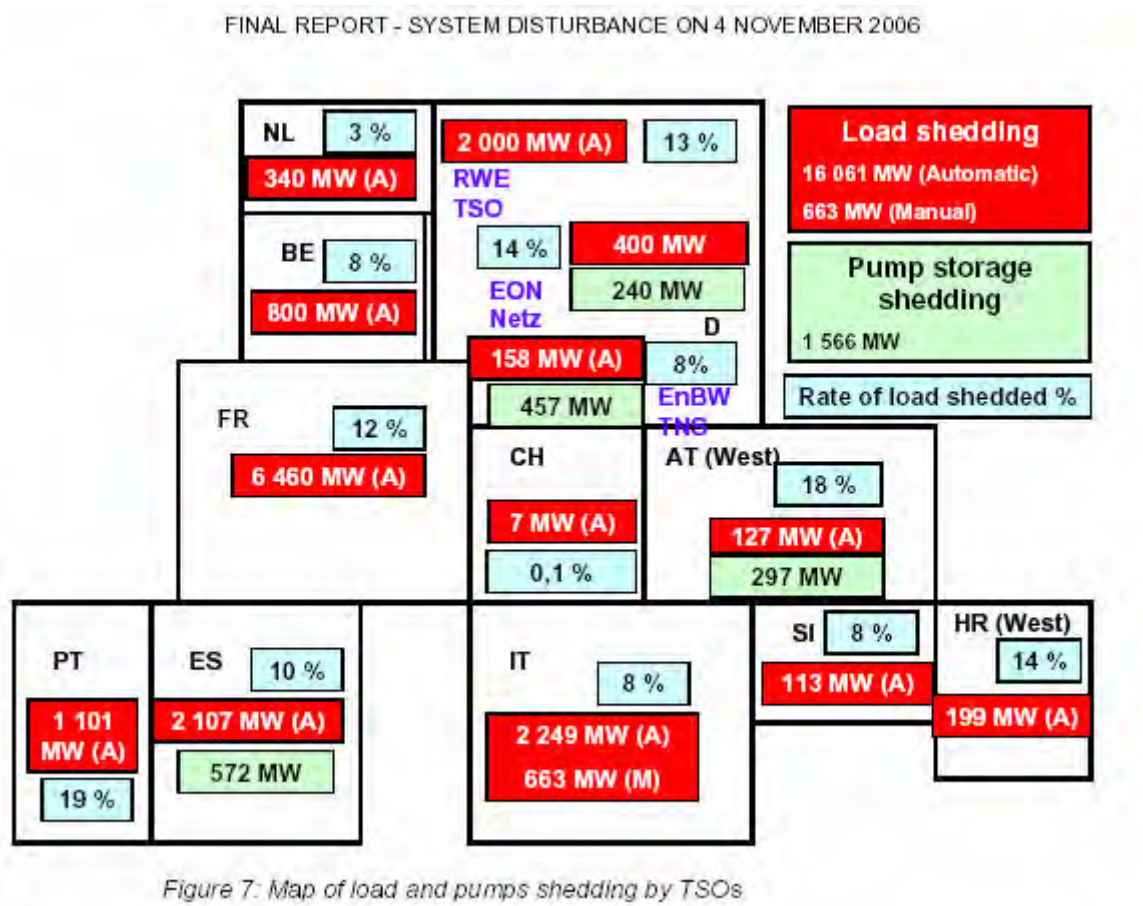


Bild 6 *Arbeitsweise des Lastabwurfsystems am 4. November 2006 [12]*

4 Schlussfolgerungen und Maßnahmen

Als Schwerpunkte seien hier genannt:

- Überarbeitung des Operation Handbooks (OH) der UCTE, jetzt ENTSO-E sowie der Transmission- und DistributionCode der einzelnen Länder, besonders zu einheitlichen Festlegungen der n-1-Auslegung und –Rechnung, des Lastabwurfes bei Unter- und Überfrequenz (AFE) [12][13][16][47][78][85][93][104][109] [113] [116][120][121][151][154][153][154][165][197][198][203][206][219][242][252][275][347]
- Erarbeitung eines UCTE-Schutz-Codes [241]
- Realisierung und Aktualisierung des TEN-Programmes der EU-Kommission und Netzmaßnahmen im deutschen Übertragungsnetz [17][37][88][198][219]
- Ausreichende Personalressourcen und erweiterte Ausbildungs- und (gemeinsame) Trainings-maßnahmen [2][7][8][12][13][16][26][75][219]
- Intensivierung der laufenden UCTE/ENTSO-Arbeiten zur Engpassprognose am Vortag [7]
- (Day-Ahead Congestion Forecast – DACF) unter besonderer Berücksichtigung folgender Aspekte: häufigere DACF-Berechnungen, Erhöhung der Zahl der einbezogenen Gebiete und Schaffung von Qualitätsindikatoren für verwendete Daten und Rechenergebnisse, um die Effizienz dieses Hilfsmittels zu bewerten [7][12][13][165]
- Netzstabilisierung und Versorgungssicherheit [2][31][32][75][77][78][88][92][93][96][109][117][120][121] [152][153][154][165][175][197][198][206][213][219][241][242][252][347]
- Maßnahmen zur Vermeidung von Spannungskollaps [2][7][65][77][165][175][197][198][199][207][219]
- Echtzeiterfassung von Störmeldungen, aber auch der EEG- bzw. KWKG-Einspeisungen in das TSO- und DSO-Netz [12][13][74][75][197][198][205][252]
- Optimierungen in den Leitsystemen, indem Systeminformationen aussagekräftig, verlässlich und übersichtlich sind, um Echtzeitentscheidungen in Krisensituationen zu ermöglichen [2][8][10][13][75] [197][198][199][205][209][245][252]

Der Dispatcher erkannte wegen dieser Alarmflut die vier Einzel-Alarme bezüglich der Überlastung der Kuppelstellen zur DB nicht, was in dieser Situation entscheidend gewesen wäre.

Zeit	Anlage	Was	Bemerkungen
17:13:32.83	Kuppeltrafo 11 Haltingen	Thermoschutz Warnung	Überlast Warnung
17:23:16.15	Kuppeltrafo 11 Haltingen	Thermoschutz Auslösung	Überlast Auslösung; Parallelkuppeltrafo 12 blieb in Betrieb
17:31:27	Kuppeltrafo 11 Haltingen	Hand-Zuschaltung durch DB Energie	
17:35:46	Leitung Singen-Grüze	Distanzschutz-Endzeit-Auslösung	Auslösung wegen Überlast (1100 A bei 132 kV)

Tabelle 10: Alarmmeldungen in der ZLS bezüglich der Überlastung der Kuppelstellen zur DB

Bild 7 Die vier entscheidenden – von etwa 18.000 eingegangenen – Meldungen [10]

- Leitstellensysteme und Kommunikationsinfrastrukturen müssen selbst bei einem totalen Blackout funktionsfähig bleiben [13][75][97][209]
- Schaltsprache, Drei-Wege-Kommunikation, Schalthandlungen durch zwei Mitarbeiter [58][124]
- Kooperation und Koordination der Übertragungsnetzbetreiber (ÜNB) untereinander als auch zu den Verteilungsnetzbetreibern über vorliegende und geplante Netzzustände, Engpässe, Schutzeinstellung und Störfälle [7][12][13][14][75][88][120][121][152][153][154][197][198][203][205][213][219][219][241][242][252][253][275]
- Einheitliche Bemessungsgrundlagen für die Auslegung von Primärbetriebsmitteln bzw. Grenzwerten für deren Belastung und Richtlinien für die Schutzeinstellung [12][13][14][22][23][24][36][116][152][154][157][205]
- Schaffung und Bereitstellung geeigneter Werkzeuge zur Simulation von Schalt- und Lastzuständen sowie Fehlerfällen für die Verifizierung der Betriebsmittelbelastung, Netzstabilität und des Schutzverhaltens [19][76][85][110][120][121][165][197][198][199][205]
- Untersuchungen zur Festlegung von „Sollbruchstellen“ im Übertragungsnetz an Regelzonengrenzen bzw. in MS-Stadtnetzen bei parallel gefahrenen UWs
- Einstellung der Spannungsregler bei „schleichendem Netzzusammenbruch“ [7][12][13][25][27][28][29][31][32][77][93][96][113][154][165][219]
- Beschleunigung des laufenden Installationsprogramms für das Wide Area Measurement System (WAMS) [7][12][74][197][198][199][245][347]
- Schutztechnische Erfassung von Zwischensystemfehlern (z.B. 50- und 16,7-Hz-Netz) [70][200]
- Erprobung und Einführung des Kollaps-Erkenungssystems Collapse-Prediction-Relay und Aufbau eines Wide-Area-Protection-Systems [18][175][197][199][207][219][252][287]

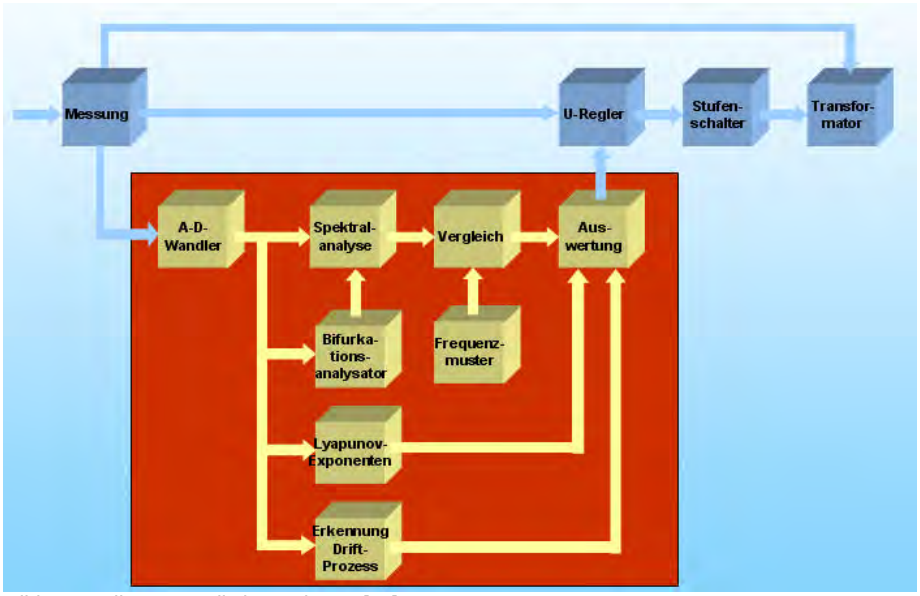


Bild 8 Collapse-Prediction-Schema [18]

- Netzwiederaufbaukonzepte und Synchrocheckeinstellung bzw. Resynchronisierung [51][109][154][197][198][199][227][252][275]

- Vorgehensweise beim Zurückschneiden von Bäumen bewerten und Prüfung des Durchhanges bei maximaler Überlast [7][39]
- Verbesserung des Katastrophen- und Bevölkerungsschutzes [46][75][210]
- Durchgängige Gestaltung des Prinzips Haupt- und Reserveschutz [23][120][121][191][203][205][212]
- Inbetriebsetzungs- und Turnusprüfung [2][19][22][23][29][30][85][109][116][197][205]
- Einsatz der Pendelsperre bei Distanzschutz [185]
- Nutzung des Nullstromdifferenzialschutzes [186][191]
- Maßnahmen zur IT-Sicherheit [34][35][226][244][322]
- Monitoring insbesondere für Leitungen und Transformatoren [13][58][69][88][198][241][242][245][246]
- Störungsaufklärung, Fehleranalyse, Fehlerstatistik für Primär- und Sekundärtechnik [19][76][88][117][120][121][130][205][211][213]

Ziel ist es den hohen Stand an Sicherheit und Zuverlässigkeit beizubehalten.

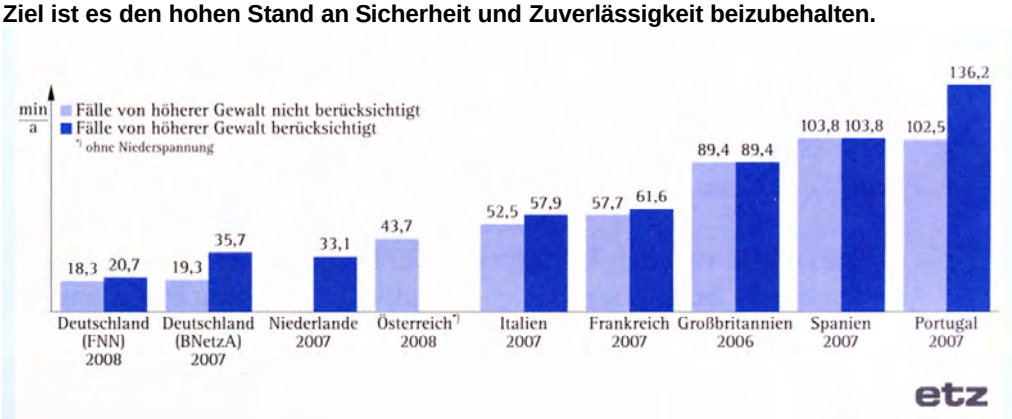


Bild 9 Durchschnittliche Unterbrechungsdauer in Deutschland und ausgewählten europäischen Ländern [349]

Literatur – Links zu Störungsberichten und Maßnahmen

Eine Aufführung ist wegen des Umfanges nicht möglich. Bei Interesse an einzelnen Literaturstellen, Links und weiteren Information:

info@walter-schossig.de

Autor

Dipl.-Ing. Walter Schossig
VDE Thüringen
Goethestr. 15
99867 Gotha
Tel.: 03621/701016
info@walter-schossig.de
www.walter-schossig.de

VDE Thüringen

Blackouts in der Stromversorgung

Vortragsreihe „Aktuelle Probleme der Elektrischen Energietechnik“

12. April 2010

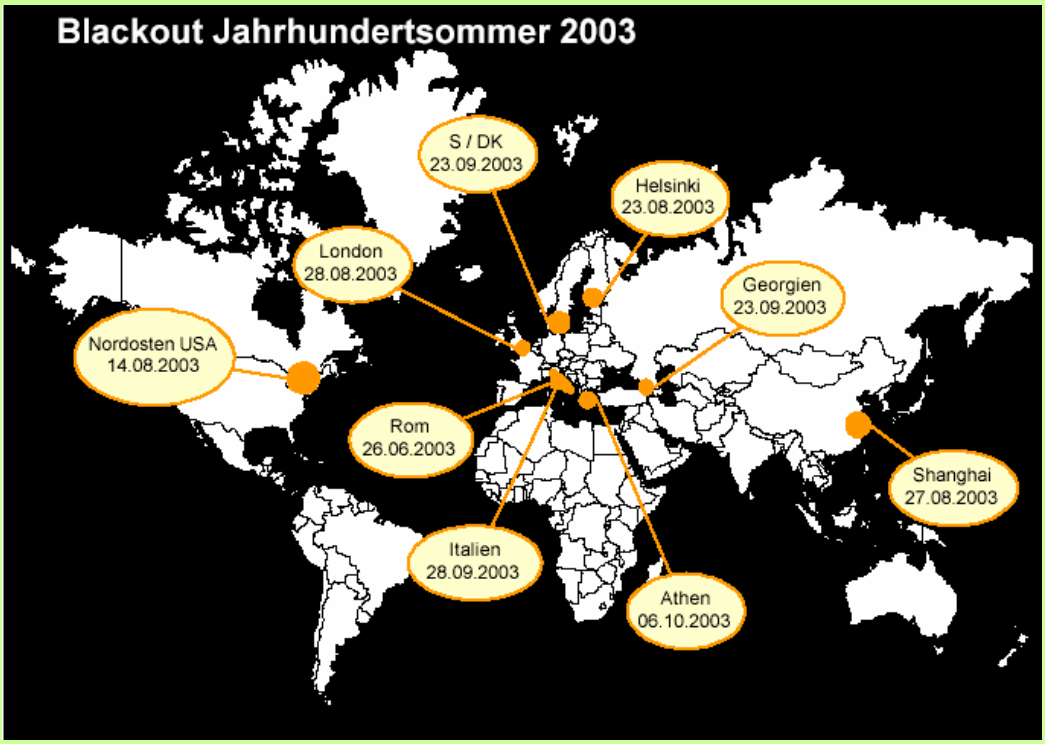
Dipl.-Ing. Walter Schossig

TECHNISCHE UNIVERSITÄT ILMENAU

info@walter-schossig.de
www.walter-schossig.de
Tel. 03621/701016

Auszug

Blackouts in der Stromversorgung



Blackouts in der Stromversorgung

Die bekanntesten internationalen

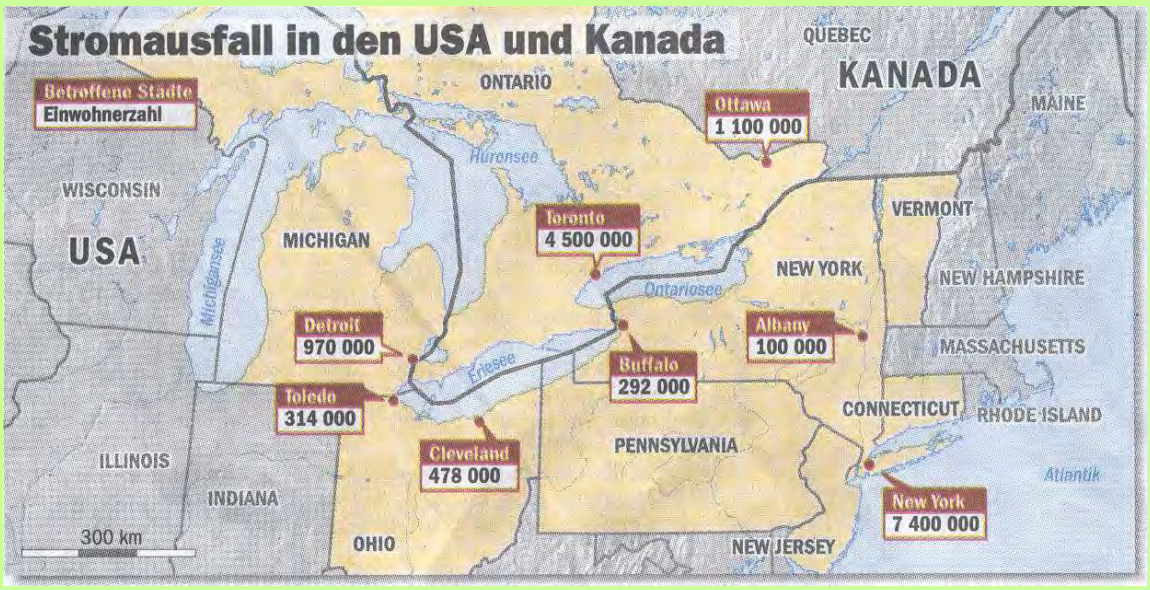
Netzzusammenbrüche 2003

Lokation	USA / CDN	Helsinki	London	S / DK	CH / IT
Ausfall-Leistung	61 GW	500 MW	724 MW	6,6 GW	28 GW
Problem	Hohe Belastung und Ausfälle	Schalt-fehler	Buchholz-Alarm	Seltene Kombination von Ereignissen	Hohe Belastung und Ausfälle
Beteiligte SO / TSO	viele	1 SO	2 SO	2 TSO	2 TSO
Zeit für Reaktion der Leitstelle(n)	~ 4 Stunden	→ 0	→ 0	→ 0	25 Minuten
Netzwieder-aufbau	→ 48 h	15 - 71 min.	37 min.	1 - 6 ½ h	3 - 18 h

innerhalb von 6 Wochen

Blackouts in der Stromversorgung

Blackout in den USA am 14.8.2003

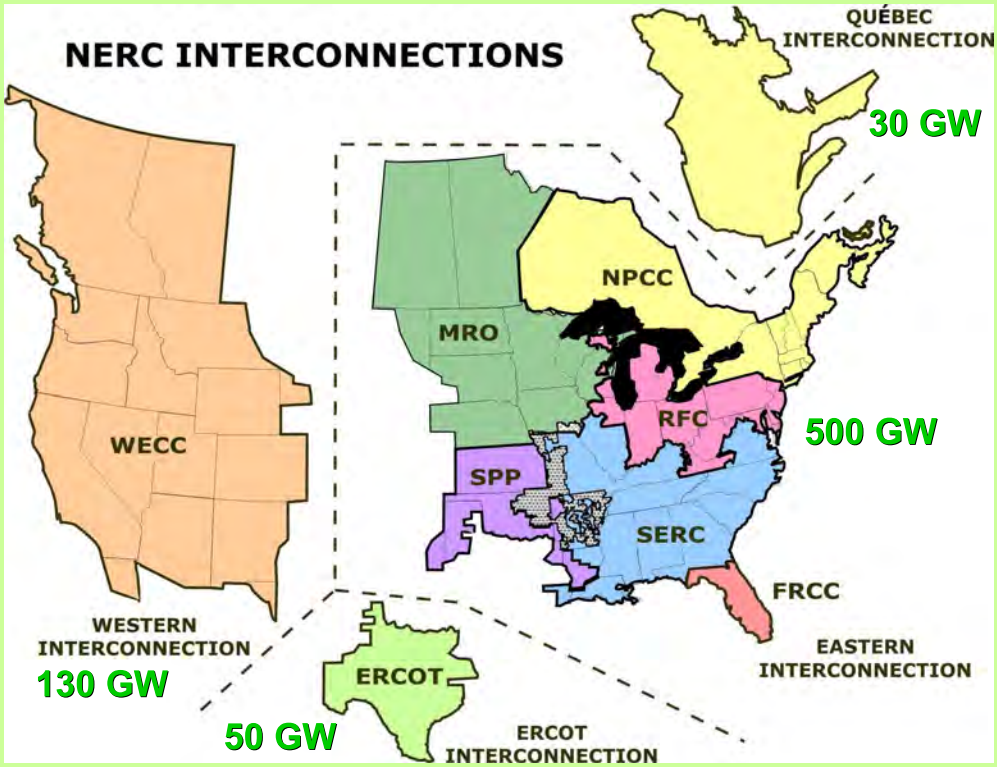


Betroffene Großstädte

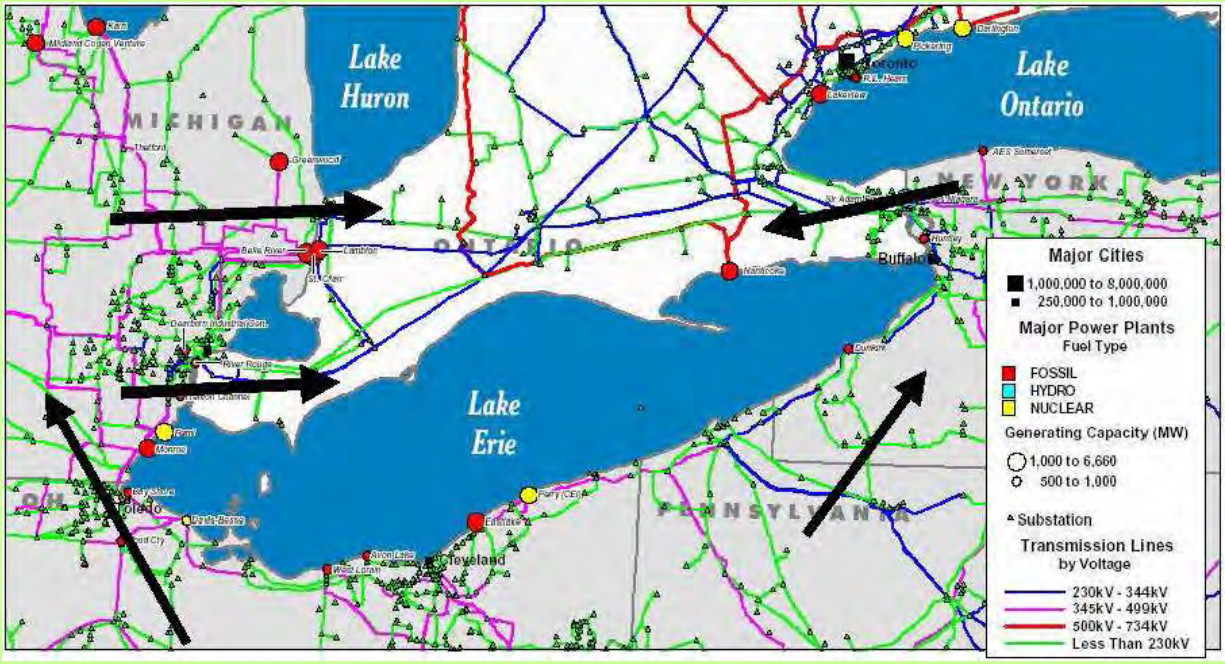
Insgesamt 50 bis 60 Mio Menschen

Blackouts in der Stromversorgung

Blackout in den USA am 14.8.2003



Blackouts in der Stromversorgung

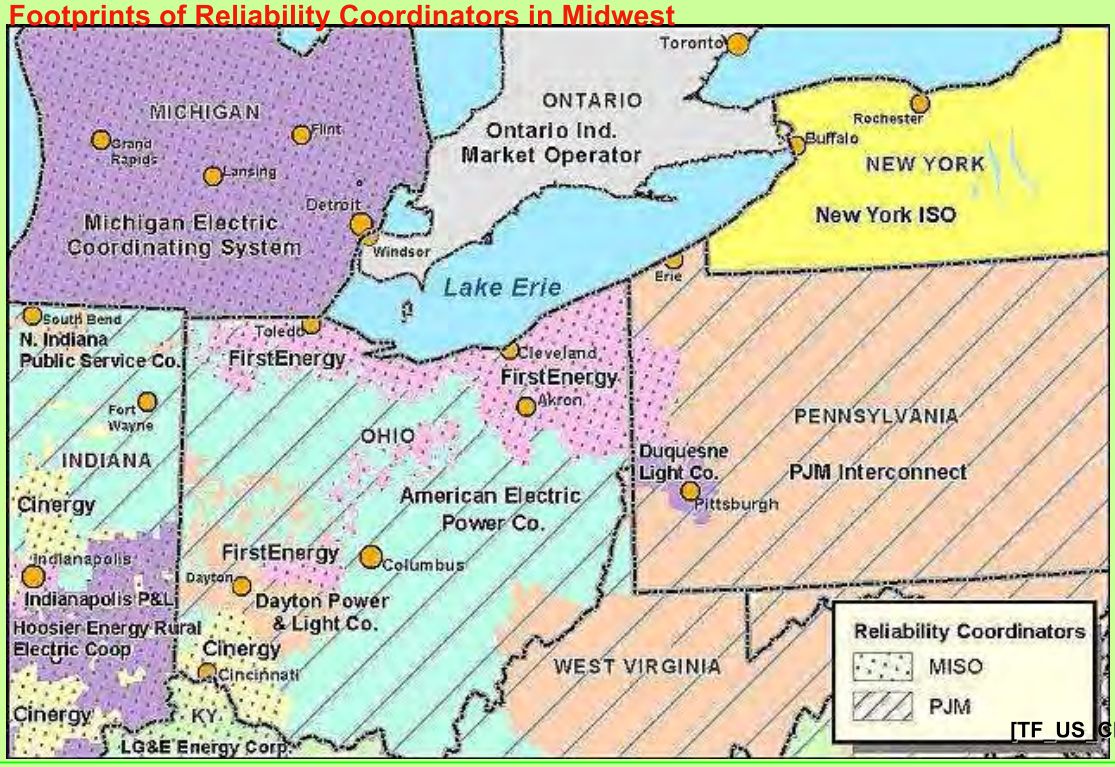


[TF_US_CD]

Blackouts in der Stromversorgung

Blackout in den USA am 14.8.2003

Footprints of Reliability Coordinators in Midwest



[TF_US_GD]

Blackouts in der Stromversorgung

Blackout in den USA am 14.8.2003

Ausgangssituation:

Normalbetrieb, 30°C , 1 KKW in Revision

Ereignisfolge :

12:05 - 13:30 Uhr	Ausfall von 3 Kraftwerken 1500 MW
14:04 Uhr	Ausfall einer 345-kV-Leitung durch Buschfeuer
15:05 Uhr	Ausfall einer weiteren 345-kV-Leitung (Ursache ?)
15:32 - 15:41 Uhr	Ausfall 2 weiterer Leitung durch Überlast dadurch Übertragungskapazität Nord - Süd drastisch reduziert
15:45 - 16:06 Uhr	Ausfall 2 weiterer Leitung durch Überlast Transit Ost–Nord-Ohio unterbrochen
16:08 - 16:13 Uhr	kaskadenartiger Ausfall von über 20 überlasteten Leitungen und über 20 Kraftwerksblöcken in kürzester Zeit

[ETG-p]

Blackouts in der Stromversorgung

Blackout in den USA am 14.8.2003

Erster Verdacht: Ursache der am 13.8. verbreitete Wurm Lovsan

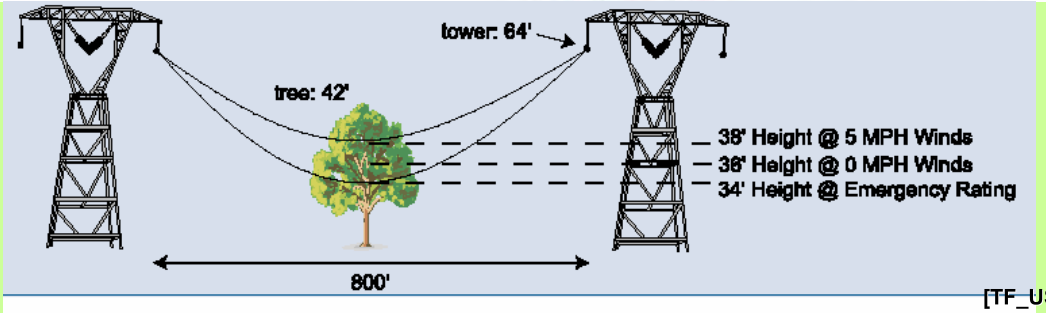
- US/CD-TF kommt zu dem Schluss:
  Wurm Lovsan nicht Schuld an Blackout 2003
- Programmierfehler im XA/21-Kontrollsystem, GE, Grund, dass
  Alarmierungssystem im Kontrollzentrum Ohio versagte und die Techniker die anderen EVU nicht warnen konnte
  Probleme traten auf, als mehrere Systeme gleichzeitig versuchten, auf die gleichen Infos zuzugreifen
  Dadurch waren Daten, die eigentlich gelöscht sein sollten, im System geblieben und dessen Leistung verlangsamt
  Systemführer war 1 h lang nicht gemeldet, dass KW mit ca. 800 MW nicht mehr am Netz war
  Softwarefehler war seit 1a bekannt u. FE hat bereits Pläne über Ersatz durch Esca-System, AREVA

Blackouts in der Stromversorgung

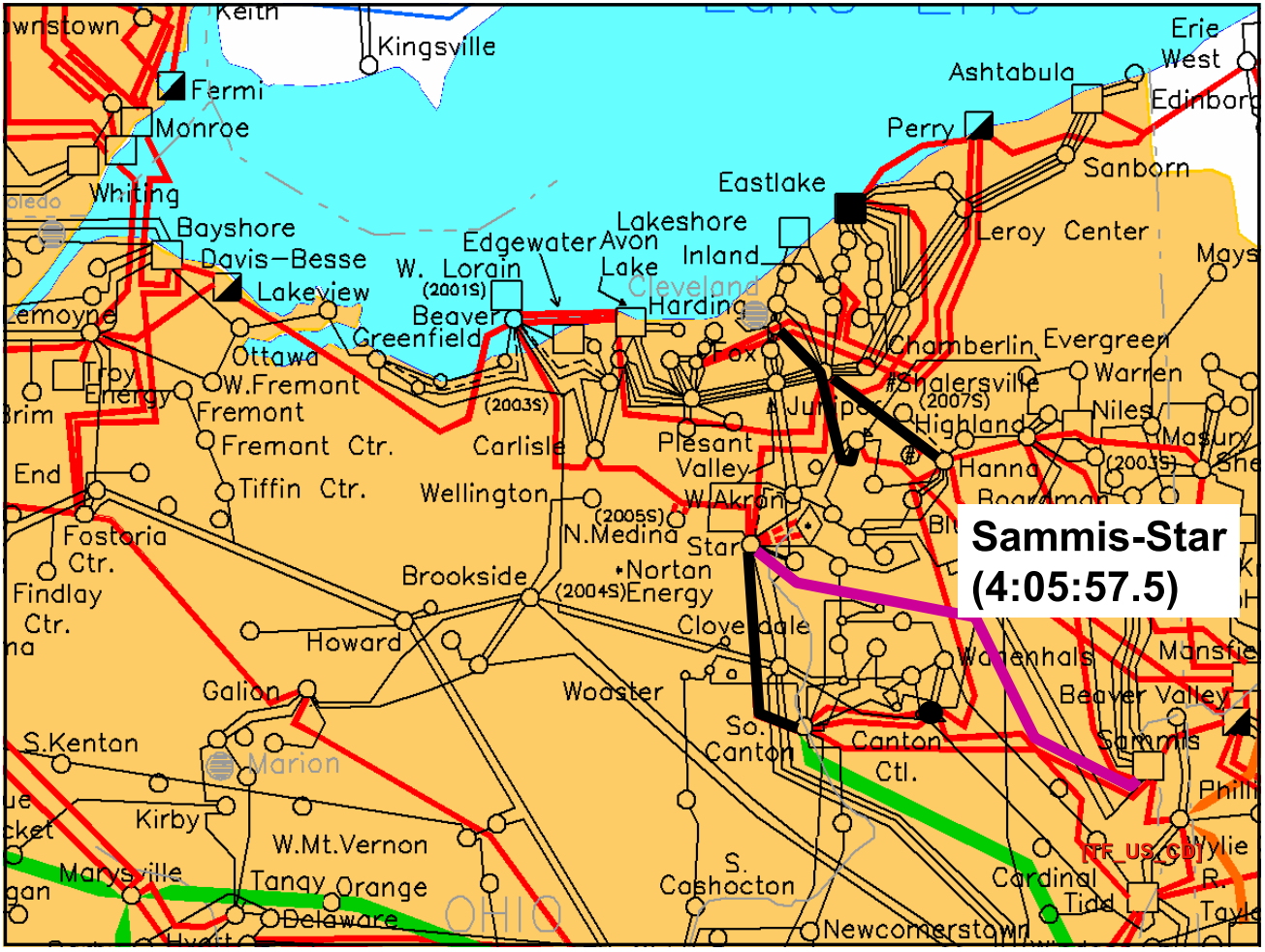
Figure 4.9. Hanna-Juniper 345-kV Line

Figure 4.10. Cause of the Hanna-Juniper Line Loss

This August 14 photo shows the tree that caused the loss of the Hanna-Juniper line (tallest tree in photo). Other 345-kV conductors and shield wires can be seen in the background. Photo by Nelson Tree.



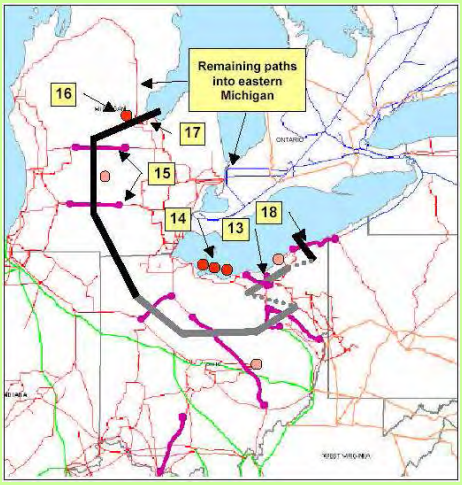
[TF_US_CD]



Blackouts in der Stromversorgung

Blackout in den USA am 14.8.2003

	16.10	**Voltage Collapse:**
13.	16.10	Ausfall der 345-kV-Leitung Harding – Fox
14.	16.10.37	20 Generatoren mit 2.174 MW in der Nähe von Cleveland schalten ab. Verstärkung des Spannungseinbruchs und des Leistungsflusses von West-Michigan
15.	16.10.37	345-kV-Verbindungen West- – Ost-Michigan lösen aus
16.	16.10.38	Ausfall KW Midland Cogeneration Venture mit 2.165 MW Erzeugung
17.	16.10.38	Komplette Auftrennung des Übertragungsnetzes zwischen Ost- und West-Michigan
18.	16.10.38	Ausfall der 345-kV-Leitung Perry – Ashtabula – Erie West, damit auch Auftrennung des Netzes im Osten



Phänomene:

"schneller Spannungszusammenbruch" (d.h. hohe Belastung des Netzes, Spannungsrückgang, dadurch - z.B. wegen der reduzierten kapazitiven Blindleistung der Leitungen wegen niedriger Spannung - zunehmender induktiver Blindleistungsbedarf, dadurch höherer Spannungsabfall im Netz, dadurch niedrigere Spannung und jetzt geht's von vorne weiter) und "langsamer Spannungswiederanstieg" nach einem Fehler, z.B. wegen motorischer Last, Klimaanlagen (Aufnahme vor allem auch von Blindleistung von Asynchronmaschinen nach Spannungswiederkehr) haben eine große Rolle gespielt. Das selbe Problem verursachen WKA mit Asynchron-maschinen im Netz.

Nunmehr kann die Leistung für Ost-Michigan und Nord-Ohio nur über die Leitungen in Ontario (CD) mit reduzierter Spannung transportiert werden. Es stellt sich ein Leistungsfluss von 2.800 MVA ein. [ETG-d] [Bu]

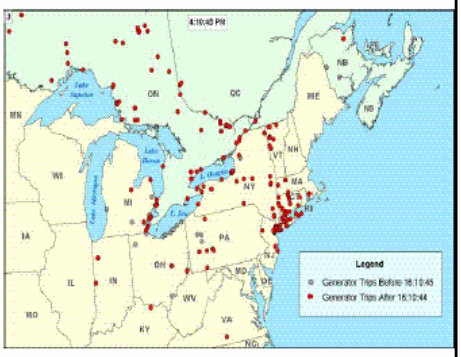
Blackouts in der Stromversorgung

Blackout in den USA am 14.8.2003

NORTH AMERICAN ELECTRIC RELIABILITY COUNCIL

Power plants affected

1. 531 units shut down at 263 plants
2. Trip causes:
   1. Excitation system overload or extreme low voltage – 35%
   2. Generator protection or control system action – 34%
   3. Consequential result of the broken transmission system – 31%
3. Some prolonged out-of-step conditions are evident
4. To date, little damage has been discovered as a result of the cascade



38

[NERC]

Blackouts in der Stromversorgung

Blackout in den USA am 14.8.2003

Schutz- und Leittechnik

Europa	Nordamerika
Vorwiegend Komplettumrüstung auf digitale Technik erfolgt.	**Meist nur Ersatzbedarfsdeckung durch moderne digitale Technik, funktionierende Altgeräte bleiben erhalten.**
Systemaufbau mit Geräten von max. 3 Herstellern aus einer Generation unter Anwendung von Standards.	**Mehrere Generationen von Geräten in einer Anlage, Erfassung der Informationen von den Einzelgeräten durch speziell angepasste Zusatzgeräte für Stations- und Fernwirkaufgaben.**
Standard ist Zeitsynchronisation durch GPS und Zeitauflösung auf 1 ms.	**Die vielen noch aktiven Altgeräte verfügen über keinerlei Zeitinformation.**
Hohe Anforderungen an die Sicherheit bringen komplexe Abläufe für Leitfunktionen, z. B. Vorgangsverriegelung heißt, bevor eine Rückmeldung auf einen ausgegangen Befehl nicht erfolgte, kann kein neuer Vorgang gestartet werden. Der durch den Befehl zu erreichende Zustand wird erst nach erfolgter Rückmeldung in das Prozessabbild eingetragen. Zwischendurch wird er als undefiniert geführt.	**Vereinfachte Abläufe in der Leittechnik. Bei Befehlsausgabe wird z. B. ohne Rückmeldung abzuwarten der zu erreichende Zustand in das Prozessabbild eingetragen. Es können sofort weitere Handlungen ausgeführt werden.**
Bei Ablehnung von Befehlen oder negativer Befehlsrückmeldung werden auch die Ursachen der Nichtausführung von der Leittechnik ermittelt und mitgeteilt.	**Ursachen für die Nichtausführung von Befehlen werden nicht erkannt. Einsatz Internet u. weitgehend Verzicht auf Sicherheitsmechanismen (UCA u. IEC 61850)**

[Dr. B.M.Buchholz]

Blackouts in der Stromversorgung

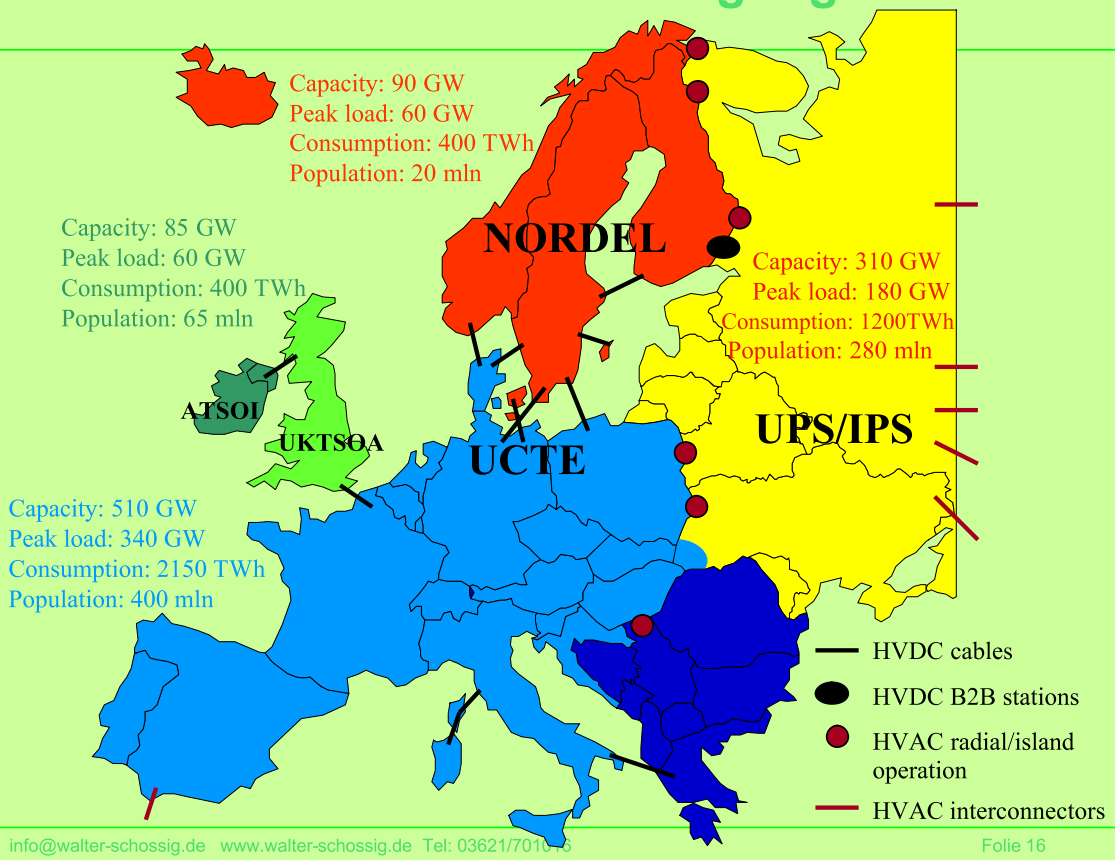
Blackout in den USA am 14.8.2003

Lastabwurf und Regelleistung

Europa	Nordamerika
Lastabwurf: 5-Stufen-Plan (VDN) 49,8 mobil. KW Reserve 49,0 10 – 15 % Abwurf 48,7 10 – 15 % Abwurf 48,4 15 – 20 % Abwurf 47,5 KW vom Netz **Frequenzhaltung** Primärregelung Erzeuger > 100 MW bei ± 200 mHz quasistat. Frequenzabweichung muss Primärregelleistung in 30 s aktiviert sein, mind. 15 Min abgegeben werden können. UCTE: 3000 MW, Deutschland 750 MW. Sekundärregelleistung und Minutenreserve zur Wiederherstellung des Sekundärregelbandes < 22 Min durch Leistungs-Frequenz-Regelung geführt	**Lastabwurf:** 59,3 Hz 10 % Abwurf 58,8 Hz 15 % Abwurf Frequenz soll in 10 s > 58,5 Hz sein oder 59,5 in 30 s (Erzeugungsdefizit < 25 %) Unterspannungslastabwurf vorhanden 59 Hz 300 s KW vom Netz 58 Hz 30 s KW vom Netz 57 Hz KW vom Netz **Frequenzhaltung** Regulating reserve (NERC Standard CPS1, CPS2) in 10 s bzw. 20 s (Area-Frequenzunterstützung) keine konkreten Zahlen verfügbar 10 Min Reserve für gewichteten 1. Systemausfall. 100 % (+ 20 %, bzw. – 10 %) als synchrone Reserve je nachdem wo Anbindung 30 Min Reserve für 50 % Abdeckung 2. Systemausfall Spinning reserve für Ausfall von Generatoren

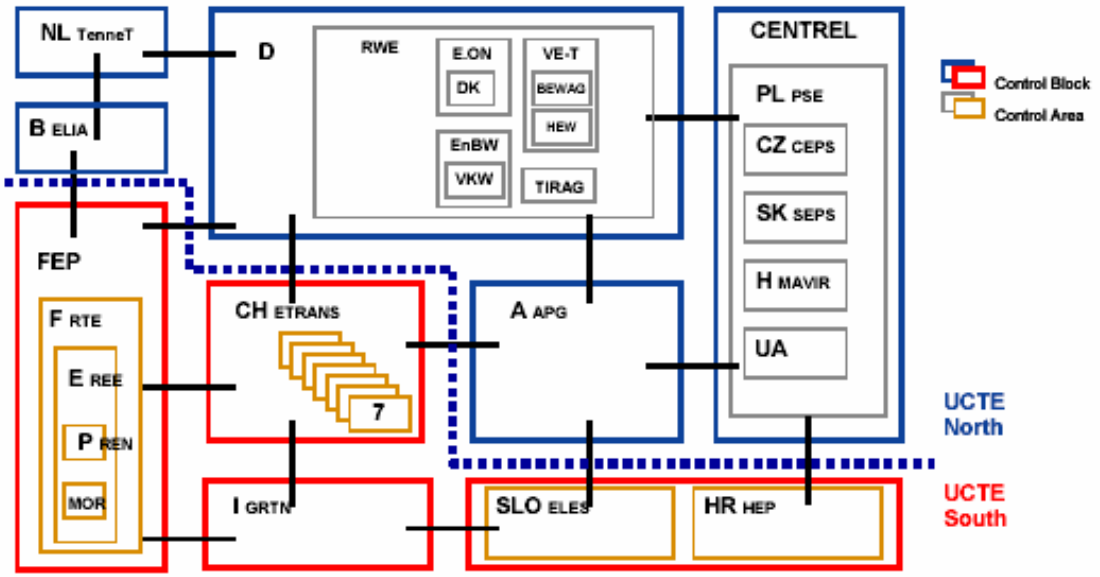
[Dr. B.M.Buchholz]

Blackouts in der Stromversorgung



Blackouts in der Stromversorgung

- the **structure and organisation of the CONTROL BLOCKS /AREAS** of the UCTE SYNCHRONOUS AREA by companies, first SYNCHRONOUS ZONE of 2003 only



UCTE-Kontrollblock Nord und Süd im Jahre 2003

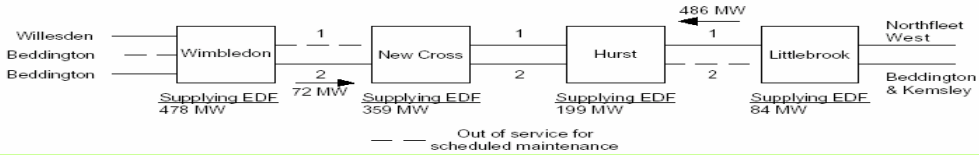
Blackouts in der Stromversorgung

London-Störung am 28. August 2003

Ausgangs-Situation, Donnerstag ca. 18.00Uhr:

- Last in London: ca. 3.500 MW
- Einzelne 275-kV-Stromkreise zu den vier Umspannwerken waren instandhaltungs-bedingt außer Betrieb

Figure 5: Transmission system configuration and power flows



Ereignisfolge:

- 18:11 „Buchholz - Alarm“ im UW Hurst;
  Abstimmung mit EDF Energy → (n-1)-Ereignis
- 18:20 Trafo - Freischalten; UW Hurst und UW New Cross nur noch mit einem Stromkreis an UW Wimbledon angeschaltet; Schutz-Überfunktion; Ausschaltung Kabel 2 Wimbledon - New Cross → zusätzliches (n-1)-Ereignis

[ETG-p]

Blackouts in der Stromversorgung

London-Störung am 28. August

Von den ca. 1000 Trafos durchschnittlich 13x/a BW

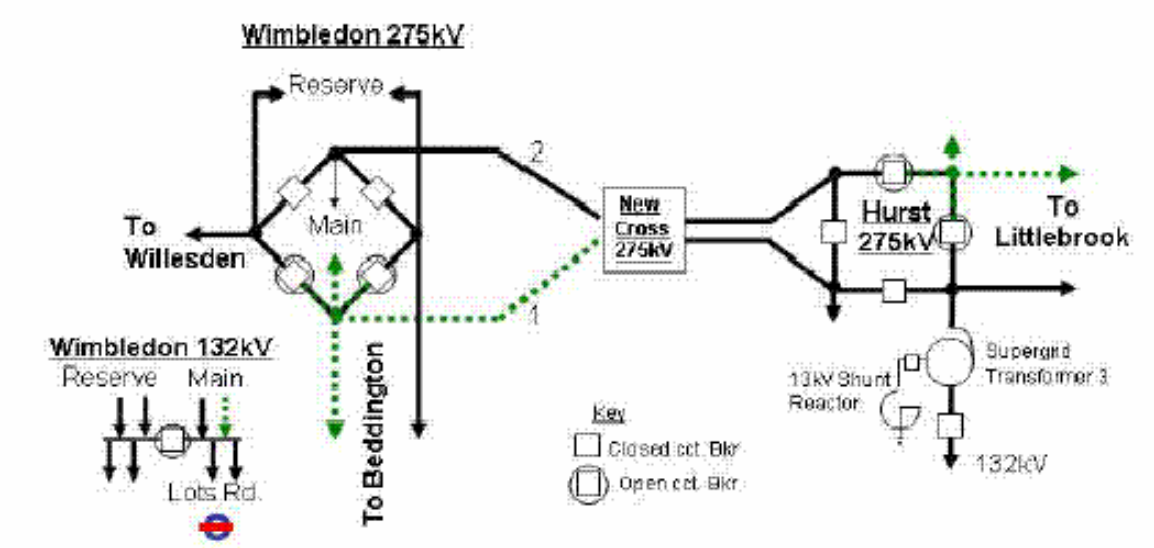
Figure 10: Failed Transformer

191 In view of the potentially serious consequences of a transformer failure, it is National Grid's policy that National Control will immediately take transformers out of service when a Buchholz alarm is received. This policy takes into account the very low probability of a second circuit fault during the 5 to 10 minutes it would take to perform the switching operation, estimated to be less than 1:40,000. The exception to this is when the removal of the transformer would lead to a direct loss of supply, in which case the balance of risk favours a delay whilst further investigations take place.

[NGC]

Blackouts in der Stromversorgung

London-Störung am 28. August 2003



Blackouts in der Stromversorgung

London-Störung am 28. August

Ausgangssituation

Gemäß dem vom englischen Übertragungsnetzbetreiber National Grid Company verfassten Bericht lag vor dem Störungsbeginn der Bedarf im südlichen London (275-kV-Umspannwerke Littlebrook, Hurst, New Cross und Wimbledon) bei rund 1.100 MW (U-Bahn, Eisenbahn, Tarifkunden ...). Die gesamte Last in London betrug zum Fehlerzeitpunkt rund 3.500 MW. Bild 16 zeigt die instandhaltungsbedingten Ausschaltungen vor Störungsbeginn, wobei dieses Instandhaltungsniveau während der Sommermonate, wo der Bedarf naturgemäß niedriger ist, normal ist.

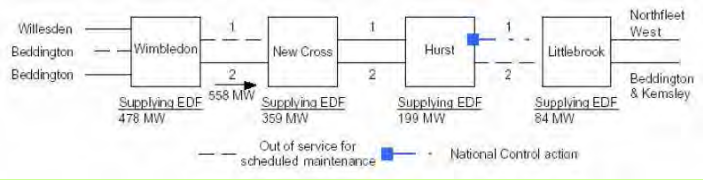
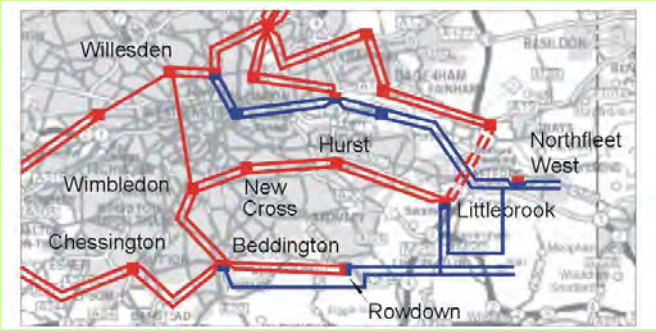


Bild 16 Schematic of the south London transmission system

Die in Rede stehenden Betriebsmittel wurden Ende der 60er Jahre errichtet, wobei an den Freileitungen, Kabeln und Schalt-Anlagen inzwischen verschiedene Ertüchtigungen vorgenommen wurden.

Die geographische Lage dieser 275-kV-Netzteile (rot) ist in Bild 17 dargestellt.



Vor zwei Jahren wurde ein 1-A-Relais an einem 5-A-Wdl angeschlossen. I_e = 1020 A, als I auf 1060 A anstieg, löste Ltg aus.

[ETG-d] [VDN]

Blackouts in der Stromversorgung

London-Störung am 28. August

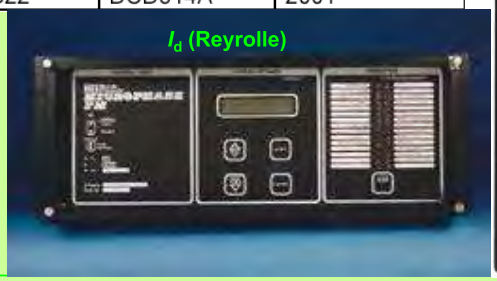
National Grid Company plc 10 September 2003

Circuit	Type of Protection	Equipment at given substation	Equipment at given substation	Year Commissioned
New Cross – Wimbledon 1		New Cross	Wimbledon 1	
	1st Main Feeder Protection	Solkor – R	Solkor – R	Replacement due in 2003
	2nd Main Feeder Protection	Microphase FM	Microphase FM	1997
	Back-up overcurrent	MCGG22	MCGG22	1997
New Cross – Wimbledon 2		New Cross	Wimbledon 2	
	1st Main Feeder Protection	LFCB 192	LFCB 192	2001
	2nd Main Feeder Protection	Microphase FM	Microphase FM	1996
	Back-up overcurrent	MCGG22	DCD314A	2001

vor 2a wurde 1-A-Relais an 5-A-Wdl angeschlossen

I_d (GEC)

I_d (Reyrolle)



I > (GEC)

[NGC]

Blackouts in der Stromversorgung

Blackout in Schweden/Dänemark am 23. September 2003 (1)

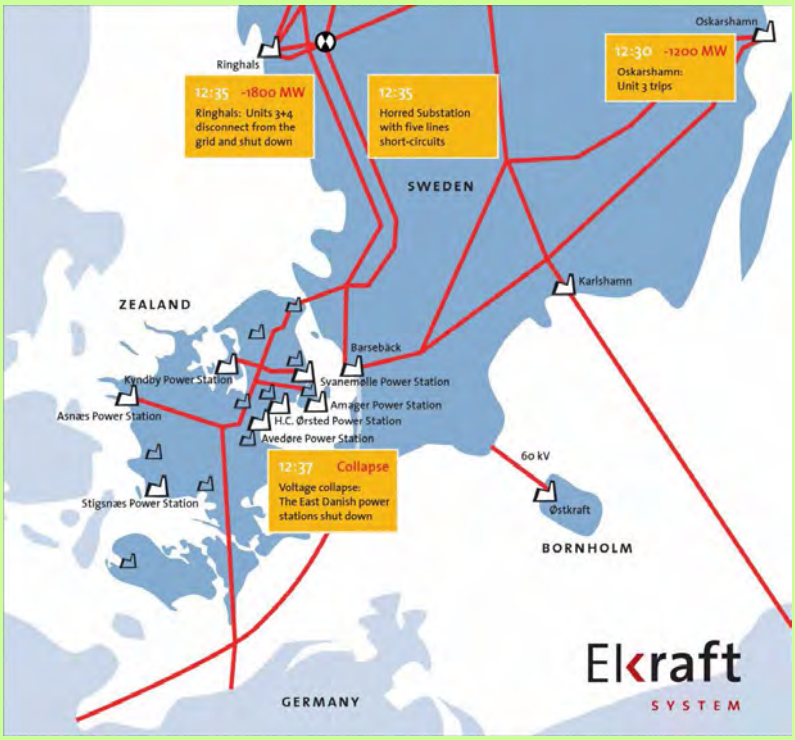
Ausgangs-Situation, Dienstag ca. 12.30 Uhr:

- Summenlast Schweden: ca. 15.000 MW
- Kernenergieerzeugung in Südschweden war begrenzt durch planmäßige Außerbetriebnahmen und verzögerte Wiederinbetriebnahmen
- Einzelne Stromkreise des Netzes waren instandhaltungsbedingt außer Betrieb.

Netzzustand 10 Sekunden nach dem Kurzschluss im UW Horred **[ETG-p]**

Blackouts in der Stromversorgung

Blackout in Schweden/Dänemark am 23. September 2003



Blackouts in der Stromversorgung

Blackout in Schweden/Dänemark am 23. September 2003

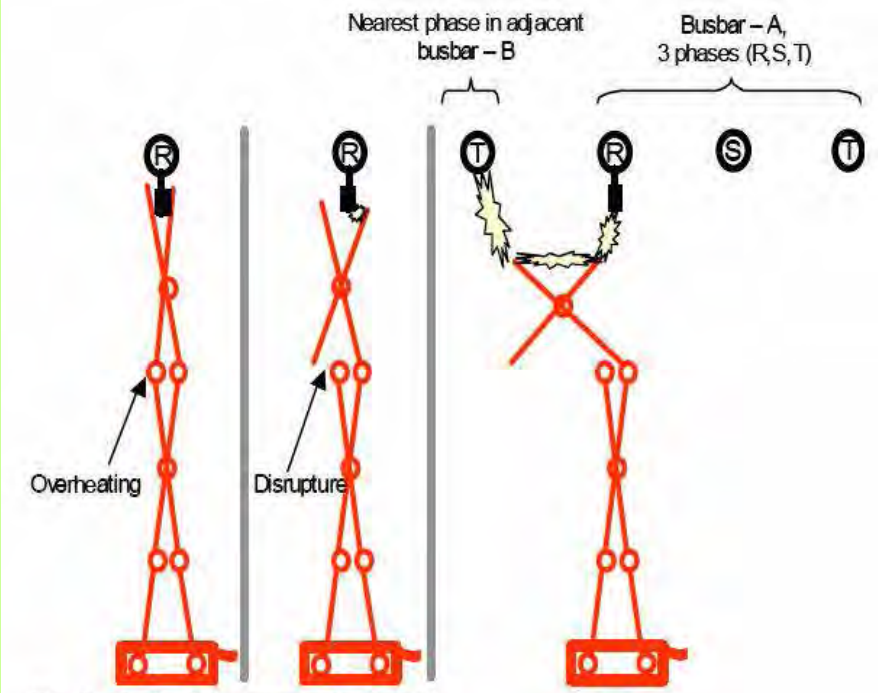
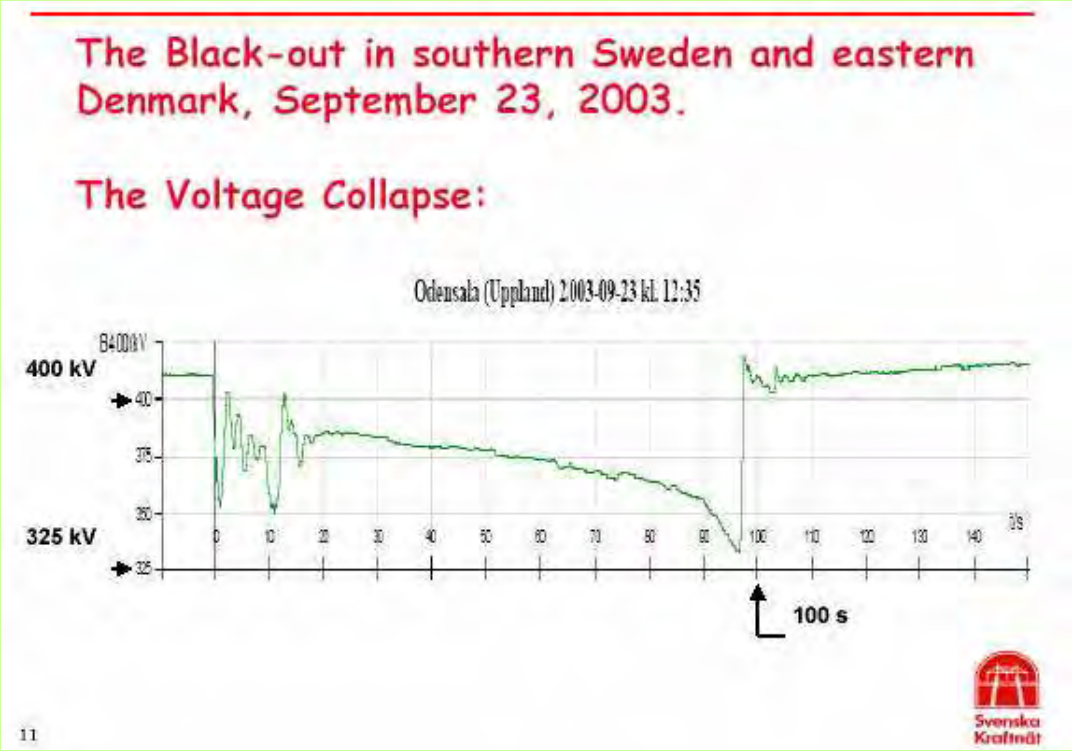


Fig. 3. Faulty Disconnector in Horred

Blackouts in der Stromversorgung

Blackout in Schweden/Dänemark am 23. September 2003

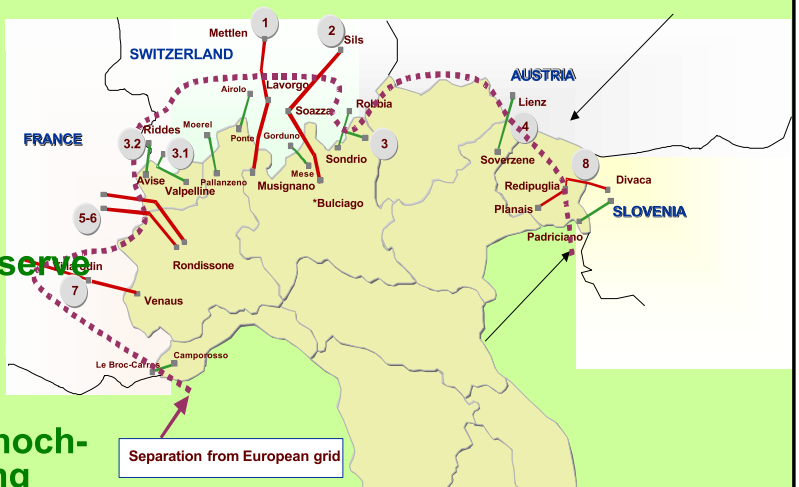


Blackouts in der Stromversorgung

Blackout in Italien am 28.9.2003 (1)

Ausgangssituation :

- **Nachtlast 28.000 MW**
- **Stromimport 6500 MW**
- **hohe Netzbelastung**
- **Schweiz, geringe Störreserve**



Ereignisfolge :

- **03:01 Uhr Ausfall einer hoch-belasteten 380-kV-Leitung (Baumberührung) nach erfolg-losen Wiedereinschaltversuchen**
- 03:25 Uhr Ausfall der zwei ersten überlasteten 380-kV-Leitungen
  - Erreichen der Stabilitätsgrenze (Verlust des Synchronismus zum UCTE - Netz)
- 03:25 Uhr Trotz massiven Lastabwurfs in Italien weiterer Frequenzabstieg und Schutzausschaltung der noch in Betrieb befindlichen Kuppelleitungen

Blackouts in der Stromversorgung

Blackout in Italien am 28.9.2003

Erster Leitungsausfall um 03:01:42 Uhr Lavorgo – Mettlen (Schweiz)

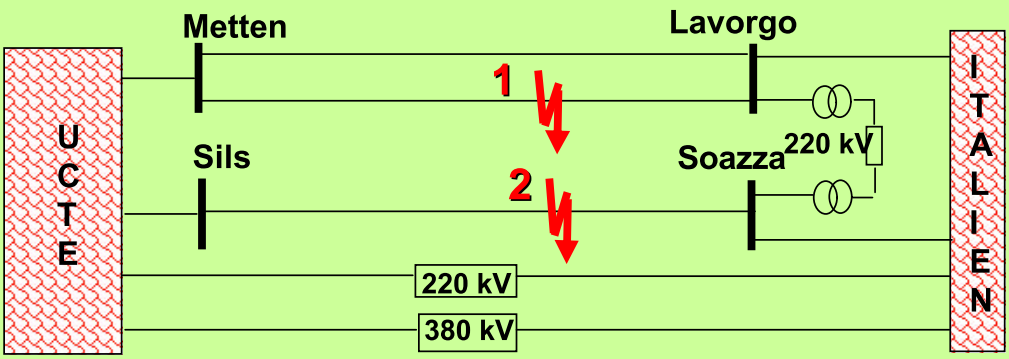
Die 380-kV-Leitung Mettlen – Lavorgo war mit ungefähr 86 % hoch belastet, so dass die Leiterseilerwärmung zu einem reduzierten Baumabstand führte. Da unter den hier vorliegenden Gegebenheiten, wie mögliche Aus-lenkung des Leiterseils durch Wind, hohe Luftfeuchtigkeit, etc., der Abstand an einem bestimmten Punkt nicht mehr ausreichend war, kam es zu einem Überschlag. Die zur Unterbrechung des Lichtbogens vorgesehenen einpoligen Kurzunterbrechungen waren mehrfach erfolglos, so dass die Leitung durch den Schutz abgeschal-tet wurde. Der Versuch der Netzführung, die Leitung wieder in Betrieb zu nehmen, war aufgrund eines zu hohen Leitungswinkels (42 Grad) ebenfalls erfolglos. Der hohe Leitungswinkel resultierte aus dem weiterhin nach Italien gerichteten hohen Lastfluss durch das Netz und erhöhte sich, weil das Netz das dem Leitungsausfall geschwächt war.

Die zum Lukmanier-Paß führende Leitung Mettlen-Lavorgo der Nähe des Baum-Überschlags

[ETG-d]

Blackouts in der Stromversorgung

Blackout in Italien am 28.9.2003



1 Winkel < 20°, AWE nicht blockiert

2 Winkel 42°, AWE blockiert

Die Winkeleinstellung des Synchrocheck ist an die Netzverhältnisse anzupassen

Programmierbare Logik: „Eingangssignal Netz geschwächt“
Folge: Umschaltung Parametersatz

[Dr. B.M.Buchholz]

Blackouts in der Stromversorgung

Blackout in Italien am 28.9.2003

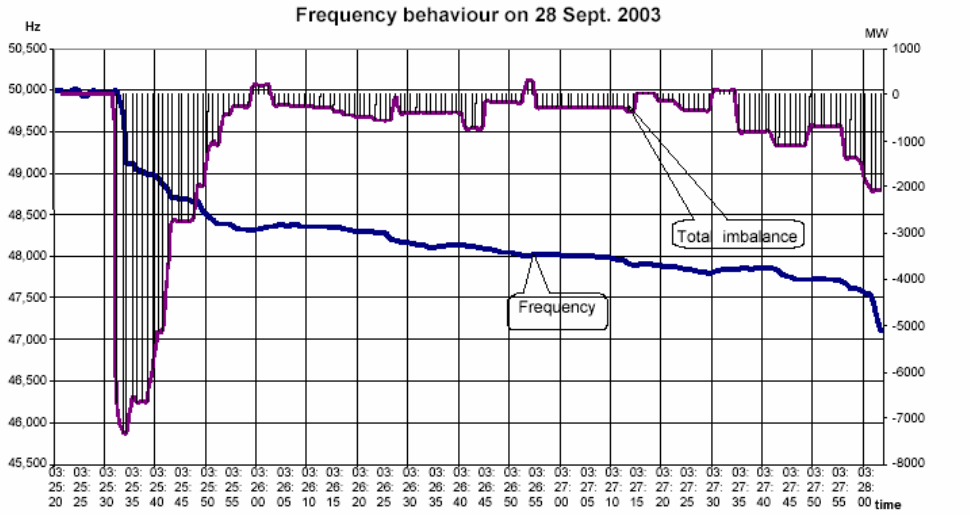


Figure 2.7: Frequency vs. Imbalances

Nach Abtrennung vom europäischen Netz wurde der rasche Frequenzabfall im italienischen Netz durch die Frequenz-Leistungs-Regelung und den automatischen Abwurf eines Teils der Last sowie der Abschaltung von Pumpspeicherkraftwerken vorübergehend bei einem Wert von ca. 49 Hz gestoppt. Im Anschluss daran kam es zur Abschaltung weiterer Erzeugungseinheiten, u. a. aus folgenden Gründen: Turbinenabschaltung, Ansprechen von Unterfrequenzrelais, hohe Rauchgastemperaturen, Erregungsverlust usw. Trotz zusätzlicher Lastabwürfe kam es zu einem weiteren Frequenzabfall. 2 Minuten und 30 Se-

Final_report.pdf

Blackouts in der Stromversorgung

Blackout in Italien am 28.9.2003

Figure 2.8: End of Stage 1

Figure 2.9: End of Stage 2

20040427_UCTE_Final_report.pdf

Blackouts in der Stromversorgung

Blackout in Italien am 28.9.2003

Figure2.10: End of Stage 3

20040427_UCTE_Final_report.pdf

Blackouts in der Stromversorgung

Blackout in Italien am 28.9.2003

Abschlussbericht des Untersuchungsausschusses der UCTE zum Blackout in Italien am 28. September 2003[1]

vom 27.04./25.05.2004

R1: Für Kuppelleitungen zwischen den UCTE-Regelblöcken werden nötigenfalls Maßnahmen für den Störungsfall zwischen den betreffenden Übertragungsnetzbetreibern (ÜNB) verstärkt bzw. aktualisiert oder erarbeitet. Diese Maßnahmen sollten verbindlich sein und in die gemeinsamen Schulungsprogramme für das Netzführungspersonal eingebunden werden. Ihre Effizienz wird in regelmäßigen Abständen einer Bewertung unterzogen.

R2: Die UCTE überprüft ihre geltenden Regeln und führt das Betriebshandbuch (Operation Handbook) ein: bei der Ausarbeitung der Verfahrensweisen (policies) 3 und 5 zur Sicherheitsbewertung sollten insbesondere folgende Punkte beachtet werden:

- Harmonisierung der Kriterien für die Einhaltung der (n-1)-Sicherheit;
- Bestimmung der Kriterien hinsichtlich der zeitlichen Vorgaben für die Rückführung des Systems in einen (n-1)-sicheren Zustand nach einer Störung;
- Einbeziehung von Aspekten wie z. B. Phasenwinkel- und Spannungsstabilität in die kurzfristige Störungsanalyse;
- Definition klarer Richtlinien für die Arbeitsteilung bei den durchzuführenden Maßnahmen unter Berücksichtigung des Arbeitsbereichs der einzelnen Schaltleitungen.

R3: Intensivierung der laufenden UCTE-Arbeiten zur Engpassprognose am Vortag (Day-Ahead Congestion Forecast – DACF) unter besonderer Berücksichtigung folgender Aspekte: häufigere DACF-Berechnungen, Erhöhung der Zahl der einbezogenen Gebiete und Schaffung von Qualitätsindikatoren für verwendete Daten und Rechenergebnisse, um die Effizienz dieses Hilfsmittels zu bewerten.

R4: Ausweitung des bestehenden Echtzeit-Datenaustausches zwischen benachbarten ÜNB. Die Daten sollten übereinstimmen, damit die Zustandserkennung zuverlässig auf einer breiteren topologischen Grundlage erfolgen kann.

UCTE_AB_Blackouts2004-05-25.pdf

Blackouts in der Stromversorgung

Blackout in Italien am 28.9.2003

R5: Festlegung einer Reihe von Mindestanforderungen auf UCTE-Ebene gegenüber Erzeugungsanlagen, Rahmenplänen zur Vorbeugung von Störungen (Defense Plans) und Wiederaufbauprogrammen als Grundlage für eine Harmonisierung in den jeweiligen nationalen Grid Codes und Regelwerken.

R6: Auf UCTE-Ebene sind weitere Arbeiten für eine Abstimmung geeigneter Strategien für die Frequenz-Leistungs-Regelung im Falle einer störungsbedingten Auftrennung des Synchronbereichs erforderlich.

R7: Als zusätzliches Hilfsmittel für eine dynamische Analyse und Überwachung des UCTE-Verbundsystems sollte das laufende Installationsprogramm für das Wide Area Measurement System (WAMS) beschleunigt werden.

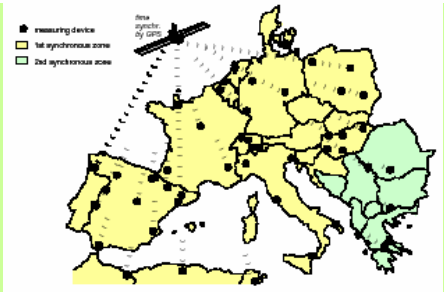


Figure 6.1: UCTE WAMS

Recommendation 7
As a support tool for dynamic analysis and monitoring of the UCTE system, accelerate the ongoing WAMS installation program.

UCTE_AB_Blackouts2004-05-25.pdf

Blackouts in der Stromversorgung

Blackout in Italien am 28.9.2003

R8: Die nationalen Grid Codes (bzw. äquivalente Regelungen) sollten eine Reihe von – auf UCTE-Ebene zu harmonisierenden - Mindestanforderungen bezüglich der Widerstandsfähigkeit von Erzeugungseinheiten im Falle von Spannungs- und Frequenzstörungen vorsehen.

R9: Nationale Regelungen sollten, falls dies noch nicht geschehen ist, folgende Festlegungen treffen:

- verbindliche Defense Plans mit Abstimmung der Frequenz zwischen (eventuellem) Lastabwurf und den Einstellwerten für die Generatorauslösung;
- verbindliche Wiederaufbaupläne mit schwarzstartfähigen Erzeugungseinheiten, die über ausreichende Möglichkeiten für ein Abfangen im Eigenbedarf verfügen.

Dabei sollten gemeinsame Simulationen, Schulungen und Bewertungen dieser Pläne mit allen Beteiligten vorgesehen werden.

R10: Die Vorgehensweise beim Zurückschneiden von Bäumen sollte bewertet und die Betriebsergebnisse hinsichtlich des Durchhängens von Leitungen bei maximaler Überlast geprüft werden.

R11: Die Blockierung von Transformator-Stufenreglern bei starkem Spannungsabfall sollte allgemein anerkannte Praxis werden.

UCTE_AB_Blackouts2004-05-25.pdf

Blackouts in der Stromversorgung

Blackout in Italien am 28.9.2003

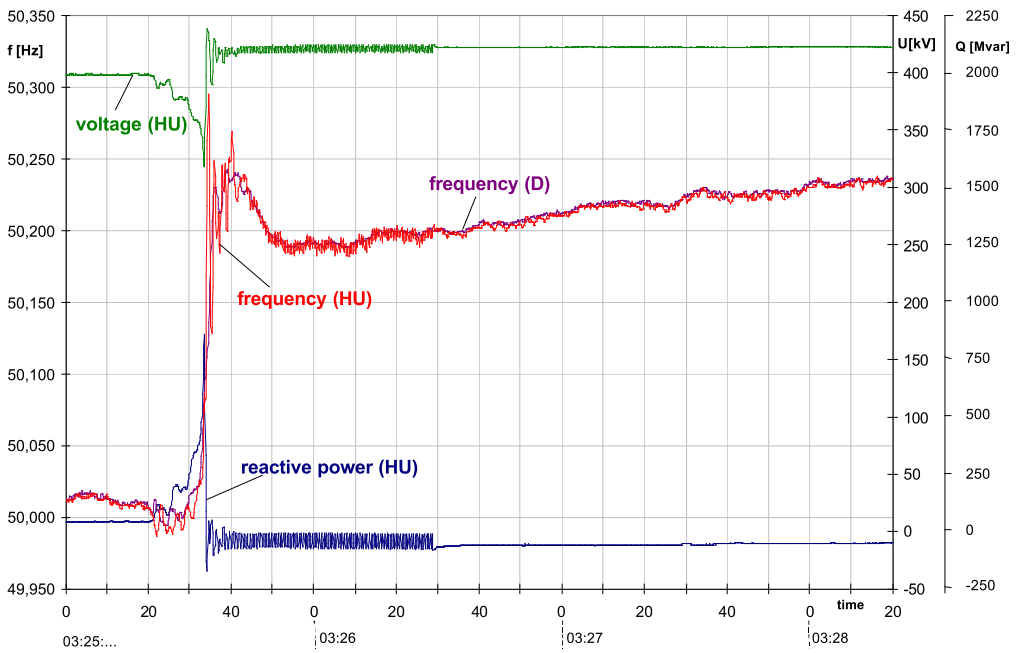


Bild 24 Verlauf von Spannung, Frequenz und Blindleistung in Deutschland und Ungarn

[ETG-d]

Blackouts in der Stromversorgung

Blackout in Italien am 28.9.2003

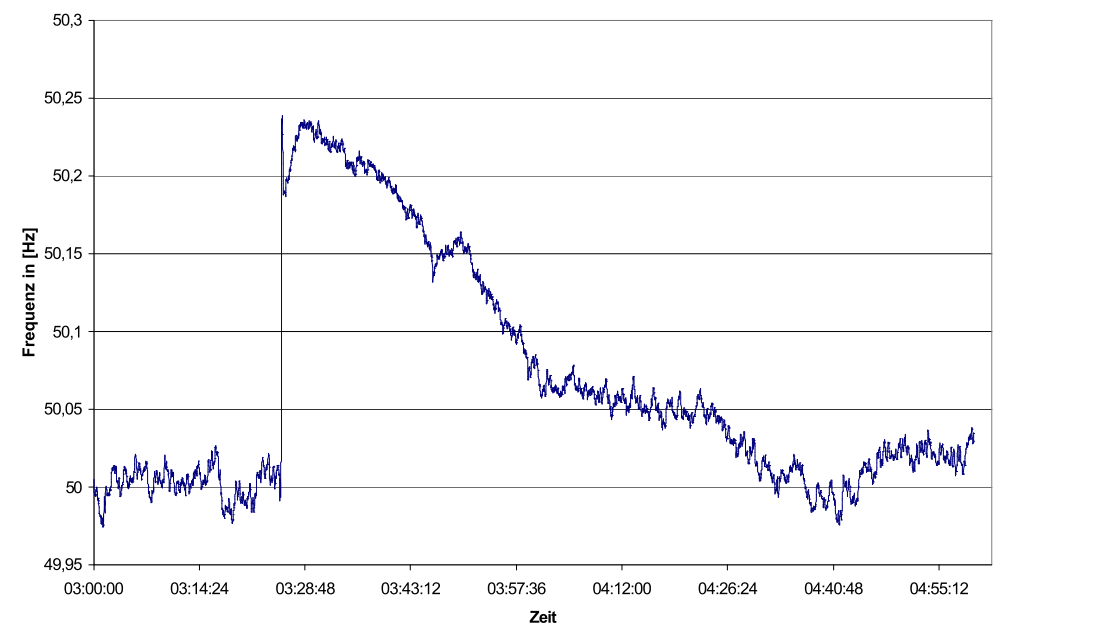
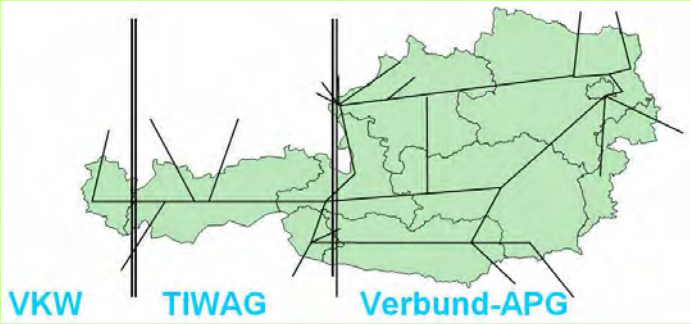
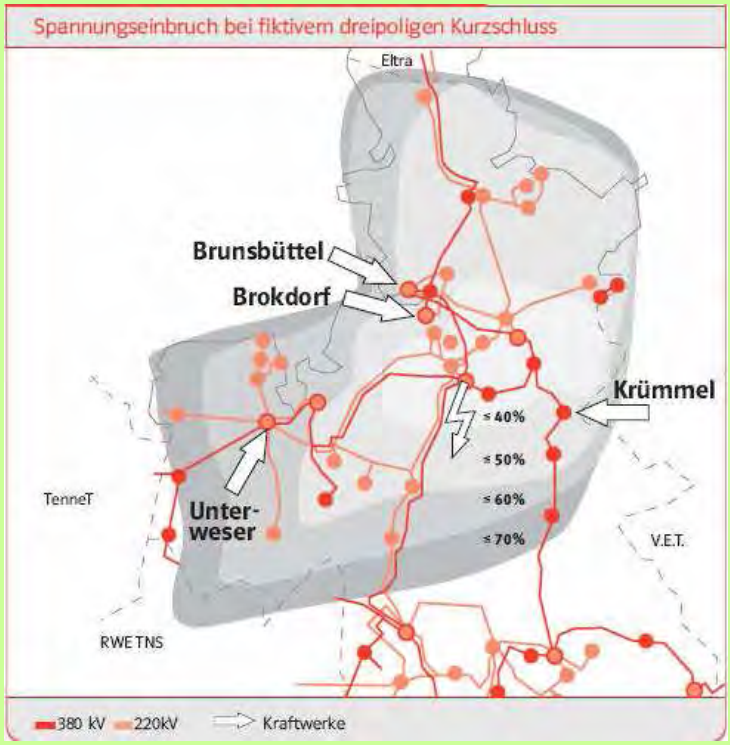


Bild 26 Frequenzverlauf im UCTE Netz nach der Abtrennung des italienischen Netzes **[ETG-d]**

Blackouts in der Stromversorgung



Blackouts in der Stromversorgung



29.01.2004
2pol. Leitungsfehler im 220-kV-Netz in der Region Oldenburg führt dazu, dass die Spannung in der betreffenden Region für Sekundenbruchteile einbricht und schlag-artigen Erzeugungsaus-fall von ca. 1.100 MW Windkrafteinspeisung

Blackouts in der Stromversorgung

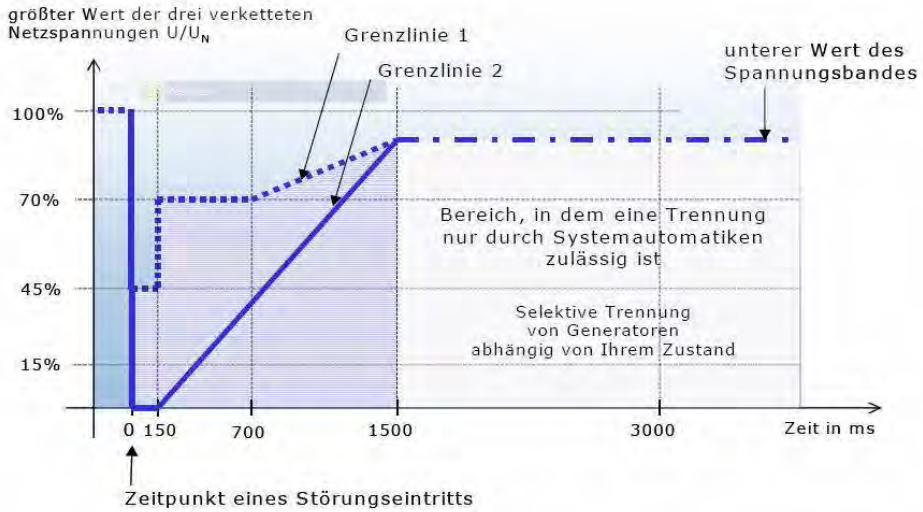


Bild 3.5: Grenzkurven für den Spannungsverlauf am *Netzanschluss* für eine Erzeugungsanlage mit regenerativen Energiequellen vom Typ 2 bei einem Fehler im Netz

TC2007

Blackouts in der Stromversorgung

Blitzeinschlag in 2-MW-WEA 2004

Bild 2 und 3:
Brand nach einem Blitzeinschlag bei einer 2 MW-WEA im Jahr 2004 (Bildquelle: HDI-Gerling)

2004 Blitzeinschlag in 2-MW-WEA

Blackouts in der Stromversorgung

Blitzeinschlag in 2-MW-WEA 2004

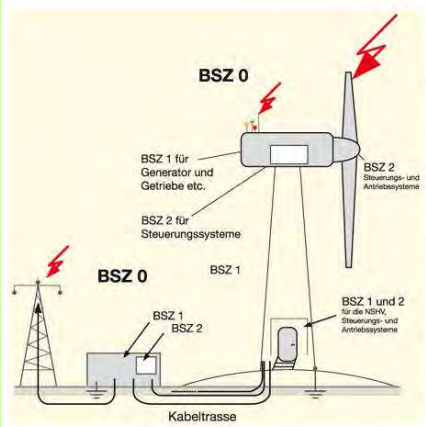


Bild 5:
Zuordnung der Blitzschutzzonen (BSZ) bei WEA mit Metallgondeln
(Quelle: Phoenix Contact)

VdS Verband der Sachversicherer e.V.

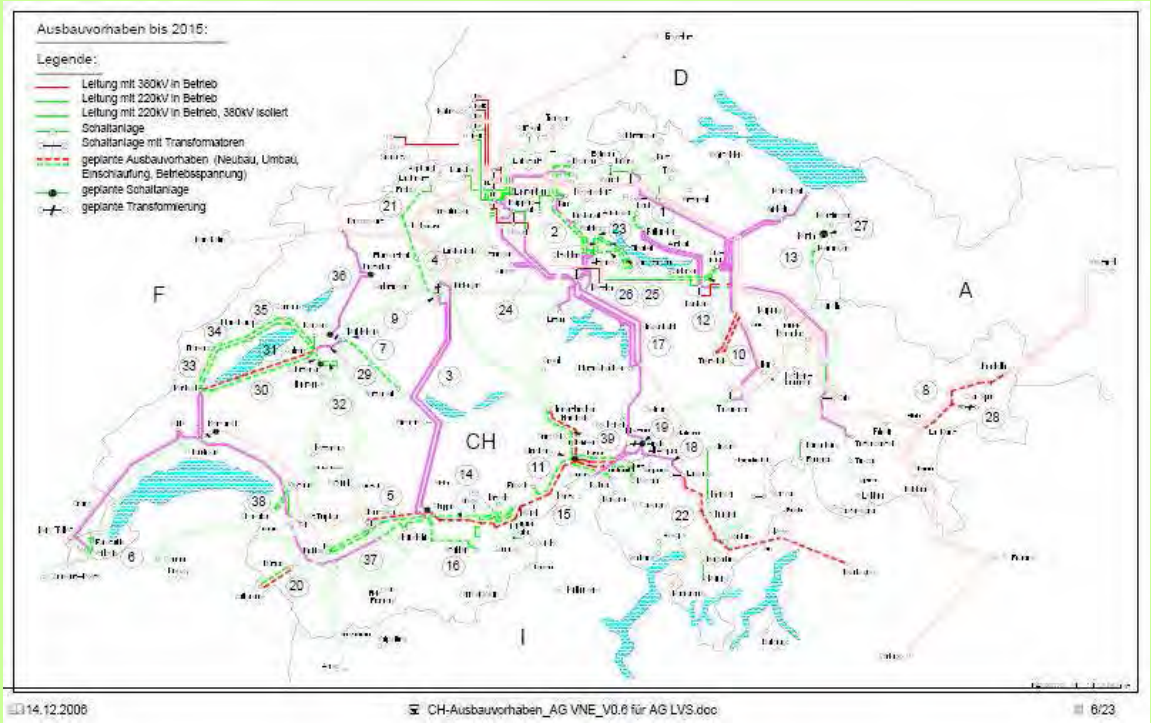
Brandschutz, VdS, Ausgabe: 2008-07

Blackouts in der Stromversorgung

01.11.2004 Explosion eines 110-kV-Spannungswandlers im UW Goldsteinstraße, Frf.-Niederrad, führt zur Zerstörung von zwei Trafos und einem Schaden von ca. 15 Mio €

Blackouts in der Stromversorgung

18.01.2005 Größter Blackout in der Geschichte der Schweiz



18.01.2005 Größter Blackout in der Geschichte der Schweiz

Blackouts in der

Überlastung der Serien-Kondensatoren,
Explosion führt zur Netztrennung und
mit Überspannungsauslösung,
Pendelungen und
f = 52,58 Hz Nord- und 48,34 Hz Süd
1074 MW Ausfall für 53 – 108 min

17.05.2005 Blackout
in Vietnam

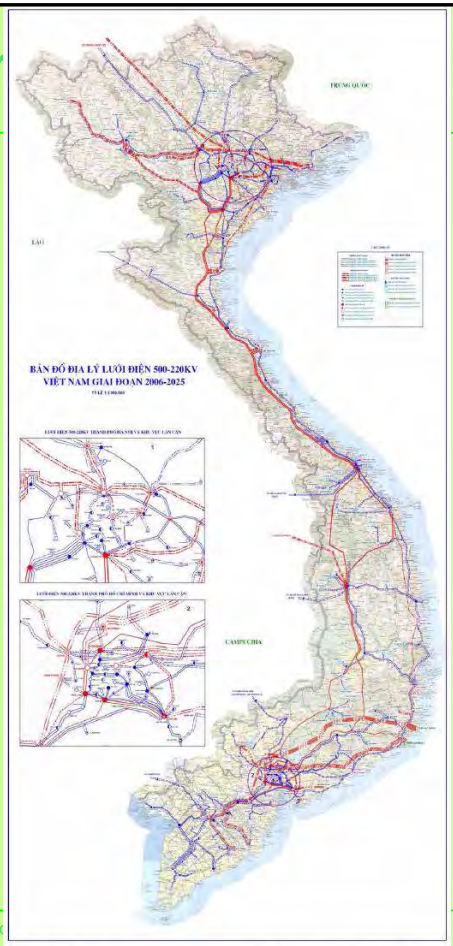


Fig. 1. Vietnamese power system in geographical location

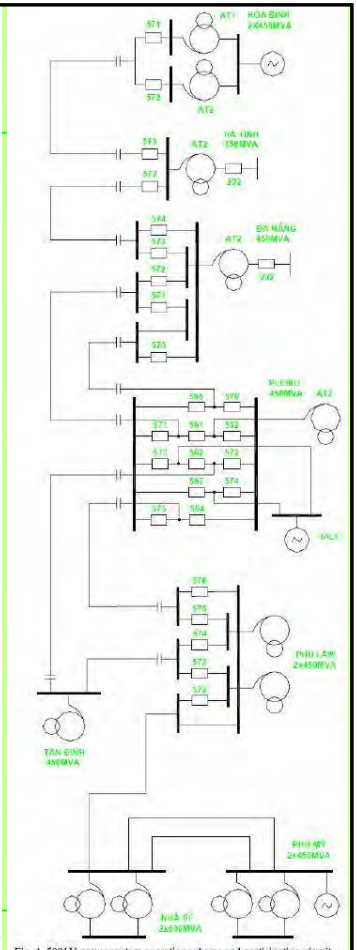


Fig. 4. 500kV power system operating scheme and participating circuit breakers in blackout 5/17/2005

Blackouts in der Stromversorgung

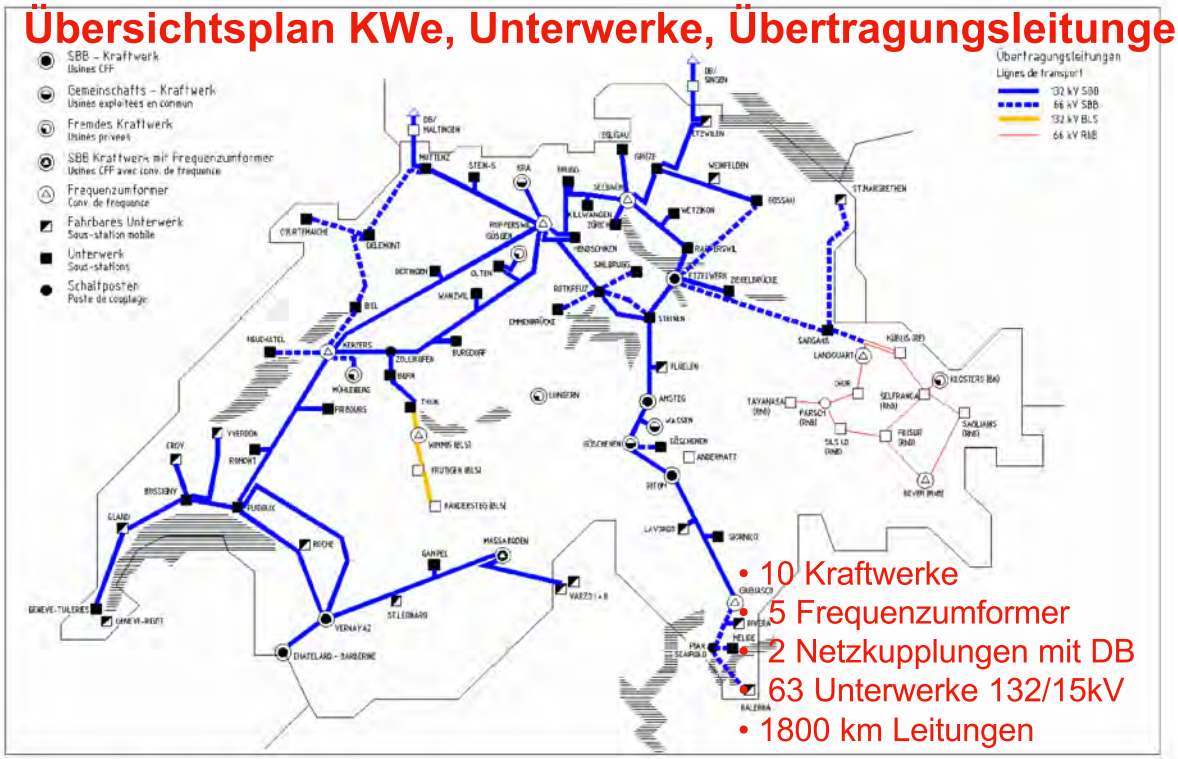
Blackout SBB am 22.06.2005

2006 Größtes Bauwerk aller Zeiten der schweizerischen Bahnen löst die größte Strom-Panne aller Zeiten bei den schweizerischen Bahnen aus, Hochstromleitung bei der Neat-Baustelle bei Erstfeld

Blackouts in der Stromversorgung

Blackout SBB am 22.06.2005

Übersichtsplan KWe, Unterwerke, Übertragungsleitungen



- 10 Kraftwerke
- 5 Frequenzumformer
- 2 Netzkupplungen mit DB
- 63 Unterwerke 132/15kV
- 1800 km Leitungen

Abbildung 1: Plan des Bahnstromnetzes der Schweiz

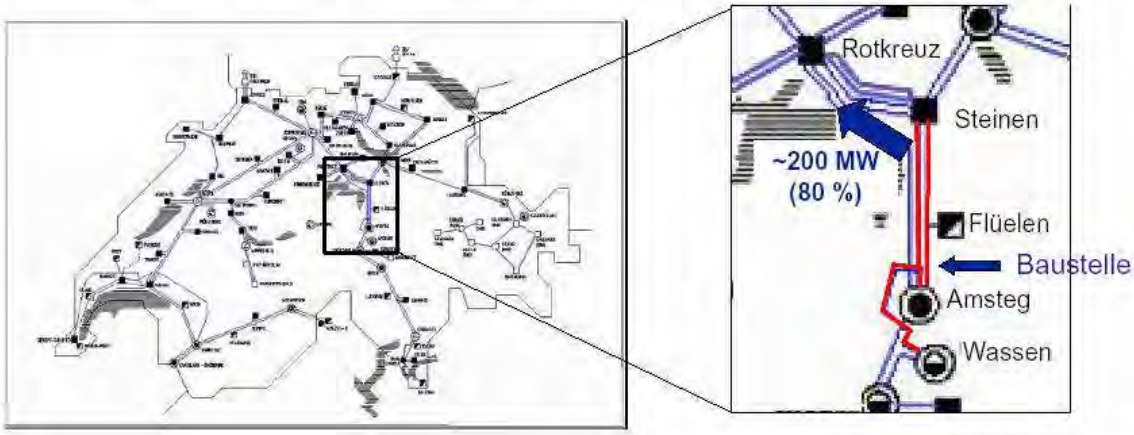
Blackouts in der Stromversorgung

Blackout SBB am 22.06.2005

SBB CFF FFS

Ausgangslage vor 17:08
Normale Betriebslage mit genügender Leistungsabdeckung.

Zwei von drei Leitungen, die Energie vom Kraftwerk Amsteg in die Deutschschweiz transportieren, sind aufgrund von Bauarbeiten ausser Betrieb.



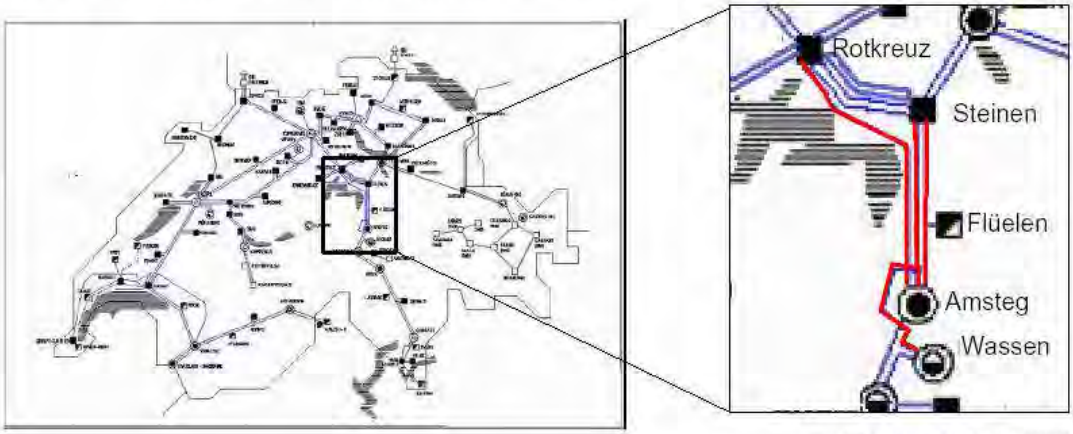
Blackouts in der Stromversorgung

Blackout SBB am 22.06.2005

SBB CFF FFS

Ausfall der Leitung Amsteg – Rotkreuz um 17:08:28
Keine Auswirkungen auf den Bahnbetrieb – Stromnetz schwer gestört.

Die dritte Leitung fällt aufgrund eines Kurzschlusses aus (Ursache des Kurzschlusses noch unbekannt). Sie kann nicht wieder eingeschalten werden. Das Netz zerfällt in zwei Teilnetze. In beiden Teilnetzen herrscht ein Leistungsungleichgewicht.



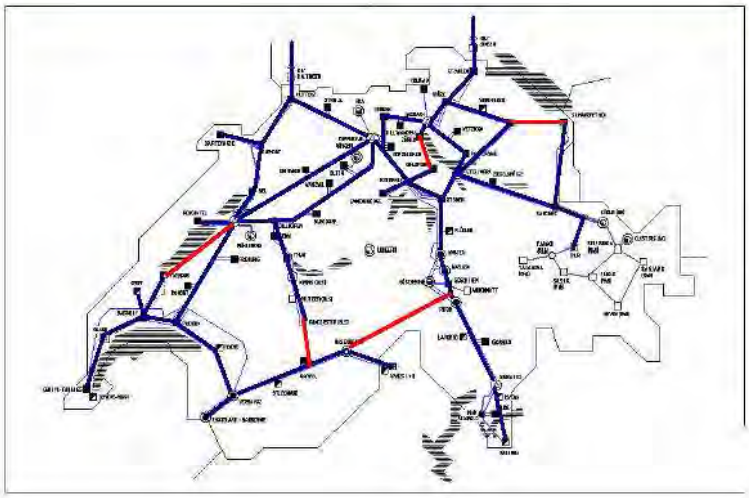
© SBB • Infrastruktur • Energie •23.06.2005/05:40 5

Blackouts in der Stromversorgung

Blackout SBB am 22.06.2005

SBB CFF FFS

Ausbauplan des SBB Energienetzes.



Schaffen redunanter Ringsstrukturen:

- Ausfalltoleranz vernbessert (N-1)

Schwierigkeiten:

- Netzausbauten sind sehr schwierig
- Verfahren dauern sehr lange

© SBB • Infrastruktur • Energie •23.06.2005/05:40 12

3 Ursachen und Massnahmen

3.1 Ursache 1: Falsche Einschätzung des Risikos wegen falscher Anlagedaten in der Zentrale

Hauptgrund für die Strompanne waren falsche Anlagedaten. In der Netzleitstelle ging man aufgrund der vorliegenden Dokumentation von einer Kapazität von 240 MW für die Übertragungsleitung Amsteg–Rotkreuz aus. Bedingt durch Schutzeinstellungen auf das schwächste Glied (in diesem Fall ein Trenner in Rotkreuz) betrug die nutzbare Kapazität der Leitung jedoch nur 211,2 MW. Nach jedem Projektabschluss aktualisiert jeweils der Anlageverantwortliche den Zustand der Anlage in seiner Dokumentation, welche jedoch im Fall Rotkreuz der zentralen Leitstelle nicht vorlag.

3	Festlegung von konfigurationsabhängigen Belastungsgrenzen bei Anlagenteilen, die bei der Erstellung von Energieprogrammen berücksichtigt werden müssen (Strompanne hat diesen Prozess beschleunigt und systematisiert)	Mai 05	06.08.05	Erledigt
4	Erhöhung der Regelreserve im Gesamtsystem um 50 MW (Gleiche Regelung wie bei der Einführung von Bahn 2000)	23.06.05	24.06.05	Erledigt
5	Ersatz und Austausch von Schutzgeräten prüfen (zusätzlich zu den bereits geplanten Erneuerungen/Ausbauten)	Juli 05	30.04.06	

3.3 Ursache 2: Fehlende Übersicht und Unmöglichkeit einer raschen und richtigen Lagebeurteilung wegen Alarmflut

Die Dispatcher konnten wegen dieser Alarmflut die vier Einzel-Alarme bezüglich der Überlastung der Kuppelstellen zur DB nicht erkennen. Bei rechtzeitigem Erkennen der Gefahr für die Netzinsel Nord (Überlast an beiden Kupplungen zur DB) hätten nach der bisherigen Störungsmanagement-Strategie zuerst die drei laufenden Maschinen in den Frequenzumformerwerken Rupperswil, Kerzers und Massaboden so gesteuert werden müssen, dass sie sofort die fehlende Leistung aus dem 50-Hz-Netz bezogen und in Bahnstrom umgewandelt hätten. Dieser Vorgang hätte nur wenige Sekunden beansprucht. Weil das nicht geschah, wandelten die drei erwähnten Maschinen weiterhin gemäss Planung Bahnstrom in 50-Hz-Strom um.

4.5.4.3 Überflutung durch Alarmmeldungen

Nach dem Leitungsunterbruch Amsteg–Rotkreuz wurde die ZLS von Meldungen und Alarmen überflutet. In den ersten 60 Minuten betrug die Anzahl Alarmmeldungen rund 18'000, davon knapp 3400 kritische.

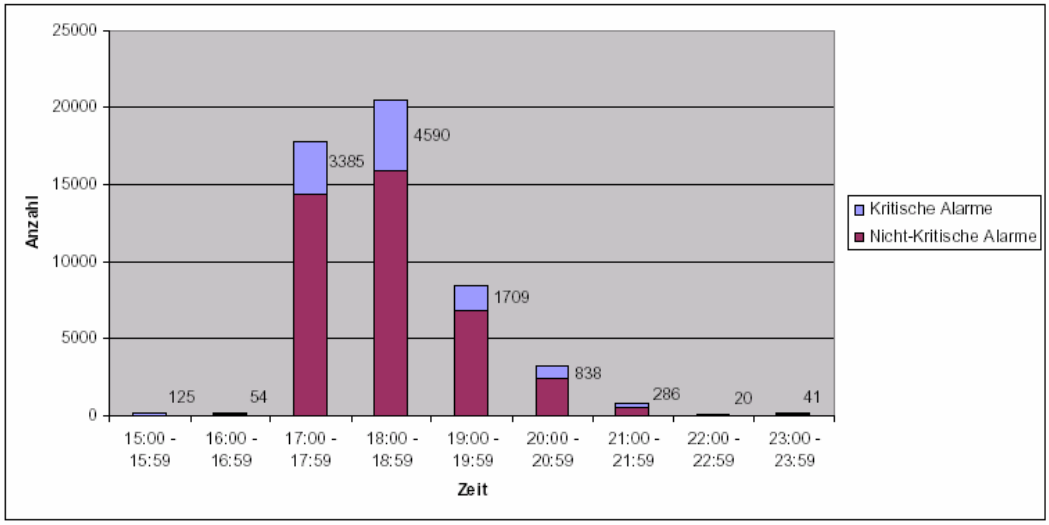


Abbildung 13: Verteilung der Alarme während Störung und Wiederaufbau des Netzes

Der Dispatcher erkannte wegen dieser Alarmflut die vier Einzel-Alarme bezüglich der Überlastung der Kuppelstellen zur DB nicht, was in dieser Situation entscheidend gewesen wäre.

Zeit	Anlage	Was	Bemerkungen
17:13:32.83	Kuppeltrafo 11 Haltingen	Thermoschutz Warnung	Überlast Warnung
17:23:16.15	Kuppeltrafo 11 Haltingen	Thermoschutz Auslösung	Überlast Auslösung; Parallelkuppeltrafo 12 blieb in Betrieb
17:31:27	Kuppeltrafo 11 Haltingen	Hand-Zuschaltung durch DB Energie	
17:35:46	Leitung Singen-Grüze	Distanzschutz-Endzeit-Auslösung	Auslösung wegen Überlast (1100 A bei 132 kV)

Tabelle 10: Alarmmeldungen in der ZLS bezüglich der Überlastung der Kuppelstellen zur DB

Blackouts in der Stromversorgung

Blackout SBB am 22.06.2005

3.5 Ursache 3: Ein derartiges Szenario wurde nie in Betracht gezogen

Die Möglichkeit einer schweizweiten Bahnstrompanne war vor dem 22. Juni 2005 nie als Risiko in Betracht gezogen worden und nicht ins operative Risk-Management aufgenommen. Entsprechend wurde keine Vorsorge sowohl zur Verhinderung als auch zur Eingrenzung von Auswirkungen einer schweizweiten Strompanne im Eintretensfall getroffen.

3.6 Massnahmen zur Ursache 3

Nr.	Massnahme	Termine Start	Termine Ende	Bemerkung
13	„Fitness" der Mitarbeitenden der zentralen Leitstelle steigern			
	▪ Ausbildungskonzept und -programm erstellen	Mai 05	31.08.05	Erledigt
	▪ Erkenntnisse der Strompanne bei der Ausbildung berücksichtigen	15.07.05	30.09.05	
14	Gezieltes Training der ZLS-Dispatcher für Erstanalyse und Sofortmassnahmen im Störungsfall mit dem Ziel, intuitiv richtiges Verhalten zu erreichen (Vermehrtes Delegieren von Aufgaben, die bisher von den Netzführern wahrgenommen wurden, direkt an die Dispatcher):			
	▪ Sofortausbildung für Krisenbewältigung	April 05	31.10.05	
	▪ Persönliche Besprechung der Strompanne mit jedem ZLS-Dispatcher	Juni 05	31.08.05	
	▪ Aufbau Simulationstool für Schulung der Netzführung	01.10.05	30.04.06	
	▪ Regelmässige Durchführung von Simulationsübungen (Offline 1:1 Training der Dispatcher)	gem. Konzept	gem. Konzept	

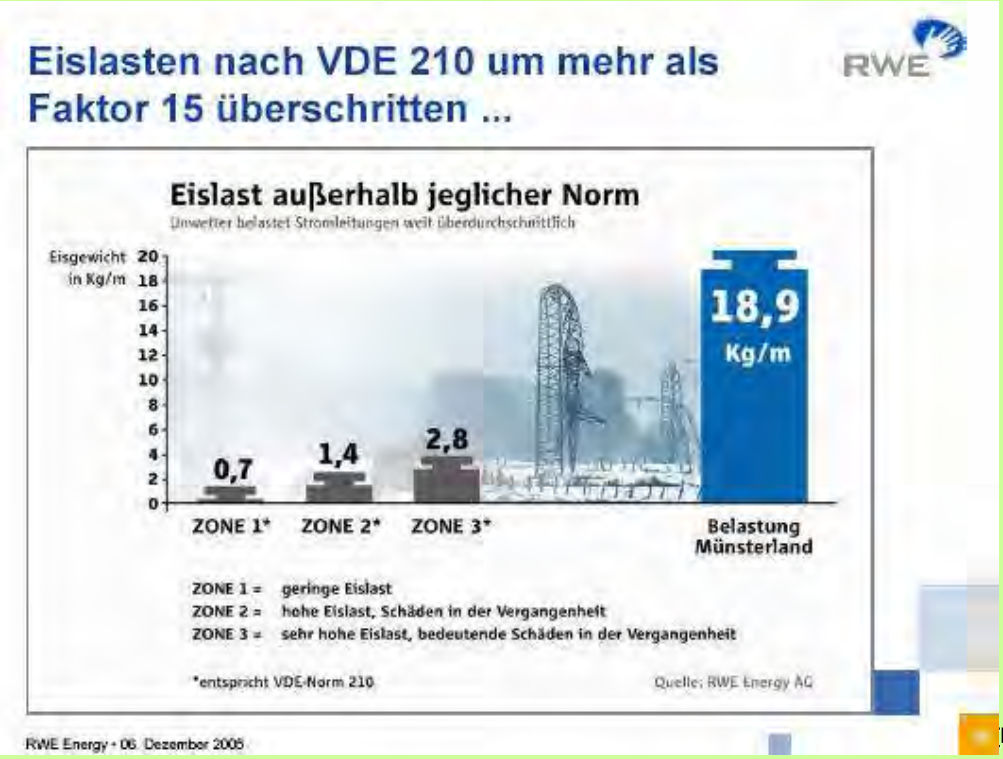
Blackouts in der Stromversorgung

Blackout 25.11.2005 Münsterland

[RWE_Münst]

Blackouts in der Stromversorgung

Blackout 25.11.2005 Münsterland



[RWE_Münst]

Blackouts in der Stromversorgung

Blackout 25.11.2005 Münsterland

[RWE_Münst]

Blackouts in der Stromversorgung

Blackout 25.11.2005 Münsterland

Blackouts in der Stromversorgung

Blackout 25.11.2005 Münsterland

Das Netz ist sicher – Wartungszyklen für Freileitungsnetze bei RWE

RWE

Maßnahmen der Instandhaltung	Zyklus bei RWE	branchenüblicher Zyklus
Inspektion, Leitungsbefliegung	einmal jährlich	einmal jährlich bis zu einmal in acht Jahren
Inspektion, Leitungsbegehung	einmal jährlich	einmal jährlich bis zu einmal in vier Jahren
Intensivinspektion, Besteigen der Maste	einmal in fünf Jahren	keine Aktivitäten bis zu einmal in 12,5 Jahren
Wartung, Trassenpflege	einmal jährlich oder zustandsabhängig	einmal jährlich oder zustandsabhängig
Instandsetzung, Korrosionsschutz	zustands-abhängig	zustands-abhängig

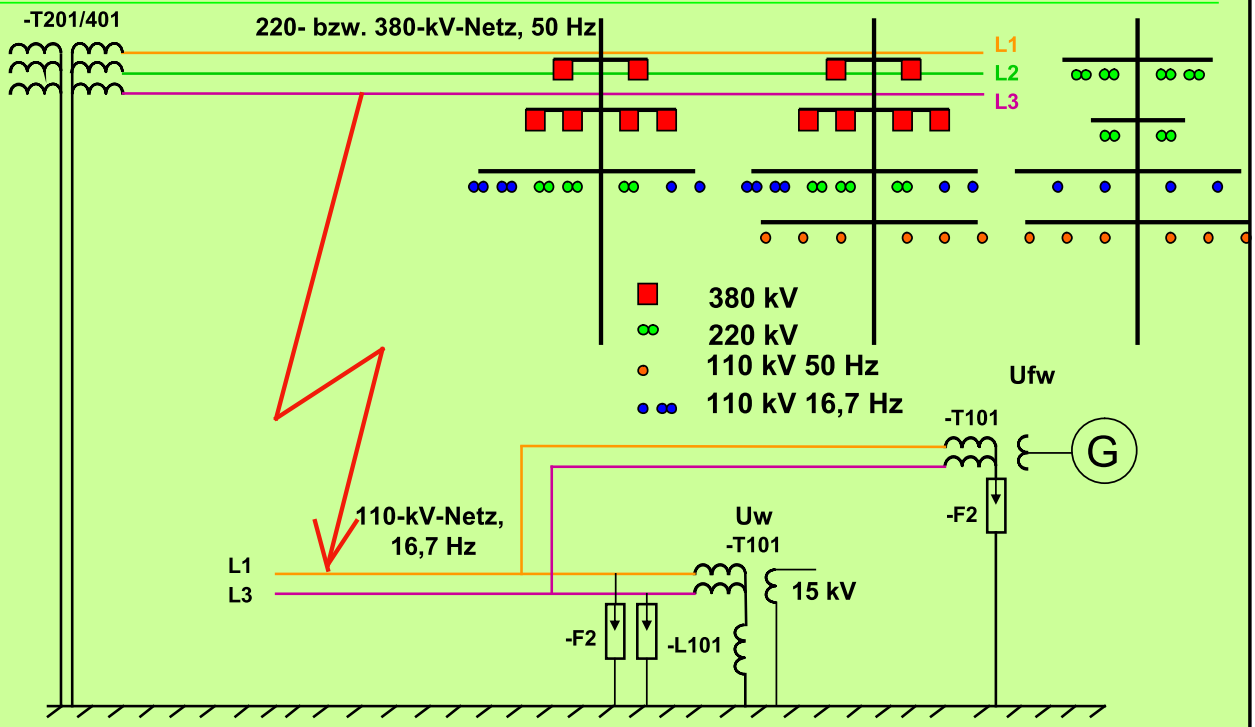
RWE Energy • 06. Dezember 2005

11

[RWE_Münst]

Blackouts in der Stromversorgung

Blackout 25.11.2005 Münsterland

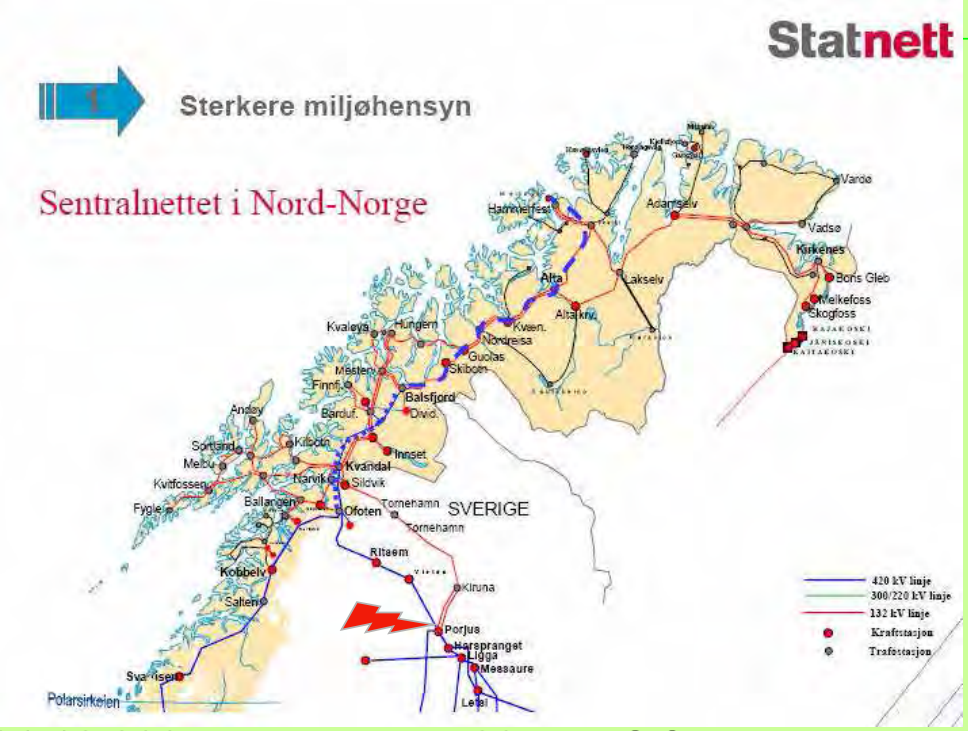


Blackouts in der Stromversorgung

Blackout 25.11.2005 Münsterland

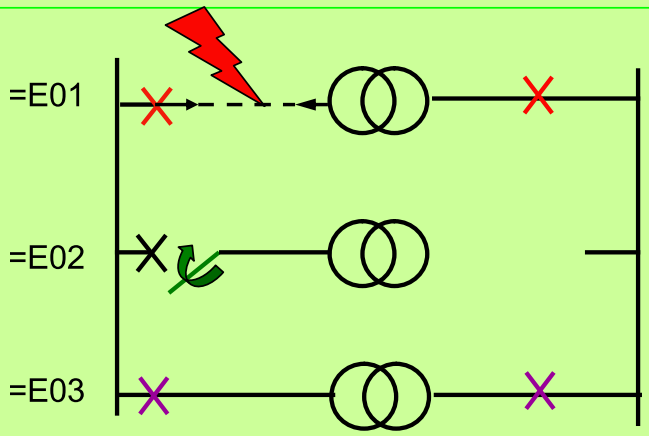
Umgeknickte Strommasten bei Münster, Foto: dpa

Blackouts in der Stromversorgung



01.12.2005 Versagen 420-kV-LS führt zur Auslösung der 420-kV-SS durch SVS im KW Porjus

Blackouts in der Stromversorgung



22.12.2005 Auslösung 150-kV-Trafo im Unterwerk Letten, bei Einschaltung eines Reservetrafos Auslösung eines dritten Trafos, kein Fehler gefunden und ¾ h später wieder eingeschaltet, Sympathetic inrush?

Blackouts in der Stromversorgung

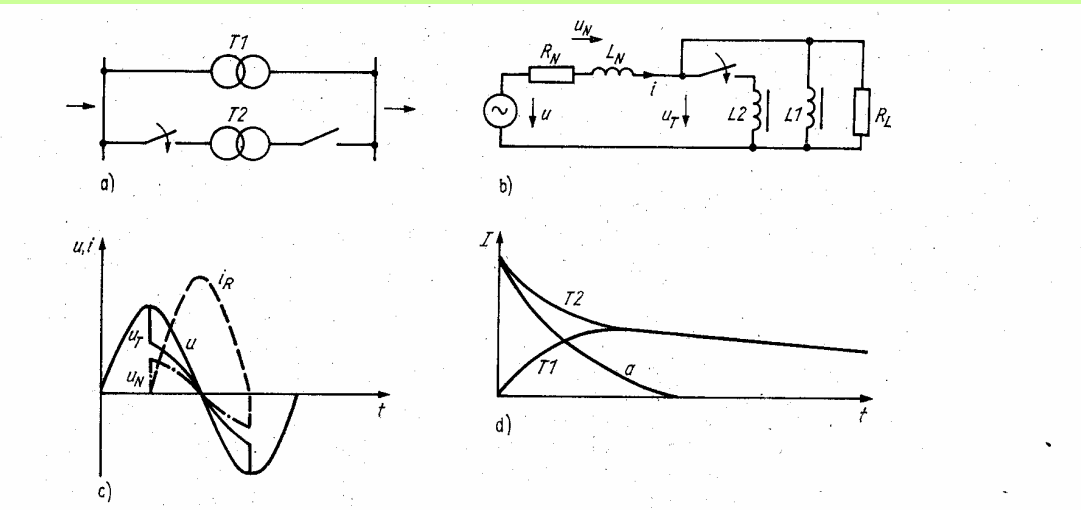


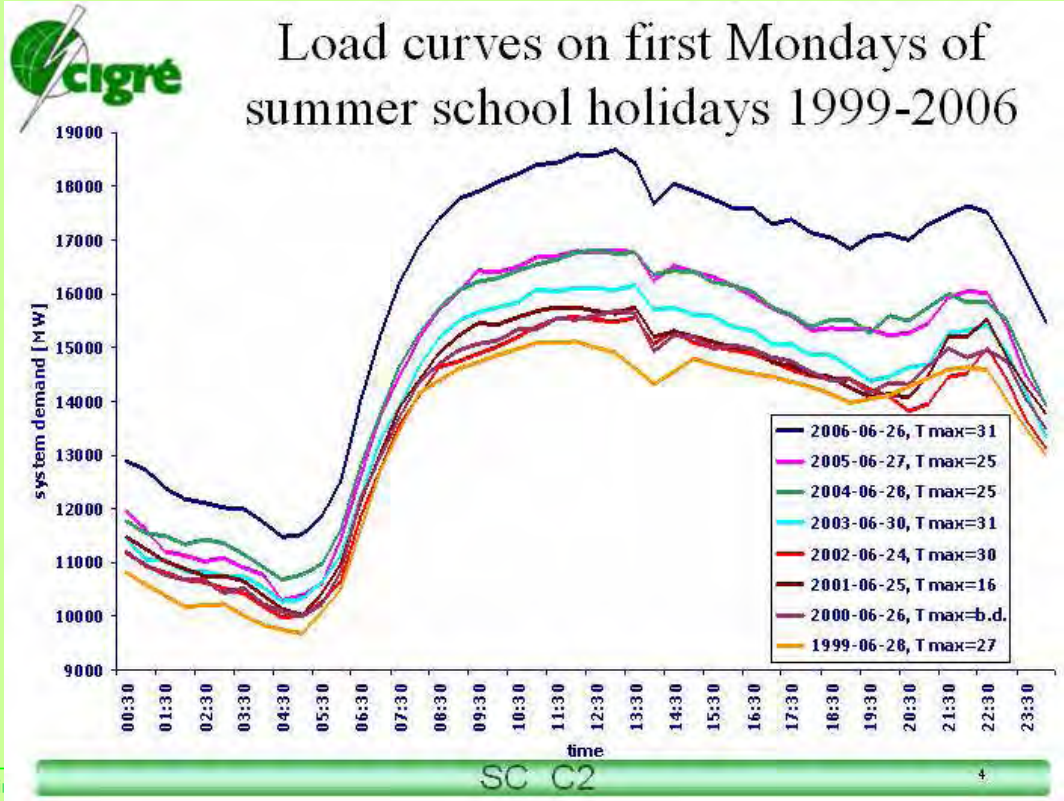
Bild 8.1.2. Vorgänge beim Einschalten von parallelen Transformatoren (sympathetic inrush)

a) Prinzipbild; b) Ersatzschaltbild; c) Strom- und Spannungsverläufe; d) Gleichglieder der Transformatoren *T1* und *T2*

[Cle/Ro]

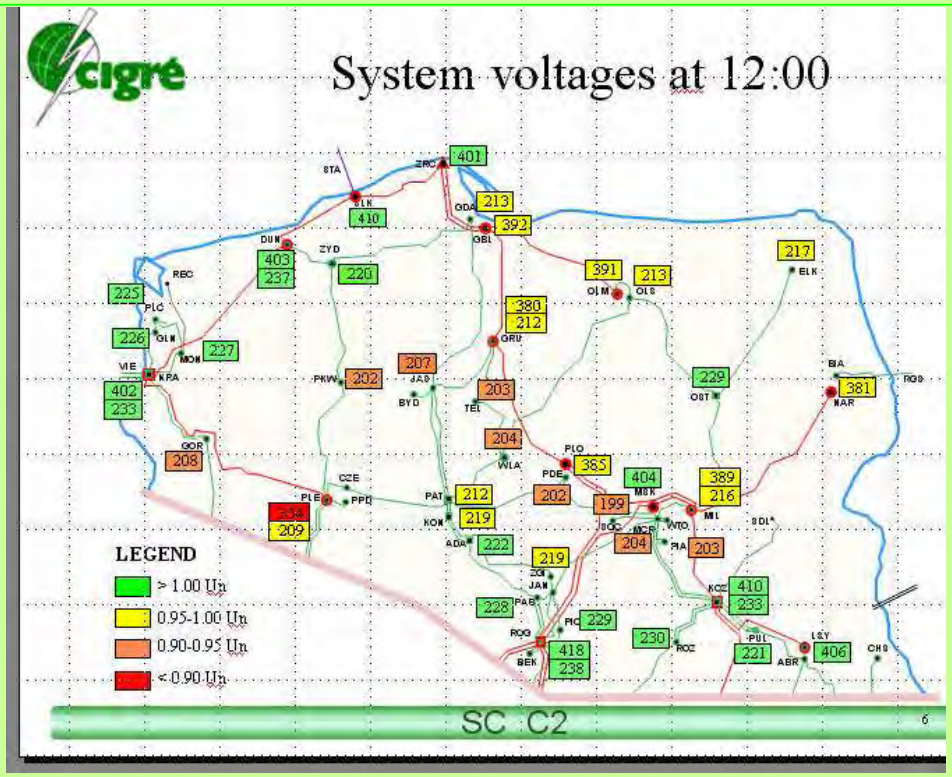
Blackouts in der Stromversorgung

Spannungsinstabilität in Polen am 26.06.2006



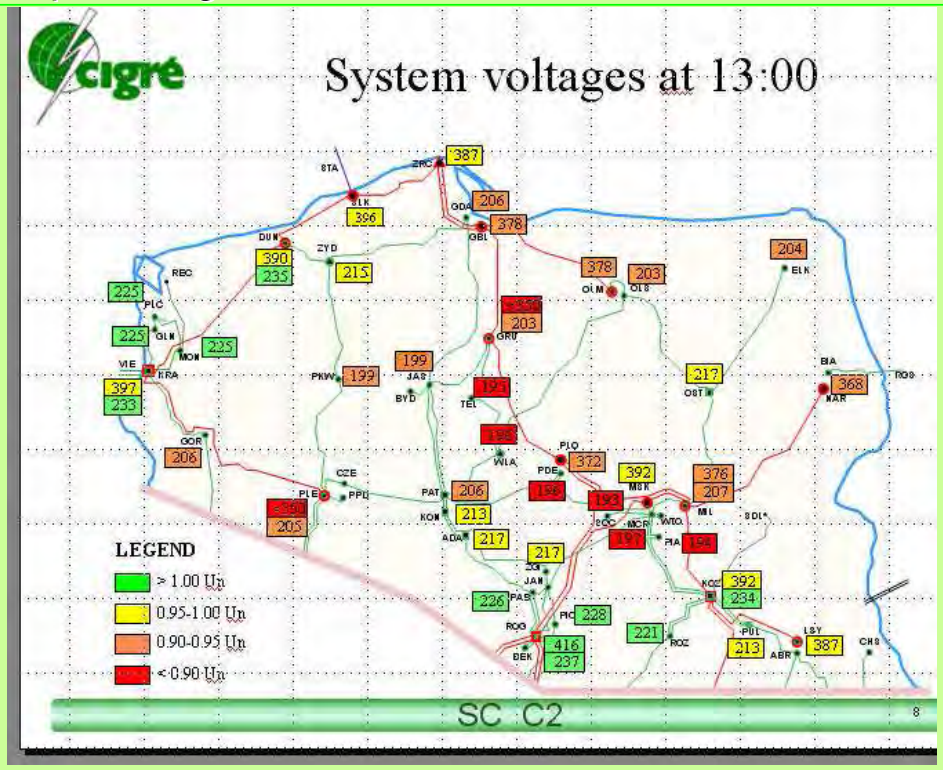
Blackouts in der Stromversorgung

Spannungsinstabilität in Polen am 26.06.2006



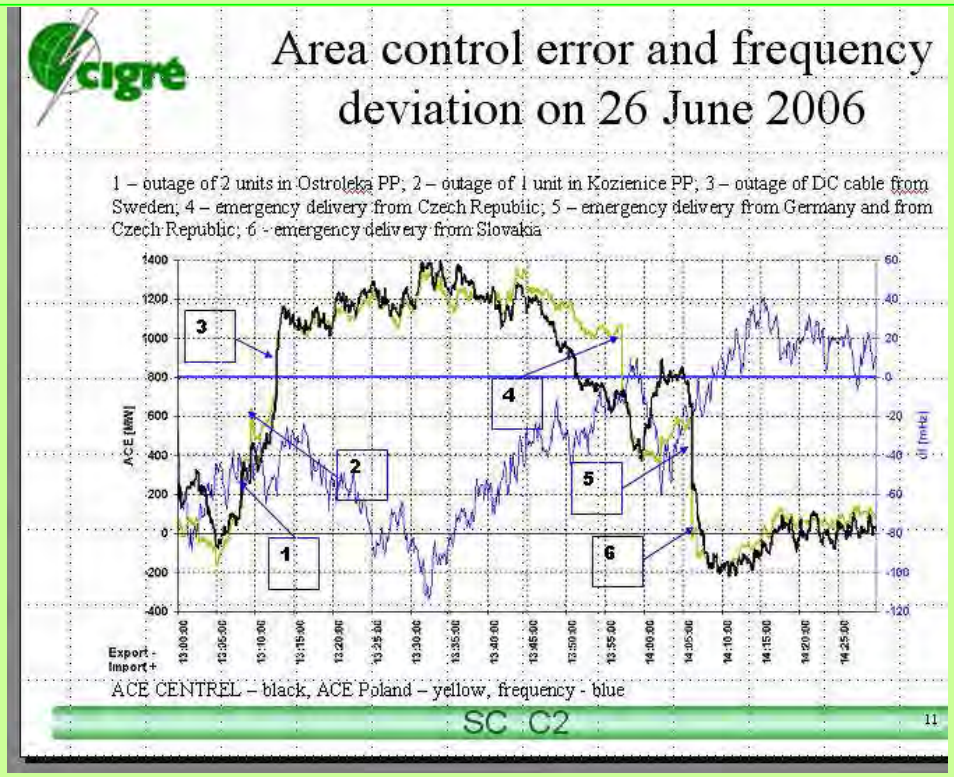
Blackouts in der Stromversorgung

Spannungsinstabilität in Polen am 26.06.2006



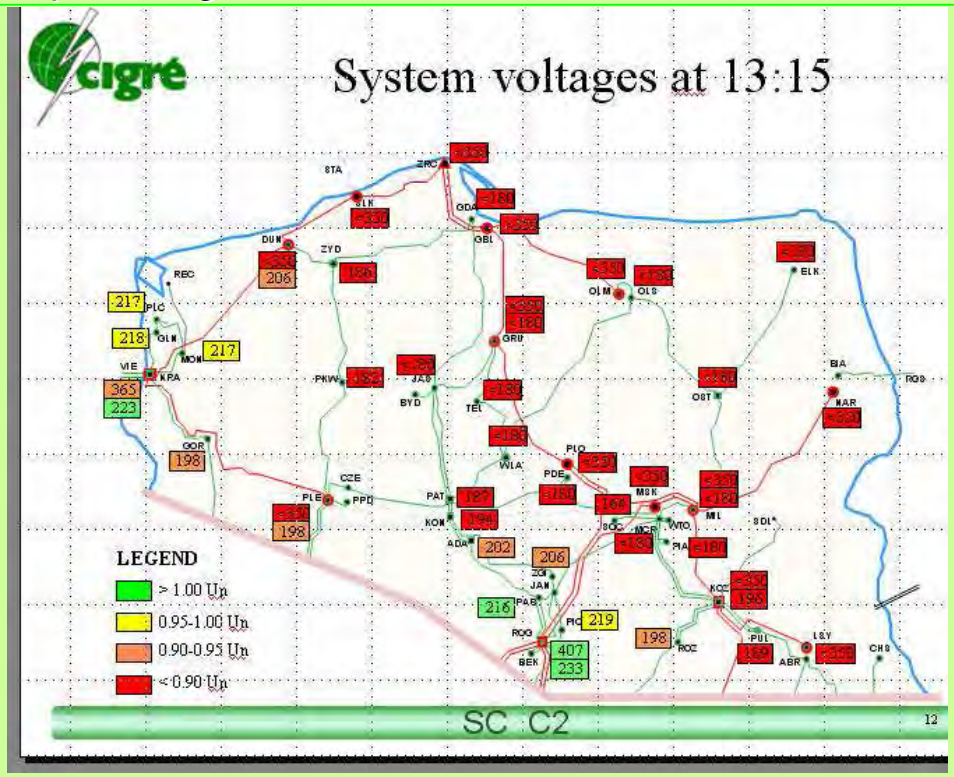
Blackouts in der Stromversorgung

Spannungsinstabilität in Polen am 26.06.2006



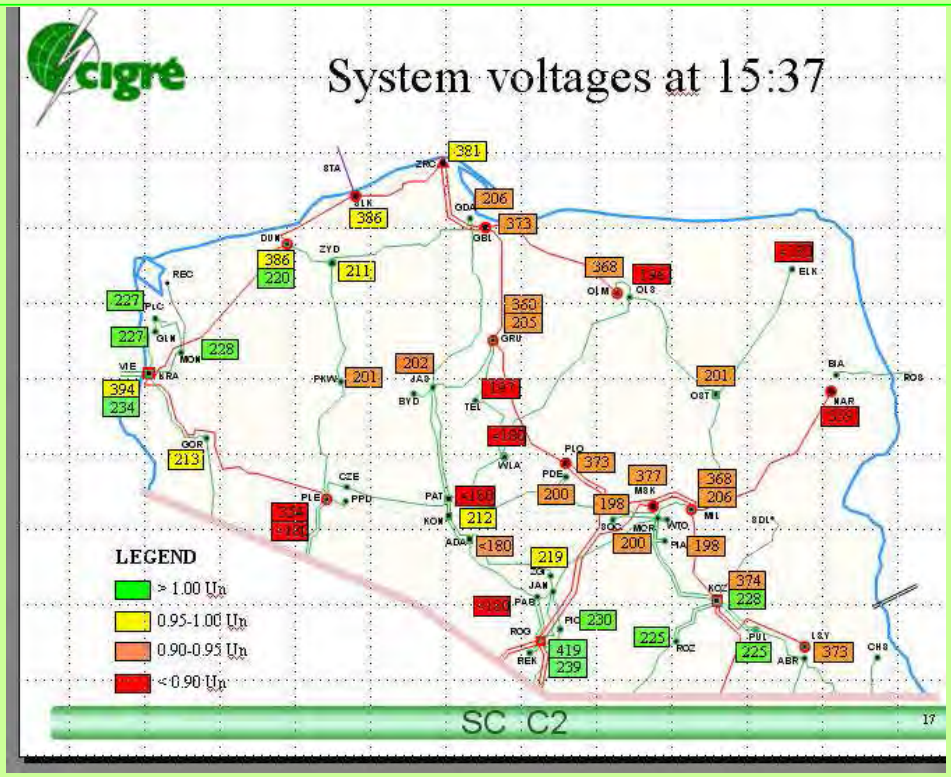
Blackouts in der Stromversorgung

Spannungsinstabilität in Polen am 26.06.2006



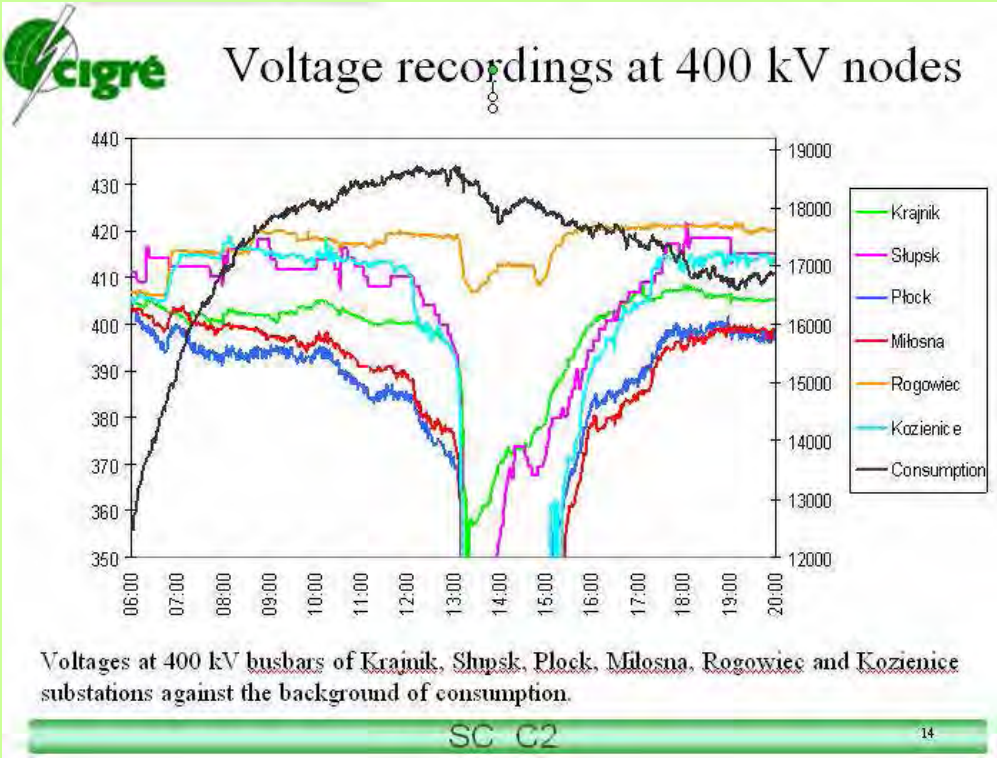
Blackouts in der Stromversorgung

Spannungsinstabilität in Polen am 26.06.2006



Blackouts in der Stromversorgung

Spannungsinstabilität in Polen am 26.06.2006

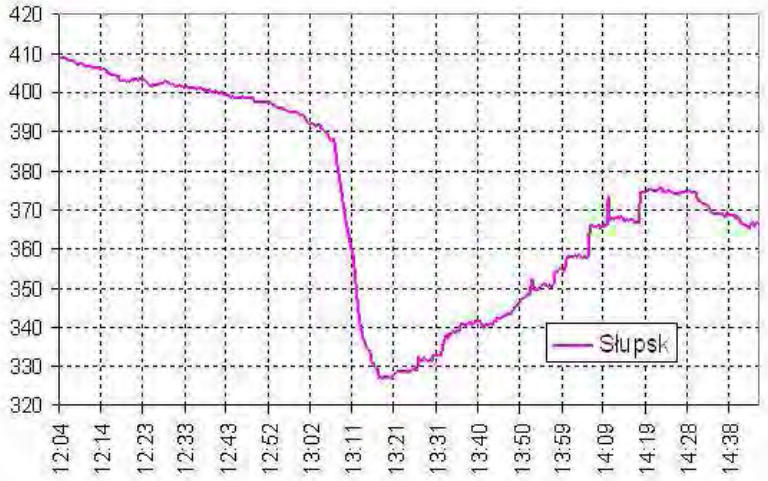


Lessons Learned

- In case of significantly high demand in summer, during long high-temperature period, Polish power system has too small margin for secure operation and there is a risk of voltage collapse
- The required margin can and should be restored through eliminating local reactive power deficits (installation of reactive power sources)
- Till the margin is restored, the voltages and reactive power balances has to be monitored and proper actions undertook
  - required reactive power reserve in generating units has to be kept even at the cost of lowering active power output (TSO staff)
  - higher reactive demand has to be immediately compensated by switching-on shunt capacitors or other sources (DSO staff)
  - TSO should be informed about generating units states and full technically possible range of reactive power control should be made available
  - temporary blocking of automatic transformer tap changer control was introduced

SC C2 20

Voltage recordings at 400 kV nodes (2)



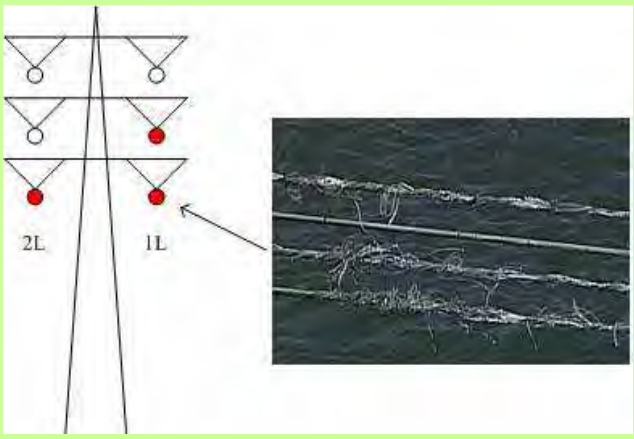
Voltages at 400 kV busbars of Słupsk substation.

SC C2 15

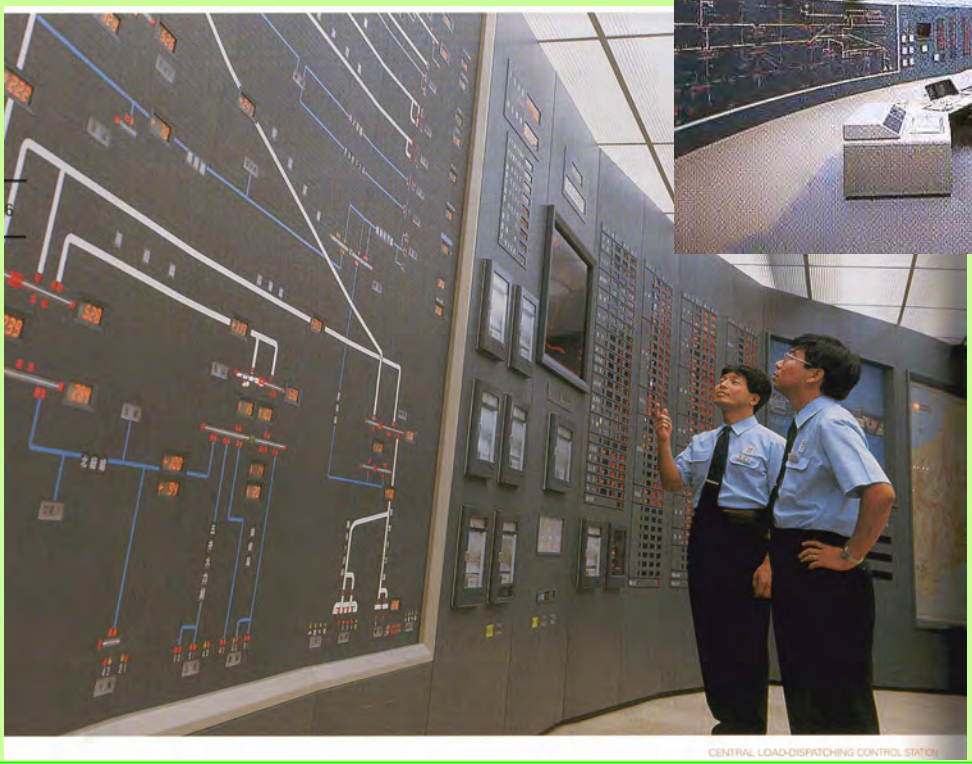
Blackouts in der Stromversorgung

Blackout in Tokio am 14.08.2006

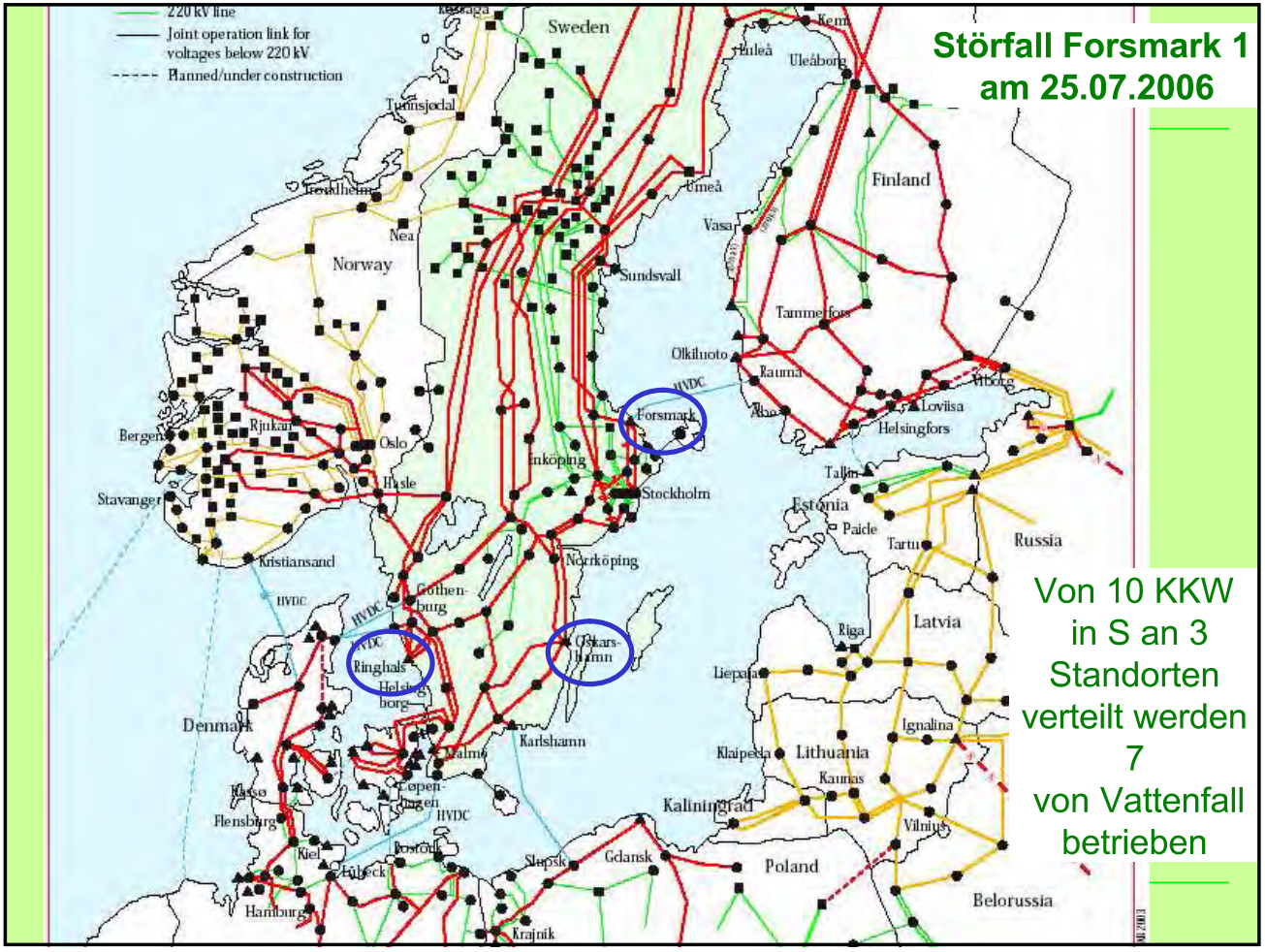
14.08.2006 Schwimmkran auf dem Edogawa-Fluss beschädigt eine 275-kV-Ltg der TEPCO (J) und führt zum zweitschwersten Blackout in der Geschichte Japans, bei dem 1,39 Mill. Haushalte in Tokio für etwa 3 h ohne Strom sind



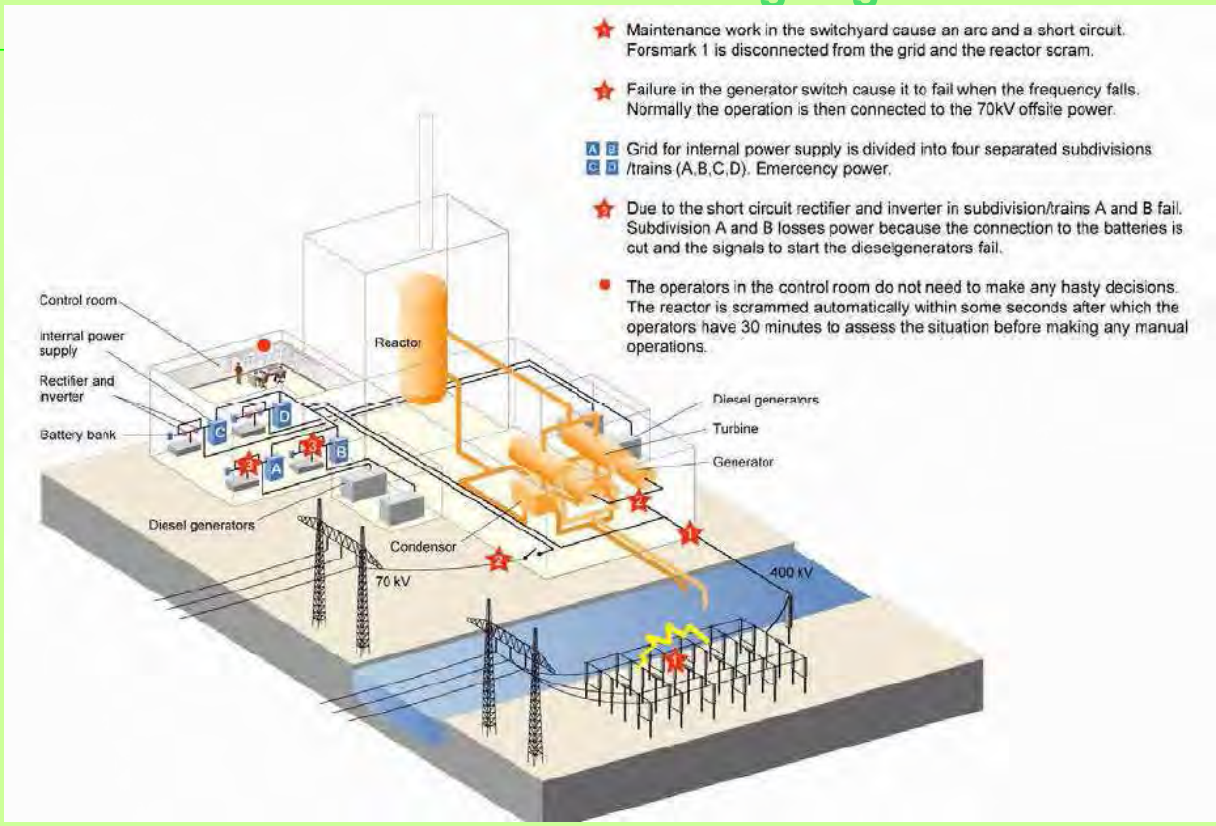
Blackouts in der Stromvers



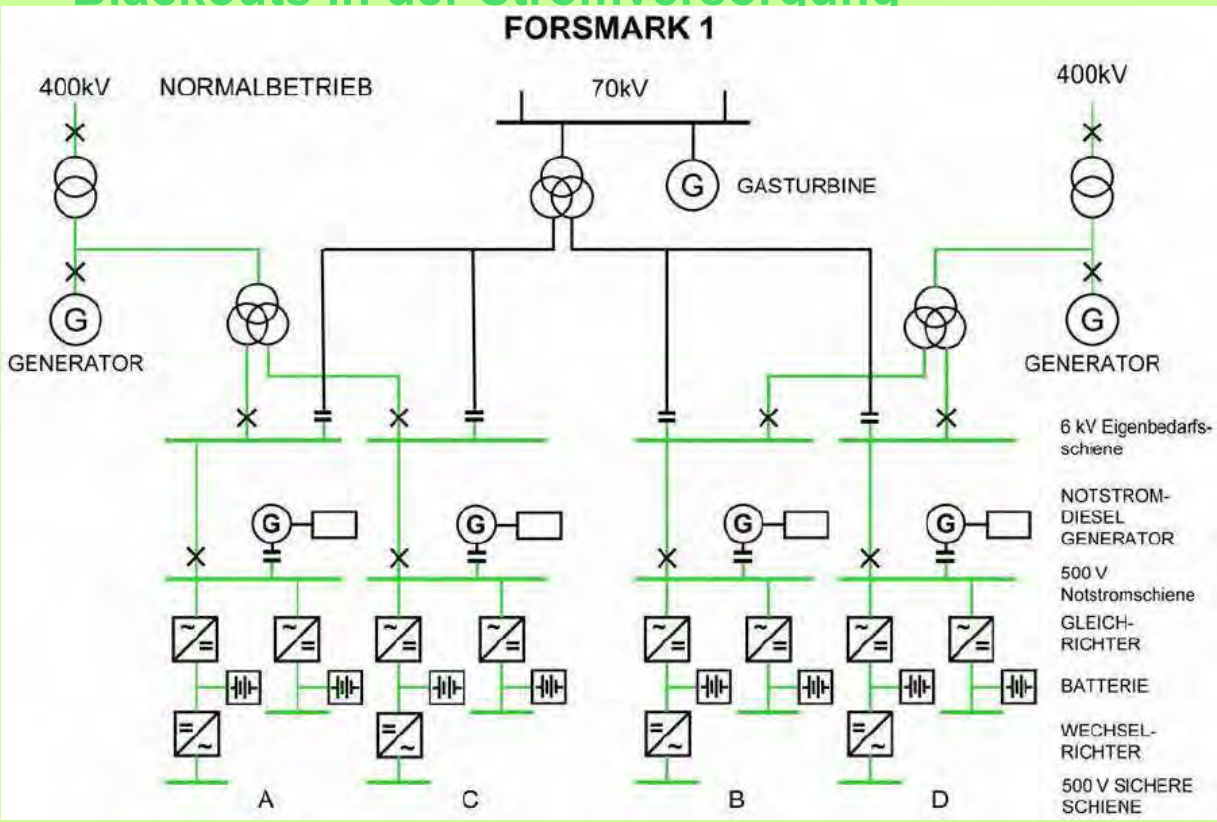
ZLV der TEPCO (J)



Blackouts in der Stromversorgung



Blackouts in der Stromversorgung



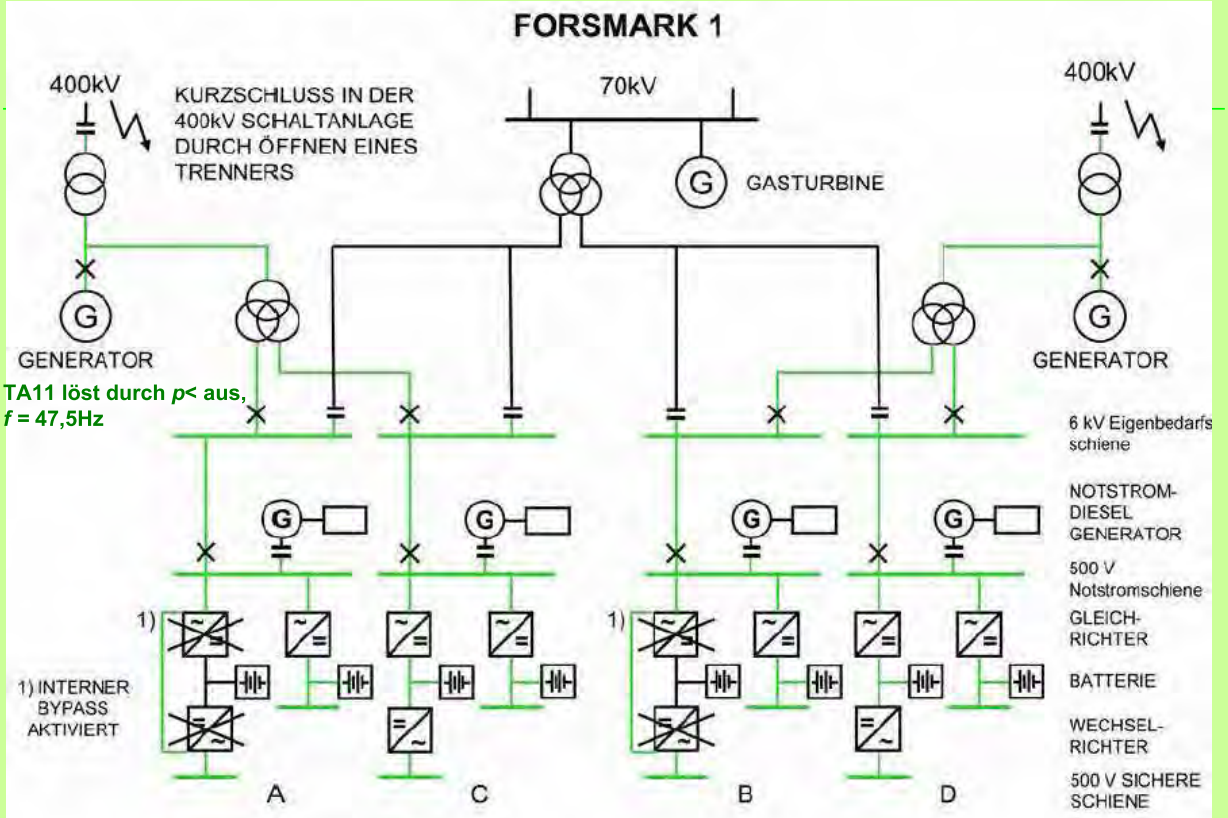


Abbildung 2.3-1: Zustand der Energieversorgung nach t = 5 s

(grün bedeutet Stromschiene unter Spannung, schwarz bedeutet Stromschiene spannungslos)

Blackouts in der Stromversorgung

Störfall am 25.07.2006 in Forsmark1

Zusammenfassung

- In kurzer Zeitfolge traten mehrere Fehler – menschliche und technische - auf
- Öffnen eines Trenners unter Last durch Personal des Netzbetreibers
- Spannungsspitzen durch verzögerte Abschaltung der 400-kV-SS in 300 ms statt 100 ms, dadurch werden zwei der vier Gleich- und Wechselrichter durch *U*> abgeschaltet
- *f*< spricht bei 47,5 Hz bei beiden Gen. nicht an, da falsche Verdrahtung bei Schutztausch im Jahre 2005 erfolgte
- *f* < 47 Hz im 6-kV-EB werden die Einspeise-LS ausgelöst, was zum Starten der Notstromdiesel führt, jedoch jeweils nur einer startet erfolgreich; der andere wegen Ausfall des Wechselrichters nicht
- 2pol. 400-kV-SS-KS wird erst nach 1s abgeschaltet

Blackouts in der Stromversorgung

Störung im UCTE-Netz am 4.11.2006

Störung des kontinentaleuropäischen Verbundnetzes am 04.11.2006

So sieht der Idealfall aus: Europa, lückenlos unter Strom von Gibraltar bis Moskau

© 2006 Financial Times Deutschland, © AP

Blackouts in der Stromversorgung

380-kV-Ems-Kreuzung bei Mark südl. von Weener.
Die Spannweite über der Ems beträgt 405 m, die Masten haben eine Höhe von 84 m

Blackouts in der Stromversorgung

Störung im UCTE-Netz am 4.11.2006

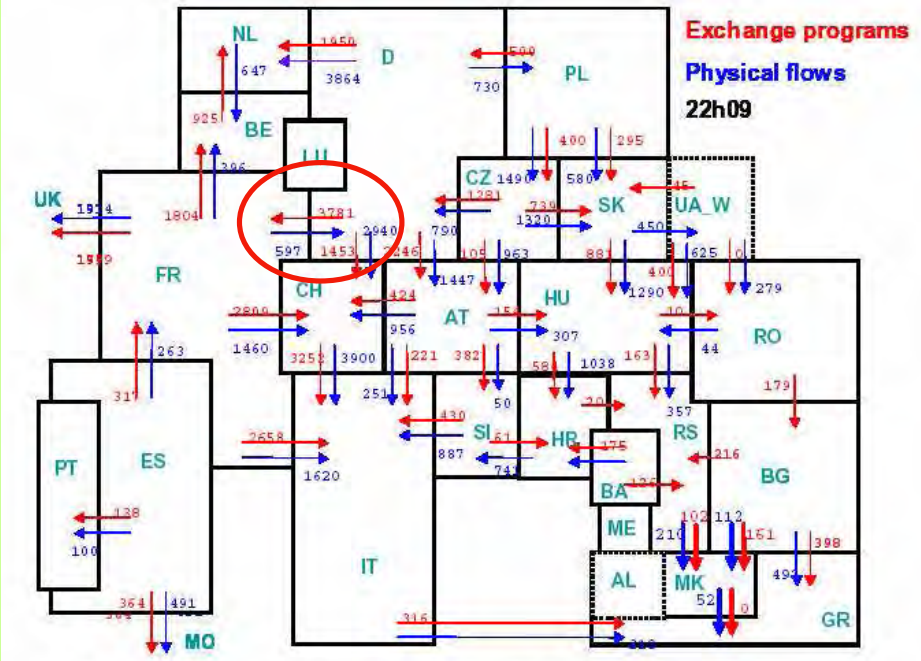


Figure 2: Exchange programs (red) and physical flows (blue) on 4 November at 22:09

Extrembeispiel:
D – Fr
3.781-(-597)
=4.378

Energieaustausch Plan und Ist 1 min vorher [MW]

[UCTE]

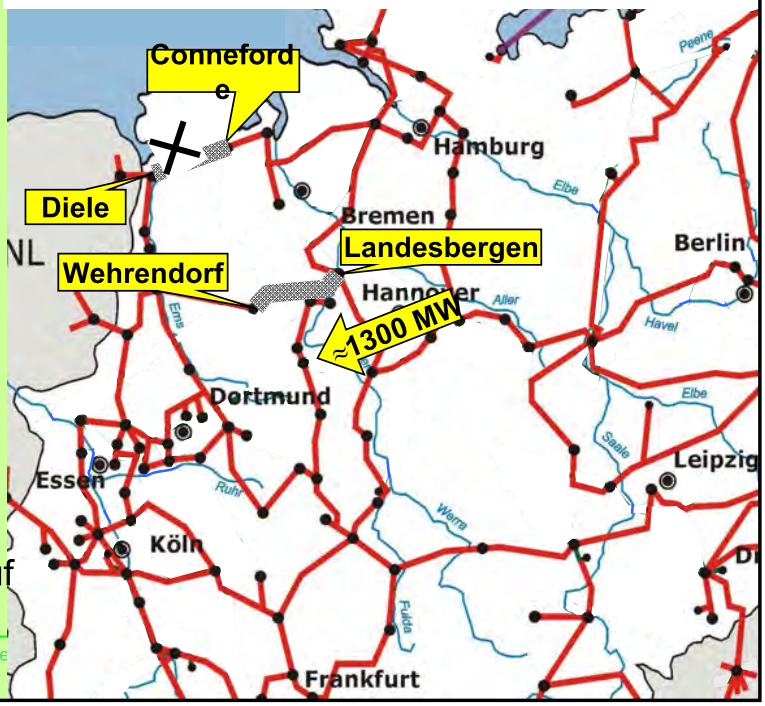
Blackouts in der Stromversorgung

Störung im UCTE-Netz am 4.11.2006

21:29 h Simulationsberechnung ergibt keine Grenzwertverletzung.
N-1-Überprüfung wurde nicht durchgeführt,
Nur am 27.10. bei Genehmigung der beantragten Abschaltung

21:38 h Planmäßige Abschaltung der 380-kV-Leitung Diele-Conneforde für Schiffsüberführung

Lastflüsse verschieben sich erwartungsgemäß nach Süden,
Last auf 380-kV-Leitung Landesbergen-Wehrendorf verdoppelt sich wie erwartet auf ca. 1300 MW.



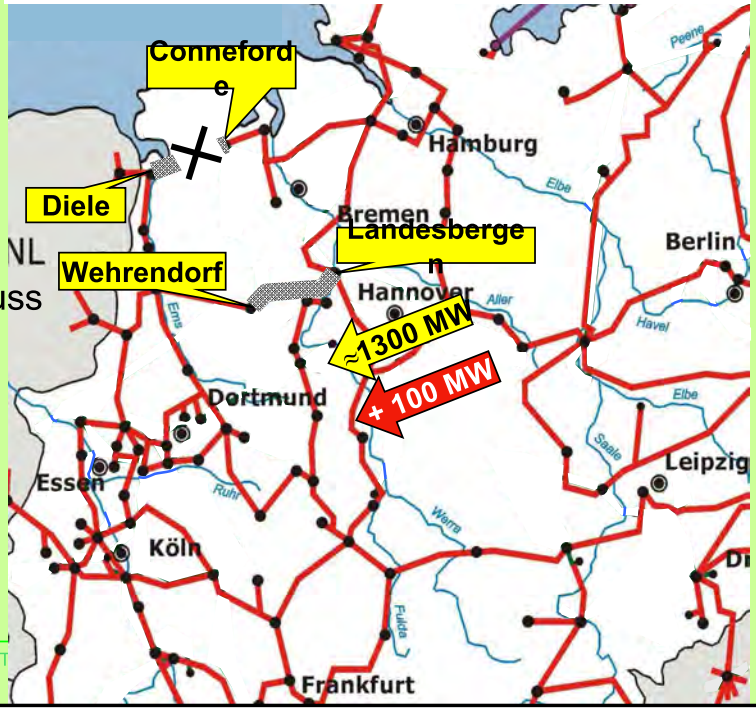
Blackouts in der Stromversorgung

Störung im UCTE-Netz am 4.11.2006

Stabiler Lastfluss bis 22:05, danach Lastanstieg

21:40 – 22:05 h
weitgehend stabiler Lastfluss auf 380-kV-Leitung Landesbergen-Wehrendorf

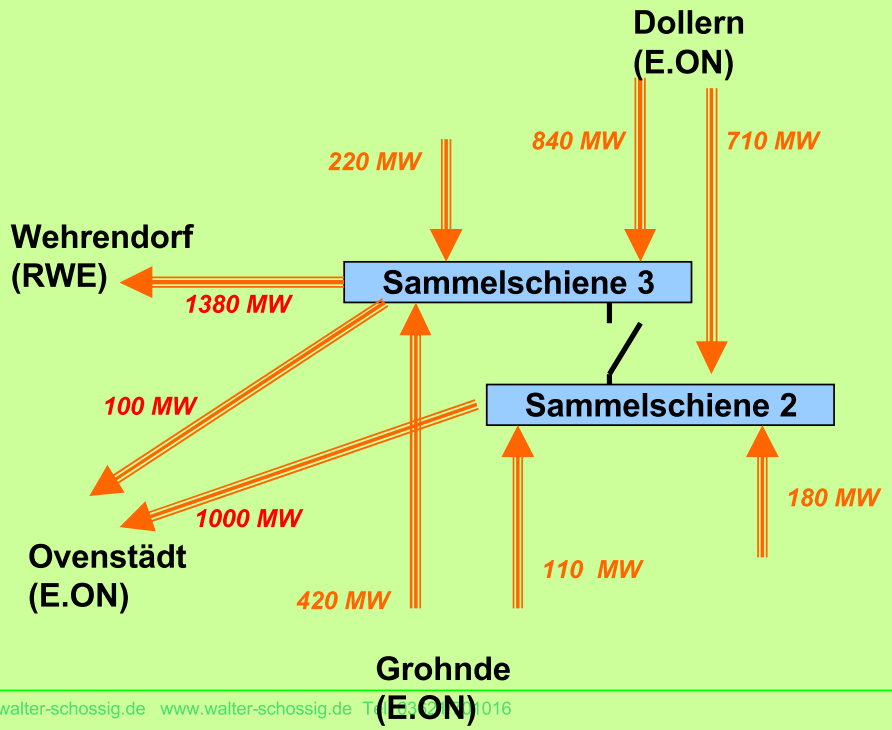
ab 22:05 h
unerwartete Zunahme Lastfluss um ca. 100 MW,
Maßnahmen zur Entlastung nötig



Blackouts in der Stromversorgung

Störung im UCTE-Netz am 4.11.2006

Lastflusssituation 380-kV-UW Landesbergen 22:00 h



Blackouts in der Stromversorgung

Störung im UCTE-Netz am 4.11.2006

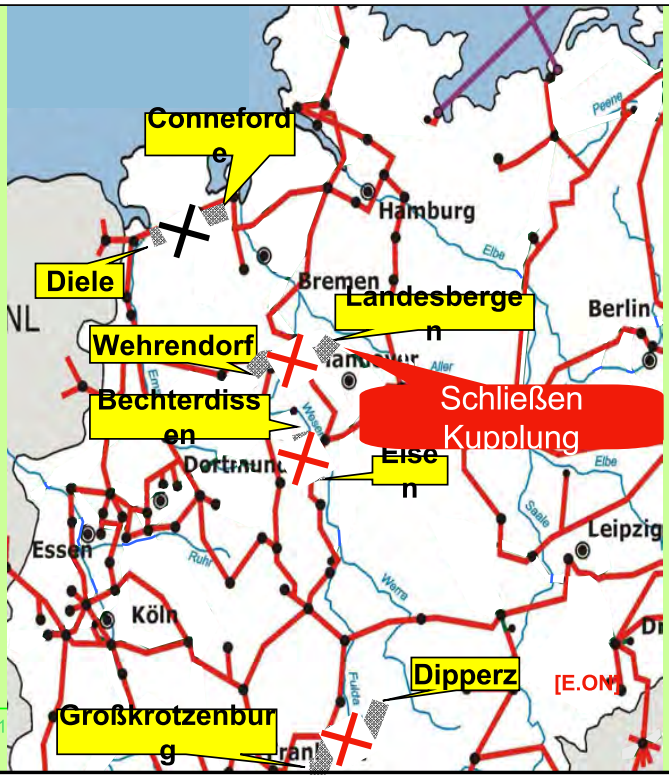
Ausfall Ltg Landesbergen-Wehrendorf – Auslöser für Folgeausfälle

22:10:11 h
Schließen Kupplung in Landesbergen, um Leitungsbelastung zu reduzieren
STATTDESSEN: WEITERER ANSTIEG

22:10:13 h
Automatische Schutzabschaltung Landesbergen-Wehrendorf

22:10:19 h
Automatische Schutzabschaltung Bechterdissen-Elsen

22:10:22 h
Automatische Schutzabschaltung Dipperz-Großkrotzenburg



Blackouts in der Stromversorgung

Blackouts in der Stromversorgung

Störung im UCTE-Netz am 4.11.2006

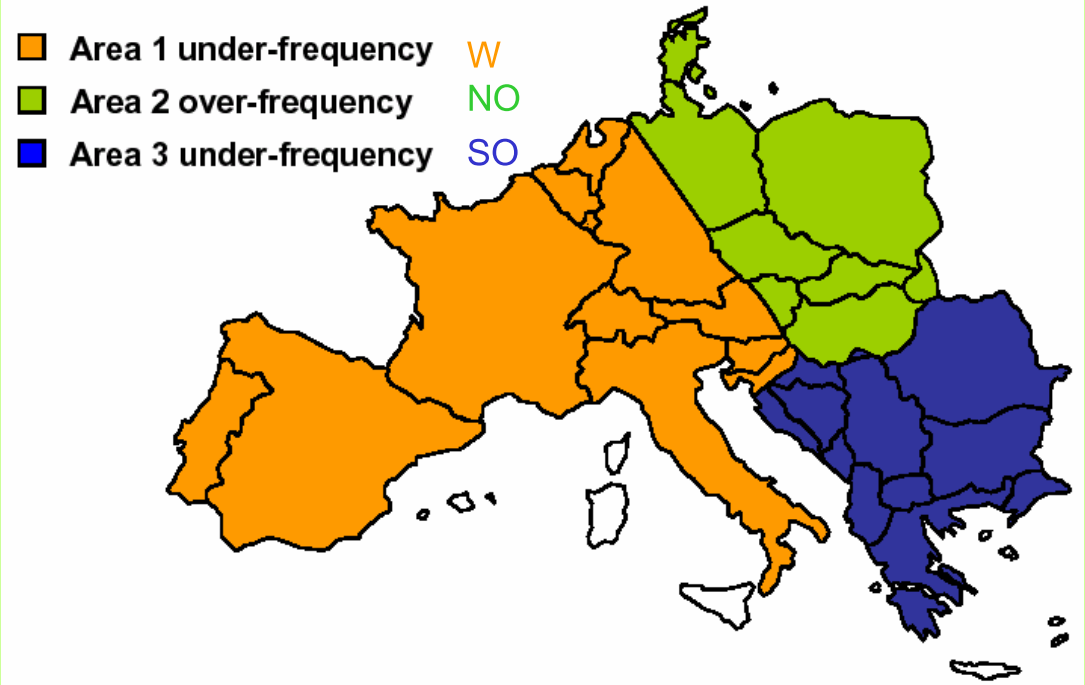


Figure 4: Schematic map of UCTE area split into three areas

Die entstandenen drei UCTE-Inselnetze [UCTE]

Blackouts in der Stromversorgung

Störung im UCTE-Netz am 4.11.2006

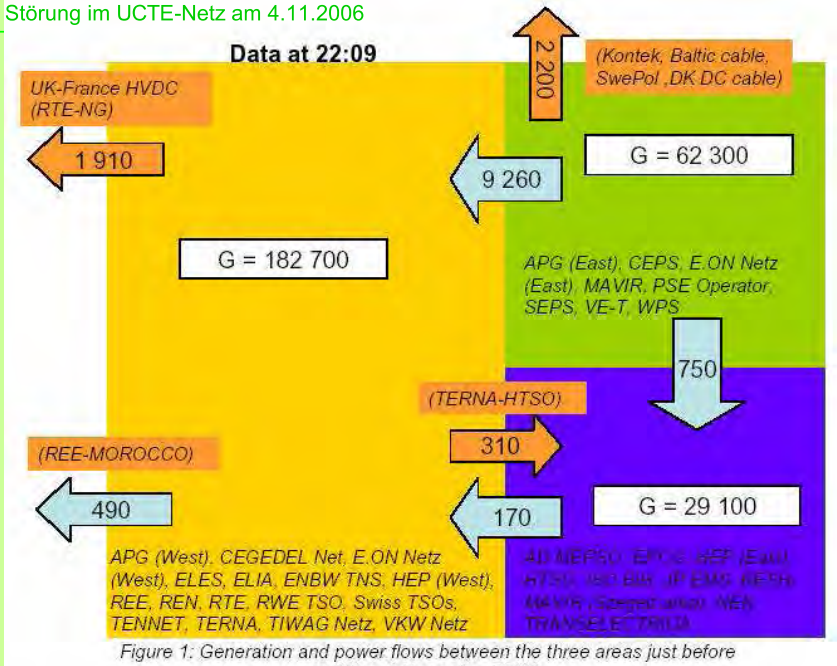


Figure 1: Generation and power flows between the three areas just before splitting 4 November 22:09

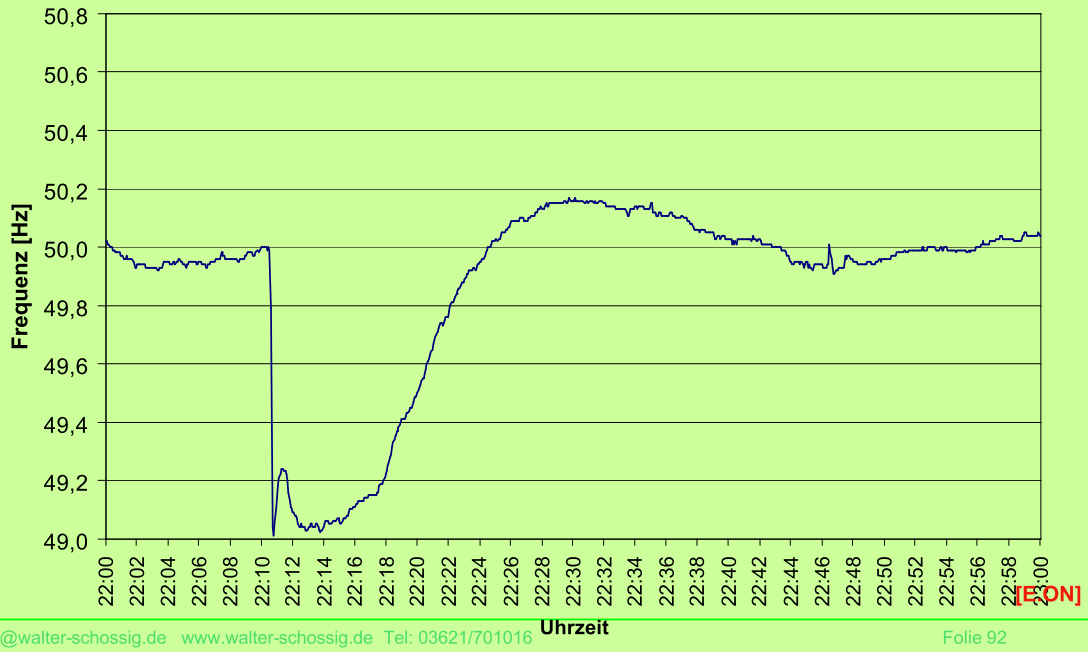
Lastverhältnisse 1 min vor der Schaltung in späteren Insel-netzen der UCTE

[UCTE]

Blackouts in der Stromversorgung

Störung im UCTE-Netz am 4.11.2006

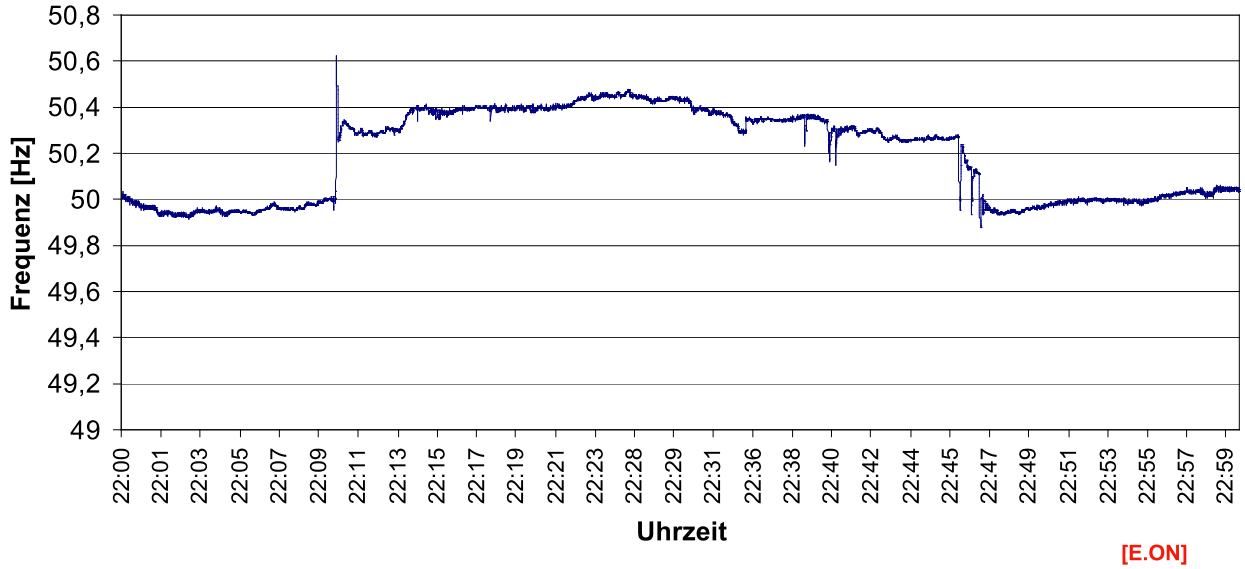
Frequenzverlauf Teilnetz West



[E.ON]

Blackouts in der Stromversorgung

Frequenzverlauf Teilnetz Ost



[E.ON]

Blackouts in der Stromversorgung

Störung im UCTE-Netz am 4.11.2006

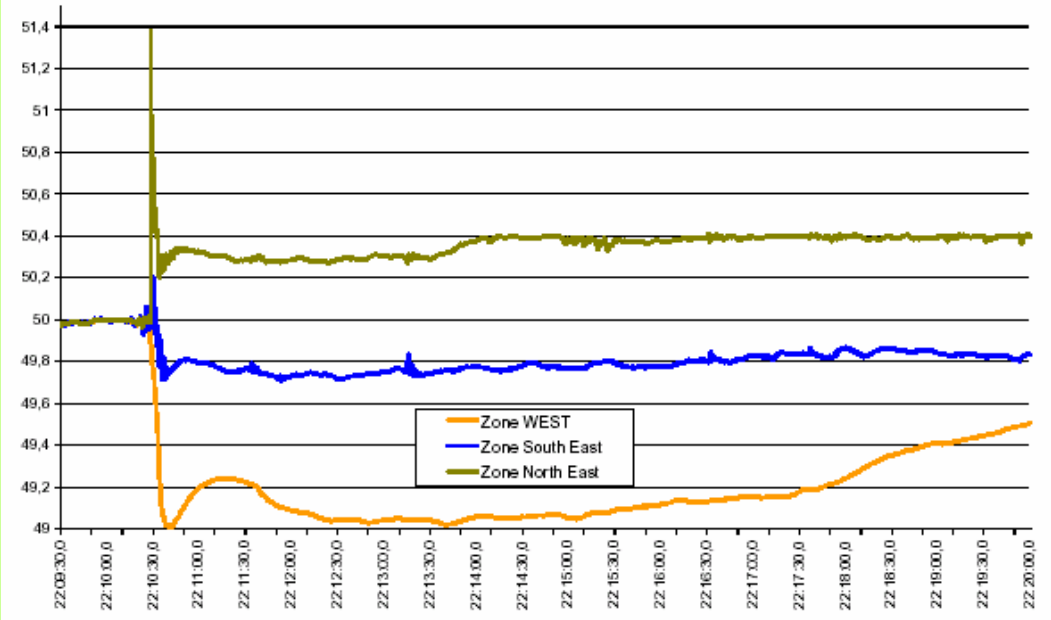


Figure 6: Frequency recordings after the split

Frequenzverlauf nach der Netztrennung

[UCTE]

Blackouts in der Stromversorgung

Störung im UCTE-Netz am 4.11.2006

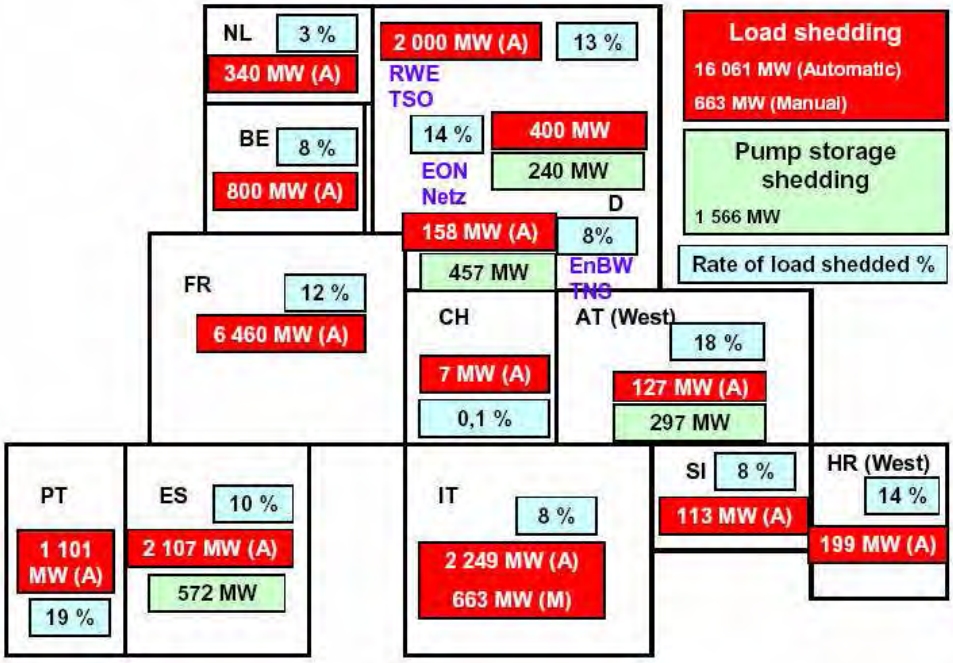


Figure 7: Map of load and pumps shedding by TSOs

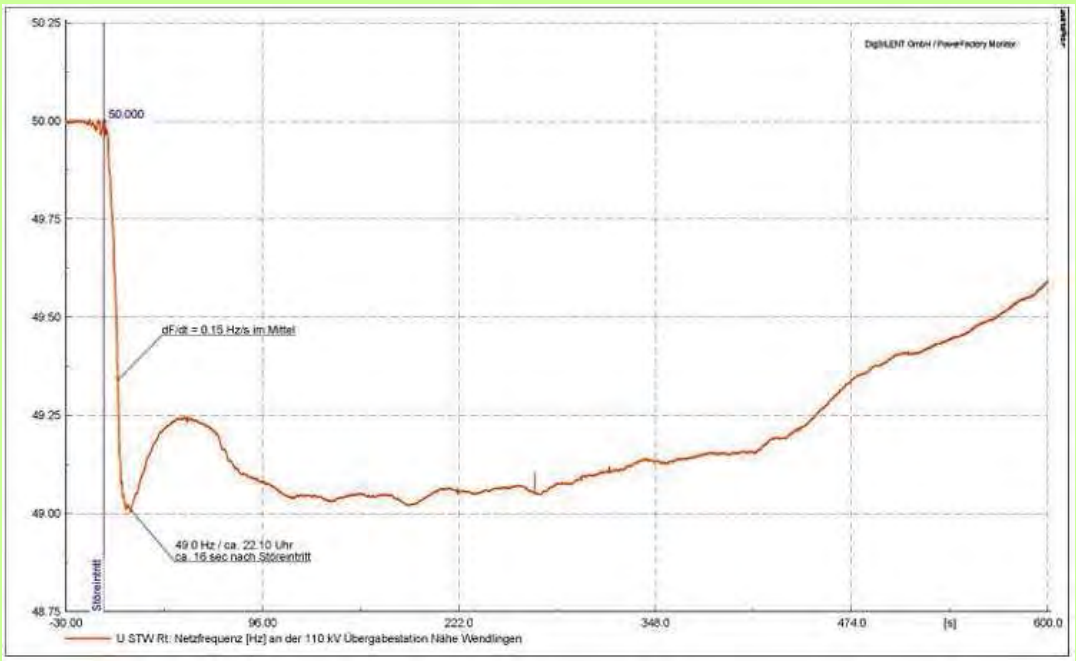
f = 49,0 Hz

f = 49,5 Hz

Pumpbetriebeinstellung und Lastabwurf in den TSOs [UCTE]

Blackouts in der Stromversorgung

Störung im UCTE-Netz am 4.11.2006



Blackouts in der Stromversorgung

Störung im UCTE-Netz am 4.11.2006

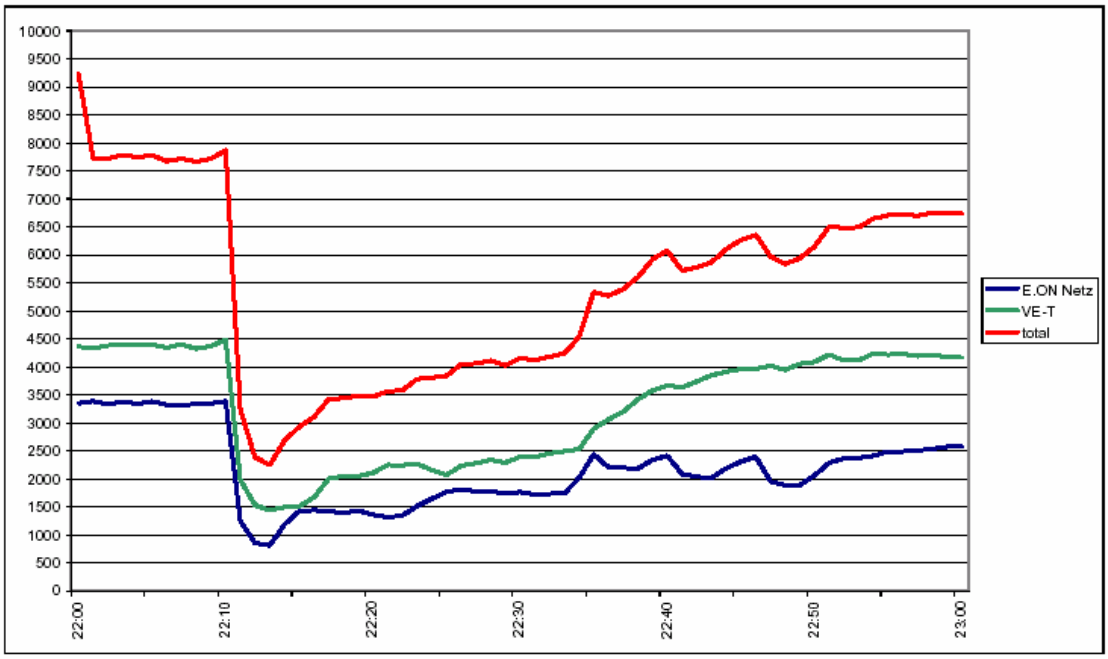


Figure 13: Output of windmills (VE-T, E.ON Netz, from 22:00 to 23:00

WKA-Einspeisung von 22:00 bis 23:00 Uhr

[UCTE]

Blackouts in der Stromversorgung

Störung im UCTE-Netz am 4.11.2006

Am 4. November 2006 galten in den Netzstationen Landesbergen und Wehrendorf folgende Schutzeinstellungen:

	Grenzwerte	E.ON (Landesbergen)	RWE (Wehrendorf)
1	Thermischer Grenzwert	2000 A	2000 A
2	Sicherheitsgrenzwert, Alarmwert	2000 A	1795 A (90% von 3)
3	Schutzgrenzwert	2550 A (85% von 4 für max. 1h)	1995 A (95% von 4)
4	Auslösewert/Anregewert	3000 A	2100 A

Tabelle 1: Schutzeinstellungen in Landesbergen und Wehrendorf

Eingebauter Distanzschutz P571 (HS) und P551 (RS) P437

Distanzschutz bildet keinen geeigneten Überlastschutz

[UCTE][BNetzA]

Blackouts in der Stromversorgung

Sturmtief „Kyrill“ 18. bis 20.01.2007

8 Mastumbrüche bei VE-T, a.u. 220-kV-Ltg Vib-Wk

Blackouts in der Stromversorgung

Sturmtief „Kyrill“ 18. bis 20.01.2007

Blackouts in der Stromversorgung

Sturmtief „Kyrill“ 18. bis 20.01.2007

Blackouts in der Stromversorgung

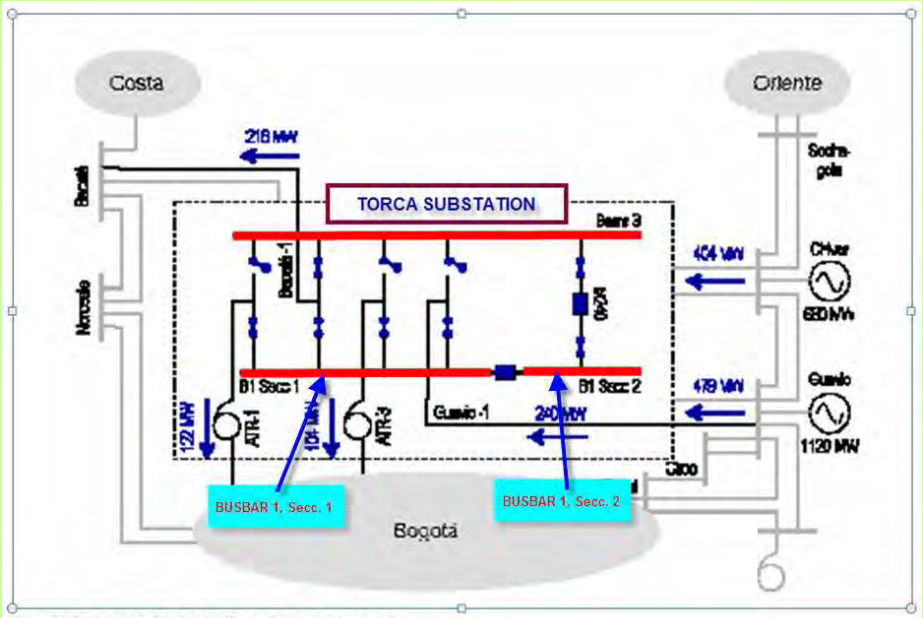
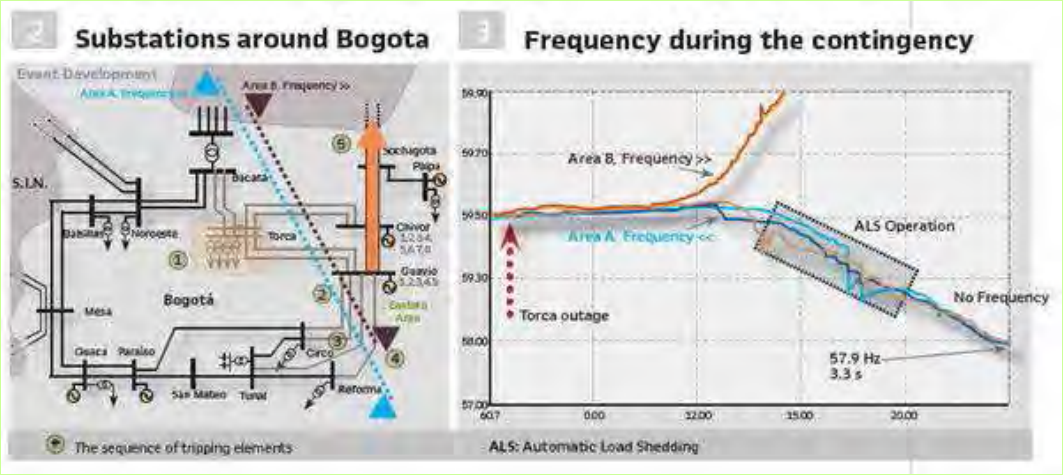


Fig. # 1 Torca Substation Arrangement

31 von 32 Regionen
größter Störfall seit 22 a

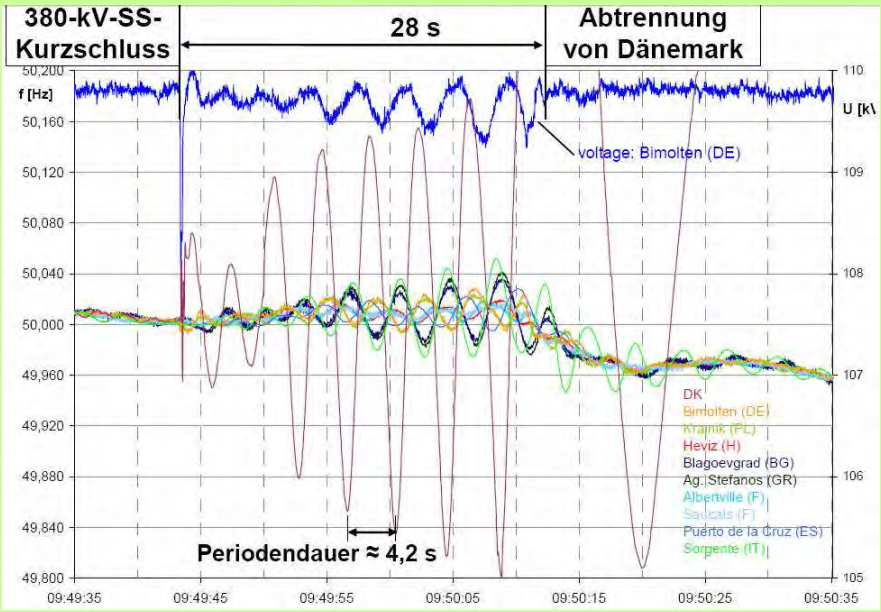
26.04.2007 Öffnen eines SS-Trenners bei Wartungsarbeiten im 230-kV-UW Torca (Kolumbien)

Blackouts in der Stromversorgung



Trennung in Netz A mit Unter- und B mit Überfrequenz
ALS ohne Erfolg

Blackouts in der Stromversorgung



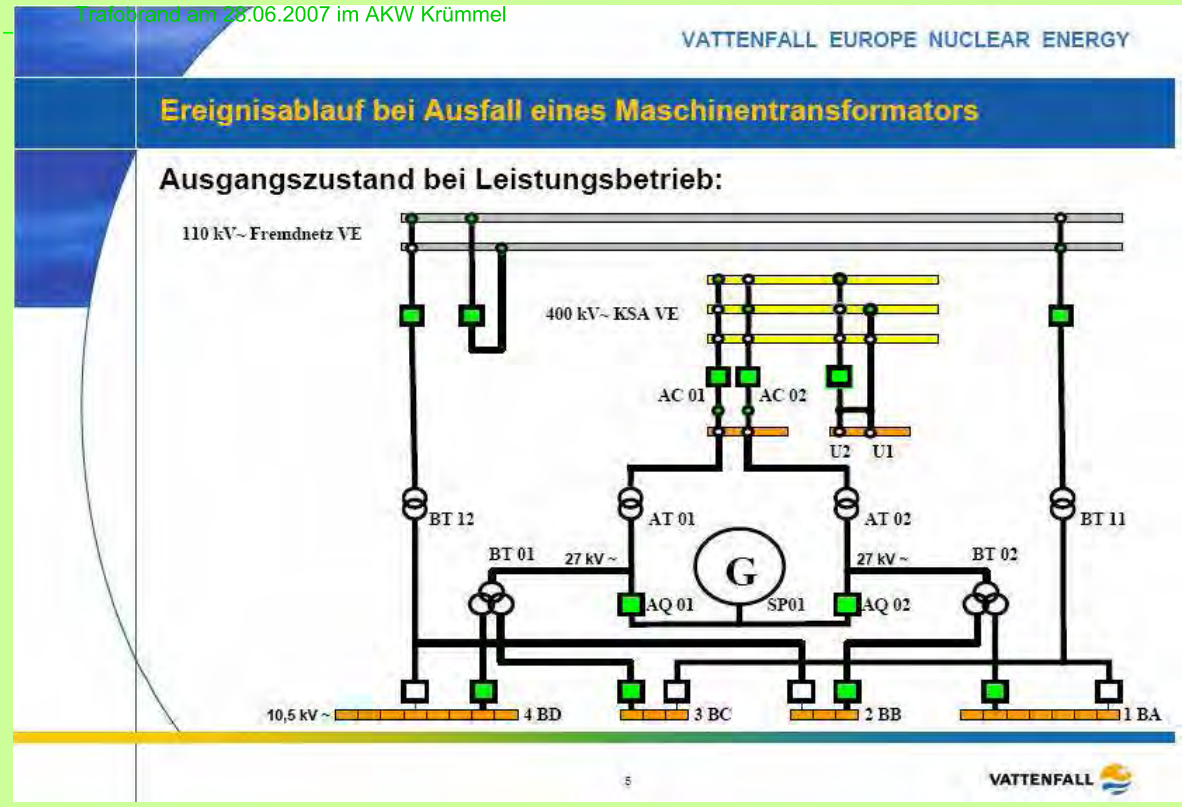
29.05.2007 Defekter 380-kV-I-Wdl im grauen Bereich des SS-Schutzes in der Ku führt zur Auslösung beider SS u. Abtrennung DK vom UCTE-Netz

Blackouts in der Stromversorgung

Trafobrand am 28.06.2007 im AKW Krümmel

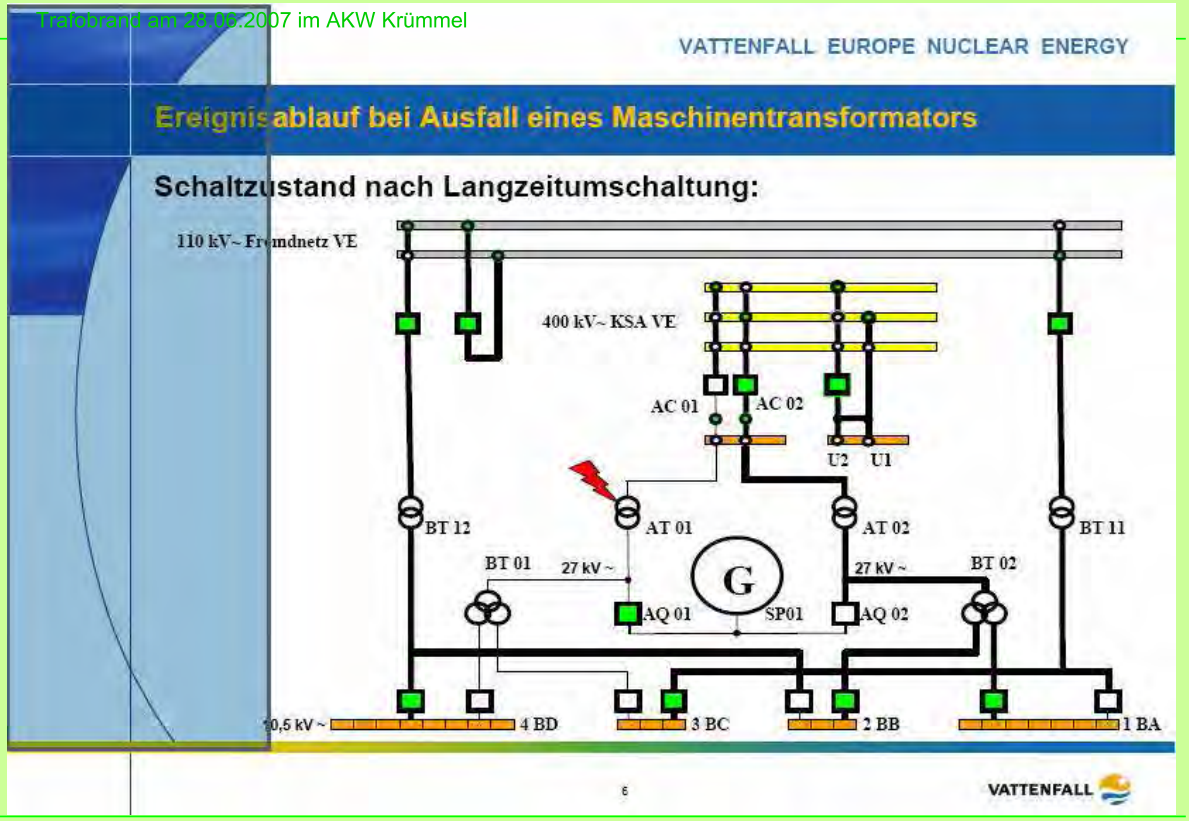
Blackouts in der Stromversorgung

Trafobrand am 28.06.2007 im AKW Krümmel

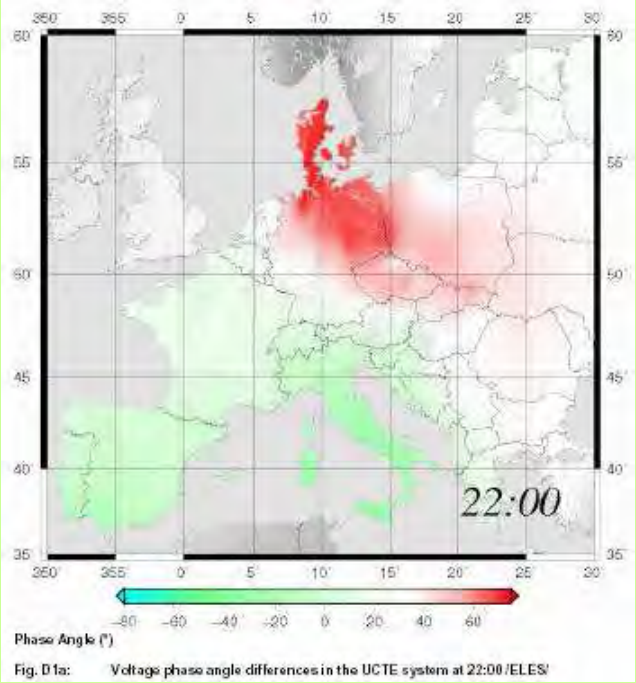


Blackouts in der Stromversorgung

Trafobrand am 28.06.2007 im AKW Krümmel



Blackouts in der Stromversorgung



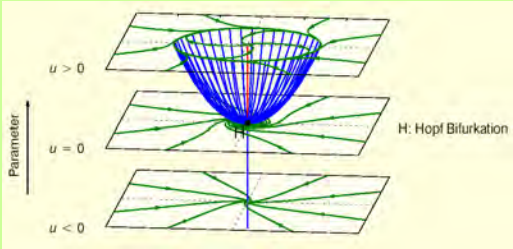
Phasenwinkeldifferenz vor der Schaltung am 04.11.2006 über WAMS

ELES (SLO)

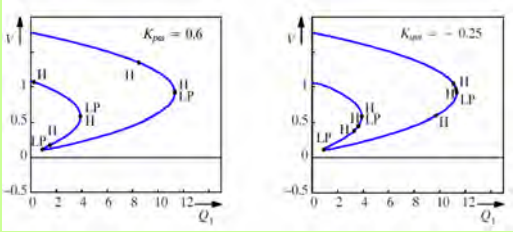
[UCTE]

Hopf-Bifurkation

- Instabilität durch Erreichen einer Hopf-Bifurkation
  - Ein Bifurkations-Punkt ist ein spezieller Punkt, an dem ein nicht-lineares dynamisches System qualitativ seine Eigenschaften ändert. Bei einem Hopf-Punkt treten zusätzliche Schwingungsdynamiken auf, die in der Regel bei Elektroenergiesystemen instabil sind.

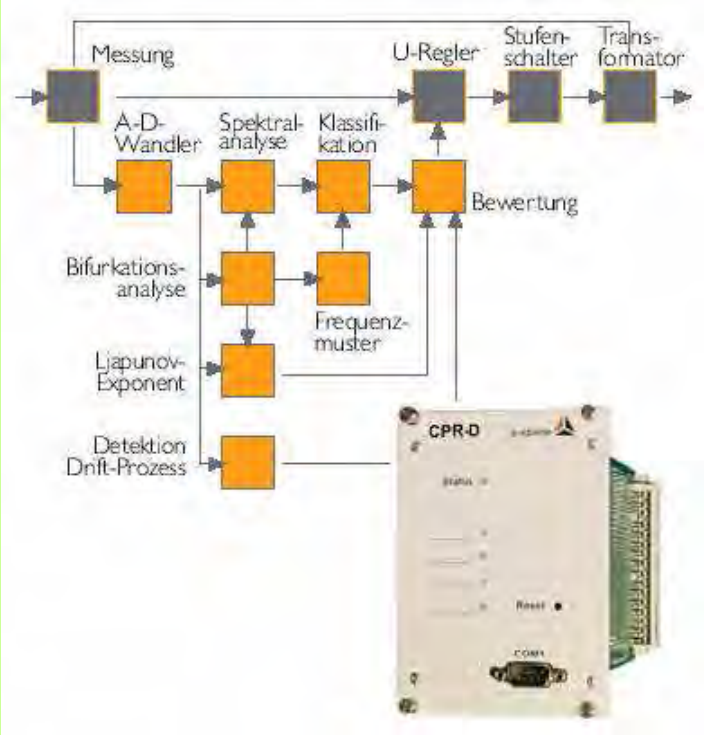


- Zu Erkennen im Bifurkations-Diagramm
  - Die Lage des Hopf-Punktes ist abhängig z.B. von den Lastparametern.
  - Im unteren Bild sind zwei Fälle dargestellt, bei denen unterschiedliche Lasteigenschaften berechnet sind.



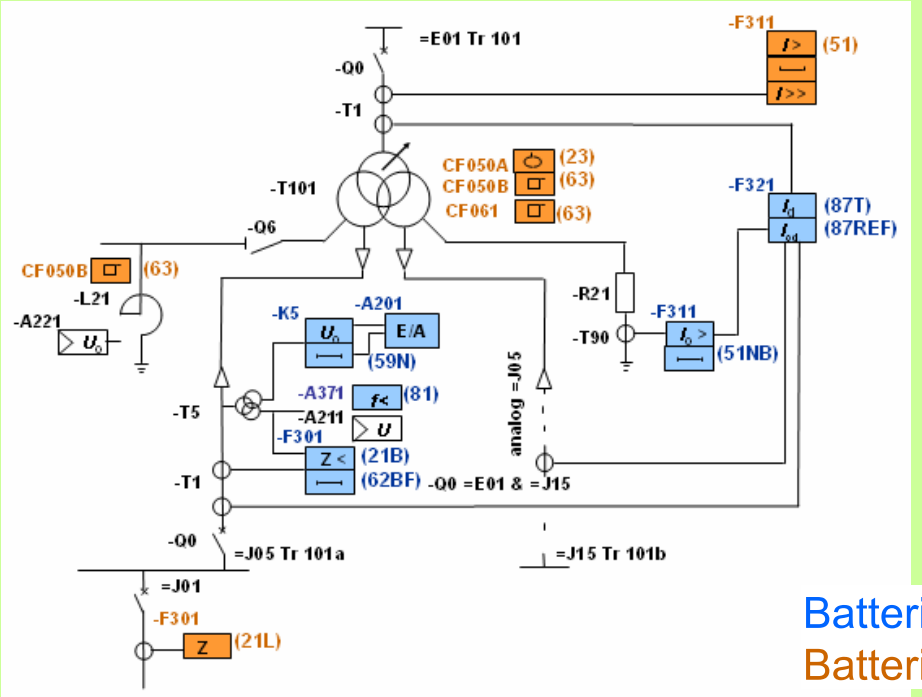
CPR-D, a.eberle

[Fette] [eberle]



- Ersteinsatz bei KELAG, VKW (A)
- Planung VE-T, E.ON u.a.

Blackouts in der Stromversorgung



Batterie 1 (=NK)
Batterie 2 (=NL)

Schutzkonzept 110/20-kV-Trafo

Blackouts in der Stromversorgung

Blackouts in der Stromversorgung

VDN-Ressourcenregister für Krisenfälle

entsprechend dem VDN-Leitfaden zur Großstörungsvorsorge

Information zur Teilnahme über die VDN-Geschäftsstelle unter
(030) 726 148-0 oder info@vdn-berlin.de

VDN
Verband der Netzbetreiber VDN e.V. beim VDEW

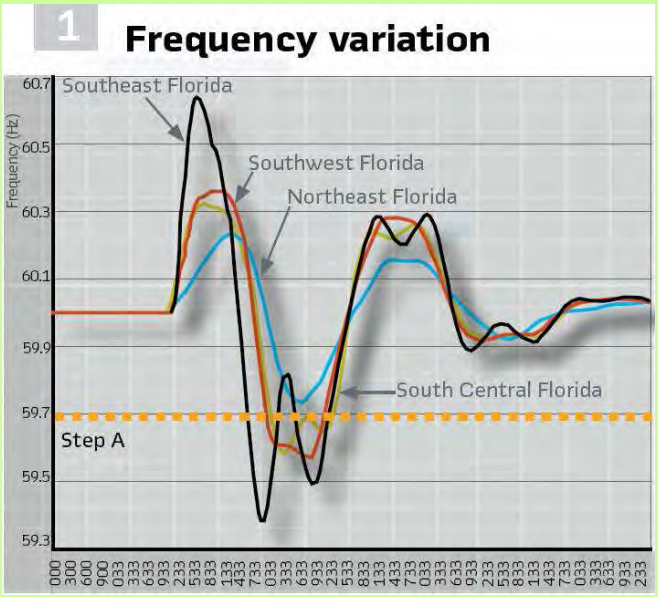
Firma	Ort	PLZ	Notgestänge HöS	Notgestänge HS	Baueinsatzkabel HS	Baueinsatzkabel MS	Trafo HS/MS	Station	Notstromaggregat	Hubsteiger	Notfalltelefonnummer zum Abruf der Ressourcen (24-h-Erreichbarkeit)

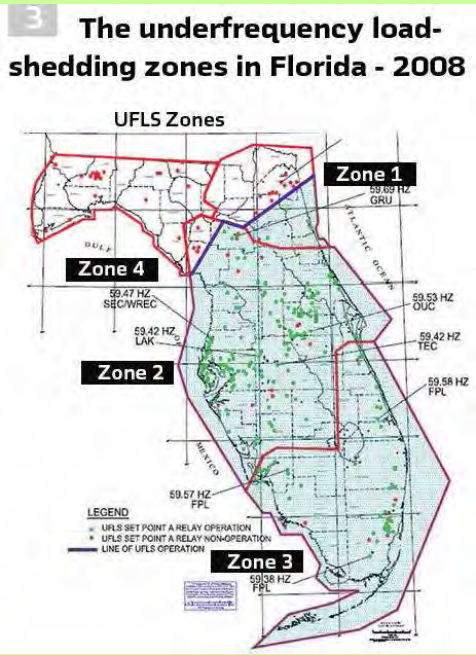
Blackouts in der Stromversorgung

Zunahme von Transformatorexplosionen und Bränden

Eine einjährige Internet-Recherche erbrachte 730 Transformatorexplosionen allein in den USA [5]. Viele Fachleute rechnen damit, dass die Anzahl der Ausfälle in naher Zukunft deutlich ansteigen wird und zwar von ca. 1 % im Jahre 2001 auf etwa 2 % im Jahre 2008 [17]. Vermutlich wird die kürzere Lebensdauer neuer Transformatoren nach 2008 diese Zahl weiter ansteigen lassen.

Blackouts in der Stromversorgung





28.02.2008 Fehler an 138-kV-LS und Brand in UW bei Miami (US), AFE und 1 Mio ohne Strom

Blackouts in der Stromversorgung

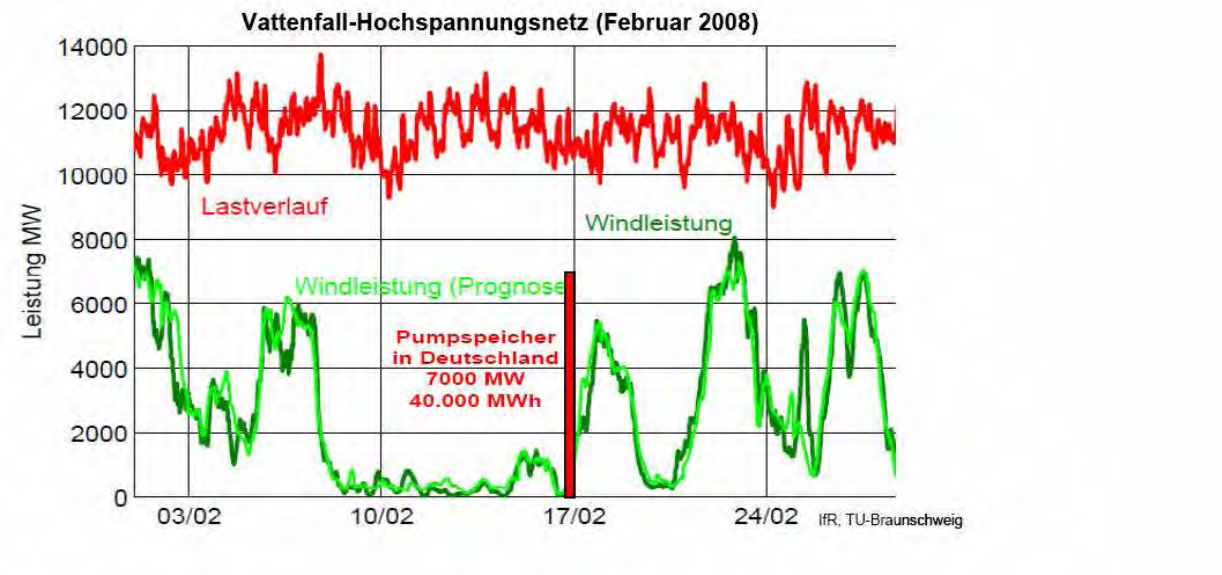


Abbildung 1: Beispiel für den Verlauf von Windenergieeinspeisung und Last in einer Regelzone

2009 VDE-Studie-Energiespeicher, ETG-TF

Blackouts in der Stromversorgung

25.06.2008 Stromausfälle im internat. EM-Fernsehzentrum der UEFA in Wien (IBC) bei Fernsehübertragung des Halbfinales Deutschland - Türkei

Blackouts in der Stromversorgung

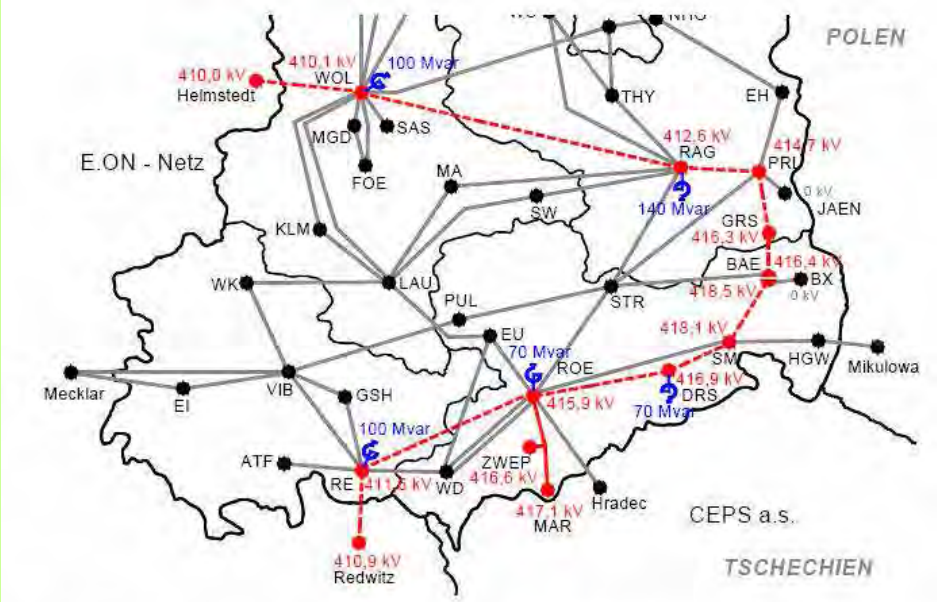


Abb. 1: Netzwiederaufbau im VE-T Netz mit Spannungsvorgabe durch das E.ON Netz

2007 Symposium Studie: Netzwiederaufbau nach Großstörungen. Prellwitz,F.; Krüger,M.; Uni Rostock

Blackouts in der Stromversorgung

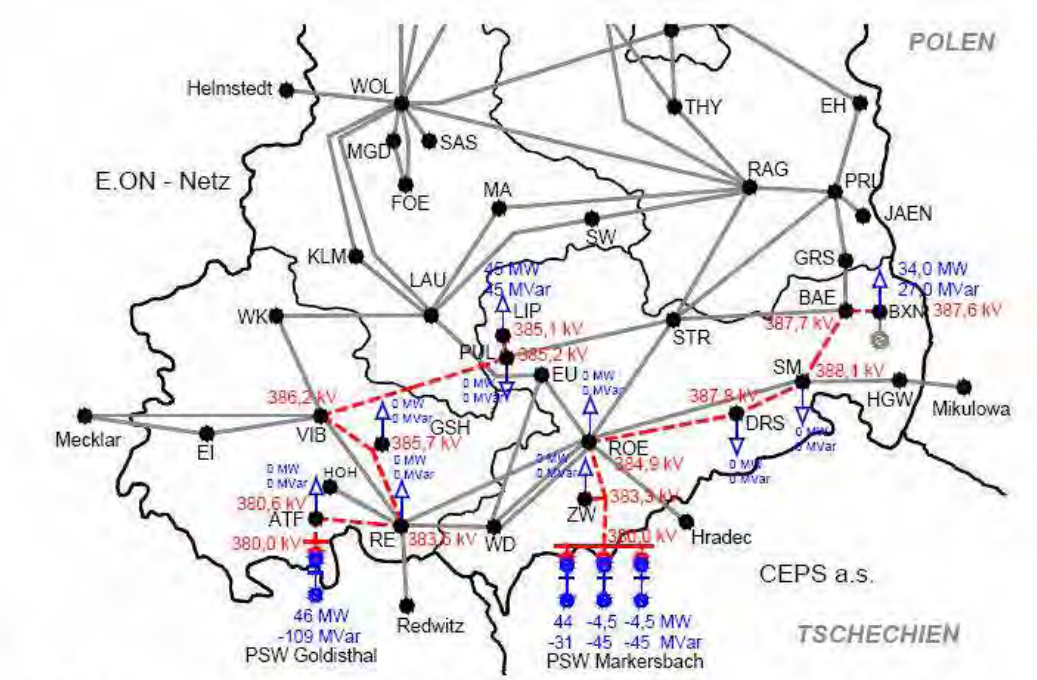
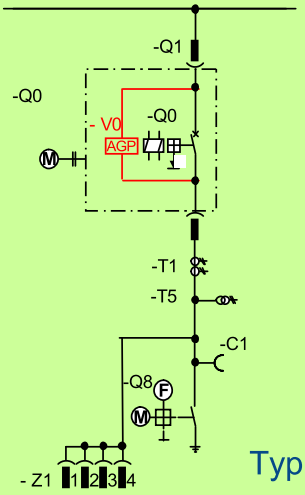
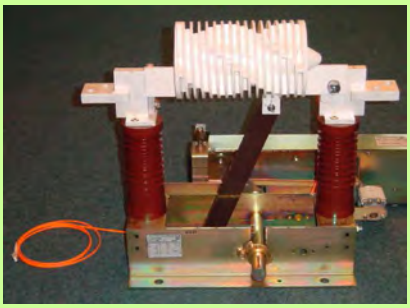


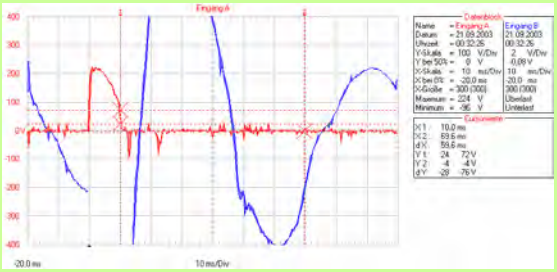
Abb. 3: Netzwiederaufbau im VE-T Netz ohne Spannungsvorgabe von außen

Blackouts in der Stromversorgung

„Weicher“ Schaltversuch







Typical voltage and current characteristic of short circuited overhead line
Distance to short circuit : 70 km

DE Energie SAT AUTOMATION VDE Thüringen

Blackouts in der Stromversorgung

„Tier des Jahres“

Sommer 2007 Störung durch Marder in Landau

13.08.2007 Kurzschluss in Trafoabg. UW Nord , Pfalzwerke

18.11.2007 UW Marienehe, Rostock, Marder löst Tr 101 aus

12.02.2008 Marder im UW Bülach löst Trafo aus, 12.000 Menschen für 40 min ohne Strom

17.03.2008 Kurzschluss an einem Trafo in UW in Trier

22.03.2008 Marder löst einen Libo an einem 150/11-kV-Trafo in Zürich-Schwamendingen aus

Blackouts in der Stromversorgung

17.10.2009 Siebenschläfer sorgt in Stuttgart für 10.000 Menschen für 1,5 h ohne Strom

Blackouts in der Stromversorgung

10.01.2008 Eissturm führt zum 6fachen der zul. Eislast, Zusammenbruch der Stromversorgung in weiten Teilen Chinas, über 100 Ltgen defekt

Blackouts in der Stromversorgung

Bild 1. Eisbesatz von Hochspannungsleitungen während der Schneekatastrophe in China im Januar 2008

Blackouts in der Stromversorgung

Blackouts in der Stromversorgung

Starkwindfront führt trotz Ankündigung und Drosselung konventioneller Kraftwerke zu einer Mehreinspeisung als im VE-T-Netz als benötigt wird
Abschaltung ¼ der angeschlossenen Windräder

Aufruf VET
23.03.2009 03:54 Anforderung von Anpassungen nach § 13 Abs.2 EnWG bei VNB und direkt angeschlossenen Kunden durch VET

Blackouts in der Stromversorgung

Blackouts in der Stromversorgung

Zum Zeitpunkt 02:00 Uhr existierte folgende überschlägige Systembilanz (Einspeisung negativ, Last positiv)

	Einspeisung	Abnahme
Regelzonenlast		5.300 MW
HoBA		5.160 MW
PSW Pumpeinsatz		1.290 MW
HGÜ „Kontek“		550 MW
Verluste		260 MW
Regelsaldo		230 MW
Windenergieeinspeisung	-8.100 MW	
Weiter EEG-Anlagen	-810 MW	
Einspeisung konv. KW	-4.435 MW	
Summe	-13.345 MW	12.790 MW
Leistungsüberschuss	**-555 MW**	

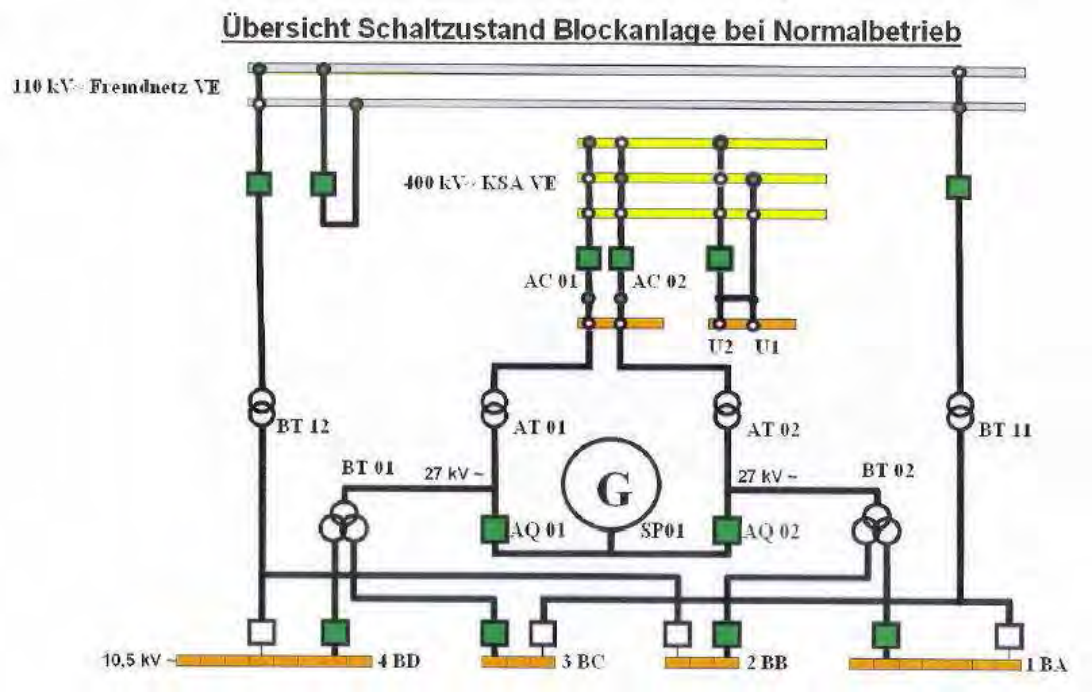
Damit bestand ein Leistungsüberschuss in der Regelzone VE-T von rund 555 MW, der auszugleichen war.

Blackouts in der Stromversorgung

Spital und ETH verfügen über Notstromanlagen, in ETH allerdings zeitlich nicht ausreichend, sodass außer einem alle Server vorübergehend ausfielen

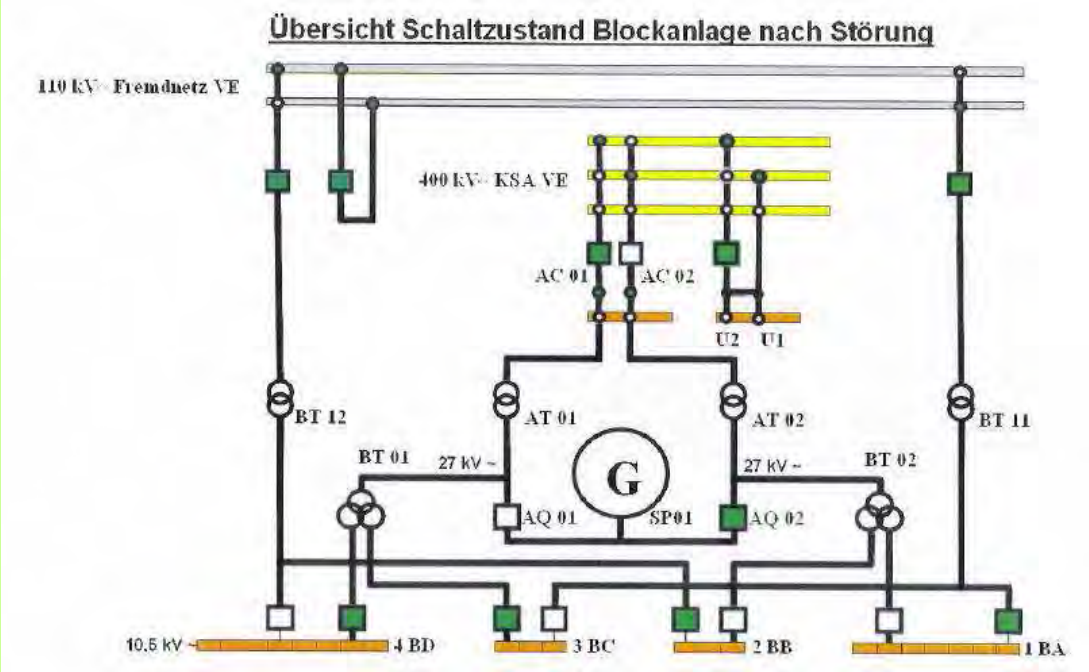
23.09.2009 Kurzschluss im Unterwerk Hönggerberg (CH), 25000 Haushalte, Spital und ETH ohne Strom

Blackouts in der Stromversorgung



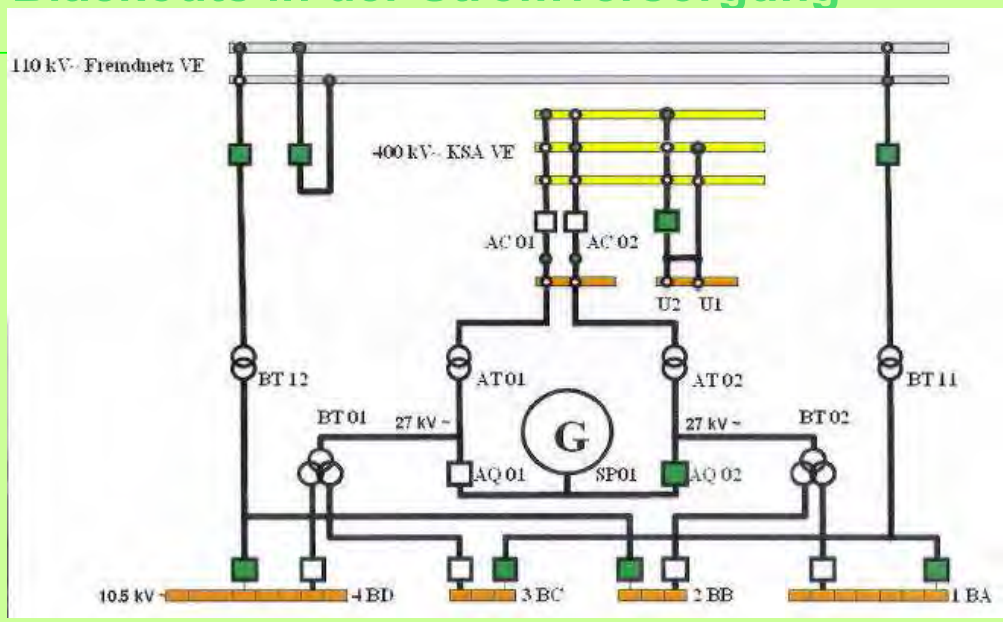
01.07.2009 Auslösung des EB-Trafos BT02

Blackouts in der Stromversorgung



01.07.2009 Auslösung des EB-Trafos BT02

Blackouts in der Stromversorgung



01.07.2009 Fälschlicher Weise von Hand geschlossenes Ventil am EBTr

04.07.2009 Störung am Maschinentrafo, AKW geht vom Netz

Maschinentransformator AT02 nach Schaden am 4.7.2009

3

VATTENFALL

Leck am Isolator der Kerze, 4.7.2009

4

VATTENFALL

Blackouts in der Stromversorgung

1978 IBS, 10 Gen. insg. 6,4 GW ,
240 m Stauhöhe, Stausee 320 km lang

17.08.2009 Unfall im größten WKW Russlands Schuschenskaja

Blackouts in der Stromversorgung

Blackouts in der Stromversorgung

RUSSIAN NEWS & INFORMATION AGENCY NOVOSTI

Wodka nur für Leichenschmaus: Alkoholverbot nach Kraftwerks-Havarie

24/08/2009 14:49 TSCHERJOMUSCHKI, 24. August (RIA Novosti). Die Einwohner der Kleinstadt Tscherjomuschki, in der die meisten Mitarbeiter des Wasserkraftwerks Sajano-Schuschenskaja leben, haben das nach der Havarie beschlossene Verbot für den Spirituosenverkauf mit Fassung aufgenommen.

Die am vergangenen Freitag beschlossene Maßnahme, den Verkauf von hochprozentigem Wodka und Cognac in Tscherjomuschki zu verbieten, begründeten die Behörden mit ihrer Sorge um die Aufrechterhaltung einer "normalen Situation".

"Wenn das Verbot beschlossen wurde, so bedeutet es, dass es notwendig ist", sagte einer der Einwohner in einem RIA-Novosti-Gespräch. "Daran wird niemand sterben."

Blackouts in der Stromversorgung

RUSSIAN NEWS & INFORMATION AGENCY NOVOSTI

Am 3. Oktober legte Russlands technische Aufsichtsbehörde ihren Bericht über die Ursachen der Katastrophe vor. Die Experten wiesen auf Betriebsmängel wie Überbelastung der Turbinen hin. Bei der Inbetriebnahme im Jahre 2000 seien einige Sicherheitsrisiken ignoriert worden.

Auf dem WKW Sajano-Schuschenskaja war ebenfalls eine Modernisierung im Gange, unter anderem wurde ein neues Automatiksystem geliefert, das aber im Ergebnis gerade im wichtigsten Moment versagte.

Blackouts in der Stromversorgung

EIL - Ermittler nennen Ursachen der Havarie im Wasserkraftwerk

rian.ru 03.10.2009 2 Ähnliche

MOSKAU, 03. Oktober (RIA Novosti). Zur Havarie im Wasserkraftwerk Sajano-Schuschenskaja haben unter anderem mehrfache zusätzliche Belastungen des 2. Wasserturbinensatzes des Kraftwerks geführt. Das geht aus dem von den Ermittlern verfassten Dokument hervor. „Infolge mehrfacher veränderlicher Zusatzbelastungen des Wasserturbinensatzes, bei denen die empfohlenen Belastungslimits überschritten wurden, haben sich mit Ermüdung verbundene Beschädigungen von Bindungseinheiten des Turbinensatzes, unter anderem des Turbinendeckels, entwickelt", stellen die Ermittler fest. „Die durch die dynamischen Belastungen verursachten Zerstörungen führten dazu, dass das Deckel abgerissen wurde. Dadurch wurde der Wasserweg des Turbinensatzes undicht gemacht." Wie es im Dokument weiter heißt, war das Personal des Kraftwerks von der Entwicklung der...

[Den ganzen Artikel lesen]

Blackout

18:12 | 03/10/2009

MOSKAU, 03. Oktober (RIA Novosti). Zur Havarie im Wasserkraftwerk Sajano-Schuschenskaja haben unter anderem mehrfache zusätzliche Belastungen des 2. Wasserturbinensatzes des Kraftwerks geführt. Das geht aus einem von den Ermittlern verfassten Bericht hervor.

„Infolge mehrfacher veränderlicher Zusatzbelastungen des Wasserturbinensatzes, bei denen die empfohlenen Belastungslimits überschritten wurden, haben sich mit Ermüdung verbundene Beschädigungen von Bindungseinheiten des Turbinensatzes, unter anderem des Turbinendeckels, entwickelt", stellen die Ermittler fest. „Die durch die dynamischen Belastungen verursachten Zerstörungen führten dazu, dass das Deckel abgerissen wurde. Dadurch wurde der Wasserweg des Turbinensatzes undicht gemacht."

Wie es im Dokument weiter heißt, war das Personal des Kraftwerks von der Entwicklung der Havarie am 17. August überrascht, während die Leitung des Zivilschutzstabs und des Ausrüstungskontrolldienstes das Wasserkraftwerk verlassen hat.

Die Leitung des Dachunternehmens RusHydro und des Wasserkraftwerks haben nicht alles Notwendige für die Verhinderung der Havarie unternommen. Eine ganze Reihe von Anforderungen der entsprechenden Vorschriften wurde von ihnen nicht erfüllt sowie eine Reihe von Föderationsgesetzen wurde nicht eingehalten.

Mitschuldig sind die ehemaligen Leiter der russischen Energiewirtschaft, heißt es im Dokument. So hat der Ex-Leiter der Energieholding RAO UES, Anatoli Tschubais, der diesen Posten 1998 bis 2008 bekleidet hatte, die Akte über die Inbetriebnahme des Wasserkraftwerks unterzeichnet, „ohne den wirklichen Stand der Dinge hinsichtlich der Sicherheit des Kraftwerks entsprechend bewertet zu haben".

„Später wurden keine Maßnahmen zum sicheren Betrieb des Kraftwerks getroffen.

Ex-Energiewirtschaftsminister Igor Jussufow hat keine Mechanismen für eine reale Staatskontrolle über den sicheren Betrieb von Energieobjekten konzipiert.

Unter den Personen, die die Entstehung von Bedingungen mit verschuldet haben, welche zur Entstehung der Havarie führten, nannte die Ermittlungskommission außerdem Wjatscheslaw Sinjugin, Boris Wainsicher, Valentin Stafijewski und Anatoli Djakow.

Blackouts in der Stromversorgung

Lange Vorgeschichte der Katastrophe

Als am 17. August die Turbine Nr.2 sich aus ihrem Fundament losriss und durch einen Wasserdruck von 20.000 Tonnen explosionsartig in die Höhe geschleudert wurde, als Wasser den ganzen Maschinenraum überschwemmte und das Kraftwerk außer Gefecht setzte, war dies kein plötzlicher Unglücksfall, sondern eine lange vorauszusehende Katastrophe. Seit Monaten hatten die Anzeigen des Kraftwerks vor einer Überlastung der Maschinen gewarnt. Geachtet hatte niemand darauf.

Das Wasserkraftwerk Sajano-Schuschinskoje am Oberlauf des **Jennissej** ist seit 1978 in Betrieb. Es war eines der großen sibirischen Bauprojekte des **Komsomol** in der Breschnew-Ära, so wie die **BAM** (Baikal-Amur-Magistrale).

Schon 1979 und dann 1985 und 1988 kam es zu ersten Unfällen, weil zu hoher Druck die Wassersammler zerstörte. Ende der 80er Jahre bildeten sich Risse in der Stauwerksmauer, die mit Hilfe einer französischen Firma gedichtet werden sollten.

03.10.2009 Technische Aufsichtsbehörde RosTechNadsor legt Havarie-Bericht dem Duma-Ausschuss für Energiewirtschaft vor

Blackouts in der Stromversorgung

Wegen zu starker Vibrationen waren bei über 10% der Fundamentsbolzen die Schraubenmuttern abgefallen

Die zehn Hydroaggregate wurden in den Jahren 1978 – 1985 in das Kraftwerk eingebaut. Die Betriebsdauer einer solchen Turbine liegt bei 30 Jahren – die Turbine, die schließlich zum Unfall führte, hatte ein Alter von 29 Jahren und 10 Monaten. Kurz nach der Inbetriebnahme hatte es bereits starke Probleme mit Vibrationen der Turbine gegeben. Zwar gab es 2005 eine Generalüberholung des Kraftwerkes und Anfang 2009 eine kleine Sanierung.

Doch die Unglücksturbine erreichte selbst nach der Wartung häufig Vibrationswerte, die weit über der eigentlich zulässigen Grenze lagen. Laut RosTechNadsor stiegen die Vibrationen in bestimmten Drehzahlbereichen auf das Vierfache des zulässigen Wertes. Geachtet hatte niemand darauf.

Da die Turbine aber nicht im Grundlastbereich mit zulässigen, permanenten Drehzahlen eingesetzt wurde, sondern häufig hoch- und runtergefahren wurde, war sie sehr starken Belastungen ausgesetzt, sagt RosTechNadsor. So waren die **Schraubenmuttern** von sechs der 45 Befestigungsbolzen am Fundament der Turbine, die man wiedergefunden hat, durch die ständigen Vibrationen bereits **abgefallen**. Auch darauf achtete niemand. Die verbleibenden Bolzen konnten schliesslich am 17.August die Belastung nicht mehr aushalten.

Der **Chefingenieur** des Kraftwerks Andrej Mitrofanow hätte laut RosTechNadsor die Turbine eigentlich längst stilllegen müssen. Doch er ist nicht der einzige auf der Liste der Schuldigen, die die Aufsichtsbehörde aufzählt. 25 Personen stehen insgesamt darauf.

Blackouts in der Stromversorgung

Inbetriebnahme ohne Sicherheitsauflagen

Darunter ist auch Anatoli Tschubais. Im Jahr 2000 hat er als Chef des nationalen Stromversorgers RAO EES Rossii unterschrieben, dass dass Kraftwerk betriebsbereit sei – „ohne die nötige Sicherheitseinschätzung", wie RosTechNadsor nun feststellt. Im Gegenteil heisst es in der von Tschubais unterschriebenen Verordnung, Schäden an den Turbinen seien nur "teilweise behoben" worden. Die Anlagen müssten "ausgewechselt" werden - was allerdings nie geschah.

Tschubais selbst verwahrt sich gegen die Vorwürfe. Er sei zwar verantwortlich für die Inbetriebnahme trotz der Sicherheitsmängel. Es sei aber unmöglich gewesen, das Kraftwerk nicht abzunehmen damals, denn das hätte bedeutet, für ganz **Sibirien** den Strom abzuschalten, erklärt er.

03.10.2009 Technische Aufsichtsbehörde RosTechNadsor legt Havarie-Bericht dem Duma-Ausschuss für Energiewirtschaft vor

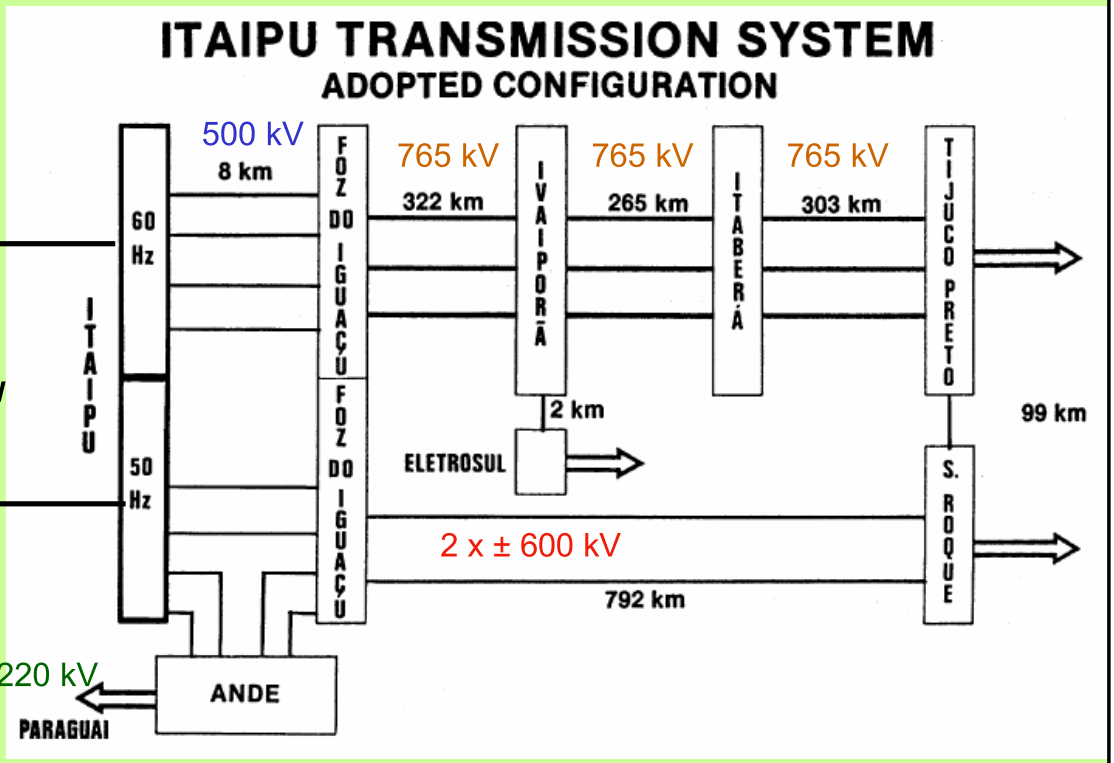
Blackouts in der Stromversorgung

Itaipú Dam, Paraguay/Brazil. The world's largest hydroelectric facility.
Credit: Itaipu Binacional

10.11.2009 Sturm führt Ausfall von 5 HS-Leitungen und zum Ausfall von 20 Generatoren im WKW Itaipu

Blackouts in der Stromversorgung

Blackouts in der Stromversorgung



Thüringer THW hilft in Sachsen

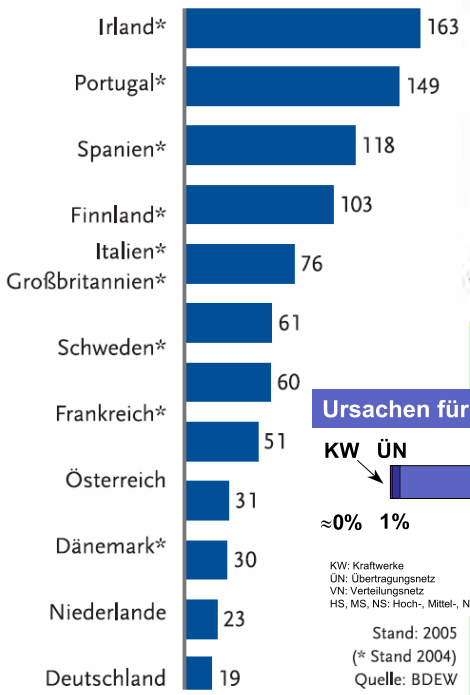
Nach einem Brand im Umspannwerk
Technische Hilfswerk aus Thüringen
Landesverband Sachsen-Thüringen
entsprechender Technik nach Oberlu
Einheiten aus Eisenach, Altenburg, H
THW-Helfer aus Sachsen und Thürin
Umspannwerk Oberlungwitz waren
Region westlich von Chemnitz ohne
Netz. Der Rest soll jetzt vom THW üb

Der Einsatz dauerte von Montag 17.30 Uhr bis Dienstag 14.00 Uhr. Als eingesetzte Helfer waren Heiko Moltz, Martin Weder und Torsten Pinkwart vom Ortsverband Gotha dabei (insgesamt 35 THW-Kräfte waren im Einsatz). Als Technik kamen ein MAN 7t Lbw und eine 200 kVA Netzersatzanlage (NEA) zum Einsatz.

04.01.2010 Brand im UW Oberlungwitz

Blackouts in der Stromversorgung

Durchschnittliche Unterbrechungsdauer der Stromversorgung im Jahr (je Kunde in Minuten)



Stand: 2005
(* Stand 2004)
Quelle: BDEW

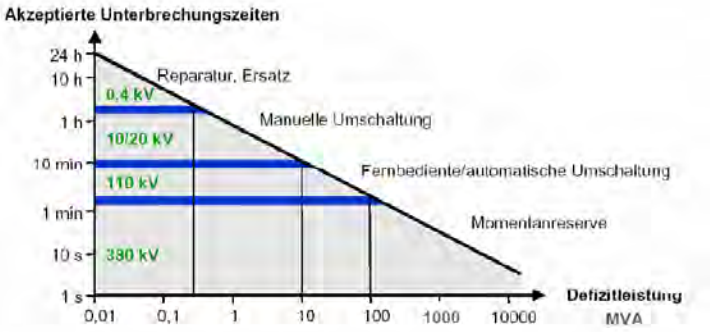
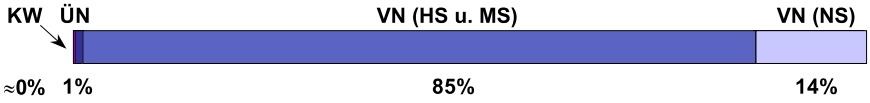
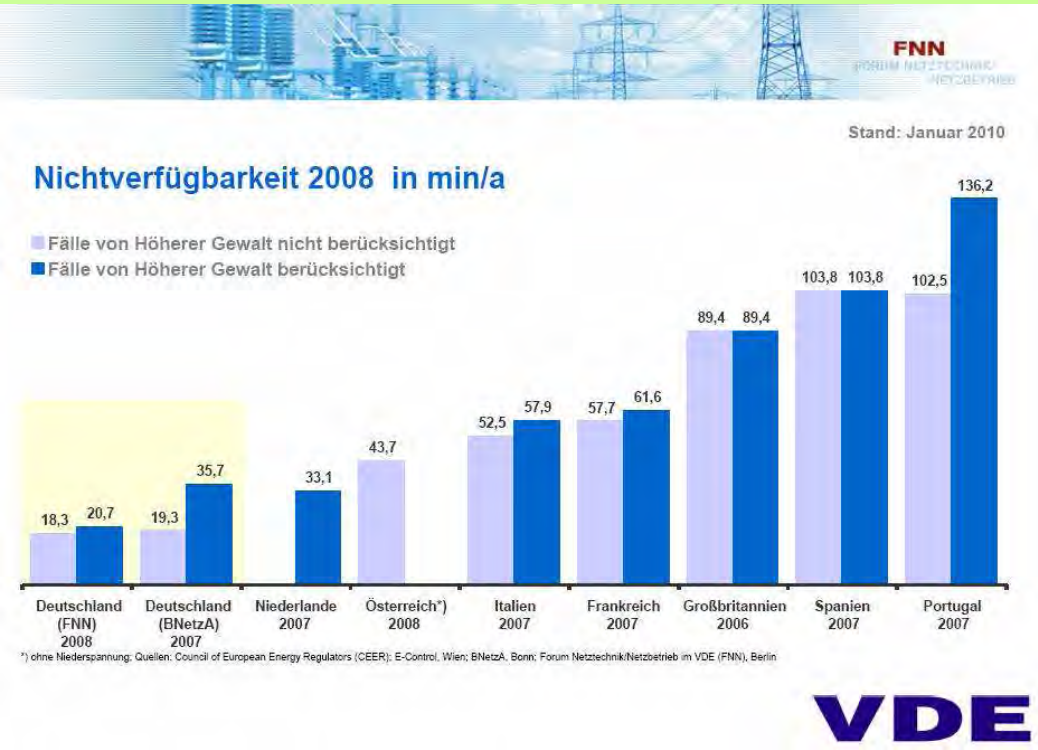


Bild 2.1 Abhängigkeit akzeptierter Unterbrechungsdauern vom Umfang einer Versorgungsunterbrechung (Defizitleistung), angelehnt an „Zollenkopf-Diagramm"

Ursachen für Versorgungsunterbrechungen (in D)



KW: Kraftwerke
ÜN: Übertragungsnetz
VN: Verteilungsnetz
HS, MS, NS: Hoch-, Mittel-, Niederspannung

Quelle: Schwan, M. (FGH), 2003

Blackouts in der Stromversorgung