

Der Blackout in Europa – eine weitere „unbequeme Wahrheit“

Dr. Thomas
Fritsch

Sonderdruck
Ausgabe
04/2007

Dies ist die ursprüngliche Fassung eines Artikels über den Blackout vom 4. November 2006 und der Ursachen, die zu diesem „extremen Ereignis“ führten. In einem Interview erläutert Dr. Fette, wie seine Analysen zeigten, dass der Blackout vermeidbar war. Dieses Interview wurde in der 05/2007 Ausgabe des „Bulletin SEV/VSE“ des Verbandes „electro-suisse SEV“ veröffentlicht.

Der Blackout in Europa – eine weitere „unbequeme Wahrheit“

Nun hat er sich am 4. November 2006 also doch ereignet – der Blackout, der noch 2004 nach Meinung der Vorstände maßgeblicher Energieversorger „jenseits der Vorstellungskraft“ lag (siehe <http://www.energie-fakten.de/html/stromausfall.html>). Das Unverständnis war auch am Tage der „Europa-weiten Systemstörung“, wie es heute heißt, sehr groß. So äußerte ein Manager von RWE in einer Nachrichtensendung des WDR am 4.11.06: „Das hätte gar nicht passieren dürfen und wenn Sie mich gestern gefragt hätten, hätte ich es auch nicht geglaubt.“

Die Aussagen der Betroffenen waren von seltener Eindringlichkeit:

„Europa ist nur knapp einem völligen Blackout entgangen.“

(4.11.06, Vorstand RTE-France, in einer WDR-Nachrichtensendung)

„Es ist genau so gekommen, wie wir es erwartet haben.“

(STW Magdeburg - WELT, 7.11.06)

„Energie-Experten verwiesen auf die Dynamik der Netze“

(WELT, 7.11.06)

Die E.ON Netz GmbH übernahm die volle Verantwortung für den „Europa-weiten Störfall“. Die Vereinigung der Netzbetreiber in Europa (UCTE) sieht in ihrem „Final Report“ (<http://www.ucte.org/pdf/Publications/2007/Final-Report-20070130.pdf>) vom 30.1.2007 die Hauptursachen der „Europa-weiten Systemstörung“ in zwei „systemischen“ Fehlern, die wegen der sich verschärfenden Rahmenbedingungen für die Netze auftraten:

1. Die Nicht-Erfüllung der Gewährleistung des (N-1)-Kriteriums durch E.ON
2. Eine unzureichende Kommunikation zwischen den Netzbetreibern (E.ON und RWE)

Der Präsident der UCTE, J. Penedos, machte in seiner Rede zur Veröffentlichung des abschließenden Untersuchungsberichts deutlich, dass die Netzbetreiber massive Anstrengungen unternehmen müssen, wenn sich derartig großräumige Störfälle nicht wieder ereignen sollen.

Angesichts der Bedeutung dieses „extremen Ereignisses“ für die Sicherheit der Energieversorgung in Europa sehen wir die im electrosuisse SEV Bulletin 15/2006 („Sturmzeichen im Netz – Vorboten von Blackouts rechtzeitig erkennen“) dargelegte Erklärung von Blackouts seitens der Theorie von Dr. Fette bestätigt. Er wird uns in einem weiteren Interview in diesem Artikel den neuesten Stand seiner Analysen zu diesem Beinahe-Blackout erläutern.

Die Bewertung des Störfalls am Abend des 4. November 2006 durch die UCTE

Das Hauptziel unseres Essays „Sturmzeichen im Netz“ war es, die Aufmerksamkeit auf die nicht-linearen Prozesse zu lenken, die mit der wachsenden Komplexität der Netze einhergehen. Die Nichtlinearitäten werden dabei vom Zusammenreffen und Interagieren mehrerer Faktoren bewirkt:

- Anstieg des Stromverbrauchs um 20% von 450 (1995) auf 540 TWh (2006, VDEW),
- Veränderung der Lastdynamik(en), insbesondere durch den wachsenden liberalisierten Stromhandel,
- Veränderte Dynamik des Netzes aufgrund der zunehmenden Einspeisung regenerativer Energien aus Windkraft und Photovoltaik, d.h. Einführung einer stochastischen „Zufalls-Komponente“.
- Dabei blieb die technische Netz-Infrastruktur im wesentlichen auf ihrem ursprünglichen Niveau stehen. Da sie aber für die Gesamtheit der obigen Anforderungen nicht entworfen wurde, erfüllt sie diese auch nicht mehr in angemessener Weise (siehe <http://www.zeit.de/online/2006/45/Stromausfall-Netz>).

Diese Faktoren wurden im „Final Report“ von UCTE ausdrücklich als „Rahmenbedingungen“ hervorgehoben. Unter deren „Regime“ müssen die Entscheidungen der Netzbetreiber zwangsläufig stattfinden, und haben diese am 4.11.06 auch maßgeblich beeinflusst. Das Ergebnis des Zusammenwirkens der o.g. Faktoren ist aber eine *strukturelle Instabilität* der Netze der elektrischen Energieversorgung, die in bestimmten Situationen, durch kleine Anlässe verursacht, äußerst kritisch werden kann. Dies hebt der UCTE-„Final Report“ ebenfalls hervor (siehe auf

S. 13 „Changing function of the transmission grid“). Jene kritischen Situationen lassen sich mit klassischen Analyse-Methoden, die in den Netzleitstellen verwendet werden, nicht adäquat und rechtzeitig vorhersehen, wie Dr. Fette im Interview in „Sturmzeichen im Netz“ feststellte und der Störfall vom 4.11.06 zeigte.

Ursachen-Analyse von UCTE und die Konsequenzen

Im UCTE-„Final Report“ wird auf S. 48 in Punkt 5 „Analyse der Hauptursachen“ unter „Hauptursache 1: Nicht-Erfüllung des „N-1“-Kriteriums“ festgestellt:

„Am 4. November war das E.ON – Übertragungsnetz nach der Abschaltung der 380kV-Leitung Conneforde-Diele (einschließlich einiger seiner Übertragungsleitungen zu Netzgebieten anderer Netzbetreiber) nicht in „N-1“-sicheren Bedingungen.

Nach der Abschaltung der Conneforde-Diele-Leitung lag der resultierende tatsächliche Stromfluss auf der 380kV-Leitung „Landesbergen (E.ON-Netz GmbH)-Wehrendorf (RWE Transportnetz Strom GmbH)“ derart nahe an den Schutzeinstellungsgrenzen der Wehrendorf-Übertragungsstation (RWE), dass selbst eine relativ kleine Leistungsfluss-Abweichung (was in einem hochvermaschten Netz nicht unüblich ist) die Kaskade der Leitungsabschaltungen jederzeit hätte auslösen können. Zwischen 22.00 und 22.10 Uhr, als der Leistungsfluss auf der Landesbergen-Weh-

rendorf-Leitung zunahm, löste dies die Abschaltungs-Kaskade der Schutzeinrichtungen für die Übertragungsleitungen aus und bewies dadurch, dass das (N-1)-Kriterium nicht erfüllt war.“ (siehe Bild 1)

Die in der Öffentlichkeit kursierende Erklärung des Störfalls durch „marode Netze“ ist demnach genauso irreführend, wie die mit „menschlichen Ursachen“. Es wird hierbei schließlich eine technische Infrastruktur unterstellt, die unter sonst gleichbleibenden Bedingungen im Lauf der Zeit altert und deswegen allmählich ihre Funktionsfähigkeit einbüßt. So einfach stellt sich aber die Sachlage leider nicht dar. Der elektrische Strom ist ursprünglich ein allgemeines Versorgungsgut. Seine Verwandlung in eine Ware, die auf einem Markt gehandelt wird, veränderte im Zusammenwirken mit den o.g. Faktoren erheblich die oben als konstant unterstellten Vergleichsbedingungen. Auch ein „verbessertes Engpassmanagement“, wie in einem Leserbrief im electrosuisse SEV Bulletin No. 19 vorgeschlagen wurde, kann der neuen Dynamik des Netzes sicherlich nicht gerecht werden.

Auf der Podiumsdiskussion zur Sicherheit der Energieversorgung im Rahmen der Veranstaltungsreihe „Life needs Power“ (<http://www.life-needs-power.de/programm.html>) auf der Hannovermesse 2006 am 26.4.06 sagte Dr. Christian Sasse (AREVA) „Der Markt stellt idiotische Anforderungen an die Physik!“ Diese Aussage stellte der Blackout vom 4.11.06 unter Beweis, wobei hier das Zusammentreffen mehrerer Faktoren zu berücksichtigen ist:

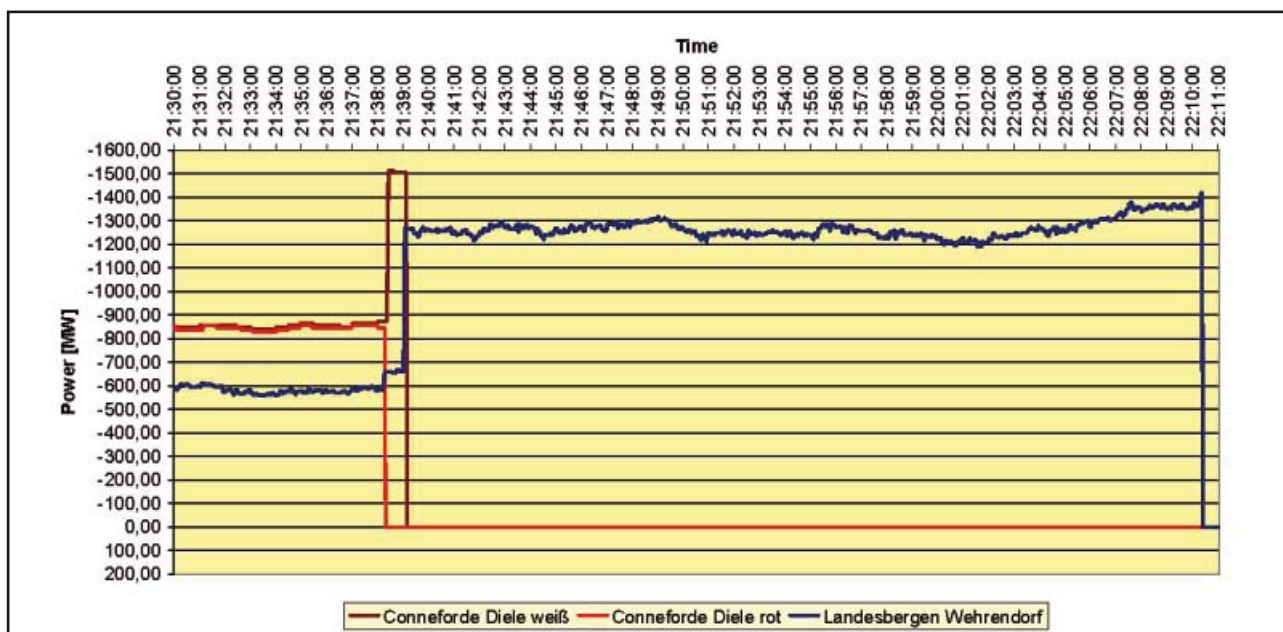


Bild 1: Leistungsflüsse auf den Leitungen Conneforde-Diele und Landesbergen-Wehrendorf (aus UCTE-„Final Report“)

- Eine „kleine Ursache“: das (routinemäßige) Abschalten der 380kV-Leitung „Conneforde-Diele“.
- Die durch die o.g. Abschaltung veränderte Konnektivität/Topologie des Netzes und die daraus sich ergebenden Lastflüsse im nordwestdeutschen Raum bis zum Knotenpunkt Landesbergen, der dort wie ein „Hub“ wirkt.
- Der Fahrplanwechsel für Transferleistungen (um 22.00 Uhr) und damit nochmalige Veränderung des Lastflusses gegenüber der Situation vor der Abschaltung, siehe Bild 2.
- Gleichzeitig die Aktivierung der internen Dienst-anweisung bei E.ON, die Leitungen kurzfristig mit 25% Überlast zu betreiben (siehe UCTE-„Final Report“ und Bild 1).
- Ungenügende wechselseitige Kenntnis der unterschiedlichen jeweiligen Sicherheitsmargen an den Übertragungsleitungen zwischen den Netzgebieten von E.ON und RWE sowie keine Kommunikation hierüber bei den Netzleitstellen (UCTE-„Final Report“ S. 51 – als **Hauptursache 2** des Störfalls genannt).

- Eine zunächst unkritische erhöhte Windkraftspeisung im Netzgebiet von E.ON und VattenFall mit entsprechenden Energieflüssen von Nord und Ost nach Süd-West, die nach dem Störfall beinahe eine weitere Aufspaltung der „area 2“ mit Über-Frequenz in O-Europa initiierte.

War dies nun eine zufällige Verknüpfung von „unglücklichen Umständen“, dass sich der „Störfall“ vom 4.11.06 in dieser extremen Form ereignete? Nach den Aussagen des „Final Reports“ und Dr. Fettes Analysen befand sich „das Netz“ schon lange in einem kritischen Zustand, der am fraglichen Datum durch die o.g. Umstände zum „Beinahe-Blackout“ führte.

Die ausführliche Untersuchung des Hergangs und der Ursachen dieses „extremen Ereignisses“ befindet sich im UCTE-„Final Report“ auf S. 15-23 (Verlauf), S. 48-51 (Hauptursachen) und auf S. 77-82 (Anhang 6, Dynamische Stabilitätsanalyse). Dabei wurde auf S. 77 behauptet: „Gleichwohl war die Systemdämpfung der „inter area oscillations“ (Schwingungen im Netz zwischen den Netzgebieten der Betreiber. T.F.) immer noch zufrieden stellend.“

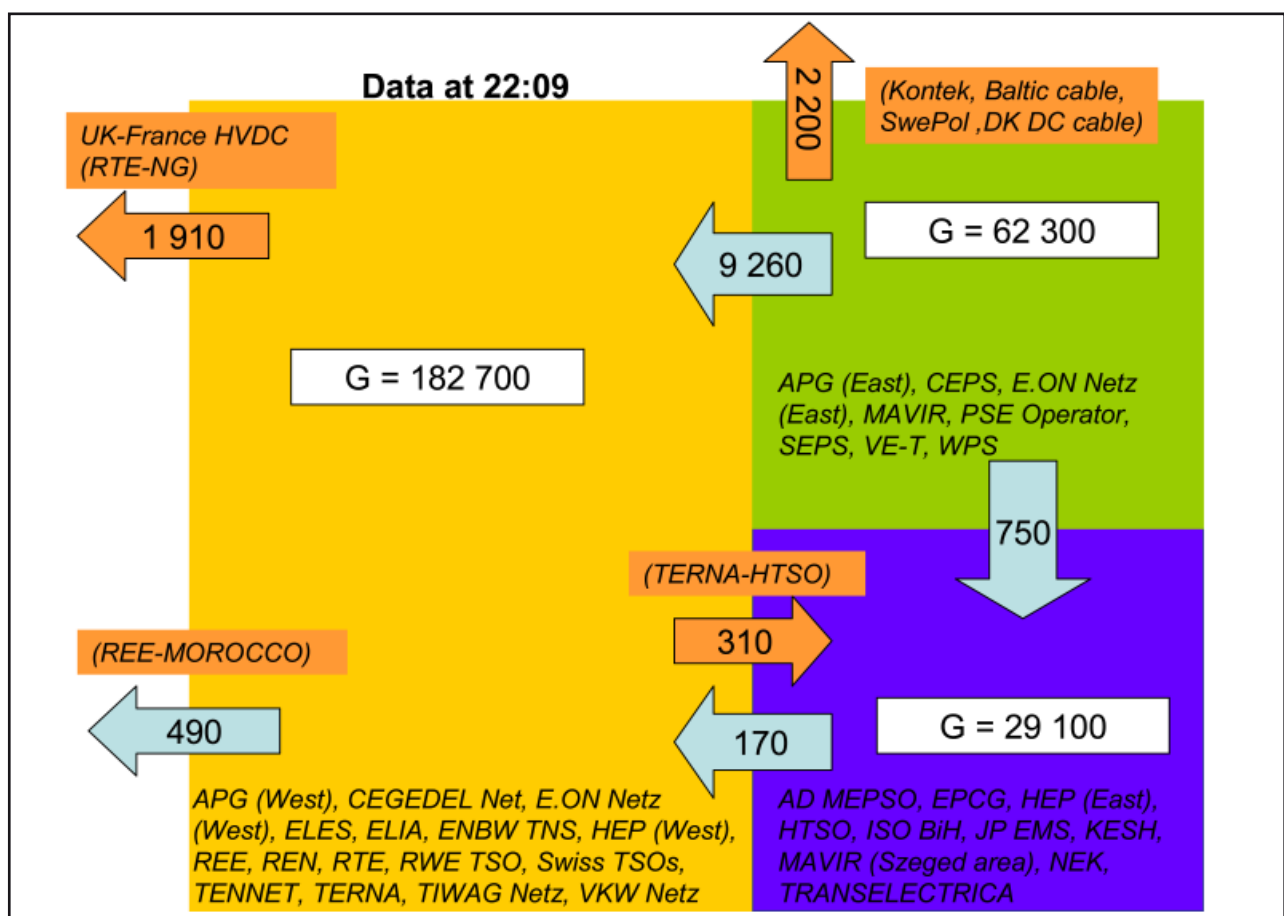


Bild 2: Stromleistungs-Transfer (farbige Pfeile) und Stromproduktion G (in MW) in Europa am 4.11.06 um 22:09 unmittelbar vor dem Blackout (entnommen aus UCTE-„Final Report“)

Dies widerspricht allerdings der Feststellung auf S. 48, das Netz habe sich an einem sehr kritischen Punkt befunden. Im „Final Report“ wird auf S. 79 genau darauf Bezug genommen:

„Eine der Hauptfragen hinsichtlich der Systemstabilität ist, wo sich exakt der „point of no return“ befindet, dass heißt der genaue Zeitpunkt und die Systemkonfiguration (zu diesem Zeitpunkt T.F.), wenn die Systemstabilität des gesamten Verbundsystems verloren [geht T.F.] ging“.

Als Konsequenz wird seitens UCTE folgendes von den Netzbetreibern gefordert (S. 58-62):

1. Das verbindliche Regelwerk der UCTE, das „Operation Handbook“ mit allen darin festgelegten „Policies“ (Handlungsanweisungen) ist von allen Netzbetreibern strikt zu befolgen. Um „künftigen hypothetischen Aufsplittungen“ (!) (S. 59) im Rahmen einer Europa-weiten Störung des Netzes gerecht zu werden, wird das Handbuch erweitert und verbessert.
2. Die Policy 3 (Subsection A) des „Operation Handbook“ legt definitiv fest, dass die Netzbetreiber zu jeder Zeit das (N-1)-Kriterium für ihr eigenes Netzgebiet durch Beobachtung des Verbundsystems (ihr eigenes Gebiet und alle relevanten Teile der Nachbarsysteme) überwachen und Sicherheitsberechnungen durchführen müssen.
3. Es wird ein Masterplan zum koordinierten Umgang mit großräumigen, ggf. ganz Europa erfassenden Störungen entwickelt. Die Netzbetreiber haben ihre „Verteidigungsstrategien“ anzupassen und die Resynchronisation nach einem Störfall zu koordinieren, wobei die dezentrale Vorgehensweise aufgrund der aktuellen Erfahrungen bevorzugt wird.
4. Zwischen den Netzbetreibern ist die Kommunikation dringend zu verbessern. Dies schließt den Zugriff auf relevante Echtzeit-Daten und deren Analysen mit ein. UCTE wird hierzu eine Informations-Plattform entwickeln, die es den Netzbetreibern erlaubt, den tatsächlichen Zustand des gesamten UCTE-Netzes zu beobachten, um rasche Maßnahmen im Falle einer großen Störung zu ermöglichen (*UCTE-wide awareness system*).
5. Die Netz-Betreiber sollen die Modi der Strom-Erzeugung und -Verteilung im Falle einer großen Störung beeinflussen können, damit z.B. eine Handelstransaktion zu stornieren ist.

Wir möchten dem Leser nunmehr die Gelegenheit geben, die Analysen und Standpunkte Dr. Fettes zum „Beinahe-Blackout“ vom 4.11.06 anhand eines Interviews kennen zu lernen, das von Dr. Thomas Fritsch geführt wurde.

1. Thomas Fritsch: Herr Dr. Fette, kommen wir gleich zur Sache. Wäre der Europa-weite Störfall vermeidbar gewesen?

Michael Fette: *Wir haben die uns von verschiedenen Elektrizitäts-Versorgungsunternehmen zur Verfügung gestellten Daten intensiv analysiert. Die Qualität der Daten hinsichtlich deren zeitlicher Auflösung und weiterer Kriterien bezüglich eines effektiven Netz-Monitoring kann im besten Fall nur als mittelmäßig bezeichnet werden. Unsere Analyse-Software hat dennoch in allen von uns als relevant erachteten Frequenzbereichen „Rot“ angezeigt und zwar durchgängig bereits 1 Stunde vor der „eigentlichen“ Großstörung am 4.11.2006 kurz nach 22 Uhr. Das Netz war zu diesem Zeitpunkt schon instabil.*

2. Können Sie dies etwas genauer darstellen?

Ja, das vorläufige Fazit, welches wir aus unseren Untersuchungen (u.a. Spektralanalysen mit speziellen Signal-Transformationen) bislang ziehen können, ist, dass die Vorläufer-Prozesse eines Kollaps bereits vor der Abschaltung der Leitung Conneforde-Diele erkennbar waren und sich danach stark ausprägten. Sie führten dabei zum verstärkten Auftreten von Frequenzen im Bereich von 0,1 Hz bis 0,5 Hz. Wir nehmen an, dass sich hierdurch bestimmte niederfrequente Moden zeigten, die sich nach der Abschaltung von der Leitung Conneforde-Diele deutlich entwickelten, aber natürlich vorher schon existierten. Man erkennt das gut an den Schwellwertverletzungen in roter Farbe im Spektrogramm (siehe Bild 3). Wir sind hinsichtlich der Bewertung dieser Moden als eine mögliche charakterisierende Ausprägungsform des Störfallverlaufs auch weiterhin in der Analysephase, denn mit zusätzlichen Vergleichsmessungen, die wir zur Zeit vornehmen, verbessern wir kontinuierlich die Datenbasis unserer Algorithmen. Mit einem gerade entwickelten Messgerät auf der Basis unserer Theorie ist eine wesentlich genauere kontinuierliche Beobachtung des Netzes möglich. Bei dessen Einsatz wären auch weitergehende Aussagen bereits heute möglich.

3. Kann man aufgrund Ihrer Ergebnisse praktische Ratschläge oder Handlungsanweisungen geben?

Ja, es ist ratsam, nach der Abschaltung einer wichtigen Leitung wie am 4.11.06 und der Feststellung bestimmter Frequenzmoden im niedrigen Frequenzbereich das System zunächst genau zu beobachten, wobei man auf direkte Aktionen zunächst verzichten sollte, um ggf. keine weiteren kritischen Moden anzuregen. Es empfiehlt sich daher, alle Handelsaktivitäten zu prüfen und ggf. zu stoppen, die automatischen Stufungen der Transformatoren auszusetzen, etc. Die Entwicklung der niederfrequenten Moden muss dann im Einzelnen genau beobachtet werden. Erst bei stärkerer Entfaltung („Aufklingen“) der Frequenzmoden sollten dann weitergehende Systemeingriffe durchgeführt werden.

4. Dann sind Sie mit der Einschätzung von UCTE, dass das Netz „befriedigend gedämpft“ wurde und der Forderung, dass die Netzbetreiber die Stromgenerierung beeinflussen können sollen, sicher nicht so recht einverstanden?

Nun ja, das ist ein zweischneidiges Schwert. Die behauptete „zufrieden stellende Dämpfung“ ist bei genauerer Analyse mit einer anderen Zeitauflösung nicht haltbar. Ob es sinnvoll ist, dass die Netzbetreiber beim großen Störfall an den „Stellschrauben“ drehen können sollen, hängt doch davon ab, mit welchen Analysemethoden man das Netz untersucht, aufgrund derer die Entscheidungen über das „Drehen“ getroffen werden. Massive Eingriffe in einer kritischen Situation können das Problem auch verschärfen und sollten nur unternommen werden, wenn die Netzbetreiber wohl-koordiniert handeln und die Netzsituation gut geprüft ist. Dies sollte auf der Grundlage von Analyse-Modellen geschehen, die die Nichtlinearitäten im Netz angemessen berücksichtigen.

5. In unserem letzten Interview hatten Sie am Schluss ja schon die nunmehr tatsächlich aufgetretenen Probleme vorhergesehen. Wie sehen Sie denn die Zukunft im Lichte der Ereignisse vom 4.11.2006, insbesondere hinsichtlich der geplanten Intensivierung des Stromhandels?

Ich sehe in Zukunft große Schwierigkeiten auf uns zukommen. Das Problem mit dem Strom-

handel möchte ich mit folgendem Bild beschreiben: Das Netz der Energieversorgung ist wie eine Badewanne mit mehreren definierten variablen Abflusslöchern und mehreren definierten variablen Zuflüssen, bei der wir peinlich genau darauf achten müssen, dass der Wasserpegel immer auf dem gleichen Stand bleibt. Der Stromhandel wäre nun in diesem Bild die Vorstellung, dass man auch die Wände der Wanne an beliebiger Stelle aufbohren könnte, um dort Wasser zu entnehmen. Dass dafür die „Wanne“, d.h. das Netz, definitiv nicht konstruiert wurde, drückte der Präsident von UCTE klar aus. Wenn in den nächsten Jahren wie vorgesehen nicht nur die Anzahl der Handelstransaktionen um einen Faktor 100 zu nehmen soll, sondern auch die Plan-Änderungen für diese Transaktionen zum Teil am selben Tag erfolgen können, dann existiert ein großer Widerspruch zwischen ökonomischem Wunsch und technischer Realität. Die Wahrscheinlichkeit für Blackouts kann da nur noch wachsen.

6. Kurz nach dem Europa-weiten Störfall vom 4.11.06 sagte der deutsche Wirtschaftsminister wörtlich: „Man kann halt nicht mehr Windkraft erzeugen, wie man dann über die Netze schicken kann“. Können Sie diese Aussage unterstützen, bzw. sind Windkraft und andere erneuerbare Energien wie Photovoltaik denn wirklich so schlimm für die Netze? Wenn das so wäre, wie soll dann das EU-Ziel erreicht werden, bis zum Jahre 2020 im Mittel 20% der Energieproduktion aus erneuerbaren Energien zu bestreiten?

Aus Gründen des Klimaschutzes und zur Vorsorge gegen die drohende Erschöpfung fossiler Energieträger müssen wir regenerative Energien, wie Windkraft und Photovoltaik, in die Netzstruktur integrieren. Dies führt aber eine „Zufalls-Komponente“, d.h. Stochastik, in die letztlich immer noch zentral geführte und geplante Energieversorgung ein, wo sie unter bestimmten Situationen destabilisierend wirken kann. Es gibt technische Möglichkeiten, die dadurch hervorgerufenen Probleme zu berücksichtigen, wie es die Dänen bei ihren Windparks mit einer Frequenzleistungsregelung machen. Das Problem der Gesamtkonzeption für den notwendigen Umbau der Energieversorgungssysteme bleibt aber bestehen. Mehr Dezentralität und dabei auch regionale Autonomie würde die Lage sicher entschärfen. So wirkte die Windkrafteinspeisung am 4. November auf das Netz, als es sich in drei Regionen teilte, auf Höchstspannungsebene stabilisierend.

Allerdings war in den unteren Spannungsebenen das Gegenteil der Fall. Die Wirkung regenerativer Energiequellen muss also auf den verschiedenen Spannungsebenen berücksichtigt werden. Hinsichtlich der Erreichbarkeit der EU-Ziele für 2020 kann ich aber leider nur sagen: Mit diesen Netzen nicht!

7. Können Sie uns aus Ihrer jetzigen Sicht der Dinge mitteilen, welche praktischen Konsequenzen die Netzbetreiber bereits getroffen haben?

Ich denke, dass die Elektrizitäts-Versorgungsunternehmen die Zeichen der Zeit erkannt haben und in der Planung der weiteren Entwicklung ihrer technischen Infrastruktur die dynamischen Vorgänge im Netz berücksichtigen wollen. Es gibt eine Reihe von Anfragen nach den Geräten zur Kollapsvorhersage und es existiert ein ausdrückliches Bedürfnis nach einer nichtlinearen Beschreibung und Analyse des Netzes. Es sind eine Reihe von Testinstallationen bei Versorgungsunternehmen vorgesehen, um diesem Bedürfnis entgegenzukommen. Die Analyse der Netze wird dadurch sicherlich wesentlich genauer erfolgen können, als dies bisher möglich war.

Das Netz der elektrischen Energieversorgung ist, wie Spencer Abraham, der ehemalige Energieminister der USA, sagte, eines der „komplexesten technischen Gebilde“, das von Menschen entwickelt wurde. Zugleich ist das weitere Schicksal der Menschheit mit seinem langfristigem Umbau in ein Netzwerk der nachhaltigen Energieversorgung auf der Basis regenerativer Energien verknüpft. Da die Entscheidungen über den Weg dorthin heute gefällt werden müssen, dürfen wir das knappe Zeitfenster nicht verpassen, welches der immer massiver werdende Klimawandel und die sich verknappenden Ressourcen fossiler Energieträger uns hierfür auferlegt. Abhängig vom Wachstumstempo unserer Wirtschaft und unseres eigenen Konsumverhaltens wird dieses „Fenster“ schmaler oder breiter werden. Dass Blackouts und andere „extreme Ereignisse“ als kleine oder große Störungen das Anwachsen des Energieverbrauchs begleiten werden, ist offensichtlich. Wir dürfen also nicht nur punktuell die große Aufgabe des Umbaus angehen, sondern müssen einen Masterplan entwerfen, der alle genannten Gesichtspunkte berücksichtigt. Die Zeit hierfür ist aber ausgesprochen knapp, vielleicht bereits zu knapp. Auch das ist, um Al Gore zu zitieren, eine „unangenehme Wahrheit“.

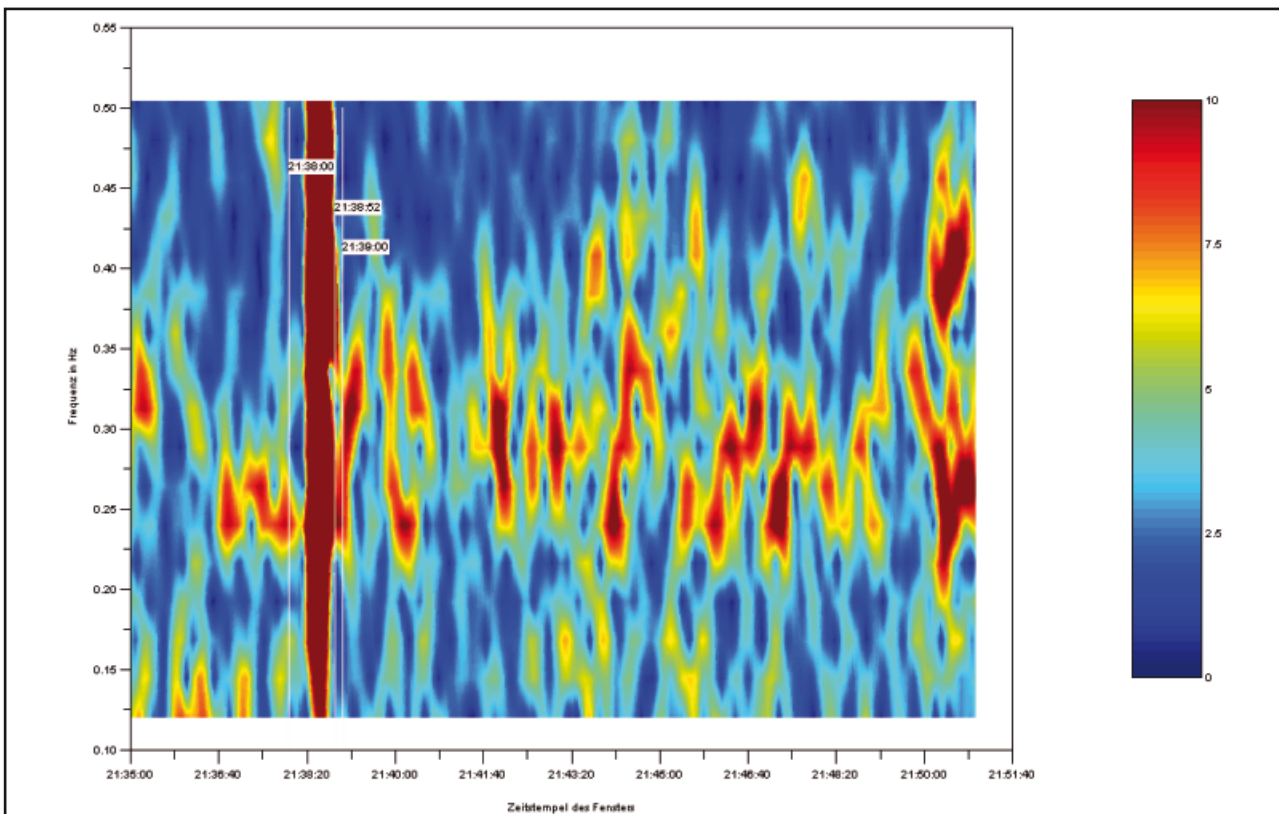


Bild 3: Kurzeit-Spektrogramm



BRAIN² - Soft Computing & Consulting
Dr. rer. nat. Dipl.-Math. Thomas Fritsch
Katharinengasse 4a
D-97286 Sommerhausen
email: TFritsch@brainn.de



System & Dynamik
Beratungsunternehmen
Dr. Michael Fette
Tempelhofer Str. 37
D-33100 Paderborn
email: Fette@systemdynamik.de

A.Eberle GmbH & Co. KG

Aalener Str. 30/32
D-90441 Nürnberg
Tel.: +49 (0) 911 / 62 81 08-0
Fax: +49 (0) 911 / 62 81 08 96

<http://www.a-eberle.de>
info@a-eberle.de

überreicht durch: