

DIE NETZFREQUENZ

EINE ZENTRALE KENNGRÖSSE IN UNSEREM STROMNETZ IST DIE FREQUENZ. DIESE IST JEDOCH NICHT KONSTANT BEI 50 HERTZ, SONDERN SIE SCHWANKT UND VERRÄT AUF DIESE WEISE VIELE INTERESSANTE DINGE ÜBER DEN ZUSTAND DES NETZES UND DIE PROBLEME DES STROMHANDELS.

Am 30. August 2012 gab es – mal wieder – eine von fossilen Großkraftwerken verursachte mediale Stromnetzkrise. Waren es in der Vergangenheit meist störungsbedingte Notabschaltungen von Atomkraftwerken, die in der überregionalen Presse registriert wurden, so war es dieses Mal das neue Braunkohlekraftwerk der RWE im nordrhein-westfälischen Neurath. Genau gesagt gingen BoA Block F und G durch die Presse.

BoA steht dabei nicht etwa für den erstaunten Ausruf eines alkoholisierten Fußballfans, sondern für „Braunkohlekraftwerk mit optimierter Anlagentechnik“. Kabarettisten würden jedoch anmerken, dass man in Zeiten der Energiewende und des Klimawandels auch im Zusammenhang mit dem Neubau eines Kohlekraftwerks einen ausschweifenden Drogenkonsum vermuten könnte. BoA ist also ein gut gewählter Name.

BoA ey, das ist regelbar

Umweltminister Altmaier soll bei der Einweihung gesagt haben, dass BoA „einen herausragenden Beitrag zum Gelingen der Energiewende“ leisten werde. Dies begründete er mit der schnellen Regelbarkeit der neuen Kraftwerksblöcke.

Die Leistung des Braunkohlemeilers kann in 15 Minuten auf 50% gedrosselt

werden. Der Leistungsgradient liegt damit je Block bei etwa 30 Megawatt je Minute, was etwa 500 kW in der Sekunde entspricht. Wie effizient diese Drosselung ist, wie sauber eine gedrosselte Verbrennung abläuft und vor allem wie schnell man die Blöcke von 0 auf 100% hochfahren kann, lässt die PR-Abteilung von RWE jedoch unbeantwortet. Die angepriesene Regelbarkeit beruht primär in dem Auslaufverhalten der verwendeten Turbine. Diese braucht rund eine Stunde, bis sie von Vollast in den Stillstand abgebremst hat oder eben 15 Minuten für die Reduktion auf 50% der Nennleistung.

Zum Vergleich sei hier angemerkt, dass die Netzbetreiber der Photovoltaik bisher vorgeschrieben hatten, 100% der Leistung, was heute rund 25 Gigawatt entspricht, in 200 Millisekunden abzuregeln. An die Regelbarkeit der Solarstromanlagen kommt also auch die modernste Kohlekraft nicht einmal annähernd heran.

Presseberichte

Aufgrund einer Betriebsstörung wurde am 30.8.2012 um 14:03 Uhr BoA-Block G heruntergefahren. Rund sieben Minuten später soll dann Block F abgeschaltet worden sein. Nach gut sechs Stunden wurden beide Blöcke wieder in Betrieb genommen, sagt RWE.

Laut Presse kam es dabei zu „erheblichen Schwankungen im Stromnetz“ doch „beim zuständigen Netzbetreiber Ampriion hatte man die Lage gut im Griff“. „Wir hatten messtechnisch eine Regelabweichung“ soll der Netzbetreiber Tennet das Ereignis der Presse gegenüber kommentiert haben.

Manche Gazetten beschrieben das Ereignis gar auf diese Weise: „Deutschland ist gestern knapp an einem Blackout vorbeigeschrammt. [...] innerhalb weniger Minuten sackte die Frequenz im Bundesnetz auf unter 50 Hz und streifte damit fast den kritischen Wert von 49,9 Hz.“

Klingt technisch, ist aber dennoch völliger Unfug.

Die Netzfrequenz ist sehr oft unter 50 Hertz und auch die 49,9 sind kein

wirklich kritischer Wert, und wenn, dann sackt die Frequenz in ganz Europa ab und nicht nur im Bundesgebiet oder bei einem Netzbetreiber. Unsere Tabelle auf der nächsten Seite zeigt, welche Frequenzen wirklich kritisch sind und ab wann tatsächlich der „Blackout“ droht. Doch bevor wir auf einige dieser Werte und den tatsächlichen Frequenzverlauf des BoA-Vorfalles eingehen, gilt es zuerst ein paar Grundlagen zu erläutern. Was hat es überhaupt mit der Frequenz auf sich?

Die Netzfrequenz

Im Gegensatz zu einem Gleichstromnetz schwankt in einem Wechselstromnetz die Spannung; bei uns im Mittel zwischen plus und minus 230 Volt. Diese Veränderung erfolgt 50 mal in der Sekunde, also mit einer Schwingung, deren Frequenz 50 Hertz beträgt.

In gewissen Grenzen ist die Wahl der Netzfrequenz relativ beliebig. In den USA wird das Stromnetz zum Beispiel bei 60 Hertz betrieben, während die Deutsche Bahn mit 16,7 Hz arbeitet. Die Höhe der Frequenz sagt also erstmal nichts über den Netzzustand aus, sondern sie ist eher ein historischer Zufall; eine Zahl auf die man sich geeinigt hat.

Die Wechselwirkungen zwischen den einzelnen Kraftwerken sind dabei vergleichbar mit denen, die zwischen den Radlern auf einem Fahrrad für mehrere Menschen (sagen wir 5) herrschen, wenn dort alle Tretkurbeln über eine Kette miteinander verbunden sind. Damit es im Team klappt, müssen alle Fahrer gleich schnell die Pedale bewegen, doch jeder kann frei entscheiden mit wie viel Kraft er zur Fahrt beitragen will. Der kräftigste Radler kann zwar den größten Einfluss auf die Trittfrequenz nehmen, doch wird er alleine gegen die anderen vier Mitfahrer nicht ankommen. Die Folge ist, dass sich die Trittfrequenz und damit die Fahrgeschwindigkeit aus der kollektiven Anstrengung wie von selber ergibt, aber auch fortlaufend verändert.

Analog dazu sind im Stromnetz alle Kraftwerke über die Stromkabel mitein-



Foto: Frank Herz

Bild 1: Die 2 x 1.100 MW großen Blöcke F und G des BoA-Kraftwerks befinden sich hier noch in der Bauphase. Dass erst 2012 vollendete Projekt zeigt jedoch, dass auch modernste Großkraftwerke nur langsam und schwer regelbar sind.

ander verbunden. Alle müssen sich mit der gleichen Frequenz „drehen“. Gegen die große Zahl der anderen Erzeuger anzukämpfen, ist für ein einzelnes Kraftwerk unmöglich. Wer das versucht, dem „haut es die Pedale derart in die Waden“, dass dabei locker ganze Turbinen in ihre Einzelteile zerrissen werden können. Dennoch hat jedes Kraftwerk einen – wenn auch noch so kleinen – Einfluss auf die Veränderung der sich einstellenden Netzfrequenz.

Die Bewegung der sich so ergebenden Stromwelle breitet sich im Stromnetz dabei mit nahezu Lichtgeschwindigkeit über das gesamte europäische Verbundnetz (UCTE) aus: von Portugal bis nach Griechenland. Die Netzfrequenz ist praktisch an jeder Steckdose in ganz Europa identisch.

Theorie und Praxis

In der realen Welt der Physik ist natürlich alles deutlich komplexer. Ähnlich den Wellen auf einem See gibt es auch im Stromnetz neben den großen Wellen auch kleine Oberwellen oder gar „sonderbare Erscheinungen am Ufer“ (Resonanzen dem Ende von Leitungsnetzen). Neben der Spannung (Volt) hat auch die Stromstärke (Ampere) eine Schwingung und obwohl beide in einer sehr engen Wechselwirkung stehen, sind die Schwingungen nie absolut identisch.

Ganz besonders hervorzuheben ist an dieser Stelle noch einmal, dass die Änderung der Netzfrequenz nicht an den Grenzen der einzelnen Netzbetreiber halt macht und dass auch nicht ein einzelner Akteur (Netzbetreiber oder eine Leitwarte) die Netzfrequenz „vorgibt“. Die Netzfrequenz ist ein kollektives Ereignis, von Lissabon bis Athen. Jedes Kraftwerk und jeder Verbraucher nimmt darauf Einfluss.

Das Stromnetz ist ein labiles Gleichgewicht, in dem sich die Stromerzeugung und der Stromverbrauch in jeder Millisekunde die Waage halten müssen. Wird die Frequenz geringer, so bremsen die Verbraucher stärker als die Stromerzeuger schieben können. Steigt die Netzfrequenz, so gibt es mehr Leistung auf der Seite der Generatoren als gebraucht wird.

Spielregeln

Im Netzmanagement nutzt man diese Naturgesetze für zwei zentrale Dinge:

- Die Koordinierung aller Akteure im gesamten Stromnetz
- Die Kommunikation des aktuellen Netzzustandes.

Eigentlich passiert beides vollkommen automatisch. Letzteres, weil die Netzfrequenz auf das Kräftegleichgewicht von

Verbrauch und Erzeugung reagiert und somit automatisch ein Spiegelbild des Zustandes ist. Jedes Kraftwerk und jede Steckdose in Europa „sieht“ – das passende Messgerät vorausgesetzt – zeitgleich den Zustand des gesamten Netzes.

Zur Koordinierung bedarf es nun noch einheitlicher Spielregeln (siehe Tabelle). Diese werden für Europa vom Dachverband der Netzbetreiber, der ENTSO-E, aufgestellt. Die einzelnen Netzbetreiber fügen dann nationale Besonderheiten hinzu und schreiben die Regeln in den technischen Netzanschlussbedingungen verbindlich vor.

Die untere Tabelle zeigt, dass der Normalbetrieb im Bereich von 49,5 bis 50,5 Hertz angesetzt wird. Moderne Kraftwerke sollen einen Betrieb im Korridor von 47 bis 52 Hz aushalten.

Ein Not- bzw. Inselbetrieb mit Netzsatzanlagen nutzt den Bereich von 50,5 bis 51,0 Hz, nachdem man kurzzeitig die Frequenz auf 52 Hz hochgetrieben hat. Auf diese Weise wird signalisiert, dass sich andere Kraftwerke in diesem Netz abschalten und bis auf weiteres nicht mehr zuschalten sollen. Erst unterhalb von 50,3 Hz dürfen andere Erzeuger wieder ans Netz. Dies ist eine sehr zuverlässige Form der Kommunikation, die auch ohne Internet oder Mobilfunknetz perfekt funktioniert, was gerade in Not-

fallsituationen wichtig ist.

Fehlerhafte Spielregeln können aber auch zum Problem werden. Dies wurde beim so genannten „50,2 Hz-Problem“ deutlich. Die sehr kurzsichtige Vorschrift der Netzbetreiber, dass alle Solarstromanlagen beim Erreichen der 50,2 Hz Schwelle schlagartig von Netz getrennt werden müssen, hätte zwar auf der Seite der Kommunikation perfekt funktioniert, jedoch mit dem Ergebnis, dass wie gefordert eine zeitgleiche Abschaltung (binnen 200 Millisekunden) von rund 20 Gigawatt Solarstrom-Erzeugungsleistung erfolgt wäre. Diese schlagartige Entstehung eines großen Ungleichgewichtes im Stromnetz hätte nicht nur zu einem rapiden Frequenzabsacken geführt, sondern mit hoher Wahrscheinlichkeit zu größeren Netzabschaltungen – also Blackout.

Die Ableitung von 50 Hertz

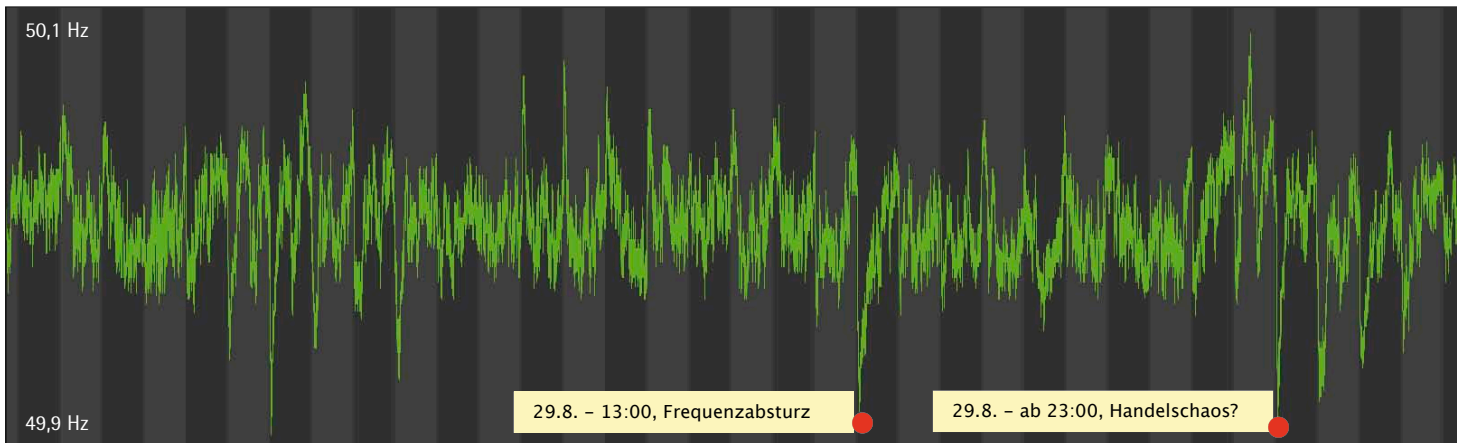
Die Höhe der Frequenz ist zusammen mit den Spielregeln ein sehr guter Hinweis auf den Netzzustand bzw. darauf, welches „Spiel die Kraftwerke gerade spielen“.

Da man aber, wie bereits erwähnt, ein Wechselstromnetz praktisch bei jeder beliebigen Frequenz stabil betreiben kann, ist die absolute Höhe nur ein Hinweis für den Netzzustand. Das genauere Indiz ist die Änderung der Frequenz über die Zeit,

Frequenz-Spielregeln im deutschen Stromnetz	
Frequenz	... und damit verbundenes Verhalten
52,00 Hz	Oberhalb dieser Schwelle beginnt im europäischen Netzverbund ein unzulässiger Betriebszustand. Netzsatzanlagen steuern diesen Wert gezielt an, um andere Erzeuger (PV etc.) zu deaktivieren.
51,50 Hz	Alle regelbaren Kraftwerke sollten an diesem Punkt die Stromerzeugung komplett eingestellt haben.
51,00 Hz	Von hier bis 51,5 Hz müssen neue Kraftwerke mindestens 90 Minuten lauffähig bleiben. Ältere Kraftwerke gehen ab hier bereits vom Netz.
50,50 Hz	Obere Grenze der im Normalbetrieb geduldeten Frequenzabweichungen. Netzsatzanlagen halten die Frequenz bei 50,5 bis 51 Hz.
50,20 Hz	Von hier bis 51,5 Hz sollen regelbare Erzeugungsanlagen (PV, BHKW, etc.) eine frequenzbasierte Leistungsreduktion vornehmen.
50,00 Hz	Die Grundfrequenz des Stromnetzes. Das Band von 49,5 bis 50,5 Hz sollte an 8716 Stunden (99,5%) eines Jahres eingehalten werden.
49,80 Hz	Stufe 1 der Netzstabilisierung. Der ÜNB kann die Aktivierung von zusätzlicher Erzeugungsleistung anweisen.
49,50 Hz	Untere Grenze der im Normalbetrieb geduldeten Frequenzabweichungen.
49,00 Hz	Stufe 2 der Netzstabilisierung aktiviert frequenzabhängiger Lastabwurf von 10 bis 15% der Verbraucher (gezielter "Teil-Blackout").
48,70 Hz	Stufe 3 der Netzstabilisierung. Abermals frequenzabhängiger Lastabwurf von 10 bis 15% der Verbraucher.
48,40 Hz	Stufe 4 der Netzstabilisierung. Frequenzabhängiger Lastabwurf. Weitere 10 bis 15% der Verbraucher gehen vom Netz.
47,50 Hz	Stufe 5 der Netzstabilisierung führt zur gezielten Abtrennung von Netzsegmenten und Kraftwerken. "Regionaler Blackout"
47,00 Hz	Unterhalb dieser Schwelle beginnt im europäischen Netzverbund ein unzulässiger Betriebszustand.

Tabelle: Dies ist eine, wenn auch unvollständige Übersicht wichtiger Stromnetz-Frequenzen und den damit in Deutschland vorgeschriebenen Handlungsanweisungen. Jedoch gelten nicht auf allen Spannungsebenen und auch nicht immer in allen Ländern des europäischen Netzverbundes (UCTE) die gleichen Regeln.

Quellen: VDN TransmissionCode 2007, ENTSO-E und BDEW Richtlinien



Grafik 1: Diese Darstellung der Netzfrequenz zeigt den Zeitraum vom 28.8. (ca. 20 Uhr) bis zum 31.8.2012 (ca. 14 Uhr). Die Streifen im Hintergrund markieren die Stundenintervalle. Die Grafiken 2 bis 4 sind Ausschnittsvergrößerungen mit kurzen Erläuterungen.

was in der Mathematik auch als Ableitung bezeichnet wird.

Die Änderung zeigt in welche Richtung das Stromnetz kippt und vor allem wie schnell dies geschieht. Wird etwa ein 2 GW BoA-Kraftwerk gezielt abgeschaltet, so fährt es langsam herunter und die Änderung der Frequenz ist eher „gemütlich“ (siehe Grafik 2). Wäre dort jedoch ein Fehler an der Netzeinspeisetechnik aufgetreten, so hätte es einen sofortigen Verlust der gesamten Erzeugungsleistung gegeben und die Frequenz wäre binnen Sekunden abgesackt. Der Transformatorbrand im Kernkraftwerk Krümmel am 28. Juni 2007 war ein Musterbeispiel für einen derartigen Störfall.

Verfügbare Datenquellen

Doch von wem kann man nun als interessierter Bürger Informationen zur Netzfrequenz beziehen, um sich selber ein Bild von der Lage im Netz zu machen?

Um zu zeigen, wie sehr man sich um die Versorgungssicherheit bemüht, stellen einige der großen Netzbetreiber und deren Verbände gerne Grafiken der Netz-

frequenz ins Internet. Die Anzeigen sind jedoch sehr schlecht in der Auflösung und zudem auch meist zeitverzögert oder zeitlich schwer exakt zuzuordnen.

Beim Dachverband der Netzbetreiber (ENTSO-E) findet man eine Grafik mit der Aufschrift „Echtzeit-Anzeige“, aber ohne erkennbares Zeitraster – sind es Stunden, Tage oder doch Minuten? Zudem scheint sich das Bild auch über Tage hinweg nicht zu ändern (Stand: Sept. 2012).

Der Netzbetreiber „50 Hertz“ bietet eine funktionierende „Live-Anzeige“, jedoch mit einer Länge von lediglich 30 Minuten. Periodische Erscheinungen im Ein-Stunden-Takt sind dort natürlich nicht zu erkennen.

Beim englischen Netzbetreiber „National Grid“ bekommt man die Daten immerhin schon mit 15 Sekunden Auflösung, aber auch hier nur maximal im 60 Minuten Raster. Da die Insel jedoch durch ein Gleichstromkabel an das europäische Festland angeschlossen ist, gibt es dort auch eine abweichende Frequenz.

Versucht man sein Glück bei SwissGrid, so findet man dort lediglich den aktu-

ellen Frequenzwert aber ohne jegliche detaillierte Historie. Dafür gibt es eine langjährige Statistik über die Häufigkeit von Frequenzabweichungen, in der man zumindest erkennen kann, dass es im Winter häufiger Ausreißer gibt als im Sommer. Da dieses Muster seit über zehn Jahren anhält, hat es auch nichts mit dem Ausbau der Erneuerbaren zu tun.

Am Schluss bleibt die Erkenntnis, dass der beste Weg, um an verlässliche Messwerte zu kommen, die eigene Messung an der eigenen Steckdose ist.

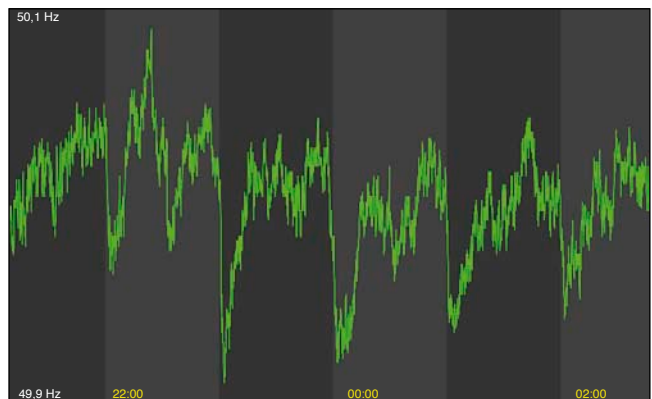
Eigene Messtechnik

Im Rahmen unserer Aktivitäten zur Netzintegration von Elektroautos wurde mit einigen Partnern das Projekt Babelbee umgesetzt (siehe SONNENENERGIE 2011-04 und -06). In diesem Zusammenhang hat die Firma Raritan ein sehr leistungsfähiges und kompaktes Netzanalysegerät entwickelt (siehe Bild 2).

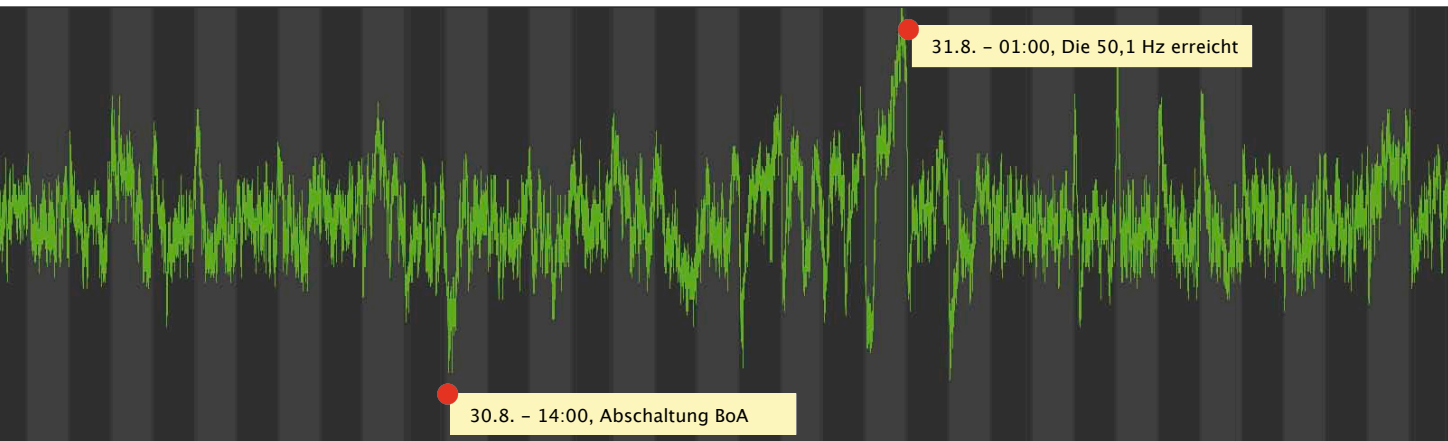
Einige Geräte mit dieser Technik zeichnen für uns seit Mitte 2011 den Zustand des Stromnetzes auf. Gut 100 Kennzahlen werden so im Sekundentakt zusam-



Bild 2: Der aus dem Babelbee-Projekt heraus entstandene Stromnetzanalyse-Computer mit Embedded-Linux kann die Netzfrequenz (und 100 weitere Netzkennzahlen) mit hoher Auflösung erfassen und diese Messwerte dokumentieren.



Grafik 2: Am 29.8.2012 sieht man eine typische, ja fast schon alltägliche Krise im Stromnetz. Das Verhältnis zwischen Produktion und Verbrauch gerät pünktlich zum Beginn der vollen Stunden massiv aus dem Gleichgewicht. Das sind die seit langem bekannten destabilisierenden Effekte des Stromhandels!



Quelle: Tomi Engel

mengetragen und geben einen interessanten Einblick in die Welt der Stromwirtschaft.

Grafik 1 zeigt den Frequenzverlauf im Bereich von 49,9 bis 50,1 Hertz für einen Zeitraum von rund drei Tagen. Ein paar der interessanten Ereignisse haben wir markiert. Dazu zählt auch der Ausfall des BoA-Braunkohle-Neubaus am 30.8. Ein Detailausschnitt ist in Grafik 3 zu finden.

Was man auf dieser messtechnischen Grundlage sagen kann, ist, dass die BoA-Abschaltung praktisch nicht aufgefallen wäre. Probleme dieser Art gibt es dauernd – eigentlich zu jeder vollen Stunde.

Störfall „Stromhandel“

Es gibt Zufälle. Aber wenn „Zufälle“ immer wieder das gleiche Muster aufweisen, dann steckt dahinter meist ein Konstruktionsprinzip bzw. hier besser gesagt ein Konstruktionsfehler.

Die Analyse der Netzfrequenz zeigt ganz eindeutig, dass die Extremereignisse überwiegend nahezu perfekt auf die Stundenwechsel fallen. Da sich Wind und

Sonne nach dem Wetter und nicht nach der Uhrzeit richten, scheiden die Erneuerbaren Energien als Ursache aus.

Doch wenn man Strom handeln will, dann muss man beim Einkaufen ja vereinbaren können, von wann bis wann „Dampf im Kohletopf“ sein soll. Damit die Angebote vergleichbar sind und der Buchungsaufwand überschaubar bleibt, wählt man für den Handel in der Praxis feste Zeitintervalle. Dies sind heute in der Regel Stundenkontingente. Damit ist nun auch klar, wer die Netzschwankungen verursacht: die Stromhändler.

Besonders deutlich zeigen sich die Effekte des Handels in Grafik 2. Zur Entschärfung des „Stundentakt“-Problems hat man 2011 die Erlaubnis erteilt, auch im 15 Minuten Raster zu handeln. Doch auch diesen Effekt zeigt Grafik 4 sehr schön. Zusätzlich zum „Stunden-Chaos“ sieht man nun auch deutliche Schwankungen um „30 nach Ganz“. Das neue „15 Minuten“ Handelsraster hat das Problem letztlich nur verstärkt, weil es nun mehrmals pro Stunde zum Chaos kommen wird.

Die Physik des Stromnetzes tickt nun mal in Millisekunden. Daran können Betriebswirte nichts ändern.

Es braucht neue Lösungen

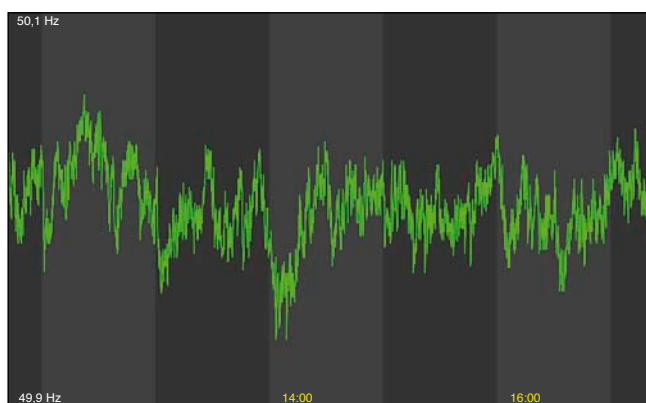
Das Braunkohlekraftwerk BoA ist keine Lösung für die Energiewende. Das gleiche gilt für den heutigen Stromhandel und die damit verbundenen Märkte. Der „Mindestlohn für kWh“-Ansatz im EEG zum Kapazitätsaufbau hat sich als der richtige Weg bewiesen. Die heutigen Marktmodelle des EEG sind dagegen ein Irrweg. Für die Organisation und Finanzierung der dezentralen Regelenergieaufgaben gibt es bisher noch überhaupt keine zukunftsfähigen Ansätze.

Es ist Zeit für neue, gute Ideen.

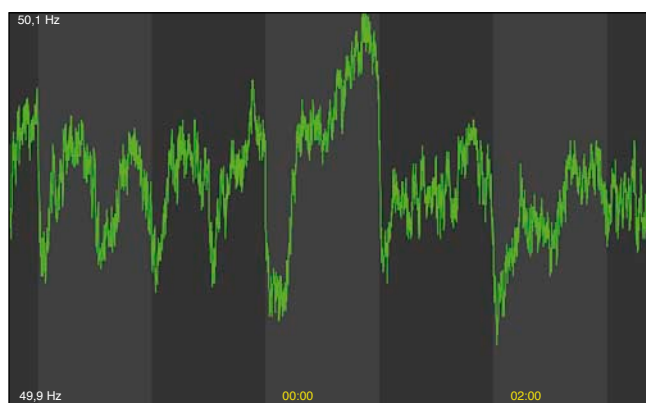
ZUM AUTOR:

► Tomi Engel
leitet den DGS Fachausschuss
Solare Mobilität

tomi@objectfarm.org



Grafik 3: Der Verlauf der Netzfrequenz während der BoA-Notabschaltung am 30.8.2012 (ab 14:00 Uhr) zeigt kein besonders dramatisches Bild. Die stündlichen, vom Stromhandel verursachten Schwankungen im Stromnetz sind viel stärker ausgeprägt (siehe Grafik 2 und 4).



Grafik 4: Ebenfalls deutlich dramatischer als der „BoA Vorfall“ ist dieses Ereignis am 31.8 pünktlich um Mitternacht bzw. dann um 01:00 Uhr. Nach einem rapiden Abfallen der Frequenz steigt diese auf 50,1 Hz um dann erneut zusammenzubrechen. Auch hier ist ein Zusammenhang mit dem Stromhandel offensichtlich.

Quelle: Tomi Engel