

Netzfrequenz 2021 – Messungen und Interpretation der Ergebnisse

Physikalische und politische Eingangsparameter der Netzstabilität

Strom gilt gemeinhin als Premiumenergieform, die jedoch eine wichtige, sehr unangenehme Eigenschaft mit sich bringt: Erzeugter Strom muss **sofort** verbraucht werden. Anders gesagt müssen sich Erzeugung und Bedarf **ständig** die Waage halten. Betrachtet man die Tageslastkurve für Deutschland, ergeben sich erhebliche Unterschiede zwischen minimalem und maximalem Bedarf. Wir haben uns einmal mehr der Daten des Agorameters bedient und [beispielhaft für den 24.11.2021](#) Schwankungen zwischen 60,0 (02:00 Uhr) und knapp über 77,6 GW (11.00 Uhr) ermittelt. Die Schwankungsbreite beim Bedarf dürfte tagtäglich um die 20% liegen. Alle am Netz befindlichen Erzeuger müssen der Tageslastkurve **in engen Grenzen** folgen. Wird mehr Strom produziert als benötigt, steigt die Netzfrequenz, bei einem Produktionsdefizit sinkt sie.

Die Balance zwischen Erzeugung und Bedarf wird noch immer vorwiegend empirisch über den Strommarkt geregelt. Die Kraftwerke verkaufen zur Tageslastkurve passende Strommengen an der Börse, die den zukünftigen Bedarf abdecken sollen. Dieser Bedarf kann recht genau aus den Daten vergangener Tage abgeleitet werden.

Der althergebrachte, marktdienliche Ansatz des Stromhandels gerät mit dem Ausbau der Erneuerbaren allerdings immer mehr ins Wanken. Deren Leistung lässt sich nur bedingt und, je weiter der betrachtete Zeitpunkt in der Zukunft liegt, immer ungenauer prognostizieren. Wir haben es mittlerweile mit einer stark volatilen Erzeugungsleistung als **Variable** zu tun, die das notwendige Gleichgewicht zwischen Stromproduktion und Bedarf in zunehmendem Maße gefährdet. Regelbar sind die Erneuerbaren nur in eine Richtung – nach unten, was sich in der Summe ungünstig auf die CO₂-Bilanz unserer Stromversorgung auswirkt und nebenbei [für höhere Strompreise sorgt](#).

Der massive Ausbau der erneuerbaren Energien, insbesondere Wind und Photovoltaik, ohne Schaffung einer dazu passenden Infrastruktur, führt deshalb unweigerlich in die Katastrophe. Das sieht auch Professor Harald Schwarz von der BTU Cottbus so, ohne dass wir uns alle Aussagen des Herrn Professor aus dem [Video](#) zu eigen machen. Einerseits werden Netzerweiterungen bei den Übertragungsnetzen geplant und durchgesetzt, die völlig überdimensioniert sind, auf der anderen Seite die Verteilnetze, insbesondere das Niederspannungsnetz, sträflich vernachlässigt. Was aber viel schlimmer ist: Noch immer gibt es keine sinnvollen Konzepte zum unbedingt notwendigem Speicherausbau. Am Beispiel von Bayern haben wir diesen realen, politisch gelenkten Unsinn näher analysiert. Faktenbasiertes, sachkundiges Handeln können wir weder für Bayern noch für Deutschland insgesamt erkennen. Die meisten in der Vergangenheit getroffenen Entscheidungen verdienen unserer Meinung nach vielmehr das Prädikat lobbygesteuert. Sie wurden von inkompetenten (wahlweise arglistigen) Politikern getroffen. Altmaier und sein Vorgänger Gabriel unterscheiden sich hier nur in Nuancen. Ob der Grüne Habeck tatsächlich so grün ist, wie er vorgibt zu sein, bleibt abzuwarten. Fakt bleibt: Naturgesetze werden auch in dieser Legislaturperiode nicht irgendwelchen politischen Intentionen folgen.

Letztendlich entscheidet die künftige Realpolitik über die Stabilität unserer Stromnetze.

Stromhandel und seine Auswirkungen kurz erklärt

Die Netzfrequenz im [kontinentaleuropäischen Verbundnetz](#) beträgt idealerweise 50 Hz; überall – von der Nordspitze Dänemarks bis nach Nordafrika. Frequenzen kleiner 49,98 oder größer 50,02 gelten bereits als nicht mehr als ideal – alle Werte außerhalb des Bandes 49,8 bis 50,2 Hz sind kritisch. Verantwortlich für die Frequenzstabilität sind die Übertragungsnetzbetreiber, die den Stromerzeugern, also den Kraftwerken, entsprechende Weisungen erteilen, wie viel Strom sie wann zu liefern haben. Diese Anweisungen können durchaus den vorab an der Strombörse geschlossenen Verträgen widersprechen und tun dies immer öfter, weil die Stromerzeugung aus erneuerbaren Quellen volatil ist.

Wenn wir die Netzfrequenz beobachten, dann schauen wir den Netzbetreibern bei der Arbeit zu – direkt und unverfälscht. Was genau passiert hier eigentlich?

Strom ist, dem permanent notwendigen Gleichgewicht zwischen Erzeugung und Bedarf geschuldet, definitiv keine Ware wie jede andere. Insbesondere Großabnehmer schließen bereits im Vorfeld Stromlieferverträge

mit Kraftwerken ab. Zu einer bestimmten Zeit soll eine bestimmte Energiemenge für einen bestimmten Kunden geliefert werden. Ob das gewählte Kraftwerk nah beim Kunden oder weit entfernt liegt, spielt keine Rolle. Es kann also sein, dass ein Kohlekraftwerk in Hamburg einen Kunden in Bayern beliefern soll. Das ist natürlich für den Netzbetrieb ein Desaster. Allein die Netzverluste bei großen Entfernungen sind, abgesehen von einer aufwändigen Betriebsführung, mit ca. 1% je 100 km beträchtlich. Um die gewünschte, vertraglich vereinbarte Stromlieferung abzusichern, wird durch die Netzbetreiber eine Einsatzplanung, sprich ein Fahrplan, wann welches Kraftwerk in oder außer Betrieb geht, für den nächsten Tag erarbeitet. Es ist deshalb möglich und statistisch gesehen sogar wahrscheinlich, dass der Stromkunde seine Energie physikalisch durch ein anderes Kraftwerk als das vertraglich vereinbarte erhält. Dem Kunden kann es eigentlich gleich sein, woher der Strom kommt, Hauptsache er kommt. Manchmal geht die Rechnung des „statistischen Ausgleichs“ aber nicht auf und es fließt tatsächlich Strom über weite Entfernungen, nur weil man stringent am marktdienlichen Ansatz festhält. Würde man hingegen eine vorausschauende, **netzdienliche** Kraftwerksplanung praktizieren, wären die Netzverluste nicht so groß, man müsste Übertragungsnetze nicht marktdienlich, sprich überdimensioniert ausbauen und würde, nicht nur nebenbei bemerkt, einen gewichtigen Beitrag zur Netzstabilität leisten. Es ist offensichtlich, dass hier das Geld der Steuerzahler und Stromkunden verbrannt wird.

Messverfahren

In der Vergangenheit scheiterte die Messung der Netzfrequenz an der dazu notwendigen und teuren Ausrüstung. Deshalb haben einige Netzbetreiber die Netzfrequenz aufgezeichnet und die entsprechenden Dateien veröffentlicht. Bei 50Hertz endet dieser Datenbereitstellungsdienst im Jahre 2019. Man verweist auf der [50Hertz-Seite](#) auf das von allen Übertragungsnetzbetreibern [gemeinsam genutzte Portal](#), das allerdings Netzfrequenzwerte nicht mehr explizit zur Verfügung stellt.

Matthias Dahlheimer hat sich in einem [Vortrag aus dem Jahre 2015](#) ausführlich mit Fragen der Netzfrequenz beschäftigt. Er wies u.a. auf das ungelöste Problem der präzisen Erfassung ihrer Aufzeichnung mindestens im Millihertz-Bereich hin. Mittlerweile gibt es hierfür erschwingliche technische Lösungen. Wir haben die schon eingangs erwähnte von Jens Müller in Betrieb genommen, was aufgrund der sehr guten Dokumentation relativ einfach war. Die Lösung eignet sich auch für Anwender, die technisch nicht ganz so versiert sind. Über die Einzelheiten der Inbetriebnahme werden wir in einem späteren Beitrag berichten.

Messergebnisse

Seit dem 27. September 2021 bis zunächst 1. November 2021 haben wir die Netzfrequenz lückenlos im Sekundentakt aufgezeichnet und ausgewertet.

Die Aufzeichnung der Netzfrequenz erfolgt im UTC Format (Coordinated Universal Time). In Mitteleuropa galt im Oktober die CEST (Central European Summer Time), die mitteleuropäische Sommerzeit, die der UTC 2 Stunden voraus ist. 04.10.2021, 0:00 Uhr UTC bedeutet demnach für Deutschland 04.10. 2021, 02:00 Uhr CEST.

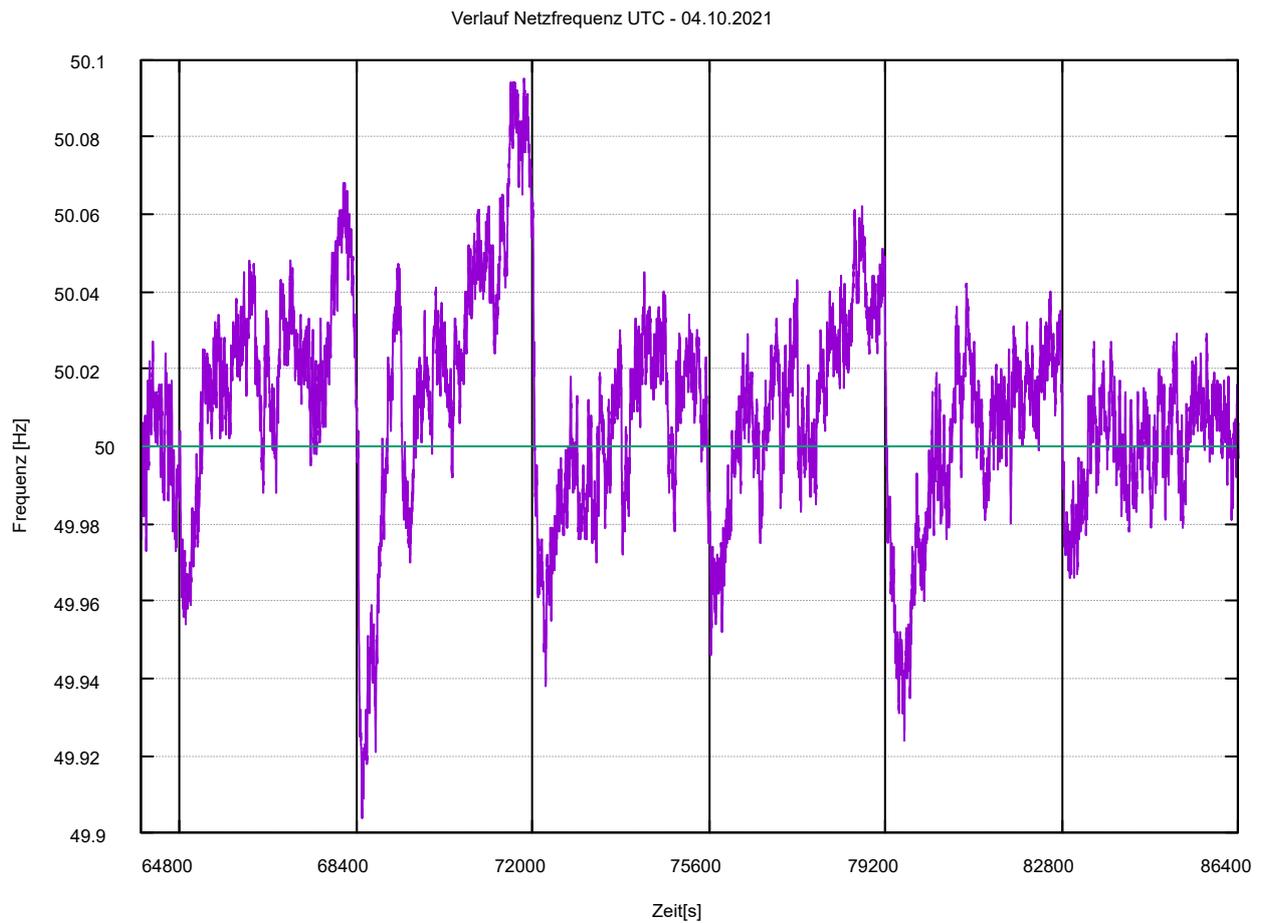


Abbildung 1: Netzfrequenz am 04.10.2021, 18 Uhr – 0 Uhr UTC

Aus der Netzfrequenz lässt sich direkt auf die Differenz zwischen Erzeugung und Bedarf schließen. Ohne näher auf die, diesem Zusammenhang zugrunde liegende mathematische Methode einzugehen (im Übrigen auch von Jens Müller als besonderes Feature bereit gestellt) ergibt sich für Leistungsüberschüsse bzw. -defizite am 04.10.2021, UTC folgendes Bild: Der Kurvenverlauf entspricht nahezu dem der Netzfrequenz.

Leistungsbilanz UTC - 04.10.2021

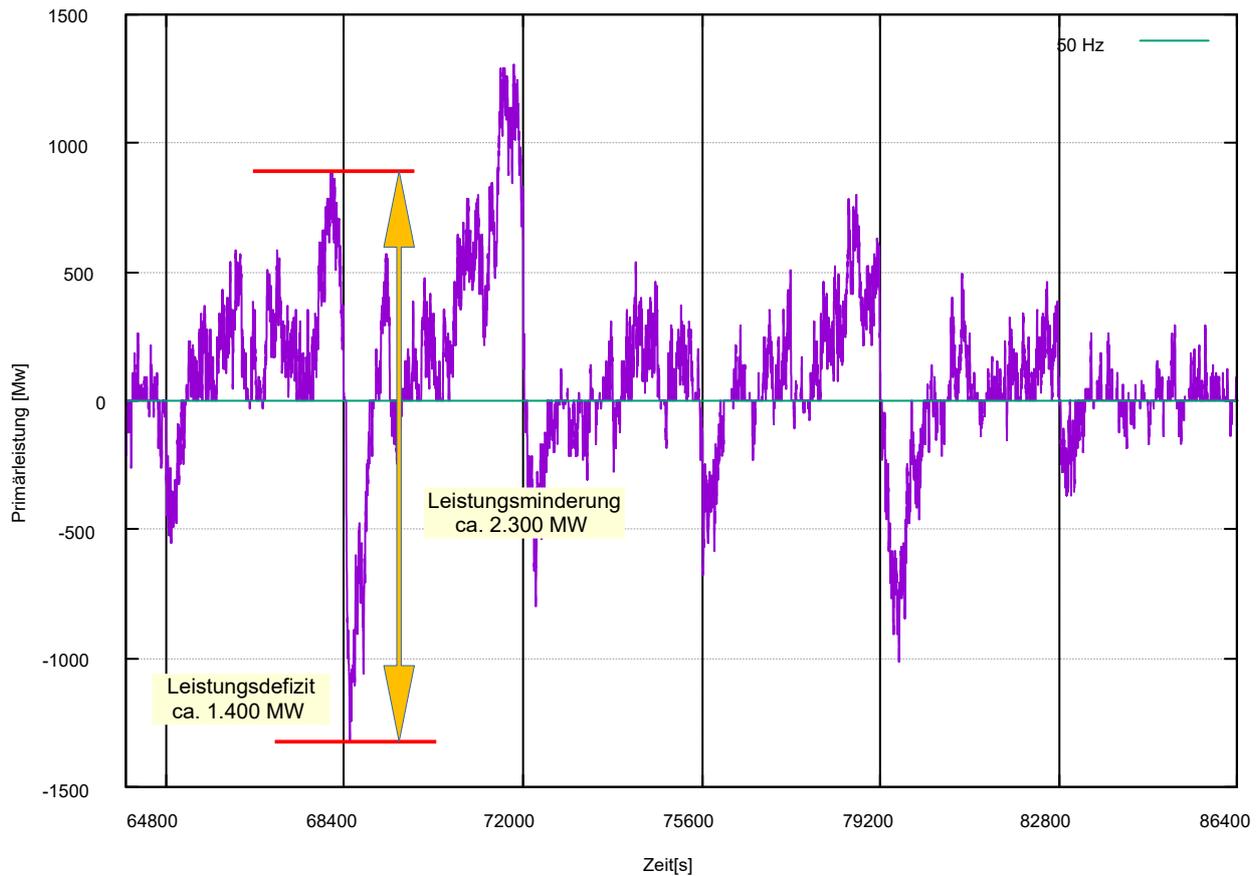


Abbildung 2: Leistungsbilanz am 04.10.2021, 18:00 Uhr bis 24:00 Uhr UTC

In den Abbildungen 1 und 2 erkennen wir zu jeder vollen Stunde (in den Abbildungen durch senkrechte Gitterlinien symbolisiert) Frequenzeinbrüche bzw. Leistungsdefizite. Stromhandel passiert offensichtlich immer noch vorwiegend im Stundentakt, obwohl seit 2011 [die Möglichkeit des Abschlusses von 15-Minuten-Kontrakten besteht](#). Es werden große Kraftwerkskapazitäten abgeschaltet und an anderer Stelle wieder zugeschaltet. Das funktioniert nicht reibungslos. Die Folgen für das Netz sehen wir an unseren Messergebnissen.

Die Netzbetreiber erhöhen anscheinend **kurz vor** Ende jeder vollen Stunde die Leistung im Netz. Die Netzfrequenz liegt dann fast immer über 50 Hz. **Nach** der Umschaltung, in Abbildung 1 besonders gut für 19:00 Uhr UTC (= 21:00 Uhr deutsche Zeit) erkennbar, sinkt die Netzfrequenz sehr schnell. Im diesem konkreten Fall entsteht ein Leistungsdefizit von mehr als 1.400 MW. Die gesamte Schaltdifferenz beträgt um die 2.300 MW. Obwohl sich alle Parameter im erlaubten Bereich befinden, halten wir eine solche markt dienliche Beanspruchung des Netzes für bedenklich, zumal sie regelmäßig auftritt. Ein weiteres Ereignis um 19:00 Uhr UTC, z.B. der Ausfall eines größeren Kraftwerkes, hätte weitreichende Folgen gehabt. Diese Fahrweise gefährdet also unsere Versorgungssicherheit.

Nur wenige Tage später, am 07.10.2021, bestätigen unsere Messungen, dass unsere Befürchtungen real sind. Gegen 22:00 Uhr UTC hat offenbar ein solches zusätzliches Ereignis stattgefunden. Wir wissen nicht was es war. Geplant war der Abfall der Netzfrequenz innerhalb von 6 min von 50,00 auf 49,82 Hz allerdings definitiv nicht (Abbildung 3).

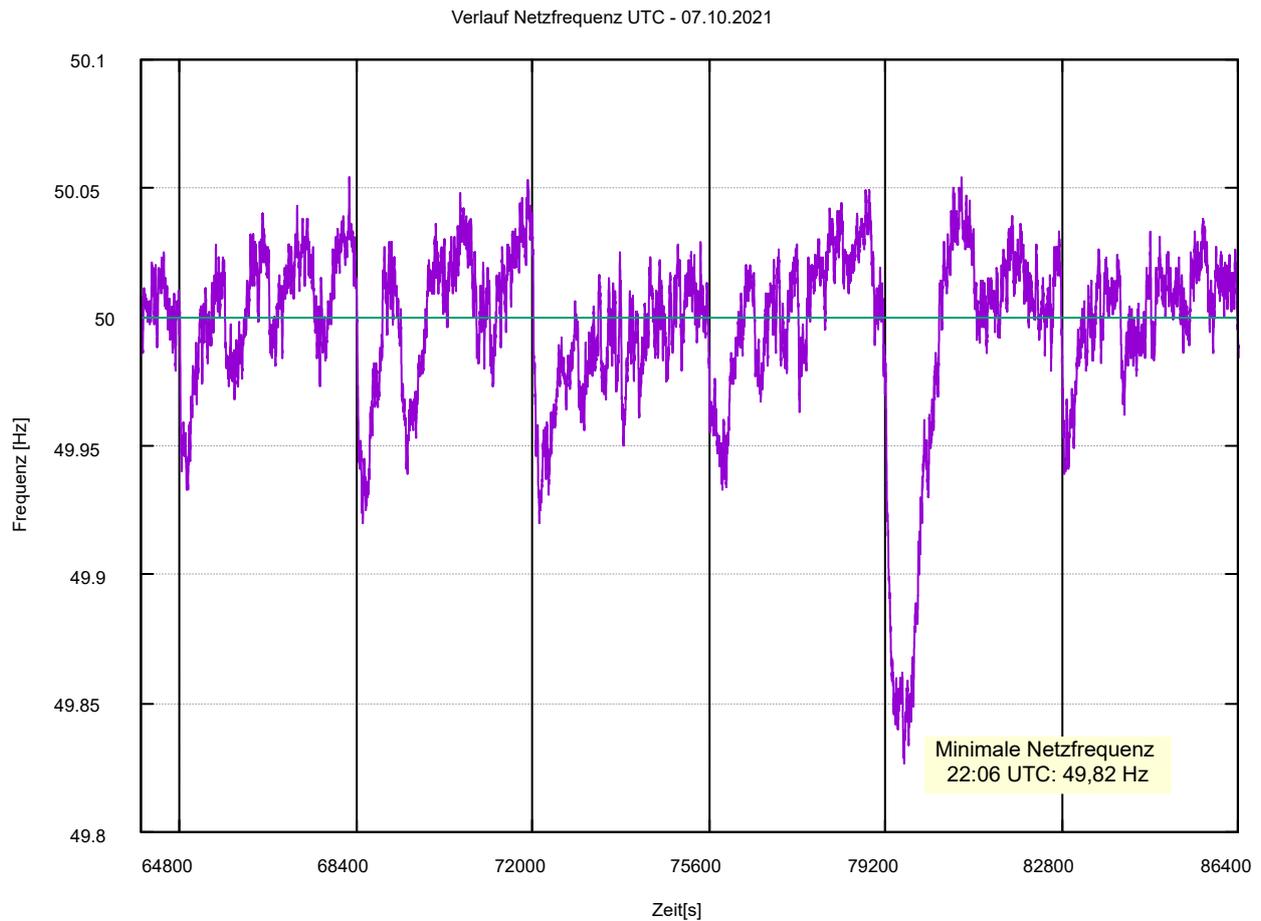


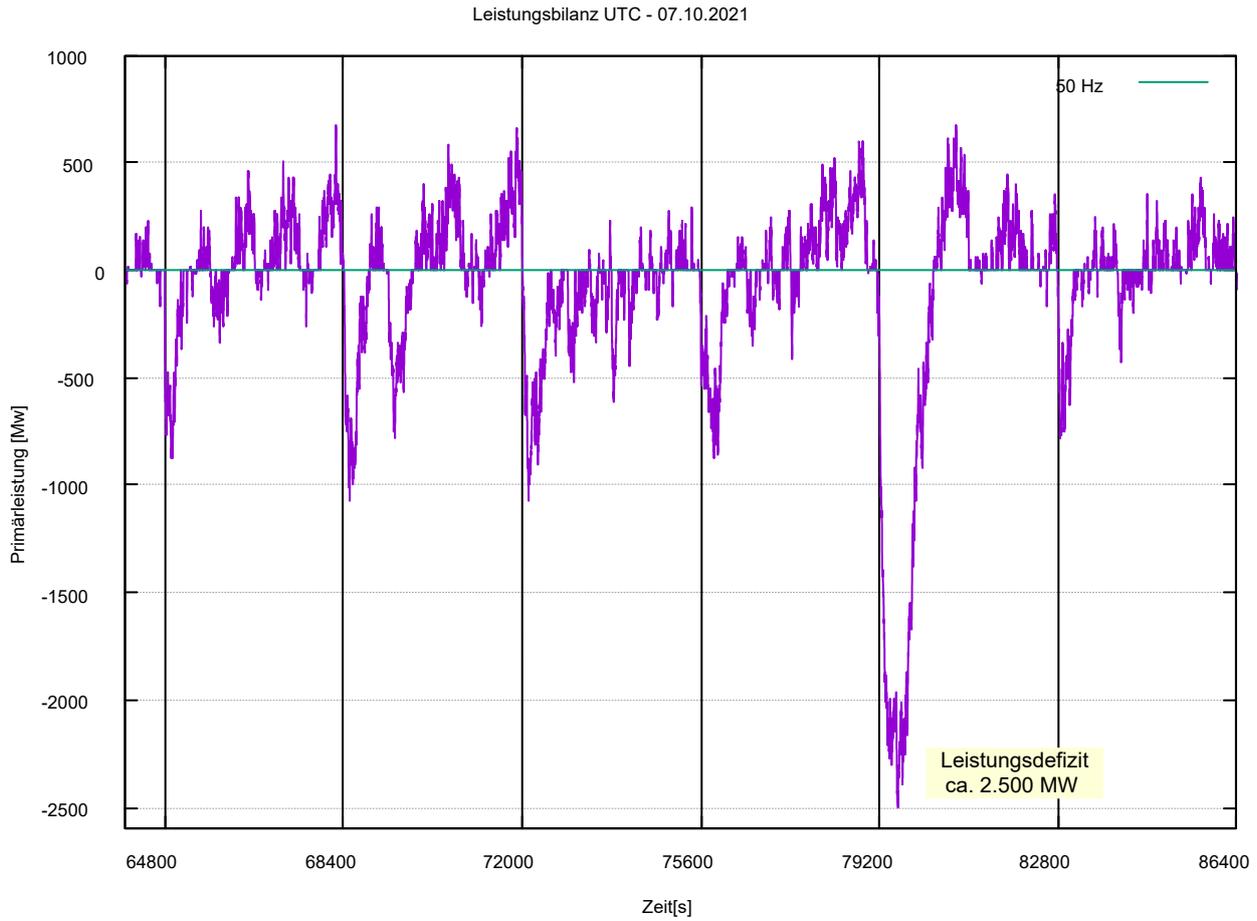
Abbildung 3: Netzfrequenz am 07.10.2021, 18:00 Uhr bis 24:00 Uhr UTC

49,82 Hz entsprechen einem Leistungsdefizit von 2.500 MW (Abbildung 4) und liegen weit außerhalb dessen, was tolerierbar wäre. Bei einer Frequenz von 49.80 beginnen bereits erste automatische Abschaltungen von Großverbrauchern, an denen wir hier haarscharf vorbei geschrammt sind.

Der breiten Öffentlichkeit bleiben diese oder ähnliche Situationen verborgen. Sie schaffen es erst dann in die Nachrichten, wenn Stromausfälle irgendwo bereits Schaden erzeugt haben. Es gilt wohl auch hier der Grundsatz eines ehemaligen deutschen Innenministers: „Weitere Informationen könnten die Bevölkerung verunsichern.“

Wir sollten uns aber alle darüber im Klaren sein, dass Verunsicherung manchmal besser ist als unsichtbaren Gefahren völlig ahnungslos gegenüber zu stehen.

Schließlich ergeben sich in unserem Stromnetz immer wieder brenzlige Situationen. Besonders „eng“ wurde es am 08.01.2019 (Orangebuch S. 47).



:

Abbildung 4: Leistungsbilanz am 07.10.2021, 18:00 Uhr bis 24:00 Uhr UTC

Man könnte das in Abbildung 4 gezeigte Leistungsdefizit um 22:06 Uhr UTC rein theoretisch als nicht oder zu spät erfolgte Primärregelleistung mit negativem Vorzeichen interpretieren. Wäre diese praktisch genauso zur Anwendung gekommen, hätte sich die Netzfrequenz zu diesem Zeitpunkt bei exakt 50 Hertz eingestellt. Das ist freilich nur ein idealisiertes Gedankenmodell. In der Praxis gelingt die Einhaltung von genau 50 Hz über einen längeren Zeitraum niemals. Die ist auch nicht weiter von Bedeutung, solange die Abweichungen nicht zu groß werden.

Wir weisen außerdem darauf hin, dass die hier ermittelten Leistungswerte nicht den exakten Verlauf widerspiegeln, sondern lediglich Tendenzen aufzeigen. Die Regelmechanismen, welche unsere Netzfrequenz innerhalb einer geringen Toleranz in der Nähe der 50 Hz halten sollen, sind, ebenso wie das zu steuernde Netz selbst, sehr komplex.

Primärregelung nach ENTSO-E-Standards?

Es ist definitiv **keine** Ermessensfrage, welche Defizite durch die Primärregelung ausgeglichen werden und welche nicht. Dieser Ausgleich hat automatisch zu erfolgen. Anderenfalls sollte man sich von der bislang gängigen Definition für die Primärregelung ehrlicherweise verabschieden. Diese Definition lautet nun einmal: Primärregelleistung ist als automatischer Ausgleich spätestens 30 Sekunden nach einer Abweichung von >20 mHz für mindestens 15 Minuten zu erbringen. Zumindest am 07.10.2021 gegen 22:00 Uhr UTC ist genau das nicht passiert. Die ENTSO-E-Standards zur Primärregelung wurden für mehrere Minuten verletzt.

Wir sehen das mit großer Sorge, weil wir uns damit selbst den Handlungsspielraum nehmen, der im Falle weiterer, unerwarteter Ereignisse im Netz dringend notwendig wäre.

Aus den durch Messung bestätigten Regelverletzungen ergeben sich für uns zwei Schlussfolgerungen, die gleichermaßen ernüchternd sind.

1. Es steht in kontinentaleuropäischen Netz nicht genügend Regelleistung zur Verfügung.
und/oder
2. Sie wird aus „Gründen der Sparsamkeit“ (Regelenergie ist deutlich teurer als „normaler Strom“) vorsätzlich zurück gehalten.

Vielleicht sind diese Schlussfolgerungen nicht korrekt. Wir sind zu jeder Diskussion darüber gerne bereit. Ansatzweise haben wir eine Erklärung im [Portal der Übertragungsnetzbetreiber](#) gefunden, die uns in unseren Annahmen bestärkt.

Netzfrequenz – was geht das uns an?

Unser Strom kommt aus der Steckdose und wie er da reinkommt, ist uns egal. Das kann man natürlich so sehen. Aber was, wenn wir morgens aufwachen und die Steckdose liefert keinen „Saft“ mehr? Eine Stunde ohne Strom halten wir aus, vielleicht einen Tag – viel länger allerdings nicht.

Die Netzfrequenz ist ein Maß für die Qualität unserer Stromversorgung. Weicht sie stark ab, haben wir ein Kriterium für schlechte Qualität gefunden. Was heißt aber stark? Es geht um Abweichungen im Millihertz (mHz)-Bereich. ± 20 mHz sind akzeptabel, ± 200 mHz führen bereits zu ersten Abschaltungen. Bei 47,5 Hz (Abweichungen nach oben in dieser Größenordnung sind eher unwahrscheinlich) gehen überall im kontinentaleuropäischen Verbundnetz die Lichter aus. Wer jetzt glaubt, zwischen 49,8 und 47,5 Hz gibt es jede Menge Luft, irrt gewaltig. Der Weg zum Blackout kann aufgrund von Kaskadeneffekten sehr kurz sein. Ergibt sich eine kritische Situation, reden wir eher von Sekunden als Minuten der Unachtsamkeit oder Überforderung der Operatoren in den Leitstellen, die in letzter Instanz z.B. durch Netztrennungen ([alles schon dagewesen](#)) ein allgemeines Desaster verhindern können.

Es würde hingegen im besten Fall mehrere Tage dauern, unser binnen weniger Sekunden gecrashtes Verbundnetz wieder funktionsfähig herzustellen.

Wir haben den Zustand nahe 49,8 Hz schon öfter gesehen. Die Ingenieure in den Netzleitstellen haben es bislang immer geschafft, 49,0 Hz (ab hier weitere verpflichtende Abschaltungen) und darunter zu vermeiden. Das verdient unseren Respekt.

Andererseits haben wir den begründeten Verdacht, dass die Qualität unserer Stromversorgung bis hin zur Inkaufnahme eines flächendeckenden Blackouts auf dem Altar der Wirtschaftlichkeit geopfert wird. Maßnahmen zur Stabilisierung des Netzes unter den Bedingungen der Stromerzeugung aus immer mehr erneuerbaren Quellen (Infrastrukturspeicher) haben auch die unlängst neu gewählten Politiker unseres Wissens noch nicht eingeleitet. Das Zocken mit Regelenergie scheint hingegen nach wie vor an der Tagesordnung zu sein.

Dennoch wird uns als Endverbraucher das qualitativ schlechtere Produkt Strom zu immer höheren Preisen verkauft. Alles in allem kann man eine solche Handlungsweise als **Betrug am Kunden** bezeichnen. Um das zumindest zu erkennen und öffentlich anzuklagen, müssen wir die Netzfrequenz im Auge behalten, aufzeichnen und auswerten. Genau das werden wir auch in Zukunft tun.

Diese eine Zahl um die 50 Hz betrifft uns letztendlich alle.