

12

Zeitschrift für
erneuerbare Energien
mit Schwerpunkt
Wasserkraft

Dezember
2025
74. Jahrgang



Wasserkraft · Wasserwirtschaft · Wasserrecht · Elektrizitätswirtschaft

wassertriebwerk

Verbandsorgan des Bundesverbandes Deutscher Wasserkraftwerke
und der Arbeitsgemeinschaften Wasserkraftwerke der Bundesländer



Der Faktencheck: Europäisches Stromnetz und Netzfrequenz

von Otto Mitterfelner

Ganz Europa hat ein gemeinsames Stromnetz. Es erstreckt sich von Spanien bis Dänemark, von Portugal bis in die Ukraine, von Frankreich bis zur Türkei [1]. Wie funktioniert dieses Stromnetz?

Kann jeder irgendwie einspeisen? Nein, die verbrauchte Leistung (also kW) und die erzeugte Leistung müssen jederzeit, im Teil-Sekunden-Bereich, ziemlich identisch sein. Wenn zu wenig „Strom“ im Netz ist, laufen die Generatoren ein bisschen langsamer, weil die elektrische Last sie dann mehr abbremsst. Normal sind 50 Hertz (Hz), also 50 Schwingungen pro Sekunde. Es wird anhand der Netzfrequenz bewertet, ob mehr Strom erzeugt werden muss oder weniger.

Die aktuelle Netzfrequenz wird z. B. in Abb. 1 dargestellt [2].

Der „normale“ Regel-Bereich liegt zwischen 49,8 Hz und 50,2 Hz. Die meisten elektrischen Geräte sind dafür ausgelegt, dass dieser Frequenzbereich im Netz stabil vorhanden ist. – Die Spannung ist übrigens seit 2008 festgelegt mit 230 V $\pm 10\%$ bzw. 400 V $\pm 10\%$. Die Regelung der Spannung erfolgt z. B. über Blindleistung. Dazu mehr in einem späteren Faktencheck.

Wodurch kann ein Unterschied zwischen Erzeugung und Verbrauch entstehen? Es kann sein, dass Wolken die Sonne verdecken, der Wind stärker wird, ein Kraftwerk zu- oder abgeschaltet wird, alle mit-

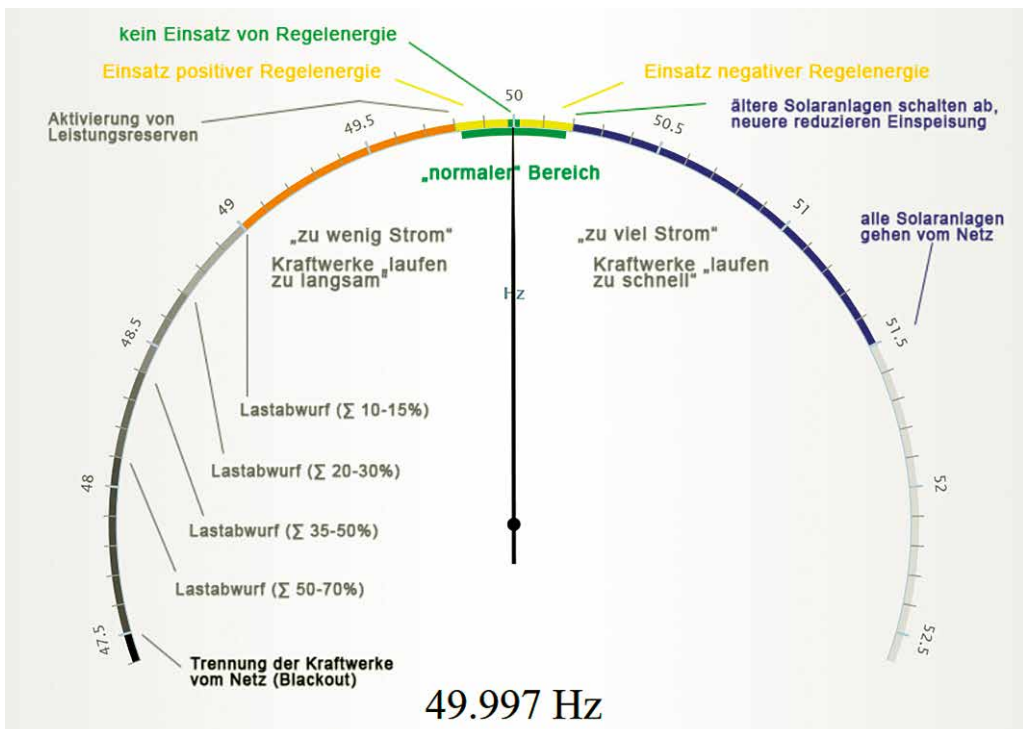


Abb. 1: Momentane Netzfrequenz

tags kochen oder die Fernsehgeräte eingeschaltet werden, wenn ein großartiges Fußballspiel anfängt. Eine Sonnenfinsternis hatte sich 2022 ereignet. Es gibt also viele Gründe und ständig muss nachgeregelt werden.

„An sonnigen Feiertagen betreiben wir das Stromnetz am Limit.“ – „An vielen Tagen im Mai 2025 haben Windparks und Solaranlagen deutlich mehr Energie erzeugt als benötigt wurde.“ – „Wir hatten Strom im Überfluss, deshalb war der Strompreis allein im Mai an 120 Stunden negativ!“ [3] So lauteten die Meldungen im Sommer.

Was passiert dann bei einer Abweichung? Da ist zuerst die Momentan-Reserve: Im Wesentlichen sind dies die Schwungmassen von Synchron-Generatoren. Bei kurzen Einbrüchen erfolgt der Ausgleich sofort durch die Momentan-Reserve. Die großen Generatoren, z. B. bei Kernkraftwerken oder teilweise bei Kohlekraftwerken wurden bereits abgeschaltet oder werden in Zukunft abgeschaltet. Das macht das Stromnetz „schwächer“. Die Wasserkraftwerke in Deutschland werden weiterhin rund um die Uhr laufen, und dezentral mit ihrer Momentan-Reserve das Stromnetz stabilisieren.

Die nächste Stufe ist die Primär-Regelenergie: Innerhalb von 30 Sekunden muss sie zur Verfügung stehen [4]. Dazu müssen z. B. Pumpspeicherkraftwerke oder Batterie-Speicher sehr schnell einspringen. Es lohnt sich, wenn viel Strom vorhanden ist und der Strom billig ist, diesen günstig einzukaufen, in Batterien zu speichern, und wenn der Strompreis hoch ist, den Strom aus den Batterien wieder ins Netz einzuspeisen.

Innerhalb von 5 Minuten greift die Sekundär-Regelenergie. Das sind z. B. Gaskraftwerke oder Pumpspeicherkraftwerke, die bereits in Betrieb sein müssen, und schnell herauf- oder heruntergeregelt werden können. Sie muss für mindestens 15 Minuten zur Verfügung stehen.

Die Minutenreserve wird zur Ablösung der Sekundär-Regelenergie eingesetzt und wird mindestens 15 Minuten lang in konstanter Höhe abgerufen.

Das alles ist natürlich nicht kostenlos. Die Stromproduzenten bekommen Geld, wenn sie Strom produzieren bzw. wenn sie bereit sind Strom zu produzieren.

Was ist mit PV-Regelenergie? PV kann man nur herunterregeln, was auch ferngesteuert gemacht wird, wenn zu viel „Strom“ im Netz ist. Das Gleiche erfolgt bei der Windkraft und anderen Stromerzeugern. Dieses Verfahren (Redispatch 2) wird von den Netzbetreibern eingesetzt, um die Stabilität des Stromnetzes zu gewährleisten. Die „Einspeiser“ bekommen den „Ausfall“ erstattet. Im Jahr 2023 betrugen die Kosten 3,1 Mrd. Euro! [5] Diese „verdeckten“ Kosten für die Abschaltungen werden an die Stromkunden weitergegeben.

Da es auch Dunkelflauten geben kann – also nachts, wenn kein Wind weht –, müssen dann nicht-volatile Stromerzeuger Strom liefern, z. B. Bioenergie, Wasserkraftwerke und neue Gaskraftwerke; im Ausland auch Kernkraftwerke.

„Wirtschaftsministerin Katherina Reiche, früher Chefin bei Eon, will bis zum Jahr 2030 rund 40 neue Gaskraftwerke errichten lassen. Die Maßnahme soll laut Ministerium die Stromversorgung in der Energiewende absichern.“ [6] Die Gaskraftwerke erzeugen zwar auch CO₂, aber deutlich weniger als Kohlekraftwerke. „Wir brauchen flexible Gaskraftwerke, die dann Strom liefern, wenn der Wind nicht weht und die Sonne nicht scheint. Und das brauchen wir schnell.“ [7]

Auch die Wasserkraft wird teilweise „heruntergeregelt“ oder abgeschaltet, wenn zu viel Strom vorhanden ist. Aber auch bei zu wenig Strom könnte die Wasserkraft unterstützen: Wenn auf der Oberwasser-Seite ein Becken oder ein breiter Fluss vorhanden ist, könnte die Wasserkraft z. B. von 50% kurzzeitig auf 100% öffnen, zusätzlichen Strom für z. B. 15 Minuten einspeisen und so das Netz stabilisieren. Der Oberwasserpegel könnte dabei um z. B. 10 cm fallen. Ein solcher Vorgang würde sich vielleicht 10-mal pro Jahr ereignen. Ich betone: Das wäre kein teilweise verbotener Schwall-Betrieb! Beim Schwall-Betrieb wird aufgestaut, dann wird geöffnet auf den op-

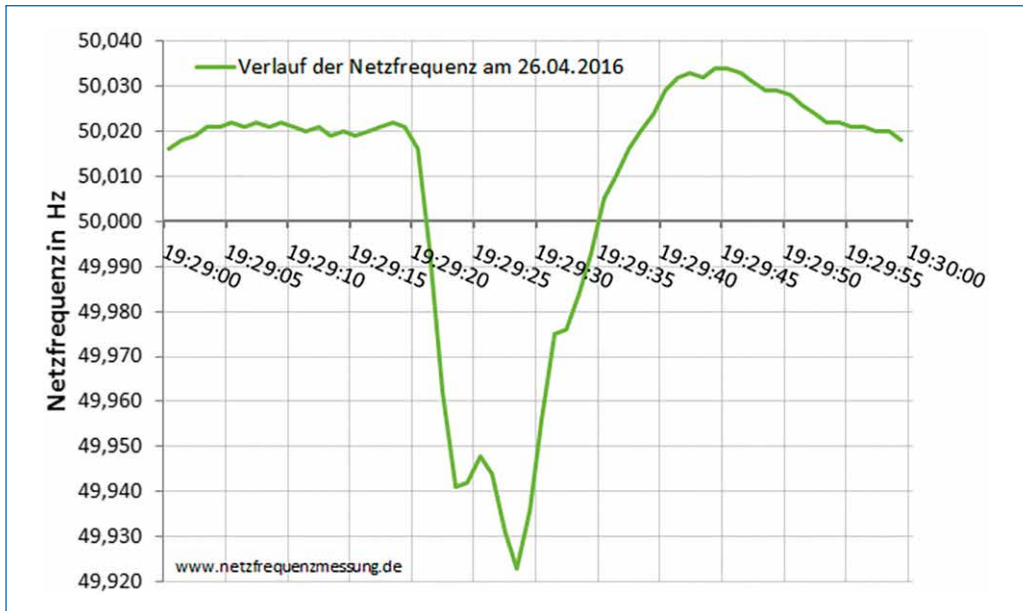


Abb. 2: Netzfrequenz am 26.4.2016 [9]

timalen Wirkungsgrad; wenn der Oberwasser-Pegel abgesunken ist, wird wieder abgeschaltet und wieder aufgestaut usw.

Wie stabil und zuverlässig ist unser Stromnetz?

Ich möchte einige Ereignisse in unserem europäischen Stromnetz auflisten [8]:

- Am 20. März 2015 gab es eine partielle Sonnenfinsternis in Europa, wodurch die PV zum Großteil weggefallen ist. Teilweise war es bewölkt, im Süden war es sonnig. Man konnte sich gut auf das Ereignis vorbereiten. Mit der Verdunklung wurden zusätzliche Kraftwerke angefahren. Gegen Ende der Verdunklung um 12 Uhr stand die Sonne am höchsten und die Photovoltaik-Einspeisung stieg rasant auf etwa 19 GW an. Es traten keine Probleme auf.
- Kurzfristiger Frequenzeinbruch am 26.4. 2016: Um 19:29 Uhr fiel innerhalb von 9 Sekunden die Frequenz um 0,098 Hz. Ursache war wohl ein Wegfall von 1000 MW (oder mehr) Erzeugung. Nach 5 Sekunden erfolgte ein kurzes Wiederein-

schalten, dann wieder Wegfall. Was genau die Ursache war, wurde nicht angegeben. Es wurde kontrolliert nachgeregelt, die Abschalt-Frequenz von 49,8 Hz wurde nicht erreicht (Abb. 2).

- Netzfrequenz erreicht erste Abschaltgrenze bei 49,8Hz: Am Donnerstag, den 10.1.2019 um 20:02:07 Uhr UTC (Universal Time Coordinated: Ortszeit Berlin ist UTC + 1; während Sommerzeit gilt UTC + 2) hat die Netzfrequenz innerhalb von 2 Minuten kurzzeitig den Wert von 49,800Hz erreicht. „Dieser Beinahe-Blackout hat viele Ursachen – aber er ist beileibe nicht das einzige netzerschütternde Ereignis der letzten Wochen.“ [10]

Die Ursachen waren wohl: Im französischen Atomkraftwerk Penly nahe Dieppe (Normandie) fiel um 20:26 Uhr Block 2 aus. Dann kam es um ca. 21:00 Uhr zu einer „kurzen, aber signifikanten Verbrauchsspitze“ durch den Pumpenstart in Pumpspeicherkraftwerken, darunter dem 1,1-GW-Pumpspeicherkraftwerk Goldisthal in Thüringen. Ein Notlastabwurfbefehl für alle 22 abschaltbaren Stromgroßverbraucher in Frankreich

nahm 1500 MW vom Netz, die Menge entspricht dem Stromverbrauch der Metropol-Region Lyon. Die Netzfrequenz konnte stabilisiert werden und kletterte bis 21:10 Uhr wieder in den Normalbereich (Abb. 3).

- Eine grundsätzliche Ursache von Schwankungen ist alltäglich zur vollen Stunde zu beobachten: Hier findet der sogenannte Stundenwechsel (beim Stromhandel) statt, welcher regelmäßig in den Morgen- und Abendstunden zu Frequenzschwankungen um 0,1 Hz führt. Klingt wenig – sind aber immerhin schon 50% des Toleranzbereichs von 0,2 Hz, die das Wechselstromfrequenzband bereithält.
- Abtrennung des südöstlichen Netzteils führte zu Frequenzabfall unter 49,8 Hz: Am 8.1.2021 um 13:05 UTC wurde der südöstliche Teil des Verbundnetzes vom kontinentalen Teil getrennt. Innerhalb von 13 Sekunden fiel sie dann um fast 0,27 Hz ab, teilweise unter 49,75 Hz. Die ENTSO-E, der Verband der Europäischen

Übertragungsnetzbetreiber, hat eine Systemaufspaltung zwischen 14:05 Uhr und 15:08 gemeldet. Die Trennung wurde um 14:08 Uhr UTC wieder aufgehoben. In keinem der beiden Netzteile sei es zu größeren Störungen gekommen. Die Ursache war wohl: Die westlichen Regionen deckten sich mit günstigem Strom aus den östlichen Regionen ein, wodurch der ungewöhnlich hohe Lastfluss entstand [11]. Eine Überlast an dem Netzknoten Ernestinovo (im Nordosten Kroatiens) führte zu dessen Abschaltung [12] [13]. – Man sagt, dass die großen Wasserkraftanlagen in Österreich die Bayern vor dem Stromausfall gerettet haben. Danke nach Österreich!

- Großflächiger Stromausfall in Spanien/ Portugal am 28. April 2025: Am 28.4.2025 ereignete sich ein großflächiger Stromausfall in Spanien und Portugal, teilweise auch Südfrankreich. An dem sonnigen Tag wurde viel Strom nach Frankreich exportiert, in Spanien lag der Anteil regenerativer Stromerzeugung bei

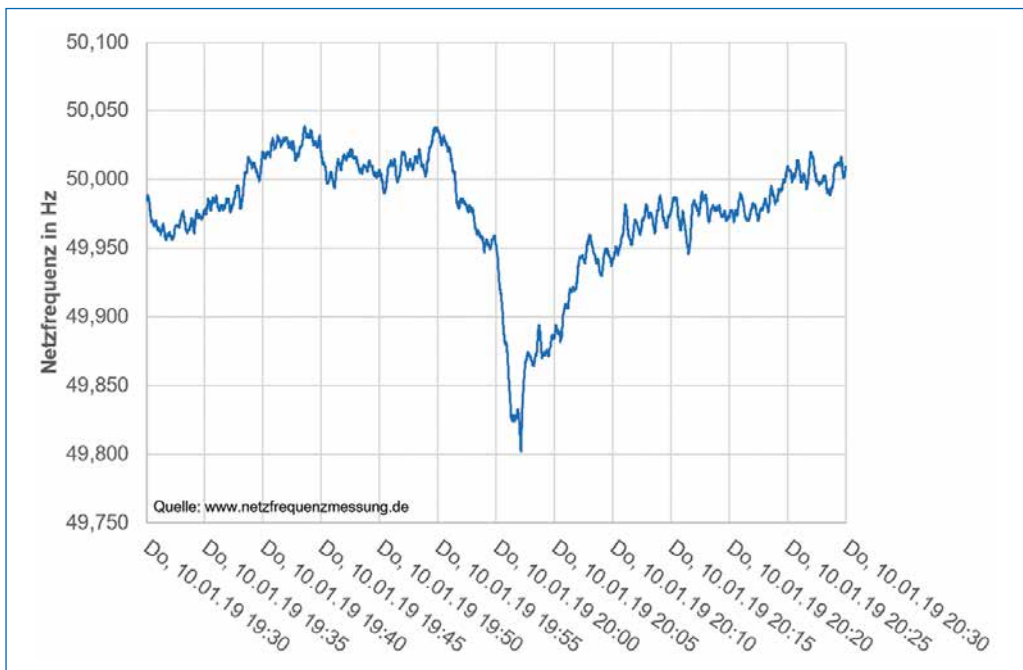


Abb. 3: Netzfrequenz erreicht kritischen Punkt von 49,8 Hz [10]

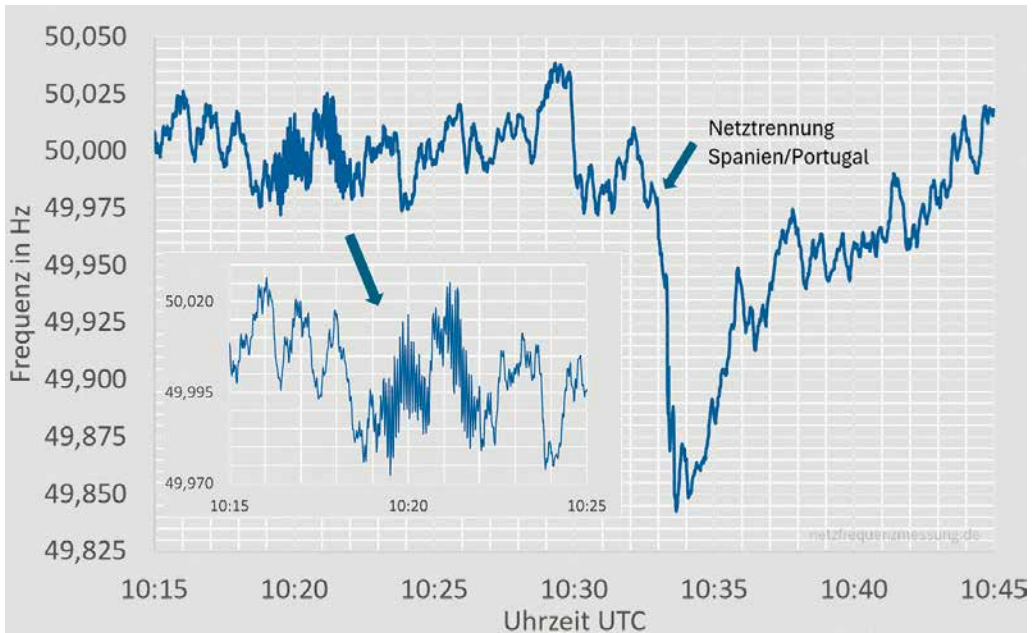


Abb. 4: Netzabfall im Verbundnetz, weil die Einspeisung von Spanien weggefallen ist [15]

ca. 83%. Um 12:33 Uhr ereignete sich eine Netzstörung oder ein Ausfall eines größeren PV-Parks. Nach ca. 1,5 s verlor das Netz einen weiteren Einspeiser. Scheinbar kam es dadurch zu Unstabilitäten im Netz, sodass sich nach weiteren 3,5 s die Leitungen nach Frankreich (zum Verbundnetz) wegen Überlast abschalteten [14] (Abb. 4).

„Damit war die iberische Halbinsel ein Inselnetz mit Leistungsüberschuss. Die Frequenz stieg an, bis die Erzeuger wegen Überfrequenz abschalteten. Mit dem Wegfall dieser Einspeiser gab es ein Leistungsdefizit, wodurch die Frequenz absackte, bis sich alle Erzeuger nun wegen Unterfrequenz vom Netz trennten.“ [16]

Übrigens: Es wurde gemeldet, dass bei dem Stromausfall in Nord-Spanien fünf Dörfer weiterhin Strom hatten, dank eines regionalen Wasserkraftwerkes! [17]

Die Vermutungen über die Ursache in Spanien: Cyberattacke (inzwischen ausgeschlossen), Störung im Umspannwerk in Südspanien [18], Ausfall einer Hochspannungsleitung in Frankreich [19], ex-

treme Frequenzschwankungen (siehe Abb. 3, 10:20), Spannungs-Schwankungen, plötzliches Abschalten aller PV-Anlagen [20], zu wenig Momentan-Reserve, zu schwache Leitungen nach Frankreich, fehlende Blindleistung zur Spannungsstabilisierung usw.

Ein Tag ohne Strom ist noch beherrschbar. Aber nach drei Tagen würden wohl Probleme mit Wasser, Essen, evtl. einem warmen Platz entstehen. Was mich unruhig macht: Es gibt viele ähnliche lokale Stromausfälle. Und diese Ereignisse passieren oft plötzlich und unvermittelt, im Bereich von wenigen Sekunden, wo die Primär-Regelung noch gar nicht greifen kann, weil die Vorgänge automatisch und schnell ablaufen.

Was mir an dem Beispiel Spanien Sorgen macht: Kann sich das bald wieder ereignen?

Wie wahrscheinlich ist das Auftreten eines großflächigen Stromausfalls in Deutschland?

Experten sagen: Sehr unwahrscheinlich. Ich teile diese Meinung; Deutschland hat gegenüber Spanien den Vorteil, dass nach

Deutschland viele Leitungen von den umgebenden Ländern führen, sodass das Netz deutlich stabiler ist. Von Spanien führen nur wenige Leitungen nach Frankreich.

Wie bewertet man das Risiko eines solchen Stromausfalls?

Das Risiko wird bewertet, indem man die Wahrscheinlichkeit des Auftretens mit dem möglichen Schaden multipliziert, hier also eine sehr kleine Zahl mal eine sehr große Zahl, beides Schätzwerte. Es ist schwierig, eine fundierte Aussage zu treffen. – Ein einzelner Ausfall/Defekt ist in der Regel beherrschbar; manchmal führen mehrere Ausfälle zu einem Domino-Effekt.

Auch ein Sonnensturm könnte zu einem „Blackout“ führen, so wie 1989 in Kanada (6 Mio. Menschen harrten stundenlang ohne Strom und ohne Fernwärme aus, bei Temperaturen um –15 Grad.), oder 2003 vor allem in Schweden und in Südafrika. Es wurden mehrere Transformatoren zerstört – ein empfindlicher Schaden, denn Transformatoren lassen sich nicht von heute auf morgen ersetzen [21] [22]. 1859, 1872 und 1989 ereignete sich jeweils gewaltige Sonnenstürme. Damals gab es noch keine Hochspannungsleitungen, aber das Telegrafensystem in Europa und in Nordamerika fiel für mehrere Tage aus. Heute könnten auf ganzen Kontinenten Stromnetze ausfallen – und in der Erdumlaufbahn würden bei wohl Hunderten Satelliten elektronische Bauteile zerstört. – Transformatoren haben eine lange Lieferfrist, da sie meist erst gebaut werden müssen [23].

Fest steht, dass nach einem großflächigen Stromausfall die Wasserkraft teilweise einen Inselbetrieb errichten kann, um z. B. Krankenhäuser, Gemeindeverwaltungen, Feuerwehren, Polizei, Trinkwasserversorgung etc. mit Strom zu versorgen. Das großflächige Netz kann dann nach und nach wieder synchronisiert und aufgebaut werden, was nach Expertenmeinung mehrere Tage dauern kann, da um neue Erzeuger hinzuschalten zu können, die richtige,

gleiche Spannung und eine synchrone Frequenz erreicht werden und dann jederzeit in dem Soll-Bereich gehalten werden müssen. Auch hier unterstützt die dezentrale Wasserkraft die Netzstabilität.

Betrachtet man die Stromerzeugung in Bayern, so stammen 17% aus Wasserkraft. Der Anteil an den Erneuerbaren beträgt 31%, und wenn man die Erneuerbaren und versorgungssicheren Stromerzeuger (Bioenergie und Wasserkraft) anschaut, hat die Wasserkraft in Bayern einen Anteil von 56%! [24]

Die Wasserkraft bietet deutlich mehr als reine kWh, z. B. für die Netzstabilität und Versorgungssicherheit, durch Momentanreserve und Regelleistung und einen möglichen Inselbetrieb; sie erspart Netzkosten in Höhe von 1 Mrd. [25], Unterstützung beim Netz-Wiederaufbau usw.

Deshalb stehen Wasserkraftanlagen, wie alle Anlagen zur Erzeugung erneuerbarer Energien, im überragenden öffentlichen Interesse. Dies bedeutet, dass die Errichtung und der Betrieb dieser Anlagen als besonders wichtig für die Gesellschaft gelten und deshalb einen bevorzugten Status in der Genehmigungspraxis erhalten sollten. – Ich meine, das „Überragende“ in Bezug auf die Wasserkraft wird nicht wirklich beachtet und umgesetzt. „Wir brauchen jede kWh, die planbar und verlässlich ist.“ [26] Und das ist bei den Erneuerbaren im Wesentlichen Bioenergie und Wasserkraft.

Quellen

1. www.saurugg.net/das-europaeische-stromversorgungssystem – abgerufen am 8.6.2025
2. www.netzfrequenz.info/aktuelle-netzfrequenz-full – abgerufen am 8.6.2025
3. www.n-tv.de/wirtschaft/Stromnetz-am-Limit-Klima-Labor-mit-Werner-Goetz-von-TransnetBW-Ansonnigen-Feiertagen-betreiben-wir-das-Stromnetz-am-Limit-article25811701.html – abgerufen am 8.6.2025
4. www.bundesnetzagentur.de/DE/Fachthemen/ElektrizitaetundGas/Versorgungssicherheit/Netzengpassmanagement/Engpassmanagement/Regelenergie/start.html – abgerufen am 8.6.2025

Beilagenhinweis: Dieser Ausgabe ist ein Prospekt „Erfolgreiche Getriebelösungen in Wasserkraftanlagen, Schleusen und Wehren“ der KACHELMANN GETRIEBE GmbH, Siemensstraße 4, 96129 Strullendorf, beigelegt. Internet: www.kachelmann.de. Wir bitten unsere Leser um Beachtung.