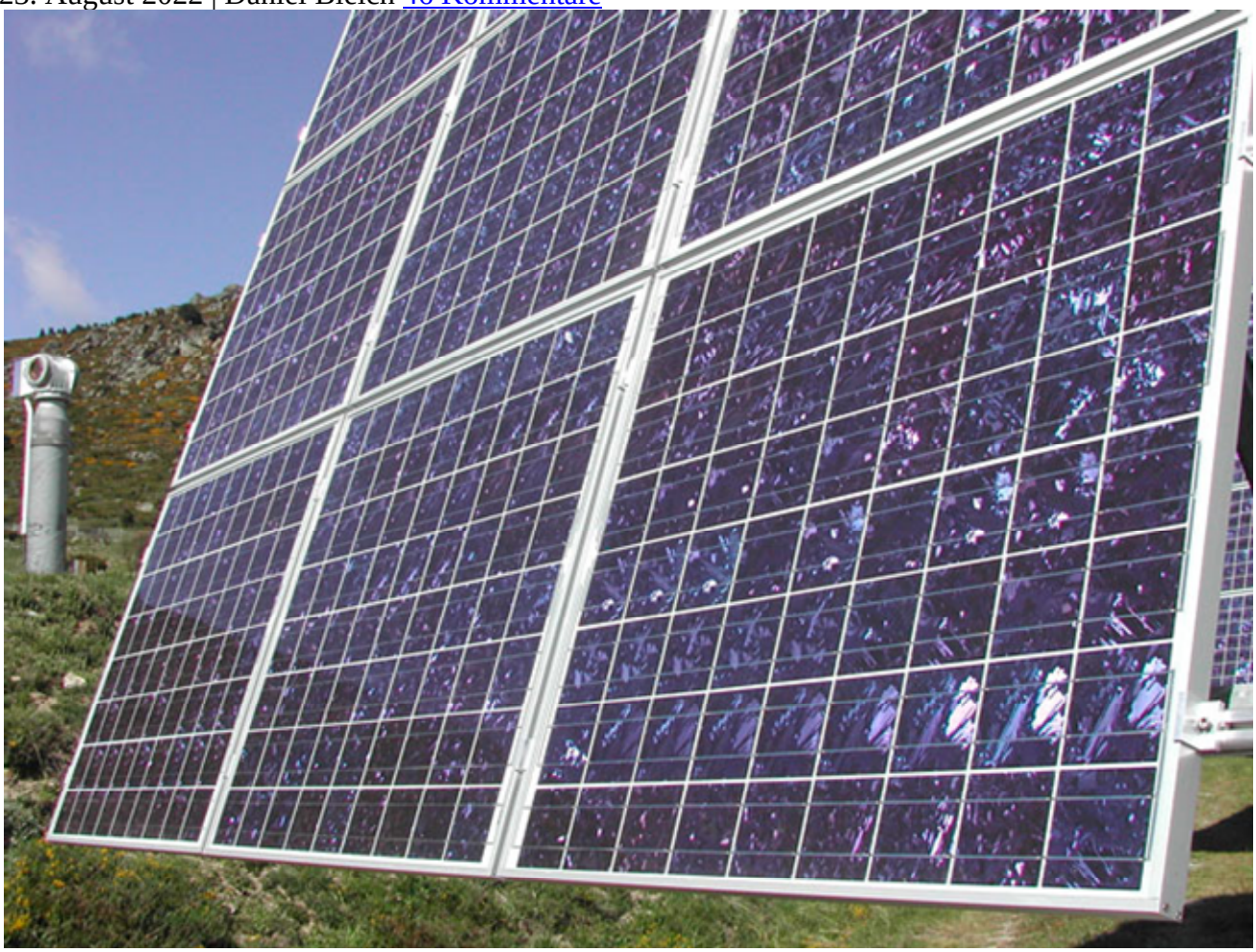
Wissen

Eine Einführung in das Energienetz – Wieso uns Wind und Sonne aktuell nicht retten und es auch (noch) keine Speicher gibt

23. August 2022 | Daniel Bleich 46 Kommentare



Solarmodul Foto: Thémis Solaire Innovation Lizenz: CC BY-SA 3.0

Deutschland steht vor einem schwierigen Herbst, die Strompreise schießen durch die Decke und das Scheitern der deutschen Energiewende ist für jeden greifbar. Zwei Fragen dominieren hierbei den Diskurs, die Frage nach der Schuld und die Frage nach der Lösung. Während die Frage nach der Schuld nicht so einfach zu beantworten ist, lässt sich eines mit Sicherheit sagen: Die Lösung wird vorgegeben von der Physik. Und die Physik hat kein Parteibuch.

Zunächst, es geht um das Netz für elektrische Energie. Nur für den Fall, dass Thermodynamiker oder Physiker diesen Beitrag lesen. Wenn in diesem Beitrag von Energie die Rede ist, dann ist elektrische Energie gemeint. Ich möchte möglichst

allgemeinverständlich versuchen zu beschreiben, wie das Energienetz funktioniert, wieso uns Wind- und PV Anlagen nicht zeitnah aus der Abhängigkeit zu Russland befreien können und weshalb Deutschland nicht in großem Maße Energiespeicher baut. Um dies überhaupt verstehen zu können, sind ein paar Definitionen und Grundlagen notwendig.

Die Kirchhoffschen Regeln & die Netzstabilität

Energienetze können keine Energie speichern. Die Stabilität des Energienetzes und damit die unterbrechungsfreie Versorgung mit Energie ist daher nur gewährleistet, wenn die eingespeiste Energie zu jedem Zeitpunkt der im Netz verbrauchten Energie entspricht. Dies folgt aus den Kirchhoffschen Regeln. Auf jede Verbrauchs- oder Erzeugungsänderung muss entsprechend sofort reagiert werden.

Grundlast, Mittellast und Spitzenlast

Die Grundlast ist die Belastung eines Stromnetzes, die im Laufe von einem Tag nicht unterschritten wird. Bezogen auf die Abbildung ist dies der niedrigste Punkt der Stromverbrauchslinie. In der Abbildung werden die drei Lastanteile im Tagesverlauf dargestellt. Die Mittellast ist jener Anteil, der über die Grundlast hinausgeht und hierbei bekannten Lastprofilen entspricht, also gut zu prognostizieren ist. Die Spitzenlast ist der Anteil, der zu schnellen Lastanstiegen führt und mitunter unvorhergesehen ist. Die Spitzenlast umfasst die Bedarfsspitzen. Grundlastfähigkeit bedeutet, dass ein Kraftwerkstyp in der Lage ist, dauerhaft und ohne große Unterbrechung Energie bereitzustellen

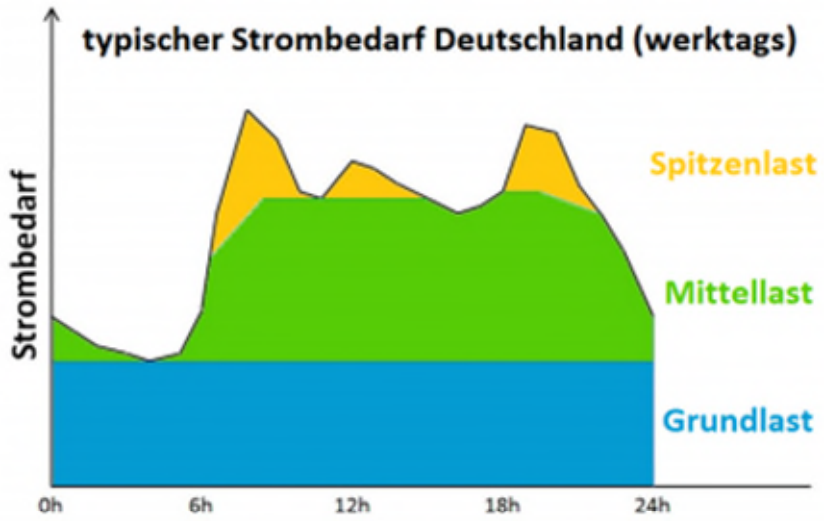


Abbildung : Beispielhafter Strombedarf über 24 Stunden mit Darstellung der Grund-, Mittel- und Spitzenlast. Entnommen „Energiewende: Gestalte Deine Zukunft"

Residuallast

Als Residuallast wird der verbleibende Energiebedarf beschrieben, der nach Abzug der fluktuativen Erzeuger Wind und PV von der Nachfrage noch bestehen bleibt und somit über sonstige, aktuell konventionelle, Erzeuger gedeckt werden muss. Wird mehr Energie erzeugt als benötigt wird, so ist von einer negativen Residuallast die Rede.

Leistung und Energie

Bei der Diskussion von Erzeugungskapazitäten und Speichern werden häufig die Begriffe Leistung und Energie oder daraus abgeleitet Energiespeicher verwendet. Die Leistung eines Energieerzeugers, beispielsweise eines Windrads, wird gängig in Watt (W), die Energiemenge wird in Wattstunden (Wh) angegeben. Je nach Größenordnung werden gängige SI-Präfixe verwendet, also Kilo-, Mega-, Terra- et cetera.

Ein Energieerzeuger, der über eine Stunde eine Leistung von genau einem Watt in ein Energiesystem einspeist, speist eine Wattstunde ein. Ebenso benötigt ein Verbraucher mit einer Leistung eines Watts über den Verlauf von einer Stunde eine Wattstunde.

Dies lässt sich an den derzeitig installierten deutschen Pumpspeicherkraftwerken veranschaulichen. Die aktuell installierte Leistung beträgt 6,7 Gigawatt (GW), die installierte Energiespeicherkapazität 37,7 Gigawattstunden (GWh). Werden sonstige Verlusteffekte außer Acht gelassen, so können über eine Dauer von 5,62 Stunden 6,7 GW an Leistung zur Verfügung gestellt werden.

Die Netzfrequenz

Vermutlich jeder hat mal gehört, dass das deutsche Energienetz eine Frequenz von 50 Hz hat. Konkret bedeutet dies, dass die Wechselspannung 100x in der Sekunde die Polarität wechselt. Ohne zu sehr ins Detail zu gehen: Wechselspannung ist der Grund, weshalb es egal ist, wie rum Sie den Stecker in Ihre Steckdose stecken.

Die Netzfrequenz ist die wichtigste Kenngröße des Energienetzes, da die meisten Verbraucher auf sie ausgerichtet sind. Bedeutet: Nur bei exakt 50 Hz arbeiten die Verbraucher konstruktionsgemäß. Sinkt oder steigt die Netzfrequenz außerhalb des vorgesehenen Bandes, können zahlreiche Geräte nicht mehr ordnungsgemäß arbeiten. Dies betrifft insbesondere auch die netzeinspeisenden Synchronmaschinen selbst. Nehmen wir als Beispiel eine alte Glühbirne mit Glühdraht. Unterschreitet die Netzfrequenz die 50 Hz deutlich, dann fängt die Birne an zu flackern und wird dunkel*.

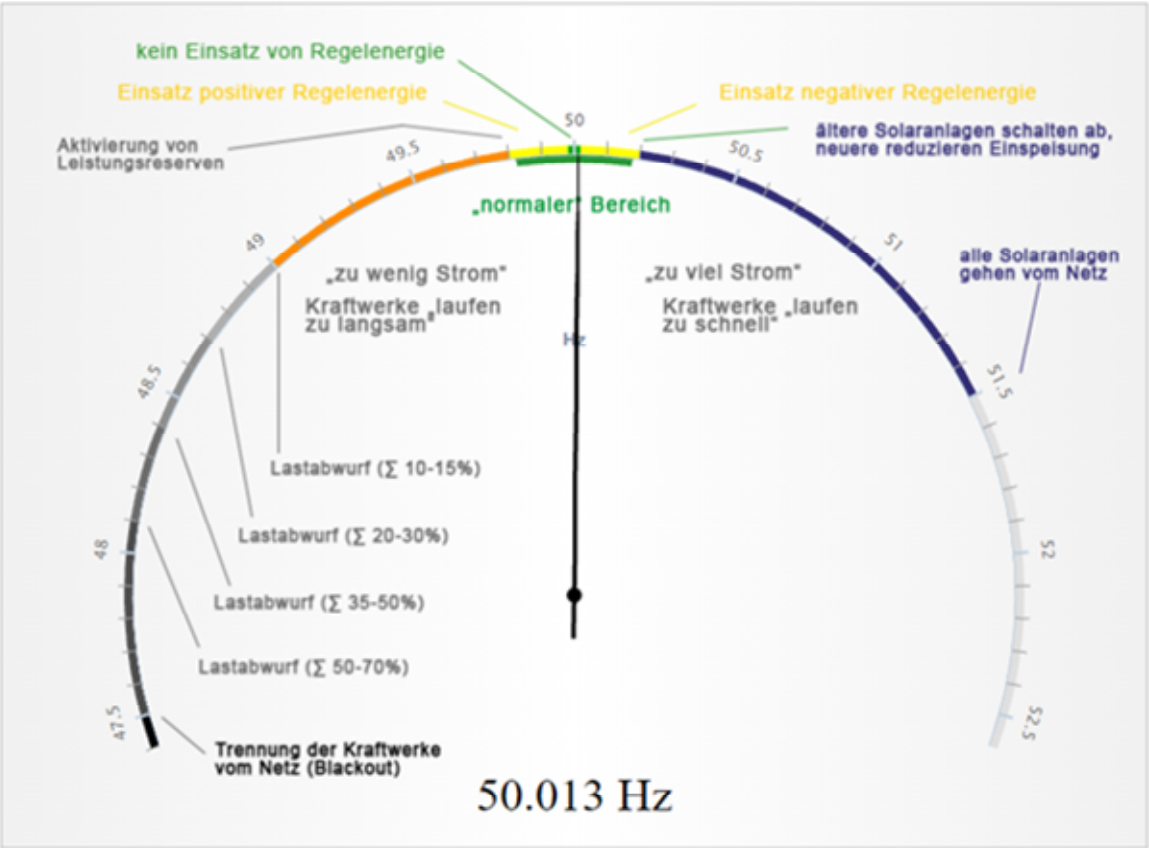
Die Netzfrequenz fällt ab, wenn die verbrauchte Energie höher ist, als die erzeugte Energie und steigt an, wenn die erzeugte Energie höher ist als die verbrauchte Energie. Bis ein solcher Effekt im Netz spürbar wird, vergehen nur wenige Millisekunden. Das zulässige Frequenzband ist 50,2 bis 49,5 Hz. Auf Schwankungen wird mit so genannter Regelleistung reagiert. Dies können entweder sehr kurzfristig verfügbare Einspeiser sein, die das Netz an zentralen Stellen entweder mit zusätzlicher Einspeisung stützen oder aber Einspeisung abschalten oder aber große Industrieverbraucher, die seitens des Netzbetreibers vom Netz getrennt werden können. Praktisch würde dies bedeuten, dass in einer Aluminiumhütte der Strom ausgeht. Unvorbereitet. Kann trotz Lastabwurf kein Absinken der Netzfrequenz verhindert werden, kommt es zum Blackout. Wie realistisch dieses Szenario ist, zeigt der beinahe Blackout vom 08. Januar 2021.

Was in der Theorie leicht umsetzbar klingt („Na, dann schalten wir die Aluhütte eben weg, besser als ein Blackout!“) ist in der Praxis aufgrund der Geschwindigkeit des Geschehens schnell unbeherrschbar. Die Ursache liegt im Kaskadeneffekt.

Sinkt die Netzfrequenz ab, können sich Industrieverbraucher und Anlagen automatisch zum Schutz vom Netz trennen, da sie nicht mehr die notwendige Energie beziehen können. In der Folge kommt es zu einem sofortigen Frequenzsprung, da jetzt überschüssige Energie im Netz zur Verfügung steht. Das Überschießen der Netzfrequenz führt zum sofortigen Abschalten

weiterer Anlagen, die zum Schutz vor Überlastung vom Netz gehen. Was jetzt einsetzt, ist eine Pendelbewegung, die in Sekundenbruchteilen zum Netzzusammenbruch führen kann.

Unter www.netzfrequenzmessung.de wird die aktuelle Netzfrequenz sowie die Regelleistung sekundengenau dargestellt.



…und deshalb sind Wind- und PV-Anlagen ein riesiges Problem für alle Netzbetreiber

Wind- und PV-Anlagen erzeugen logischerweise dann Strom, wenn die Sonne scheint oder Wind weht. Es ist nachvollziehbar, dass die Erzeugung hierbei extremen Schwankungen unterworfen ist und innerhalb weniger Sekunden variiert. Deshalb werden diese Erzeugertypen auch als fluktuativ bezeichnet. Der zuvor erklärten Ausgleich muss entsprechend schnell über Regelleistung geschehen. Und es ist offensichtlich, dass je mehr Wind- und PV Anlagen im Netz betrieben werden, zeitgleich ein immer höherer Bedarf an Regelleistung resultiert. Um das in aller Deutlichkeit zu formulieren:

Eine einzige Unterschreitung der maximal zulässigen Netzfrequenz von 47,5 Hz führt zum Blackout. Es gibt keinen Freischuss oder zweiten Versuch.

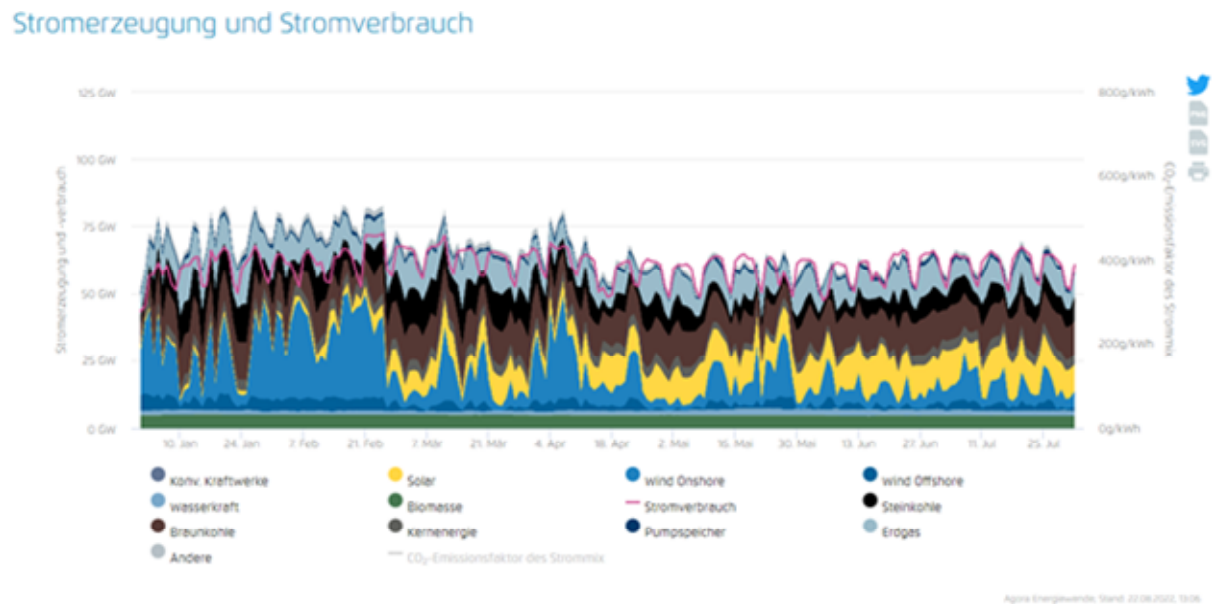
Entsprechend wird Regelleistung immer von Kraftwerkstypen oder Verbrauchern zur Verfügung gestellt, die vollständig regelbar und nicht von fluktuativen Faktoren abhängig sind.

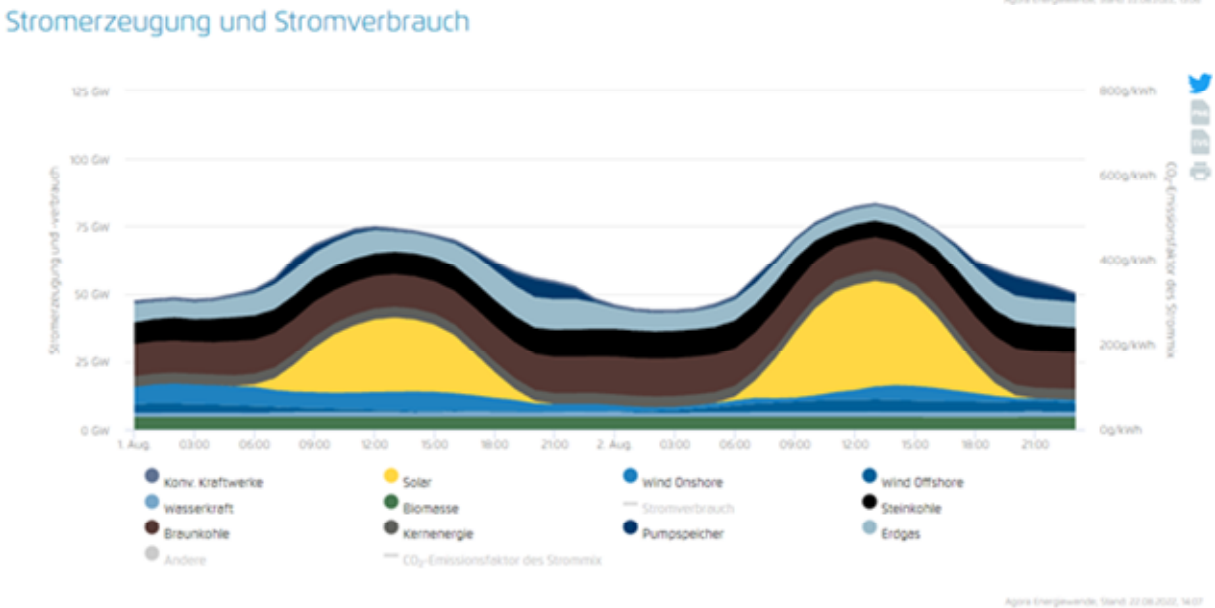
Welchen Energiebedarf hat Deutschland…

Nachfolgend zwei Grafiken. Die erste zeigt die saldierte Energieerzeugung jedes Tages für den Zeitraum vom 01.01.2022 bis zum 01.08.2022, die zweite zeigt die stundengenaue Erzeugung für den 01.08. und 02.08.2022. Die Grafiken entstammen dem Agorameter.

Ein häufiges Problem in der Debatte ist, dass kaum jemand versteht, über welche Mengen an Energie eigentlich gesprochen wird. Ein deutscher Vierpersonenhaushalt benötigt im Jahr etwa 3.500 kWh an Energie. Nehmen Sie das als Bezugsgröße. Die gleiche Energiemenge verbraucht ein einziger ICE der deutschen Bahn in etwas über 20 Minuten. In Deutschland werden pro Jahr etwa 500.000 Tonnen Aluminium hergestellt. Die Aluminiumindustrie verbraucht hierzu etwa 250 kWh in der Sekunde. Das gesamte Jahr über. Anders ausgedrückt: **Alle 14 Sekunden** wird in der Aluminiumindustrie in Deutschland die gleiche Menge an Energie verbraucht, die ein deutscher Vierpersonenhaushalt im Jahr benötigt. Das sind die Energiemengen, die zuverlässig jederzeit zur Verfügung gestellt werden müssen. Der verständliche Denkfehler in der Betrachtung ist zu erkennen, um welche Dekaden der industrielle Energiebedarf größer ist.

Falls Sie sich erinnern, gab es vor etwa 6 Wochen mehrere Presseartikel, dass über 50 % der erzeugten Energie aus regenerativer Erzeugung stammt. Eine Erfolgsmeldung von der Energiefront jagte die Nächste! Und irgendwie kommt seit 4 Wochen keine Erfolgsmeldung mehr. Die Stromoffensive kommt ins Stocken. Doch was ist geschehen?





Es wird Herbst. Betrachtet man den gelben Anteil der Grafik ist zu erkennen, dass die PV-Erzeugung seit einigen Wochen einen fallenden Trend hat. Das Jahreserzeugungsmaximum wird um den längsten Tag des Jahres für einige Wochen erreicht, wenn die Sonne im idealen Winkel über Deutschland steht. Auf diese Sonnenposition sind PV Anlagen ausgerichtet. Danach setzt der Herbsttrend ein, die Erzeugung geht durch ungünstigere Position zurück. Das passiert jedes Jahr. Man kann heute mit absoluter Gewissheit sagen, wann nächstes Jahr das Erzeugungsmaximum erreicht wird. Ebenfalls ist gut zu erkennen, dass Deutschland aktuell schlicht Pech mit dem Wind hat. Ein stabiles Energienetz muss jedoch mit Pech umgehen können. In der konkreten Umsetzung bedeutet dies, dass zu jedem Zeitpunkt so viel konventionelle, steuerbare Erzeugerleistung zur Verfügung stehen muss, dass eine Dunkelflaute, dies bezeichnet Zeiträume, in denen weder Wind- noch PV-Energie zur Verfügung steht (bspw. in einer windstillen Nacht), überbrückt werden kann. Die Lösung der bisherigen Bundesregierungen hierfür war zuletzt die Verstromung von Gas. Mit Ausnahme von Wasserkraft, die erhebliche ökologische Auswirkungen hat und nur in Staaten mit vielen wasserreichen Flüssen nutzbar ist, existieren bis dato weltweit keine leistungsstarken grundlastfähigen, regenerativen Erzeugungstechnologien. Betrachten Sie bitte einmal den Zeitraum 01.08. bis 02.08.22. Deutschland verfügt über die weltweit 3t größten installierten PV- und Windkrafterzeugungskapazitäten. Es waren windstille, sonnenreiche Tage. Ein

massiver Ausbau der PV-Leistung hätte tagsüber zwar für eine regenerative Vollversorgung sorgen können, aber selbst eine um den Faktor 20 größere installierte Leistung hätte nachts nicht gereicht, um Deutschland zu versorgen. Es drängt sich eine Frage auf…

…und wieso baut Deutschland keine Energiespeicher?

Selbstverständlich folgt hieraus sofort die Überlegung, weshalb nicht beispielsweise tagsüber aus PV-Anlagen erzeugte Energie gespeichert wird, die dann nachts genutzt werden kann. Oder aber eine Speicherung von per Windkraft erzeugter Energie im Herbst und Winter, die dann im Jahresverlauf abgerufen wird. Um die Frage vorab zu beantworten: Ist es möglich, Deutschland vollständig regenerativ zu versorgen?

Ja. In der Theorie. Aber nicht in absehbarer Zeit. Die Antwort klingt für manche vielleicht unrealistisch plump, aber es gibt keine Speicher. Es fehlt wortwörtlich die skalierbare Technologie – weltweit. Gäbe es diese Wundertechnologie, dann hätte sie jemand gebaut.

Konkret werden zwei Speicherlösungen benötigt, eine, die langfristige Speichervorgänge, beispielsweise über Monate (Erzeugung im Winter, Nutzung im Sommer / vice versa) abbilden kann sowie eine Speicherlösung, die für kurzfristige Speicherbewegungen (Erzeugung am Tag, Nutzung in der gleichen Nacht / vice versa) genutzt wird. Die Lösung wird eine Kombination von Power2Gas sowie weiteren, kurzfristig nutzbaren Speicherlösungen sein. Vorab, die Zahlen haben deshalb extreme Schwankungen, da sie abhängig vom gewählten Nutzungsszenario und einer Vielzahl nicht zu prognostizierender Parameter sind. Ich werde mich daher auf die in der Literatur geläufigsten Durchschnittswerte beziehen.

In meiner ingenieurswissenschaftlichen Abschlussarbeit habe ich mich mit der Frage beschäftigt, welche Speichergrößen und Leistungen bei verschiedenen Szenarien notwendig wären, um Deutschland zu einem möglichst hohen Anteil mit regenerativer Energie zu versorgen. Hierzu habe ich eine Simulationssoftware geschrieben und die von mir errechneten Werte in Abgleich mit der internationalen Literatur gebracht.

Bis zum Jahr 2045 wird Deutschland die Wind- und PV-Erzeugungskapazitäten in etwa vervierfacht haben. Die Ausbaupfade, die häufig bereits in Gesetze gegossen wurden, werden in der Potentialanalyse „Klimaneutrales Deutschland“ beschrieben. Ich beziehe mich im letzten Abschnitt des Artikels daher auf Berechnungsergebnisse, die im Jahr 2045 an Speicherleistung mindestens vorzuhalten wären, um Deutschland vollregenerativ zu versorgen.

Die bisherige Präferenzlösung sind Pumpspeicherkraftwerke. Wasser wird in ein höhergelegenes Becken gepumpt und nachfolgend über Turbinen wieder genutzt. Stand heute verfügt Deutschland über die größten und effektivsten Pumpspeicher Europas mit einer Speicherkapazität von 40 GWh und einer Leistung von 7 GW. 40 GWh an Energie entsprechen dem nächtlichen deutschen Bedarf in etwa 45 Minuten. Um nach Erreichen der Ausbauziele die überschüssige Energie einzuspeichern und bedarfsgerecht wieder zur Verfügung zu stellen, wäre ein Ausbau der Speicherkapazität auf etwa 50 TWh notwendig. Eine Vertausendfachung der heute vorgehaltenen Kapazität. Die Leistung müsste zeitgleich auf etwa 200 GW verdreißigfacht werden. Weltweit werden in demokratischen Staaten aktuell kaum noch Pumpspeicher gebaut, da die Auswirkungen und Eingriffe in Flora und Fauna so extrem sind, dass sie das Mikroklima ändern und zum Aussterben von Tier- und Pflanzenarten in der Region führen können.

Batteriespeicher könnten insbesondere genutzt werden, um eine Vielzahl an Speichervorgängen im kurzfristigen Bereich, beispielsweise über wenige Stunden, abzubilden. Der deutsche Bedarf wird in der Literatur mit Speicherkapazitäten zwischen 100 und 300 GWh angegeben, wobei im Mittel von etwa 150 GWh die Rede ist. Sämtliche Batteriespeicher weltweit zusammen haben aktuell eine von etwa 30 GWh**.

Die aussichtsreichste Lösung zur langfristigen Energiespeicherung ist Power2Gas, über einen technischen Prozess wird Energie entweder zu Wasserstoff oder Methan umgewandelt. Dies ist deshalb attraktiv, da Deutschland mit 230 TWh über die viertgrößte Gasspeicherkapazität der gesamten Welt verfügt. Problematisch ist jedoch, dass nur ein geringer Teil dieser Gasspeicher für Wasserstoff genutzt werden kann und bei der Herstellung von Methan deutlich mehr Energie verloren geht. Weiterhin benötigt die Methanisierung große Mengen an CO2 und ist vergleichbar mit der Herstellung von eFuels. CO2 könnte jedoch beispielsweise direkt in Kohlekraftwerken und Industrieanlagen per Direct Air Capture / Carbon Capture and Storage gewonnen werden. Die Gasspeicherkapazitäten in Deutschland sind aber bereits heute auch für die Zukunft in jedem Fall ausreichend.

Die Engstelle ist die Gaserzeugung über Elektrolyse. Um mit Erreichen der prognostizierten Ausbauziele 2045 genügend Leistung zur Verfügung zu haben, als technische Anlagen, die während des Energieüberschusses genügend Energie in Gas umwandeln können, benötigte Deutschland 60-80 GW an Elektrolyseurleistung. Die aktuell weltweit nutzbare Elektrolyseurleistung beträgt 0,2 GW.

Und behalten Sie im Hinterkopf: Dies gilt nur, wenn sämtliche regenerative Erzeugungskapazitäten vervierfacht werden. Und dann ist nur Deutschland versorgt, noch kein anderer Staat auf der Welt. Wir sprechen hier über absolute Spitzentechnologie mit hohem Ressourcenbedarf. Ressourcen, die es am Weltmarkt nur in begrenztem Maße gibt. Hätte Deutschland vor 30 Jahren sämtliche verfügbaren Ressourcen eingekauft und die restliche Welt komplett von der Versorgung abgeschnitten, dann hätten wir heute im besten Fall 10-15 % des deutschen Speicherbedarfs/der deutschen Speicherleistung erreicht. Kurzum: Selbst dann stünde Deutschland vor einem erheblichen Problem in diesem Winter.

Power2Gas ist die in sämtlichen Studien am häufigsten zitierte und empfohlene Technologie, an der in erheblichem Maße geforscht wird. Zur Verfügung steht sie aber aktuell nur im Versuchsstadium und für Kleinanwendungen, die industriell notwendige Skalierung fehlt aktuell.

Fazit

Es ist vollkommen richtig, dass regenerative Erzeugerleistung an möglichst effizienten Standorten weiter ausgebaut wird. Um die Energieversorgung in unserem Land in den kommenden Monaten und Jahren zu sichern, wird dies aber alleine nicht helfen und praktisch hätte auch ein wesentlich stärkerer Ausbau in der Vergangenheit im kommenden Winter wenig Unterschiede gemacht, da Deutschland bereits heute in Spitzenerzeugungszeiten erhebliche Teile der regenerativ erzeugten Energie ins Ausland verkauft oder zum Netzschutz kurzschließt. Die Speicherfrage ist aktuell und kurzfristig, das ist anhand der Relationen zu den weltweit verfügbaren Kapazitäten hoffentlich ersichtlich, nicht im Ansatz lösbar. Auf absehbare Zeit benötigen sämtliche Industriestaaten der Welt verlässliche Grundlast- und Regellastkraftwerke, stand heute sind das Kohle-, Gas- und Atomkraftwerke. Power2Gas kann und wird bei der Speicherfrage einen erheblichen Beitrag leisten, aber die Reihenfolge muss gewahrt bleiben: Erst die neue Technologie, dann die Alte abschalten.

Andernfalls ist ein zuverlässiger Netzbetrieb, eine Versorgung der Industrie und somit der Erhalt des gesamten Systems nicht möglich.