

Zum Stand der Energiewende im Bereich der Elektrotechnik (Kurzfassung*)

Die Energiewende ist nun schon seit vielen Jahren in aller Munde. Oft ist damit ausschließlich oder vorrangig die Wende in der Versorgung mit elektrischer Energie gemeint. Hierauf sollen sich auch die nachfolgenden Ausführungen beschränken – allerdings unter Einbezug der Aspekte »Wärmewende« und »Sektorkopplung«

Wichtiger als sonst irgendwo ist es in der Elektrotechnik – und hier wiederum vor allem im Zusammenhang mit erneuerbaren Einspeisungen – die Begriffe Leistung und Energie nicht zu verwechseln. Leistung ist Energie pro Zeit, bzw. Energie ist Leistung mal Zeit.

Bei der Betrachtung fallen zwei Punkte auf, denn zum einen ist die Elektrotechnik den anderen Sektoren wie Verkehr, Raumheizung und chemische Prozesse schon weit voraus: Fast die Hälfte der 2022 aus dem öffentlichen Netz bezogenen elektrischen Energie stammte bereits aus erneuerbaren Quellen. Dies ist zum Teil dadurch zu erklären, dass die Elektrizität nicht nur hinsichtlich ihrer äußerst vielseitigen Anwendung, sondern auch der Erzeugung sehr flexibel ist, also auf vielerlei Art und Weise gewonnen werden

kann. Dennoch ist dieser Fortschritt erstaunlich, da der elektrischen Energie – oder vielmehr der elektrischen Leistung – ein ganz erhebliches Hindernis am Bein hängt:

1 Netzbetrieb

Die Elektrizität ist nämlich die einzige Art von Energie, die immer genau in der Sekunde erzeugt werden muss, in der sie verbraucht wird. Die in das Netz eingespeiste Leistung muss also in jedem Moment exakt der entnommenen Leistung entsprechen. Es ist kein »Puffer« vorhanden. Sicher gibt es Akkumulatoren, mit denen man Smartphones, Laptops und sogar Autos eine ganze Weile laufen lassen kann und mit denen sich ein »Solar-Haushalt« – zumindest im Sommer – auch schon eine Nacht lang über Wasser halten kann, wenn tags zuvor die Sonne schien. Diese Akkus sind dem Netzbetrieb jedoch nicht dienlich, sondern stellen vielmehr weitere Lasten dar, weil ihre Ladezeiten – bislang immer noch – für das Netz gerade so spontan und unangemeldet ein- und aussetzen wie der Betrieb der anderen Lasten gemeinhin auch. Privat betriebene Solarstromspeicher u. Ä. als Entlastungs-Maßnahme für das Netz anzusehen, ist daher abwegig.

Die Vorstellung, in das Netz eingespeiste Energie werde dort in irgendeiner Form gespeichert, ist leider ebenso irreführend. Die im Netz gespeicherte Energie beschränkt sich auf die Rotation der Generatoren und das, was mit diesen auf derselben Welle angeordnet ist – und das beinhaltet gerade mal so viel Energie, wie das Netz in einer Sekunde umsetzt!

Zum Glück hat man sich aber nach anfänglichem Glaubenskrieg dafür entschieden, die Netze als Drehstromnetze aufzubauen und aus einem anfänglichen Flickenteppich wuchsen vier europäische Verbundnetze zusammen. Somit sind all die großen Synchron-Generatoren von Portugal bis an die Ostgrenze der Türkei über die Höchstspannungsnetze (380 kV; 220 kV) miteinander verbunden und laufen also allesamt synchron zueinander.

Drehstrom ist letztlich auch nicht mehr als ein dreifacher Wechselstrom. Dessen Frequenz wird stets peinlich genau auf dem Nennwert von 50 Hz gehalten (Abb. 1). Falls ein großer Kraftwerksblock von z. B. 1,3 GW ungeplant und unvorhergesehen ausfällt (Abb. 2), wird die Lücke im ersten Moment tatsächlich aus der Massenträgheit der übrigen laufenden Maschinen gedeckt. Damit aber sackt deren Drehzahl ab – und proportional hierzu

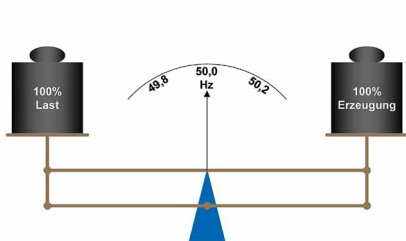


Abb. 1: Alles im Lot im Verbundnetz: Einspeisung und Entnahme exakt im Gleichgewicht

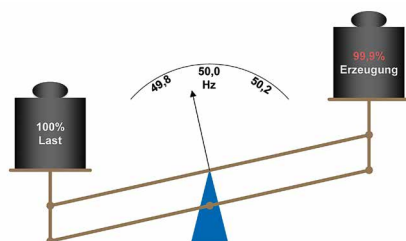


Abb. 2: Upps – 1% zu viel Last / zu wenig Einspeisung und die Frequenz bricht sekundenschnell ein!

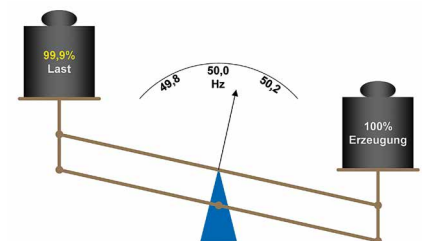


Bild 3: Upps – 1% zu wenig Last / zu viel Einspeisung und die Frequenz läuft flugs davon

die Frequenz im gesamten Verbundgebiet: Alle Kraftwerke sehen das Defizit sofort – ohne dass hierfür eine Datenverbindung geschaltet werden müsste! Einige unter ihnen haben das Ass im Ärmel: Sie können Regelleistung anbieten. Das bedeutet:

- Sie laufen normalerweise nicht mit voller Leistung, sondern nur etwa 50 % hiervon.
- Sie können ihre Abgabeleistung sehr schnell ändern (was alles andere als selbstverständlich ist).

Solange sich die Netzfrequenz zwischen 49,99 Hz und 50,01 Hz aufhält, greifen die Regelleistungs-Kraftwerke nicht ein. Darunter steigern sie ihre Leistung (Abb. 2), und darüber wird sie reduziert (Abb. 3). Bei 49,8 Hz gehen sie auf 100 %, bei 50,2 Hz auf 0 % ihrer Nennleistung. Bei diesen Werten wird aber bereits Alarm ausgelöst! Bei 47,5 Hz trennen sich die Kraftwerke vom Netz und produzieren nur noch den Strom, den sie zu ihrem eigenen Betrieb benötigen (Abfangen im Eigenbedarf), um nicht durch die Überlast bis zum Stillstand »abgewürgt« zu werden, sondern zum Wiederaufbau der Versorgung zur Verfügung zu stehen.

2 Stand 2022

In Deutschland sind etwa 83 GW gesicherte Leistung installiert, d.h. solche Erzeugungseinheiten, die man mit dem entsprechenden zeitlichen Vorlauf nach Bedarf an- und abfahren kann. Bei 83 Mio. Einwohnern macht das also nur 1 kW pro Person – einschließlich des gesamten umgelegten Stromverbrauchs in Industrie, Gewerbe, öffentlichem Sektor und Verkehr. Nichtsdestoweniger kann – und darf – ein einziger Haushalt rund 24 kW aus dem Netz entnehmen (Absicherung 3*35 A – Abb. 4). Bei Neu- bzw. Nachinstallation (weil der Vorgänger eine zu schwache Leitung installiert hatte) geht man in diesem Fall unter Umständen sofort auf 63 A (Abb. 5). Das Netz lebt hier von der Statistik, dass ein Haushalt im langjährigen Mittel nur 400 W aufnimmt. Von den gut 9 Mio. in deutschen Wohnungen installierten elektrischen Durchlauferhitzern¹ sind gemäß jahrzehntelanger Erfahrung zu jedem beliebigen Zeitpunkt nur ganz wenige in Betrieb – Probleme unbekannt. Wie das mit den Elektroautos wird, weiß man noch nicht – Erfahrung Mangelware.

¹ BDEW: »Entwicklung des Wärmeverbrauchs in Deutschland – Basisdaten und Einflussfaktoren 2021« (www.bdew.de/media/documents/Waermeverbrauchsanalyse_Foliensatz_2021_final.pdf)



Abb. 4: Noch weit verbreiteter traditioneller »Ferraris-Zähler«

Die installierten »unsteten« Einheiten der erneuerbaren Erzeugungen machen an der summierten Nennleistung insgesamt schon deutlich mehr aus als die konventionellen (Tabelle 1 links). Zum einen aber ist ihr Beitrag zur Energieerzeugung im Verhältnis hierzu geringer (Tab. 1 Mitte). Zudem können sie nicht fest eingerechnet werden, da sie nicht zuverlässig verfügbar sind. Immer wieder ist mit einer »Dunkelflaute« zu rechnen, die Deutschland statistisch etwa alle zwei Jahre trifft, also eine 10 bis 14 Tage dauernde Wetterlage, bei der weder Wind noch Sonne Nennwertes zur Erzeugung beitragen (Abb. 6). Auf der anderen Seite gibt es Momente, in denen die Erneuerbaren allein schon ausreichen (Abb. 7).

Indes können die trägen Kohlekraftwerke nicht bei starkem Sonnenschein abgeschaltet und bei Sonnenuntergang wieder hochgefahren werden. Ein Braunkohlekraftwerk benötigt hierzu aus dem kalten Zustand 9 bis 15 Stunden und für die schnellstmögliche Veränderung der Leistung im laufenden Betrieb werden bei Steinkohle 4 %/min, bei Braunkohle 3 %/min angegeben². Alte Anlagen lassen sich nicht unter 40 % der Nennleistung

² <https://de.wikipedia.org/wiki/Kraftwerksmanagement>



Abb. 5: Ein moderner elektronischer Haushaltszähler »eHZ« kann auch nicht mehr und ist für sich allein noch lange kein »Smart Meter« (siehe Abschnitt 9: »Digitalisierung«)

fahren, neue sind im Hinblick auf die Energiewende für ein Minimum von 20 % ausgelegt. Die Kernkraftwerke erreichten sogar Regelraten bis 10 %/min je nach Typ; nur stehen sie bereits still. Die Primär-Regelleistung muss aber innerhalb von 5 s einsetzen und nach 30 s in vollem Umfang zur Verfügung stehen. Innerhalb dieses Zeitraums kann ein Braunkohlekraftwerk also seine Leistung nur um ± 1,5 % ändern. Bedingung zur »Präqualifikation« als Anbieter ist aber u. a., dass mindestens 2 % der Nennleistung als Regelleistung angeboten werden können. Die Braunkohlekraftwerke sind damit »draußen«. Die meiste Regelleistung kommt aus der Wasserkraft – zum Teil aus dem Ausland, weil wir zu wenig davon haben. Außerdem kommen hier die Pumpspeicherkraftwerke ins Spiel.

3 Die Probleme mit der Wende

Für Sonne und Wind gibt es keine Einsatzreihenfolge, diese wird vom Wetter diktiert. Nur in Extremsituationen kommt es zu Abregelungen, d.h., dass weniger »Ökostrom« produziert wird als in diesem Moment produziert werden könnte. Im Jahresmittel von 2022 wurden nach ENTSO-E³ 48,4 % der dem öffentlichen Netz

³ European Network of Transmission System Operators for Electricity (www.entsoe.eu)

Tab. 1: In Deutschland installierte Leistungen und von diesen in das öffentliche Netz eingespeiste Energie 2022 nach Angaben des BDEW

2022	Allgemeine Stromversorgung Deutschlands nach BDEW				Auslastung	
	Installierte Leistung der allg. Versorgung		Netto-Erzeugung		einzel	gesamt
	absolut	anteilig	absolut	anteilig		
Kernenergie	4,0 GW	1,7%	32,8 TWh	5,9%	8190 h/a	
Braunkohle	18,5 GW	7,8%	117,0 TWh	21,1%	6324 h/a	
Steinkohle	18,5 GW	7,8%	68,0 TWh	11,9%	3575 h/a	
Erdgas	31,2 GW	13,2%	77,5 TWh	14,0%	2485 h/a	3585 h/a
Mineralöl	4,7 GW	2,0%	4,6 TWh	0,8%	983 h/a	
sonstige	6,3 GW	2,7%		0,0%		
Speicher (aus)	5,7 GW	2,4%	6,0 TWh	1,1%	1051 h/a	2452 h/a
Speicher (ein)		$\eta = 75,0\%$	8,0 TWh	1,4%	1401 h/a	
Wasserkraft	5,6 GW	2,4%	17,5 TWh	3,2%	3119 h/a	
Wind an Land	57,9 GW	24,6%	99,0 TWh	17,8%	1710 h/a	
Wind auf See	8,1 GW	3,4%	25,0 TWh	4,5%	3080 h/a	1707 h/a
Solar	65,8 GW	27,9%	62,3 TWh	11,2%	947 h/a	
Biomasse	9,5 GW	4,0%	46,8 TWh	8,4%	4937 h/a	
Geothermie	0,1 GW	0,0%	0,2 TWh	0,0%	3966 h/a	
Netzverluste	–	–	26,2 TWh	4,7%	–	–
Gesamt	235,8 GW	100,0%	554,7 TWh	100,0%	2353 h/a	

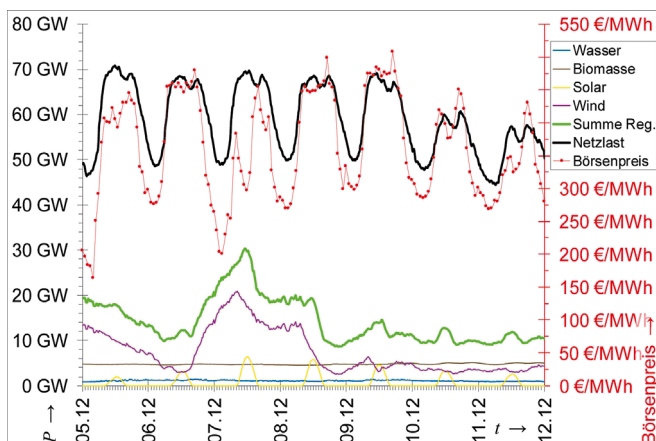


Abb. 6: Woche der geringsten »grünen« Einspeisung 2022 gegenüber dem gesamten Verbrauch (Netzlast)

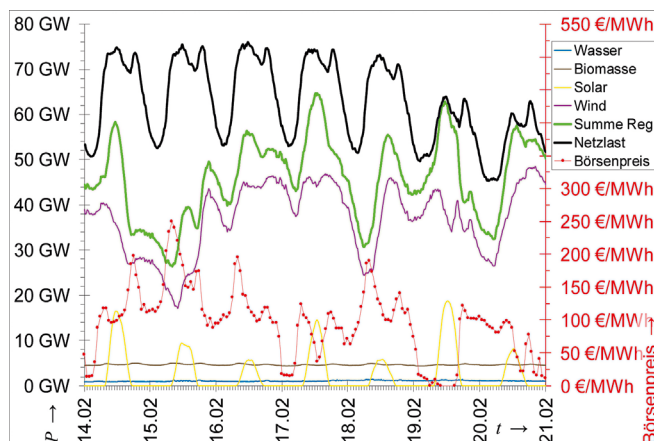


Abb. 7: Woche der höchsten »grünen« Einspeisung 2022 gegenüber der Netzlast

entnommenen elektrischen Energie erneuerbar erzeugt. In der Woche der geringsten »grünen« Einspeisung (Abb. 6) waren es aber nur 28,8 %, in der Woche des Maximums (Abb. 7) sogar 71 %.

- Die geringste »grüne« Einspeisung trat am 4. Oktober 2022 um 5:45 h auf und betrug 6,85 GW. Der Bedarf lag in diesem Moment bei 37,72 GW. Hätte der Bedarf weit darüber gelegen, wie bei der Jahres-Bedarfsspitze von 78,83 GW am 1. Februar 2022 um 12:30, hätte der Bedarf nicht gedeckt werden können.
- Die Grünstromspitze lag am 11. März 2022 um 12 Uhr bei 65,39 GW. Die Netzlast betrug zu diesem Zeitpunkt 69,86 GW und wurde also beinahe vollständig durch Erneuerbare gedeckt! Glücklicherweise, denn wären in diesem Moment nur 37,72 GW erforderlich gewesen, wohin dann mit dem Rest?

Eine ganz bedeutende Schwierigkeit bei der Energiewende ist die sehr ungleiche Verteilung des Sonnenlichts über das Jahr. Teilt man die vergangenen acht Jahre in je zwei Hälften, wird dies deutlich (Abb. 8) – oder, um es so zu betrachten: Die

Monate Januar und Dezember machen zusammen fast genau 17 % eines Jahres aus, während sie rund 34 % bis 37 % des jährlichen Heizwärmebedarfs, aber nur 2,9 % bis 4,6 % der solaren Stromerzeugung beinhalten, je nach zugrunde gelegtem Einspeiseprofil. Dennoch wird in Anbetracht der gegenwärtigen Situation häufig überlegt, eine Wärmepumpe anzuschaffen und mit eigenem Solarstrom zu betreiben. Allerdings ist dazu eine PV-Anlage mit einer Nennleistung von 100 kW nötig, also einer Paneelfläche von 500 bis 1000 m² (je nach Wirkungsgrad der Zellen), und ein Speicher wird auch noch gebraucht, da man im Winter sicher nicht nur zu den spärlichen hellen Tagesstunden heizen will.

Fraglos ist die Wärmepumpe die Heizung der Zukunft (hier kommen die Wärmewende und die Sektorkopplung ins Spiel). Betrieben wird sie aber wohl vorwiegend mit Windstrom. Zum Glück läuft hier die Tendenz gerade anders herum als beim Sonnenlicht: Wind gibt es im Winter mehr als im Sommer (Abb. 8). Somit ist der Wind eine tragende Säule der Energiewende. Dies erkennt man schon daran, dass sowohl

der erzeugten Energie, wie wir es bislang haben (Tab. 1).

4 Preise und Kosten

Der oft gebrauchte Spruch »Die Sonne schickt keine Rechnung« ist nicht sonderlich geeignet, um die Energiewende voranzubringen. Auch die Behauptung einer anerkannten Größe der Volkswirtschaft ist völlig unzutreffend, Strom werde fast nichts mehr kosten, wenn die Energiewende erst einmal vollzogen sei.⁴ Vielmehr muss im bisherigen Zustand alles doppelt vorhanden sein: Die konventionellen Energien müssen praktisch in vollem Umfang noch bereit stehen, kosten Geld, aber bringen kaum welches ein – umso weniger, je länger die Erneuerbaren es allein schaffen. Vielmehr ist es doch heute Konsens, dass die erneuerbare Erzeugung die wertvollere ist, und natürlich kostet die unter dem Strich mehr. So konnte die Energiewende bislang nur subventioniert funktionieren.

Fazit so weit: Für die heute üblichen großen Windkraftanlagen werden Stromgestehungskosten von 4 bis 8 ct/(kWh) genannt. Da wird die garantierte Einspeisevergütung von 7,35 ct/(kWh) = 73,50 €/(MWh) uninteressant, wenn man sich die Börsenpreise ansieht.

5 Fehlanzeige: Speicher

Was leider immer noch fehlt, ist eine praktikable Lösung zur Speicherung elektrischer Energie. Der Umweg z. B. über Wasserstoff ist recht aufwendig und ineffizient: Bei der Umwandlung von Strom in Wasserstoff und wieder zurückgehen beinahe 2/3 der Energie verloren.

Wie viel Speicher hat das Netz? In Deutschland sind knapp 6,7 GW Pumpspeicher-Kraftwerksleistung installiert, die

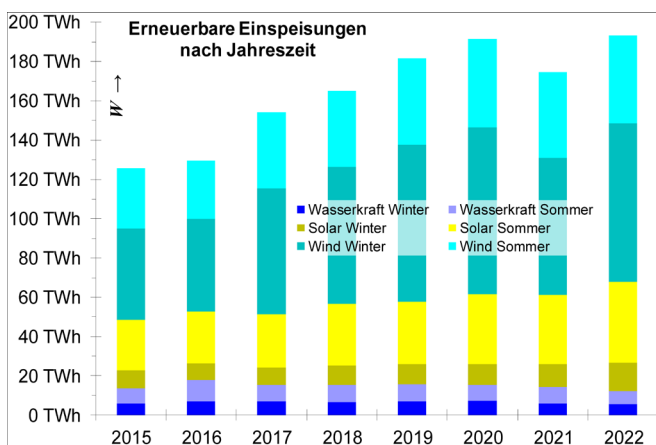


Abb. 8: Quantitative Verteilung erneuerbarer Einspeisungen über die letzten acht Jahre (Biomasse: Einspeisung konstant etwa 4,5 GW, entsprechend ≈ 40 TWh/a)

das Grünstrom-Minimum (Abb. 6), als auch das Maximum (Abb. 7) im Winter eintreten: Alles hängt am Wind – während von Solarenergie geredet wird. Optimal ist also ein paralleler Ausbau von Sonne und Wind etwa im Verhältnis 1:1 bei der installierten Leistung und 1:2 bei

⁴ www.deutschlandfunk.de/energiewende-in-deutschland-wir-brauchen-einen-umbau-des.694.de.html?dram:article_id=362638

knapp 38 GWh elektrische Energie speichern können. Damit könnte man also für 1/10 Deutschlands eine Dunkelflaute um sechs Stunden verkürzen – könnte man. Allerdings wurden die Pumpspeicherkraftwerke lange vor der Erfindung des Worts »Energiewende« für einen ganz anderen Zweck gebaut und nach wie vor gebraucht: Sie sollen nämlich den Tageslastgang ausglätten.

6 Speichermythos

Derzeit entstehen vermehrt große Akkumulatorspeicher, »Großspeicher« mit einer Gesamtkapazität laut Bundesnetzagentur von 433 MWh. Das klingt nach viel, fällt jedoch hinter jene der Pumpspeicherkraftwerke noch einmal um den Faktor 88 zurück. Insgesamt decken die bisher bestehenden Batterie-»Großspeicher« also nur 0,02 % dessen, was wir zum Ausbügeln der saisonalen Unterschiede benötigen.

Dabei wird als Begründung für die Errichtung in der Nähe von Windparks angegeben, dass nicht benötigter Windstrom auf diese Art gespeichert und bei Flaute wieder ins Netz eingespeist wird. Diese Darstellung ist allerdings nicht stimmig, denn zum einen sind die Speicherkapazitäten um Größenordnungen zu klein, um das Potenzial eines Sturmtiefs zu retten, und zum anderen ist es in einem Verbundnetz weitgehend unerheblich, wo der Speicher steht.⁵ Wenn schon, dann böte sich eher ein Standort nahe den Verbrauchern an als nahe den Erzeugungsanlagen. Man sollte den Speicher lediglich nicht gerade an einem der bekannten Netzengpässe anordnen, wenn er nächstes Jahr in Betrieb gehen soll und der Netzausbau sich noch 20 Jahre hinzieht.

7 Unlösung: Lastverschiebung

Da ist die Häufung von Forderungen kein Wunder, wenn die Erzeugung des Stroms sich nicht steuern ließe, müsse dies eben von der Lastseite aus geschehen. »Smart Grid« nennt man das, wenn Lasten automatisch und ferngesteuert eingeschaltet werden, sobald die Sonne scheint und der Wind weht, sich aber – ggf. zur Unzeit für den Nutzer – auch wieder ausschalten. Die Methode funktioniert zur Regulierung des Tageslastgangs ganz passabel bei jenen paar Lasten, die das mit sich machen lassen, ist aber in diesem Sektor alles andere als neu. Die Nachtspeicherheizung ist wahrscheinlich das bekannteste Beispiel.

⁵ www.regelleistung.net/de-de/Allgemeine-Infos/Deutscher-Netzregelverbund

Vielfach wird vorgeschlagen, ersatzweise den Zeitraum des Bedarfs zu verschieben. Rechnen wir also so, als ließe sich der Zeitpunkt sämtlichen Verbrauchs innerhalb des Tages beliebig verschieben. Diese Berechnung berücksichtigt allerdings nicht, dass die Erzeugung nur alle 15 min registriert wird.

Tatsächlich wirken sich plötzliche erhebliche Schwankungen bereits innerhalb der ersten Sekunde aus (siehe Abschnitt 1), doch geht es hier eben nicht um Sekunden. Dies entspräche dem schon lange regelten Thema Regelleistung. Ganz im Gegenteil geht es um das ungelöste saisonale Problem: Der Speicherbedarf ist nämlich bei einer angenommenen freien Verschiebbarkeit sämtlicher Last innerhalb des Tages bestenfalls 1,22 % geringer als ohne Verschiebbarkeit. Führt man die Rechnung mit Wochenmitteln durch, also so, als ließe sich sämtlicher Verbrauch innerhalb einer ganzen Woche beliebig verschieben, so reduziert sich der Speicherbedarf noch immer nur um höchstens 15,4 % (Tab. 2). Was wir bräuchten, sind also Lasten, deren Betrieb sich getrost vom Winter in den Sommer verschieben ließe.

8 Dezentral – Selbstzweck oder Kröte?

Im Zusammenhang mit der Energiewende entsteht oft der Eindruck, die dezentrale Erzeugung und Einspeisung von Strom sei etwas Erstrebenswertes. Die Dezentralität ist jedoch kein Vorteil und kein Wert an sich, sondern eine zu schluckende Kröte, wenn man Strom erneuerbar erzeugen möchte.

So hat z. B. das 2003 in Betrieb gegangene Pumpspeicherkraftwerk Goldisthal etwa 693 Millionen Euro gekostet und liefert eine Leistung von 1060 MW. Angenommen, diese Leistung solle äquivalent auf eine Million Kleinanlagen zu je 1060 W aufgeteilt werden, wäre dies kaum für 693 Euro pro Anlage machbar.

Deswegen fällt auch z. B. bei Windkraftanlagen auf, dass die typische Baugröße realisierter Anlagen ständig zunimmt (1990 im Mittel 164 kW; seit 2022

etwa 5 MW je Einheit⁶), zumeist in Windparks »gebündelt« – obwohl sie sich dann gegenseitig im Weg stehen. Auch setzen sich privat betriebene Mini-Anlagen nicht durch, weil sie nämlich »nur« die gleiche Einspeisevergütung bekommen wie große. Für Wasserkraftwerke gilt dies entsprechend. Teilweise werden sie nur dann als »Erneuerbare« angesehen, wenn sie klein genug sind.

Bei Solaranlagen sieht dies anders aus: Dort kommt das Wachstumsgesetz nicht zum Tragen, weil es hier nur auf die Fläche ankommt, nicht auf das Volumen.

9 Digitalisierung

Natürlich ist auch die Digitalisierung eine Grundvoraussetzung für das Gelingen der Energiewende. Gedacht wird hier an den Zusammenschluss vieler dezentraler Einheiten zu einem »virtuellen Kraftwerk«. Dies bedeutet allerdings auch, dass der Netzbetreiber die privaten Solarstromspeicher so lädt und entlädt, wie es für den Netzbetrieb optimal ist. Die Digitalisierung soll attraktive Entlohnungsmodelle hierfür ermöglichen. Wobei nun der Eigentümer des Speichers eigentlich nicht mehr der Besitzer, zumindest nicht der Betreiber ist.

Hoffnung wird auch auf den »Smart Meter« für den Haushaltskunden gesetzt, doch dazu sind einige Punkte zu beachten:

- Der elektronische Haushaltszähler »eHZ« (Abb. 5) ist noch lange kein »Smart Meter«, sondern wird zunächst weiterhin nur einmal jährlich abgelesen. Für Kunden ab 6 MWh/a ist eine viertelstündliche Aufzeichnung Pflicht; für »gewöhnliche« Haushalte also bislang nicht.
- Eine viertelstündliche Aufzeichnung oder Fernauslesung ist jedoch noch kein stündlicher oder gar viertelstündlicher Tarif.
- Auch eine Steuerung irgendwelcher Lasten ist dies noch nicht. Vielmehr benötigt diese eine irgendwie geartete Verbindung vom »Smart Meter« zum zu steuernden Gerät.

⁶ <https://de.wikipedia.org/wiki/Windkraftanlage>

Tab. 2: Jeweils errechnete Speicherbedarfe für die letzten acht Jahre im Szenario »100% erneuerbarer Strom durch Hochskalierung von Sonne und Wind«

Speicherbedarf der letzten 8 Jahre		Minimum (2018)	Mittelwert (2015 - 2022)	Maximum (2020)
ohne Lastverschiebung		13,35 TWh	20,87 TWh	28,40 TWh
entspricht dem Bedarf von		9,58 d	15,65 d	21,89 d
mit 100% verschiebbaren Lasten	innerhalb eines Tages	13,28 TWh -1,218%	20,73 TWh -0,671%	28,31 TWh -0,244%
	innerhalb einer Woche	11,90 TWh	19,63 TWh	28,07 TWh
		-15,369%	-6,957%	-1,150%

- Diese Steuerung erfordert Investitionen seitens des Nutzers in entsprechende zusätzliche Geräte oder in neue Geräte mit zusätzlichen Funktionen.
- Diese zusätzlichen Geräte oder Funktionen verursachen zusätzlichen Stromverbrauch.

Gelingt es durch »Smart Meter« einen Teil des Verbrauchs in eine Zeit mit geringerem Strompreis zu verschieben, spart der Haushalt Stromkosten ein. Allerdings betrifft das nur den Tageslastgang, was ein längst gelöstes Problem ist. Von einer Lösung des wirklichen Problems mit der Energiewende, dem Jahreslastgang, sind wir noch genauso weit weg wie zuvor.

10 Ausblick Sonne

Wie nun weiter? Jedes weitere Solardach hilft, die Stromwende voran zu bringen. Weniger klar ist leider in der Öffentlichkeit, dass jeder weitere Quadratmeter Paneelfläche (Abb. 9) etwas weniger nützt als der vorherige, da jede Erweiterung die Zeiten ausdehnt, in denen abgeregelt werden muss oder die Strompreise negativ werden. Die Vergütung nicht verwendbaren Stroms müsste also zunächst entfallen, dennoch wäre der Strom noch immer nicht verwendbar. Für die (im alten Sinn des Wortes) »autarke« Versorgung eines Wohnhauses (also im Inselbetrieb) allein aus Solarstrom wäre eine Speicherkapazität erforderlich, die 110 bis 120 Tagesbedarfen entspräche.

11 Ausblick Wind

Mit Windenergie (an Land) würden »nur noch« zwischen 21 bis 38 Tagessätze an Speicherkapazität benötigt. Ansonsten gilt für die Windenergie hinsichtlich der Abregelungen das Gleiche wie für die Sonne: Jede weitere Anlage hilft beim Ausbau der Erneuerbaren, aber jede ein

wenig weniger als die vorige, da es häufig zu Abregelungen und ggf. negativen Strompreisen kommt.

12 Ausblick Wasserkraft

Die Wasserkraft deckt leider nur etwa 5 % des deutschen Stromverbrauchs. Das meiste ist Laufwasserkraft (»Flusskraftwerke«), deren Leistung nicht kontinuierlich ist und die also in die Grundlast einspeist (11,3 TWh in 2022). Nur ein kleiner Teil (1,1 TWh in 2022) ist der äußerst wertvollen Stauwasserkraft zuzuschreiben, die über eine ganz beachtliche Speicherkapazität verfügt.

Als Paradiesland der Wasserkraft in Europa gilt Norwegen. Dort wurden im letzten Jahr 24,3 TWh aus Laufwasserkraft, 102,6 TWh aus Stauwasserkraft und 14,8 TWh aus Wind gewonnen – was zusammen 98,7 % des Verbrauchs deckte! Vom nordeuropäischen NORDEL-Verbundnetz erfolgt der Austausch über Gleichspannung und wirkt damit für Deutschland indirekt wie ein riesiger Akku: Staueisen können Wasser für eine Woche bis mehrere Wochen Volllastbetrieb speichern! Weht bei uns der Wind, schont Norwegen seine Reserven und nutzt vorzugsweise deutschen Windstrom.

13 Ausblick Gas

Stattdessen definiert die EU nun, Kernkraft und Erdgas seien »nachhaltig«. Als könnten sie ewig in einem Kreislauf weiter existieren und nichts verbraucht werden, was nicht zutrifft. Die Bundesregierung handelt aber vollkommen richtig, wenn sie Kernkraft und Kohle nun zunächst durch Gaskraftwerke ersetzt. Dafür spricht nicht nur, dass uns zurzeit gar nichts anderes mehr übrig bleibt, sondern auch Folgendes: Erdgasverbrennung ist CO₂-ärmer als Kohleverbrennung. Die Anlagen sind vergleichsweise schnell erstellt. Beim Einsatz von Gas-und-Dampf-Technik (GuD) entsteht durch den hohen

Wirkungsgrad noch weniger CO₂. Reine Gasturbinen bieten zudem die benötigte hohe Flexibilität.

Natürlich entstehen wieder zusätzliche Kosten: Die Anlagen müssten umgerüstet werden, wenn sie nun nur noch etwa 20 % statt 80 % eines Jahres laufen. Die zusätzlich benötigten Gasspeicher, zentral oder dezentral aufgeteilt, müssen um zwei Zehnerstellen größer sein. Die Bestehenden sind nicht ausreichend, da sie das Jahreszeitenproblem nicht lösen.

Fazit ist, dass gerade für die Stromwende Erdgas noch weniger entbehrlich ist, als es jemals war. Andererseits ist es gar nicht so viel, was in diesem Sektor benötigt wird.

14 Also wie dann weiter?

Immerhin führt uns jeder weitere Ausbau von Solar- und Windenergie – auch ohne Speicher – immer näher an eine tatsächliche 100%-Deckung. Die Steigerung wird aber immer flacher und erreicht die 100%-Deckung also theoretisch nie ganz. Der Aufwand wächst währenddessen exponentiell und die Abregelungen werden mit zunehmendem Ausbau immer häufiger und krasser. Eine Nachrechnung⁷ des Experiments »Pellworm« von 2012 ergab allerdings u. a., dass bei dreifacher Überkapazität (an Energieerzeugungsmöglichkeit) von Solar- und Windkraftanlagen, nur noch Speicherkapazität für netto 1,5 Tage vorgehalten werden müsste, um komplett erneuerbar durch das Jahr zu kommen. Dann wird es vermutlich doch kostengünstiger sein, diesen kleinen Rest wirklich durch die teuren Speicher abzudecken als die Wind- und Solarleistung ein ums andere Mal zu verdoppeln und sie dann die meiste Zeit abzuregeln. So stellt sich am Ende einmal mehr heraus, dass eine einzelne Lösung kaum jemals das Optimum darstellt, sondern man muss von allem etwas kombinieren.

Der Autor



Dipl.-Ing. Stefan Fassbinder

Stefan Fassbinder war 25 Jahre lang als Berater für Elektrotechnik beim Deutschen Kupferinstitut (jetzt Kupferverband) und in mehreren Normungsgremien sowie als Fachautor tätig.

E-Mail: s.fassbinder@t-online.de



Abb. 9: Bestandteil der Energiewende: Immer mehr private Solaranlagen überziehen (nicht nur) unser Land

⁷ Fassbinder, Stefan: Das »Wunder« von Pellworm – Energiewende mit Mängeln. Elektropraktiker 74 (2021), Nr. 8, S. 564. (www.elektropraktiker.de/nc/fachartikel/das-wunder-von-pellworm)

Der Beitrag basiert auf Daten von 2022. Zahlen für 2023 standen bei Redaktionsschluss noch nicht zur Verfügung. (Red.)

**Dieser Beitrag ist eine gekürzte Fassung. Den ausführlichen Artikel finden Sie unter www.derbausv.de/service/bausvkompekt*