

STABILE VERSORGUNG MIT 100% GRÜNEM STROM?

TEIL 2: ZUVERLÄSSIGKEIT MIT ZAPPELSTROM UND SPEICHER

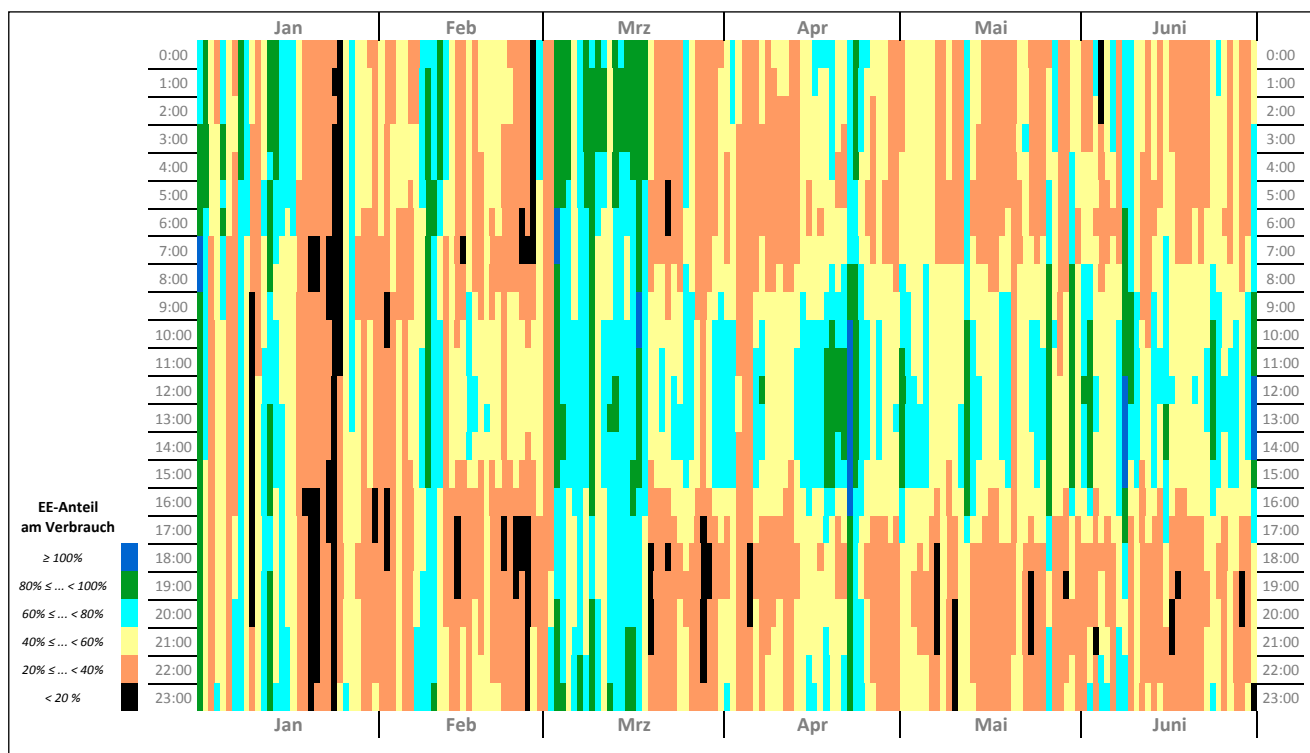


Bild 1: Stündlicher Anteil der EE im Stromverbrauch im ersten HJ 2019, der durch die öffentliche Versorgung gedeckt wird. Dunkelflauten (< 20% Anteil) sind schwarz, dunkelblau bereits einige Stunden mit mehr als 100 %. Im Mittel lag der Anteil bei rund 48 %!

Stehen ab 2038 alle Großkraftwerke still – gibt uns dann die erste Dunkelflaute den Rest? Hier meldete sich 2018 der Deutsche Wetterdienst DWD¹⁾ zu Wort, nachdem Wetterdaten über eine 20-jährige Periode ausgewertet worden waren: natürlich ist eine Dunkelflaute (DWD: mittlere Energieproduktion aus Wind und Sonne bleibt unter zehn Prozent der Nennleistung) nicht auszuschließen, allerdings sei das Risiko mit zwei Vorfällen mit je bis zu 48 Stunden Dunkelflaute pro Jahr überschaubar, wenn man sich auf Deutschland beschränkt (vgl. Bild 1: aktuelle Auswertung für das erste Halbjahr 2019). Im europäischen Stromnetzverbund mit mehr Ausgleichsmöglichkeiten sinke die Vorfalldauer sogar auf 0,2 pro Jahr. Ein Grund mehr für eine gewisse europäische Integration. Übrigens erreichte der Offshore-Windpark London Array mit derzeit 175 Windenergieanlagen

(zusammen maximal 630 MW, was einem mittelgroßen Kohlekraftwerk entspricht) 2015 insgesamt 3.970 Volllaststunden²⁾ (2,5 TWh mit 630 MW). Die elf derzeit existierenden deutschen Offshore-Windparks erreichten in 2018 eine mittlere Quote von 40,1 % (= 3.513 Volllaststunden³⁾.

Dennoch sind Ausweichstrategien anzugehen, weil auch diese Risiken für eine hochvernetzte, von der sicheren Stromversorgung abhängige Volkswirtschaft und Gesellschaft nicht tolerabel sind, und damit kommen wir zur Diskussion einer 100 % EE-Versorgung, ohne zappelig zu werden.

Zappelstrom? Das Speicherproblem

Hans Werner Sinn, mittlerweile eher Talkshow-, als ausgewiesener Energiesystemexperte, erreichte mit einem Vortrag in 2017⁴⁾ eine gewisse Aufmerksamkeit

in bestimmten Kreisen. Die Klaviatur der polemisierenden Formulierung nutzend sprach Sinn despektierlich von „Zappelstrom“, um die nicht konstanten Strommengen der Energieträger Windkraft und Sonne zu thematisieren. Zudem benutzte er in seinem Vortrag für die in Zukunft wichtiger werdende Problematik der Speichernotwendigkeit das Bild der nicht sehr erweiterbaren Pumpwasserspeicherkapazität in Deutschland, eine aus Stromsystem-Sicht bewusst abstrus anmutende Metapher. Der Vortrag wäre vermutlich längst in den Untiefen der Youtube-Video-Daten-Cloud vergessen, wenn nicht Anfang 2019 in der Frankfurter Allgemeinen Sonntagszeitung⁵⁾ zwei Autoren die Ergebnisse von Sinns Überlegungen im Wissenschaftsteil wieder ausgegraben hätten, allerdings ohne Aktualisierung und ohne allzu kritische Würdigung.

Die berechtigte Grundüberlegung ist folgende: Nehmen wir an, Deutschland

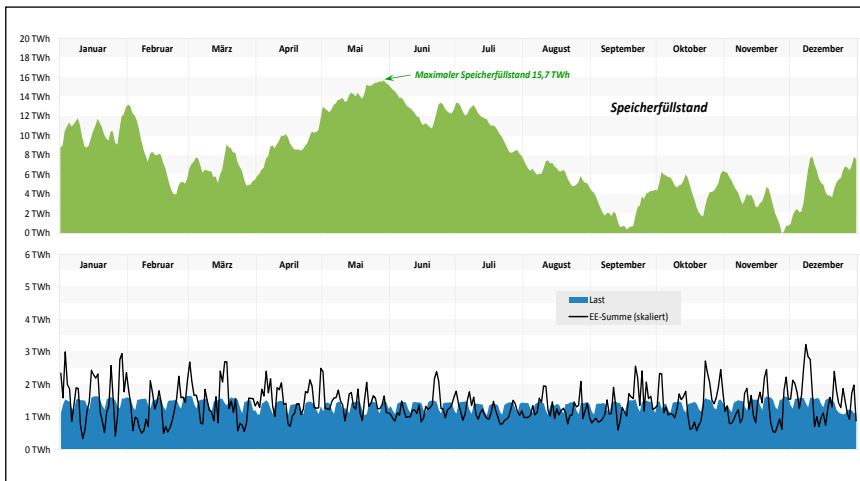


Bild 2: Verbrauch von 2018 (Last), die hochskalierte Produktion von Strom aus EE ohne Überkapazitäten (EE-Summe) und täglicher Füllstand eines Stromspeichers (oberes Diagramm). Anfangsfüllstand des Speichers wird so eingestellt, dass er im Jahresverlauf minimal auf 0 TWh geleert wird. EE-Summe und Last erreichen über das Jahr integriert beide 508 TWh. Die maximal notwendige Speichergröße lag 2018 bei ca. 15,7 TWh. Achtung: andere Skalierung auf der y-Achse.

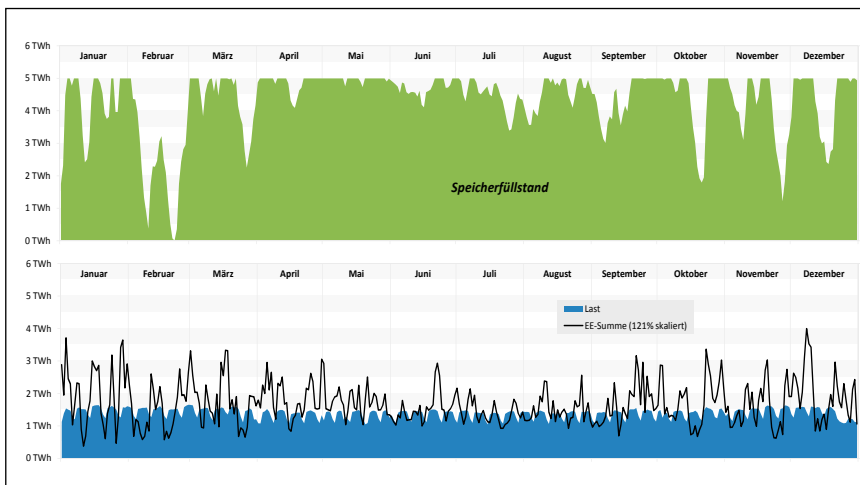


Bild 3: Der Verbrauch von 2018 (Last), die hochskalierte Produktion von Strom aus EE mit Überkapazitäten (25 % bei Wind, 20 % bei PV) und der tägliche Füllstand eines Stromspeichers von 5 TWh. An Tagen konstanten Speicherfüllstands von 5 TWh, erzeugt Wind und PV Überschussstrom. Im Februar (2018) hätte es also fast gar keinen Überschussstrom für die Elektromobilität gegeben

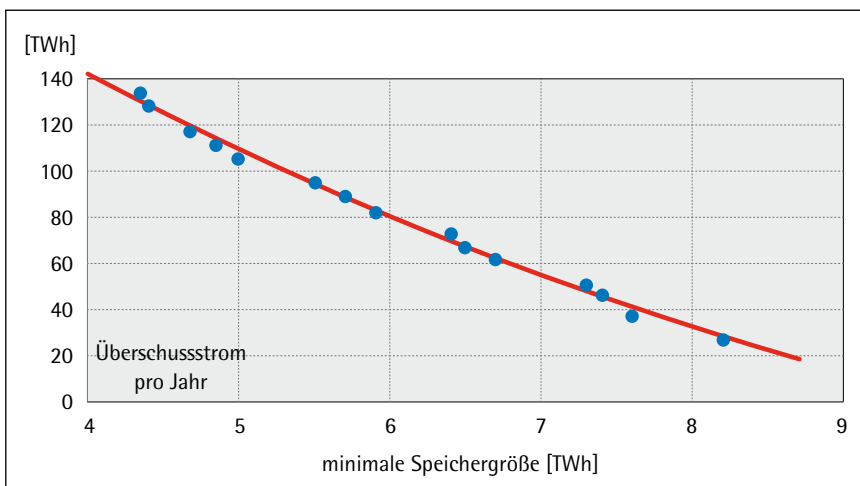


Bild 4: Ergebnis mehrerer Simulationen mit Überschussproduktion, Windkraft- und Photovoltaikanlagen sind in unterschiedlichen Kombinationen ihrer jeweiligen deutschen Gesamtleistung überdimensioniert.

würde sich nur noch mit erneuerbaren Energieträgern versorgen, wie geht das? Wir skalieren dazu vereinfachend den jährlichen Verlauf der Wind- und Photovoltaikstrommengen derart, dass in Summe genauso viel Strom erzeugt wie verbraucht wird (Prof. Sinn basierte seine Überlegungen auf den Strommengen von 2014). Es ist klar, dass es unter dieser Annahme viele Zeitpunkte im Jahr gibt, an denen Überschussproduktion oder Strommangel herrschen, was z.B. durch Speicher ausgeglichen werden muss. Die Fragen waren: wie groß müssen die Speicher sein, wo kommen sie her (und was kosten sie).

Spielen wir dieses Spiel mit den Daten von 2018 nach und berücksichtigen zudem die nicht so „zappeligen“ erneuerbaren Energieträger Wasser und Biomasse. Wir nehmen dabei an, dass deren Mengen sich nicht mehr steigern lassen, skalieren also nur die erzeugten Strommengen von Windkraft und Photovoltaik mit dem jeweils gleichen Faktor 3. Vereinfachend wird ebenfalls wieder angenommen, dass der Stromverbrauch und sein Verlauf so bleiben wie 2018. Unsere Betrachtung nimmt allerdings einen etwas anderen, stärker an der Umsetzung orientierten Weg als in der zitierten sehr einfachen modellhaften Sinn-Untersuchung⁶⁾.

Der Speicher wird in unserer Simulation anfangs so eingestellt, dass sein Füllstand im Laufe des Jahres minimal 0 TWh erreicht. Er wird mit Überschussstrom gefüllt, bei Unterdeckung wird zur Deckung der Last Strom wieder entnommen. Wie man sieht (Bild 2), ist ein fast 16 TWh großer Speicher nötig (15,7 TWh), da kann man schon schlucken. Nimmt man die ökologischen Kosten einer eintönigen Raps-/Mais-Landwirtschaft in Kauf und schafft es, Strom aus Wasserkraft und Biomasse noch um 30 % zu steigern, dann reduziert sich die nötige Speichergröße um etwa 0,5 TWh. Es ist dennoch klar, dass es solche Speicher heute in Deutschland nicht gibt, was also tun?

Fragen wir erst mal, was passiert, wenn man Überkapazitäten an Windkraftanlagen und Photovoltaik-Anlagen aufbaut, eine Option, die in der oben zitierten Analyse nicht diskutiert wurde und nach Verschwendung riecht. Die Skalierung der notwendigen EE-Strommengen von 2018 nach 2050 für eine ausgeglichene Strommengenbilanz wäre etwa ein Faktor 3 gegenüber 2018. Da heute erst rund 7 % der Gebäude eine PV-Anlage auf dem Dach haben, gäbe es noch genügend Potenzial, um statt auf 26 % (ohne Überkapazität) auf 32 % (mit) zu kommen. Hierbei ist berücksichtigt, dass heute ca. 27 % der PV-Kapazitäten auf Freiflächenanlagen⁷⁾ (also nicht auf Dä-



Bild 5: Zusammensetzung einer Li-Ionen-Batterie⁹⁾ eines e-Autos (100 kWh). Die Roh-Elemente (227 kg) müssen aus Handlings- und Sicherheitsgründen in eine Gehäusestruktur (ca. 500 kg) eingebaut werden. Das Gesamtgewicht von somit etwa 730 kg ist im Vergleich zu einem 50 Liter-Tank recht viel „Un-Nutzgewicht“. Ein VW Golf wiegt etwa 1.400 kg.

chem) stehen und zukünftiger Zubau auf Dächern erfolgt.

Der Einfluss auf die notwendige Speichergröße (Bild 3) ist signifikant. Wenn tendenziell mehr Strom erzeugt wird, lässt sich ein leerer Speicher schneller füllen, muss also nicht so groß ausgelegt werden, um eine Dunkelflaute zu überstehen. Wenn man, um ein Beispiel zu rechnen, die Windenergie mit 25 % und die Photovoltaik mit 20 % Überkapazität ausbaut, reduziert sich der notwendige Speicherbedarf auf ca. 5 TWh. Die Überkapazitäten bedeuten natürlich, dass mehr Strom produziert wird als 2018 benötigt wurde: ca. 107 TWh Überschuss (615 statt 508 TWh).

Elektromobilität – die Lösung?

Abregeln und wegschmeißen? Hier wäre jetzt die Elektromobilität ein möglicher Helfer: mit 107 TWh könnten ca. 44 Millionen Elektro-Pkws (jeweils 15.000 km/a und 16 kWh pro 100 km) versorgt werden, das ist schon eine Hausnummer bei einem derzeitigen Pkw-Bestand von 47,1 Millionen. Wenn zudem jedes dieser Fahrzeuge einen Batteriespeicher von 100 kWh (Reichweite ca. 600 km, ökologisch sicherlich fragwürdig) mit sich führte, wäre deren Summenspeicherkapazität 4,4 TWh, was gar nicht mehr so weit vom simulierten Speicherbedarf von 5 TWh (Speicherverluste nicht berücksichtigt) entfernt ist. Auch die mögliche Lade-/Entladeleistung bei heute typischen 150 kW pro Auto wäre kein wirkliches Problem.

Natürlich wären nicht alle Wagen gleichzeitig am Netz, es fahren aber auch nicht alle Wagen gleichzeitig in der Gegend herum. Und es ist auch nicht in jeder Stunde eines Jahres die gesamte Spei-

cherkapazität notwendig – jedoch kennt man dessen genauen Zeitpunkt nicht schon lange vorher. Natürlich müssten dann viele Abstellplätze mit Lade- bzw. Speicherzugriffstationen versehen sein. Und eine zentrale Intelligenz müsste über den akkumulierten Speicherfüllstand der Pkws Bescheid wissen und das Laden/Speichern der Batterien koppeln und koordinieren.

Wie das alles genau ausschauen würde und zu erreichen wäre, ist arg prognostisch und benötigt für genaueres Hinschauen viele, viele Annahmen. Wir wollen auch nicht so verstanden werden, dass der batterieelektrische MIV die einzige Lösung unserer Mobilitätsprobleme sein wird. Es soll hier nur gezeigt werden, dass technisch so eine Lösung (in der vereinfachten Tagesdurchschnitt-Simulation) zu erreichen ist, was Schwarzmalern nicht gefällt. Das Neuland, das hier betreten wird, erlaubt noch viel Spielraum für Optimierungen. Zum Beispiel gibt es ja auch noch eine Reihe von anderen Flexibilitätsoptionen, wie dem Abwerfen oder der Verschiebung von Lasten (Demand Side Management) oder dem fallweisen Betrieb von Gaskraftwerken mit zukünftigem „Wind-Gas“. Und nicht zu vergessen die Reduktion des heutigen Stromverbrauchs. Ein Beispiel betrifft jeden: Privathaushalte verbrauchen ca. 25 % des Stroms (130 TWh/a). In Deutschland beträgt der derzeitige (2015) mittlere Stromverbrauch im statistischen mittleren Zwei-Personen-Privathaushalt 3.240 kWh/a. Einsparungen mit marktverfügbarer Technik von heute (!) könnten diesen Verbrauch auf die Hälfte und den Gesamtverbrauch (2018) damit um 13 % auf 443 TWh senken. Das würde zu einer Reduktion des notwendigen Speicherbedarfs um ca. 0,7 TWh führen. Ähnliche Einsparungen sind z.B. auch in Bürogebäuden möglich. Es sei denn, unsere zunehmende Digitalisierung macht einen gehörigen Strich durch diese Rechnung, wie neuere Untersuchungen⁸⁾ kritisch anmerken.

Allerdings sollte man auch eine andere Kleinigkeit nicht übersehen. Die heutigen Lithium-Ionen-Batterien im E-Auto bestehen nicht aus Luft, sondern aus z.T. nicht sehr häufigen Elementen (wie Kobalt, Lithium und Nickel). Diese Lösung der Mobilität und Stromspeicherherausforderung würde u.a. etwa 4,3 Mio. Tonnen Nickel, 560.000 Tonnen Kobalt und 460.000 Tonnen Lithium in die deutsche Infrastruktur einbringen. Bei derzeit jährlichen weltweiten Förderraten aus Minen¹⁰⁾ (2,3 Mio. Tonnen Nickel, 140.000 Tonnen Kobalt, 85.000 Tonnen Lithium) ein aus heutiger Sicht ziemlicher Marktabschöpfanspruch für 1%

der Weltbevölkerung. Das gilt allerdings für die Perspektiven der Elektromobilität grundsätzlich.

Für stationäre Speicher in einem Stromnetz bieten sich dagegen auch andere Batterietechnologien wie Redox-Flow-Systeme oder unsere Gasspeicher an (24,6 Mrd. m³, was nach Verbrennung in GuD-Anlagen für ca. 145 TWh Strom reicht). Keiner sagt, dass es leicht wird, unser Mondlandeprojekt sozusagen. In der Simulation¹¹⁾ im Rahmen des Kombikraftwerkes hat es schon mal geklappt. Die Eingangsfrage (vgl. Artikelüberschrift) kann also mit „Ja“ beantwortet werden, es wird „aber“ keine triviale Fingerschnippübung.

Fußnoten

- 1) www.dwd.de/DE/presse/pressemitteilungen/DE/2018/20180306_pressemitteilung_klima_pk_news.html
- 2) <https://www.windpoweroffshore.com/article/1378756/london-array-breaks-offshore-production-record>
- 3) www.energy-charts.de/percent_full_load_de.htm?source=wind-offshore&year=2018
- 4) www.youtube.com/watch?v=rV_OuHP3BDY&feature=youtu.be
- 5) www.faz.net/aktuell/wissen/zukunft-des-lastverkehrs-gueter-auf-der-gummibahn-16073323.html#vom-zappelstrom
- 6) http://www.cesifo-group.de/DocDL/cesifo1_wp5950.pdf
- 7) Die Bedeutung der PV, SONNEN-ENERGIE 3|2016
- 8) F. Berthoud et al. –Lean ICT- Towards digital Sobriety. März 2019.
- 9) www.researchgate.net/publication/330908483_Aktueller_Stand_der_Entwicklungen_von_Batterietechnik_und_Batteriemarkt
- 10) U.S. Geological Survey, 2019, Mineral commodity summaries 2019, <https://doi.org/10.3133/70202434>
- 11) www.youtube.com/watch?v=8MHy90z7lU&feature=youtu.be

ZUM AUTOR:

► Uwe Dankert

Geschäftsführer von udEEE Consulting GmbH, Haar bei München

uwe.dankert@udeee.de