

Es ist an der Zeit, den Begriff „erneuerbare Energien“ aus der ernsthaften Diskussion und den energiepolitischen Richtlinien zu streichen – Teil II

geschrieben von Chris Frey | 25. Februar 2024

Planning Engineer (Russ Schussler)

„Erneuerbare“: Einige Ressourcen unterstützen ein gesundes Netz, andere stellen es in Frage.

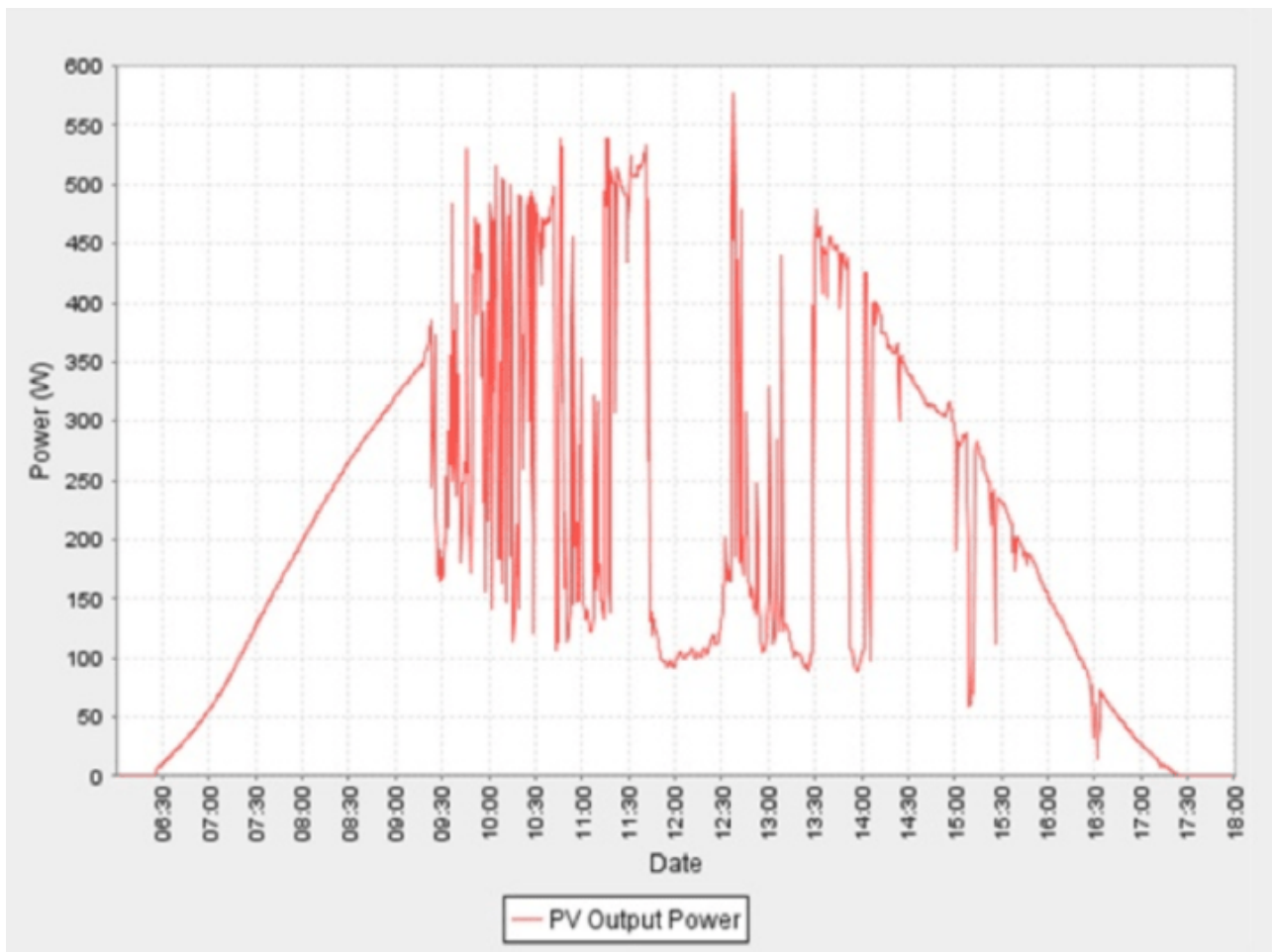
Im ersten Teil dieser Serie [in deutscher Übersetzung [hier](#)] wurden einige der Unzulänglichkeiten der Gegenüberstellung von erneuerbaren und nicht-erneuerbaren Energien erörtert. Erneuerbare Energiequellen sind nicht notwendigerweise nachhaltig oder umweltverträglich, während nicht-erneuerbare Optionen sauber und sehr nachhaltig sein können. So gibt es zum Beispiel viele engagierte Umweltschützer, die sich gegen die „erneuerbare“ Biomasseerzeugung aussprechen. In ähnlicher Weise lassen immer mehr Umweltschützer ihre Einwände gegen die „nicht erneuerbare“ Kernenergie fallen. Für diejenigen, denen die Gesundheit des Planeten am Herzen liegt, sowie für diejenigen, die die Erde für das menschliche Wohlergehen nutzen wollen, verliert die Zweiteilung in erneuerbar und nicht erneuerbar an Bedeutung. Der allgemeine Verweis auf „erneuerbare“ und „nicht-erneuerbare“ Ressourcen oder eine Politik, die erneuerbare Energien bevorzugt, schadet mehr als er nützt, wenn wir uns den komplizierten Herausforderungen stellen, die vor uns liegen, wenn wir eine angemessene Stromversorgung auf umweltverträgliche Weise aufrechterhalten wollen.

In diesem Beitrag werden die Auswirkungen verschiedener Erzeugungsalternativen auf das Stromsystem und das Stromnetz untersucht. Erneuerbare Energien haben keine allgemeinen Auswirkungen auf das Stromnetz; die Auswirkungen variieren je nach Art der Ressource. Die verschiedenen, heute zur Verfügung stehenden Alternativen für erneuerbare Energien unterscheiden sich stark in ihren Auswirkungen auf das Stromnetz und sollten nicht in Gruppen zusammengefasst werden. Wasserkraftwerke mit Speicherkapazität zum Beispiel funktionieren gut, um das Stromnetz zu unterstützen. In Anbetracht der unterschiedlichen Erfordernisse der großen Stromnetze könnte dies sogar die beste verfügbare Ressource sein. Anspruchsvolle Lasten, die das System belasten, sind oft am besten in der Nähe von Wasserkraftwerken untergebracht. Andere „erneuerbare“ Ressourcen können in größerem oder geringerem Umfang Herausforderungen für den Betrieb des Netzes und die

Netzzuverlässigkeit darstellen. Bei der Beurteilung der Herausforderungen, die sich aus dem Wechsel der Ressourcen ergeben, können Berichte, dass ein bestimmtes Netz mit 80 % erneuerbaren Energien betrieben wird, beeindruckend oder praktisch bedeutungslos sein. Natürlich kann ein Netz gut funktionieren, wenn es zu 80 % aus Wasserkraft oder zu 78 % aus Wasserkraft und zu 2 % aus Wind- und Sonnenenergie gespeist wird. Das ist etwas ganz anderes und eine viel geringere Herausforderung als der Betrieb eines Netzes mit einer Durchdringung von 40 % Wind und Sonne. Schauen wir uns einige der wichtigen Merkmale der Erzeugungsressourcen an und wie sie sich zwischen den Ressourcentypen unterscheiden.

Lastverfolgung/Planung/Versand/Ressourcenverfügbarkeit

Erzeugungsalternativen, insbesondere einige erneuerbare Energien, unterscheiden sich stark darin, wie und wann sie Strom liefern. Die erste Frage lautet: „Ist die bereitgestellte Energie zuverlässig?“ Das folgende Diagramm zeigt die tägliche Leistung einer Solaranlage. Es zeigt die Energie, die an einem typischen sonnigen Tag mit vorbeiziehenden Wolken erzeugt wird. Sie können die Unvorhersehbarkeit erkennen, die durch zufällige Wolken entsteht, welche die vorhersehbare Tageskurve des Laufes der Sonne überlagern. Eine größere Grundfläche oder die Ansammlung mehrerer Anlagen würde die Leistung glätten und die Vorhersagbarkeit erhöhen. Aber selbst bei einer starken Glättung folgt der Energieertrag der Sonne und nicht der Systemlast.



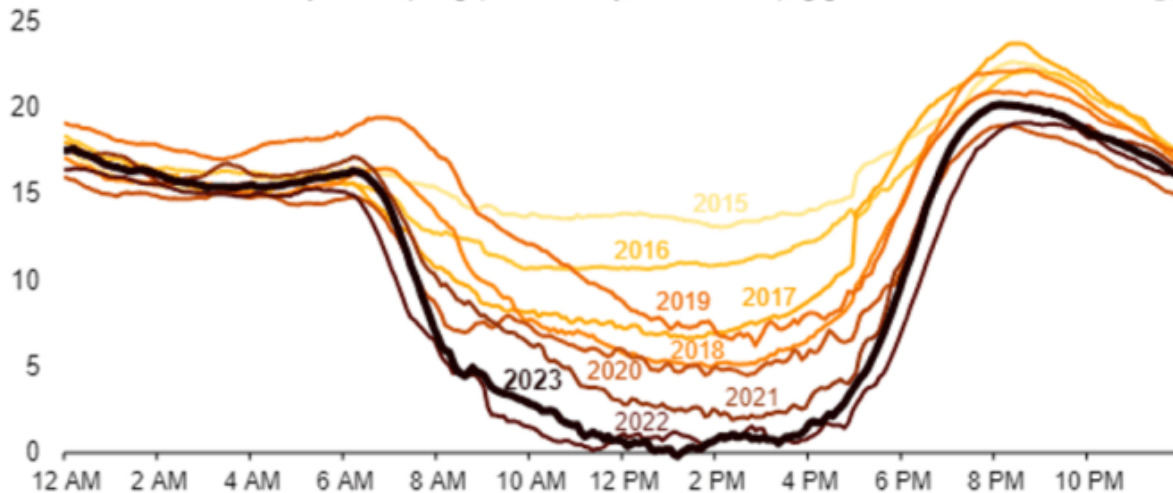
Die Stromerzeugung in Form von Wechselstrom muss der Last auf einer momentanen Basis entsprechen. Es ist wichtig, dass die Gesamterzeugung mit der Last übereinstimmt, wenn diese ansteigt oder sinkt. Ressourcen, die zuverlässig sind und bei Laständerungen hoch- und heruntergefahren werden können, sind sehr wertvoll, da sich die Netzbetreiber auf sie verlassen können. Zu den Kraftwerken mit der besten Planbarkeit gehören Wasserspeicher, Erdgaskraftwerke und Batterien/Speicher. In der Mitte befinden sich Kraftwerke, die zuverlässige Grundlast bereitstellen, sich aber nicht so gut an die Last anpassen können. Diese Kraftwerke reichen von Kohle, Gaskombikraftwerken, Biomasse und Geothermie bis hin zur Kernkraft. Wind- und Solarkraftwerke erschweren in der Regel die Lastverfolgung, da sie nicht zuverlässig sind oder der Last ohne angeschlossene Speicher folgen können. Laufwasserkraftwerke sind selten und können aufgrund ihrer Unvorhersehbarkeit Schwierigkeiten verursachen. Generell von der Dispatchability“erneuerbarer“ Ressourcen zu sprechen, macht wenig Sinn.

Eine Erscheinungsform der Lastfolgeprobleme ist als „Entenkurve“ bekannt. Im Jahr 2014 habe ich [hier](#) vor der sich abzeichnenden Entenkurve gewarnt und Fragen der Verfügbarkeit verschiedener Erzeugungsressourcen eingehend erörtert. [Seitdem](#) hat sich die Situation erwartungsgemäß erheblich verschlechtert. Das Diagramm zeigt, dass die verbleibenden Ressourcen mit dem Ein- und Ausschalten der Solarenergie sehr schnell hoch- und heruntergefahren müssen, was den Systembetrieb

erheblich erschwert.

California's duck curve is getting deeper

CAISO lowest net load day each spring (March–May, 2015–2023), gigawatts



Auch wenn die täglichen Auswirkungen der ein- und auslaufenden Solarenergie eine Herausforderung darstellen, ist die Solarenergie zumindest einigermaßen vorhersehbar. Wind ist an manchen Orten bis zu einem gewissen Grad vorhersehbar, aber an anderen Orten und zu anderen Zeiten kann er sehr variabel sein. Manchmal folgen Wind und Sonne den Laständerungen, manchmal wirken sie den Lastschwankungen entgegen.

Diese Variabilität wirft Probleme auf, die über die Lastverfolgung hinausgehen. Erzeugungsressourcen, auf die man sich nicht verlassen kann, müssen durch Ersatzressourcen ergänzt werden. Wenn Ressourcen verfügbar werden, muss eine verlässliche Erzeugung diese Ressourcen unterstützen. Wie bereits erwähnt, können Wasserkraft und Batterien gut für den Energieausgleich eingesetzt werden, und es ist einfach, sie zu diesem Zweck in Bereitschaft zu halten. Andere Energieträger müssen jedoch auf niedrigeren Erzeugungsniveaus oder, je nach Zeitrahmen, im Standby-Modus betrieben werden. Auch Kohle- und Gaskraftwerke haben Anlaufzeiten, die ihre Verfügbarkeit verzögern können, sowie Mindestabkühlzeiten, in denen sie nicht betrieben werden können.

Ich möchte hier nicht auf die Feinheiten der Planung und Disposition eingehen, sondern vielmehr verdeutlichen, dass die Verfügbarkeit von Stromerzeugungsanlagen zu Problemen führen kann, die in hohem Maße vom verfügbaren Ressourcenmix und den spezifischen Eigenschaften der einzelnen Ressourcen abhängen. Alle einzelnen erneuerbaren und nicht-erneuerbaren Ressourcen haben ihre eigenen einzigartigen Eigenschaften. Wenn wir uns fragen, wie das Netz auf erneuerbare Energien reagieren könnte, müssen wir wissen, welche erneuerbaren Energien in Frage kommen.

VRE und IRES: Das Gute und das Schlechte an diesen Begriffen

Einige von Ihnen möchten mich vielleicht daran erinnern, dass in einigen technischen Arbeiten die erneuerbaren Energien in eine separate Gruppe

der variablen erneuerbaren Energien (VRE) oder der intermittierenden erneuerbaren Energiequellen (IRES) unterteilt werden, wenn es um Fragen der Zuverlässigkeit geht. Sicherlich ist es eine Verbesserung, speziell über die Herausforderungen der Integration großer Mengen von VRE oder IRES in das Netz zu sprechen, als über die Herausforderungen allgemeiner, nicht spezifizierter erneuerbarer Ressourcen. Die Bezugnahme auf VRES und IRES kann als ein Schritt in die richtige Richtung gesehen werden, der mit den hier gegebenen Empfehlungen für eine klarere Sprache übereinstimmt, aber wir können es besser machen.

Der Begriff „erneuerbar“ ist sowohl bei IRES als auch bei VRE redundant. Es gibt keine nennenswerten nicht-erneuerbaren Erzeugungsoptionen, die variabel oder intermittierend sind. (In einigen Gebieten gibt es begrenzte Mengen an Laufwasserkraft.) Meine größte Sorge bei diesem Begriff ist jedoch, dass er das größere Problem nicht erkennt, das derzeit mit den meisten intermittierenden erneuerbaren Ressourcen verbunden ist. In der [Serie](#) Academics and the Grid (Akademiker und das Stromnetz) habe ich argumentiert, dass es den Anschein hat, als ob absichtlich versucht wird, die wirklichen Herausforderungen einer Netto-Null-Umstellung zu verbergen, indem man sich fast ausschließlich auf die mit der Unterbrechung verbundenen Probleme konzentriert. Diese Bezeichnungen scheinen dem Irrglauben Vorschub zu leisten, dass Variabilität oder Unterbrechung die größte Herausforderung darstellen.

Stellen Sie sich eine Fabrik vor, in der das Problem besteht, dass die Arbeiter zu spät kommen und fast alle von ihnen betrunken sind. Anstatt auf die sehr realen Probleme mit alkoholisierten Mitarbeitern zu reagieren, konzentriert sich die Unternehmensleitung auf die Unpünktlichkeit. Es werden Experten hinzugezogen, die dafür sorgen sollen, dass die Mitarbeiter pünktlich erscheinen, und es wird eine innovative Zeitplanung erstellt, so dass Lücken mit verlängerten Arbeitszeiten geschlossen werden können, sobald die Mitarbeiter erscheinen. In dem Maße, in dem die Maßnahmen das Problem der „unpünktlichen“ Mitarbeiter angehen und sie in der Lage sind, die Stunden abzudecken, werden auch mehr Probleme im Zusammenhang mit Rauschzuständen auftreten. Vielleicht befürchtet das Unternehmen, dass es bei Bekanntwerden des Rauschproblems seine Arbeit verlangsamen, größere Veränderungen vornehmen und vielleicht einige Aufträge verlieren muss. Man kann sich vorstellen, dass ein Unternehmen das Problem des „Rausches“ kurzfristig verbergen möchte, damit es sich nicht auf die kurzfristigen Ziele auswirkt, aber für den langfristigen Erfolg muss es angegangen werden.

Das große Problem der Wind- und Solarenergie scheint in ähnlicher Weise versteckt zu sein. Viele wollen nicht, dass der Marsch in Richtung „erneuerbare Energien“ verlangsamt wird. Es liegt auf der Hand, dass es Probleme mit dem Ausbau der erneuerbaren Energien gibt, aber wenn die meisten Gespräche über die kleineren Probleme und die breite Öffentlichkeit die größeren Probleme ignorieren, ist das vielleicht besser für die derzeitige „Dynamik“ der verfügbaren erneuerbaren

Optionen. Die Konzentration auf die Unterbrechung der Stromerzeugung lenkt die relevanten Akteure von den größeren Problemen ab, die vor ihnen liegen. Viel zu viele politische Entscheidungsträger denken, dass Batterien oder andere Lösungen für das Problem der Unterbrechung es uns ermöglichen werden, mit Ressourcen, die dieser Aufgabe derzeit nicht gewachsen sind, in Richtung Netto-Null zu marschieren.

Das große drohende Problem im Zusammenhang mit der Zunahme von Wind, Solar und Batterien

Die größten Herausforderungen im Zusammenhang mit der zunehmenden **Verbreitung** von Wind- und Solarenergie liegen nicht in den Unterbrechungen, sondern in der Art und Weise, wie die Energie in das Netz eingespeist wird. Die von Wind und Sonne erzeugte elektrische Energie wird von einem Stromrichter mit Wechselrichtern umgewandelt, um sie mit dem schwankenden Netz zu synchronisieren. Im Hinblick auf die Zuverlässigkeit sind Ressourcen, die sich bei der Erzeugung von elektrischer Energie synchron mit dem Netz drehen, für das Netz viel besser als Ressourcen, die eine auf Wechselrichtern basierende Technologie zur direkten Umwandlung für die Netzeinspeisung verwenden. Ressourcen, die sich mit dem System drehen, werden als synchrone Ressourcen bezeichnet, während die inverterbasierte Erzeugung als asynchrone Erzeugung bezeichnet wird. Hinweis: Windturbinen drehen sich zwar, aber mit unterschiedlichen Geschwindigkeiten, so dass sie Gleichstrom erzeugen, der vor der Einspeisung in das Netz in Wechselstrom umgewandelt werden muss.

Synchrone Ressourcen bieten Trägheit und wesentliche Zuverlässigkeitsleistungen, die das Netz unterstützen. Zusätzlich zur Verfügbarkeit sind Wasserkraftwerke wertvoll, weil sie sich synchron mit dem Netz drehen. Sie sind in der Regel groß und haben unter den drehenden Ressourcen hervorragende netzstützende Eigenschaften. Zu den guten Spinning-Ressourcen gehören auch Kernkraft, Kohle, Geothermie, Erdgas, Biomasse, Geothermie und thermische Solarkraftwerke mit geschmolzenem Salz. Wind- und Solarkraftwerke, die auf asynchronen Wechselrichtertechnologien beruhen, stellen in Bezug auf die Netzzuverlässigkeit das andere Extrem dar.

Es ist wichtig, dass wir zwischen umrichterbasierter Technologie und rotierenden Maschinen unterscheiden, denn es gibt ein großes Potenzial zur Verbesserung der umrichterbasierten Technologie. Bis zu einem gewissen Grad können Stromrichter mit zusätzlichen Merkmalen bereits jetzt einige Verhaltensweisen rotierender Maschinen nachahmen und dazu beitragen, wichtige Zuverlässigkeitsfunktionen für das Netz bereitzustellen. Es besteht die Hoffnung, dass umrichterbasierte Erzeugungsressourcen in den kommenden Jahren besser in der Lage sein werden, sich der drehenden Erzeugung anzunähern. Das National Renewable Energy Laboratory ([NREL](#)) ist sich dessen bewusst:

Das Management der Stabilität von Stromnetzen basiert auf

jahrzehntelanger Erfahrung mit großen Synchrongeneratoren. Heutige Stromnetze verfügen über eine wachsende Zahl nicht-traditioneller Quellen wie Wind- und Solarenergie sowie über Energiespeicher wie Batterien. Zusätzlich zu der variablen Natur einiger erneuerbarer Energiequellen sind viele dieser Ressourcen über elektronische Wechselrichter an das Stromnetz angeschlossen.

Der Betrieb künftiger Stromversorgungssysteme muss auf den physikalischen Eigenschaften und dem Regelverhalten traditioneller großer, synchroner Turbinengeneratoren sowie umrichterbasierter Ressourcen basieren. Für den Betrieb hybrider Stromversorgungssysteme mit bedeutenden umrichterbasierten Ressourcen in der Größenordnung der heutigen großen Verbundnetze gibt es jedoch keine gesicherten Erfahrungen. Für den Betrieb solcher Systeme müssen die Annahmen, die der Auslegung und Steuerung der Stromerzeugung zugrunde liegen, überprüft und modifiziert – oder sogar neu definiert – werden, um den Herausforderungen und Möglichkeiten Rechnung zu tragen, die sich durch die umrichterbasierte Stromerzeugung ergeben.

Die meisten heutigen Wechselrichterregler sind netzgetreu und basieren auf der Annahme, dass Netzspannung und -frequenz durch Trägheitsquellen geregelt werden. Solche Regelungsansätze können die Systemstabilität in einem trägheitsarmen Umfeld nicht gewährleisten und sind für eine von Wechselrichtern dominierte Infrastruktur nicht geeignet. Diese Einschränkung hat zu einer Untersuchung von netzbildenden Regelungsmethoden für leistungselektronische Wechselrichter geführt, die Funktionen bieten, die traditionell von Synchronmaschinen bereitgestellt werden.

Sicherlich können Fortschritte erzielt werden. Die Eastern Interconnection in den Vereinigten Staaten ist jedoch die größte und komplizierteste Anlage in der Geschichte der Welt. Die Herausforderung, erhebliche Mengen an asynchroner, umrichterbasierter Stromerzeugung hinzuzufügen, erhöht die Komplexität enorm. Ich habe [hier](#), [hier](#), [hier](#), [hier](#) und [hier](#) ausführlich über die Herausforderungen bei der Erhöhung des Anteils asynchroner Erzeugungsquellen geschrieben. Ich glaube, dass der Betrieb eines großen, komplexen Netzes ohne Unterstützung durch große Rotationsmaschinen innerhalb der Planungszeiträume nahezu unmöglich ist. Ich sehe die Herausforderung, eine hohe Durchdringung mit asynchronen, umrichterbasierten Ressourcen zu ermöglichen, als schwieriger an als Raketenwissenschaft oder Gehirnchirurgie. Eine solche Leistung würde über die Mondlandung, die Sequenzierung des menschlichen Genoms, die Atombombe oder die Heilung einer Erkältung hinausgehen.

Viele Einrichtungen, darunter das National Renewables Energy Laboratory, die [FERC](#) und die [NERC](#), arbeiten intensiv an der Verbesserung der Funktionalität der auf asynchronen Wechselrichtern basierenden Technologie. Es ist durchaus möglich, dass sie ihre Ziele erreichen und in den nächsten fünf bis zehn Jahren eine bessere Netzunterstützung

durch diese Ressourcen ermöglichen. Eine bessere Unterstützung ist möglich. Aber das ist noch ein weiter Weg, um die Abhängigkeit des Netzes von rotierenden Maschinen zu beseitigen.

Diejenigen, die die Entwicklung solcher Technologien optimistischer einschätzen, könnten am Ende Recht behalten. Ich hoffe es. Es könnte sein, dass wir noch zu Lebzeiten einiger unserer Leser funktionierende große Netze haben, die von Wind, Sonne und Batterien angetrieben werden. Aber um dorthin zu gelangen, müssen wir die Schwierigkeiten erkennen und anerkennen, die mit einem solchen Wandel verbunden sind. Diejenigen, die davon ausgehen oder so tun, als gäbe es kein Problem, sind entweder erschreckend unwissend oder ignorieren das sich abzeichnende Problem zugunsten kurzfristiger Ziele. Leider werden die Herausforderungen der asynchronen, umrichter-gestützten Stromerzeugung nicht angemessen angegangen oder jemals gelöst werden, wenn sie verborgen werden.

Schlussfolgerung

Wenn man allgemein über die Auswirkungen erneuerbarer Energien auf das Netz spricht oder darüber, was erneuerbare Energien leisten können, entsteht mehr Verwirrung als Klarheit. Stromnetzingenieure wissen, dass es einfacher ist, Wind- und Solarenergie sowie Batterien hinzuzufügen, wenn es bereits große Wasserkraftressourcen gibt, die das Netz unterstützen. Es ist schwieriger, Wind, Sonne und Batterien hinzuzufügen, wenn die anderen Ressourcen nicht so stark sind. Ein Vergleich des Anteils der erneuerbaren Energien an der Stromerzeugung in verschiedenen Gebieten mit sehr unterschiedlichem Anteil an Wasserkraft kann irreführend sein, insbesondere wenn Wasserkraft in die Kategorie der erneuerbaren Energien fällt. Wird nicht zwischen den Möglichkeiten der Wasserkraft, der Windkraft und der Solarenergie unterschieden, kann dies zu einer unrealistischen Auswahl für Gebiete mit geringer Wasserkraft führen. Falsche Vorstellungen über die Leistungsfähigkeit sind besonders besorgniserregend, da die vorhandenen Wasserkraftressourcen zunehmend in Frage gestellt werden.

Große Netze können durchaus zuverlässig ohne fossile Brennstoffe betrieben werden. Große Netze können mit 100 % „erneuerbarer“ Energie betrieben werden. Die Zuverlässigkeit hängt nicht von der Quelle der in das Netz eingespeisten Energie ab, sondern vielmehr davon, wie diese Energie in das Netz eingespeist wird. Wenn Solarenergie einen Generator synchron mit dem Netz dreht (vielleicht durch den Einsatz von geschmolzenem Salz), wird die Zuverlässigkeit besser unterstützt. Wenn Windturbinen so eingestellt werden könnten, dass sie sich nur synchron mit dem Netz drehen, würde dies die Zuverlässigkeit erhöhen. Wenn die Energie aus Wasserkraftwerken mit variablen Gleichstrommotoren aufgefangen und mit Wechselrichtern in das Netz eingespeist würde, würde die Zuverlässigkeit zunehmen. Da sich das Netz verändert und wir uns mit der Zuverlässigkeit befassen, ist es so viel einfacher, direkter und ehrlicher, von synchroner und inverterbasierter Erzeugung zu sprechen. Die Auswirkungen der „erneuerbaren Energien“ auf die Zuverlässigkeit

sind zu vage, um sinnvoll zu sein. Obwohl dies der Fall ist, wird häufig auf den Prozentsatz der erneuerbaren Energien verwiesen, ohne zwischen den eingesetzten Ressourcen zu unterscheiden. Diese Zahlen werden von denjenigen genannt, die eine bestimmte Sichtweise durchsetzen wollen, und sie beeinflussen die politischen Entscheidungsträger.

Wir stehen nicht vor der Herausforderung, große Mengen an erneuerbaren Energiequellen in das Netz zu integrieren. Wir stehen vor betrieblichen Herausforderungen durch intermittierende Ressourcen. Die Integration großer Mengen asynchroner, durch Wechselrichter gestützter Stromerzeugung in das Netz stellt uns vor große Herausforderungen hinsichtlich der Zuverlässigkeit. Je besser das Problem verstanden wird, desto besser kann es angegangen werden. Über den Umfang und das Ausmaß der Probleme, die durch intermittierende und asynchrone Wechselrichterstromerzeugung verursacht werden, kann man geteilter Meinung sein. Aber seien Sie versichert, dass die Bewältigung der sich abzeichnenden Probleme umso reibungsloser vonstatten gehen wird, je genauer die Probleme und Erfolge ermittelt und definiert werden.

Link:

<https://wattsupwiththat.com/2024/02/17/time-to-retire-the-term-renewable-energy-from-serious-discussions-and-policy-directives-part-ii/>

Übersetzt von [Christian Freuer](#) für das EIKE