

# REGENERATIVE ENERGIEN ALS TRAGENDE SÄULE EINER GESICHERTEN STROMVERSORGUNG

Der Ausbau der Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien in Deutschland vollzieht sich in einer Geschwindigkeit, die noch vor wenigen Jahren kaum jemand für möglich gehalten hat. Zusammen mit der Liberalisierung und europäischen Integration der Energiemärkte, den langfristigen klimapolitischen Zielsetzungen sowie dem Ausstieg aus der Kernenergienutzung löst dies einen Strukturwandel in der Stromversorgung von historischem Ausmaß aus.

Die Weichen für die Stromversorgung von morgen müssen bereits heute gestellt werden, u.a. beim Ausbau von Netzen und Speichern. Das Ringen um die besten Lösungen ist in vollem Gang. Zur Debatte stehen nicht nur die Stromerzeugung selbst, sondern auch die Struktur und die Betriebsweise der Stromnetze, die Neuorganisation von Marktprozessen sowie nicht zuletzt eine aktive Beteiligung der Stromverbraucher. Der TAB-Bericht »Regenerative Energieträger zur Sicherung der Grundlast in der Stromversorgung« soll einen Beitrag zur informierten Entscheidungsfindung in diesem komplexen gesellschaftlichen und politischen Gestaltungsfeld leisten.

## ZENTRALE FRAGESTELLUNG

Zu jedem Zeitpunkt muss genau so viel Strom ins Netz eingespeist werden, wie von den Verbrauchern entnommen wird. Ist diese Balance gestört, kommt es unweigerlich zu kritischen Systemzuständen und – wenn Gegenmaßnahmen der Netzbetreiber nicht erfolgreich sind – zu Stromausfällen.

Die zentrale Fragestellung des TAB-Berichts ist, wie die regenerative Stromerzeugung, v.a. die zeitlich fluktuierende aus Windkraft und Photovoltaik, zu einer jederzeit gesicherten Versorgung beitragen kann und welche Anforderungen an das zukünftige Stromversorgungssystem daraus abgeleitet werden können. Es wird analysiert, wie die Integration von fluktuierender Einspeisung in das Stromsystem durch Maßnahmen in den Bereichen Netzausbau, Speichertechnologien, erneuerbare

Energien sowie im übrigen Stromsektor verbessert werden kann. Und nicht zuletzt werden Optionen identifiziert, wie bei ambitionierten Ausbauzielen für erneuerbare Energieträger die gesicherte Versorgung zu jeder Zeit sichergestellt werden kann.

## DIE ANTWORT IN EINEM WORT: »FLEXIBILISIERUNG«

Den Anteil der Stromnachfrage, der nicht durch fluktuierende erneuerbare Energieerzeugung gedeckt wird, nennt man die Residuallast (Abb. 1). Diese muss jederzeit durch regelbare Kraftwerke gedeckt werden. Charakteristisch für die Residuallast ist, dass sie sich wesentlich schneller ändern kann als die Nachfrage und dass sie bei hoher Durchdringung mit Erneuerbaren sehr klein werden kann – unter Umständen sogar negativ (d.h., es existiert ein Stromüberschuss; Abb. 1 Nacht von Montag zu Dienstag).

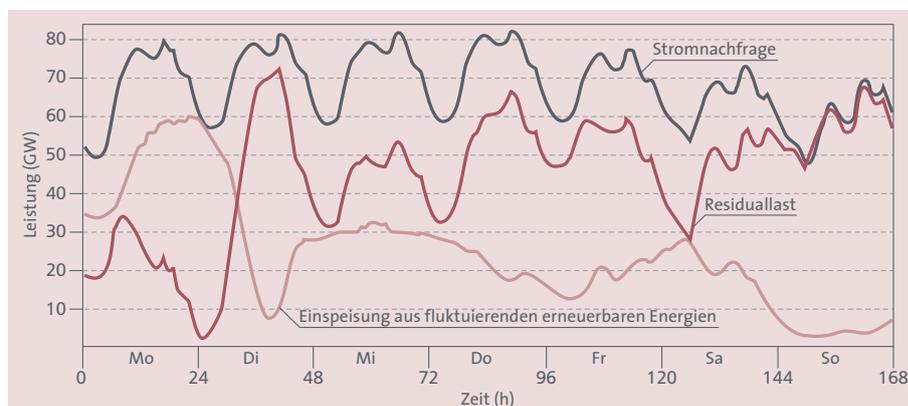
Zur Wahrung einer hohen Versorgungssicherheit müssen zudem zwei Extremsituationen sicher beherrschbar sein:

- › eine Situation mit hoher Nachfrage und geringer Stromeinspeisung aus erneuerbaren Energien, wie sie beispielsweise an einem wolkenverhangenen, windstillen und kalten Mittwoch im Winter gegeben ist; und kontrastierend dazu
- › eine Situation mit geringer Nachfrage, aber hoher Einspeisung aus erneuerbaren Energien, z.B. an einem warmen, strahlenden Sonntag im Frühherbst mit Starkwindwetterlage.

Ein dynamisch voranschreitender Ausbau der Stromerzeugung mittels fluktuierender erneuerbarer Energien macht es somit zwingend erforderlich, dass das Stromsystem auf allen Ebenen wesentlich flexibler als in der Vergangenheit auf unterschiedliche Einspeise- und Nachfragesituationen reagieren kann – denn nur dann bleibt die Versorgungssicherheit gewahrt.

Sowohl auf der Erzeugungsseite als auch bei den Netzen und nicht zuletzt bei den Verbrauchern gibt es vielfältige Möglichkeiten zur Flexibilisierung. Im Folgenden werden die wichtigsten davon

ABB. 1 ZUSAMMENHANG ZWISCHEN STROMNACHFRAGE UND RESIDUALLAST



Gezeigt ist eine Woche im Winter. Zieht man von der Stromnachfrage die Einspeisung aus erneuerbaren Energien ab, erhält man die sogenannte Residuallast. In der Nacht von Montag auf Dienstag kurz nach Mitternacht ist die Residuallast nahezu gleich Null, d.h., sämtliche konventionellen Kraftwerke müssten hier theoretisch abgeschaltet werden.

näher erläutert. Einzelne Optionen können sich gegenseitig ergänzen, aber auch zu einem gewissen Grad gegenseitig substituieren. Insgesamt gesehen gilt es, aus dem zur Verfügung stehenden Portfolio an Flexibilisierungsoptionen für das Stromsystem diejenige Kombination von Maßnahmen zu finden, die eine langfristige Versorgungssicherheit zum geringsten ökonomischen Aufwand bei höchstmöglicher ökologischer und sozialer Verträglichkeit gewährleistet. Dazu ist es erforderlich, einen gesellschaftlichen Suchprozess mit wissenschaftlicher Unterstützung zu organisieren.

#### NETZENGÄSSE UND NETZAUSBAU

Die Stromnetze (sowohl Übertragungs- als auch Verteilnetze) spielen eine Schlüsselrolle bei der Integration eines stark ansteigenden Anteils erneuerbarer Energien. Bereits heute treten in bestimmten Regionen Deutschlands regelmäßig Engpässe in den Hoch- und Höchstspannungsnetzen auf. Ohne geeignete Ausbaumaßnahmen wird sich dies in Zukunft weiter verstärken. Die Leistungsfähigkeit der Übertragungsnetze kann gesteigert werden durch Optimierung des Netzbetriebs, durch Netzverstärkungsmaßnahmen sowie Netzausbau.

Die kräftige Zunahme der Stromproduktion auf der Verteilnetzebene in den letzten Jahren durch kleine dezentrale Anlagen (beispielsweise Photovoltaikanlagen) führt dazu, dass ein adäquater Ausbau der Verteilnetze zu einem Schlüsselbereich für einen erfolgreichen Umbau des Stromsystems geworden ist. Durch intelligentere Verteilnetze (Schlagwort »Smart Grids«) kann auch die Nachfrageseite einen aktiveren Beitrag als bisher zur Energieeinsparung leisten und die Flexibilität und Stabilität des Gesamtsystems gestärkt werden.

Für die Politik besteht beim Netzausbau sowohl bei den Übertragungs- als

auch bei den Verteilnetzen dringender Handlungsbedarf, da dieser sich ansonsten aufgrund der langen Vorlaufzeiten für Planung und Genehmigung als Hemmschuh für den Umbau der Stromversorgung erweisen könnte. Derzeit werden Netzausbauvorhaben häufig durch Anliegerproteste verzögert oder gar verhindert. Eine zentrale Herausforderung ist es, die Akzeptanz in der Gesellschaft allgemein und besonders bei Betroffenen zu stärken. Es gilt, durch offene Kommunikation und einen transparenten Planungsprozess Vertrauen aufzubauen und dahingehend Überzeugungsarbeit zu leisten, dass der Netzausbau bei der Transformation hin zu einem nachhaltigen Stromsystem unverzichtbar ist.

#### KONVENTIONELLE KRAFTWERKE

Der konventionelle Kraftwerkspark kann auf zwei Wegen zur Flexibilität beitragen: Durch die Reduzierung von inflexiblen Kraftwerkskapazitäten sowie durch den Neubau flexibler Kraftwerke.

Aus diesem Grund ist der Neubau von Kraftwerken, die – aus technischen und/oder ökonomischen Gründen – auf einen gleichmäßigen Dauerbetrieb hin ausgerichtet sind (z.B. Braunkohlekraftwerke), kritisch zu sehen. Wegen der langen Investitionszyklen von 40 Jahren und mehr wäre entweder die Festlegung auf einen klima- und energiepolitisch ineffizienten Technologiepfad zu befürchten, oder aber diese Investitionen könnten sich als langfristig unrentabel herausstellen (»stranded investments«).

Flexible konventionelle Kraftwerke werden zur Aufrechterhaltung der Versorgungssicherheit gebraucht. Derzeit hat es allerdings den Anschein, dass sich solche systemrelevanten Kraftwerke am Markt durch den Verkauf von Kilowattstunden allein nicht refinanzieren lassen. Daher wird diskutiert, ob

der Neubau (oder sogar die Erhaltung) solcher Kraftwerke zusätzlich gefördert werden muss. Dabei kommen sogenannte »Kapazitätsmechanismen« in Betracht, durch die das Vorhalten von Kraftwerkskapazität honoriert wird, unabhängig davon, ob diese auch abgerufen wird.

#### FLEXIBILISIERUNG DER STROMERZEUGUNG AUS ERNEUERBAREN ENERGIEN

Regelbare Anlagen zur regenerativen Stromerzeugung, v.a. Wasserkraftwerke sowie Biomasse- und Geothermieanlagen, sollten nicht durch die Förderungssystematik zur Dauerproduktion angereizt werden, wie das derzeit im System der festen Einspeisevergütung der Fall ist, sondern ihre Produktion nach Möglichkeit der Nachfrage anpassen. Mit welchen politischen Instrumenten dies zukünftig am besten umgesetzt werden könnte, wird aktuell in Politik und (Energie-)Wirtschaft höchst kontrovers diskutiert.

Das technische Potenzial ist jedenfalls beträchtlich. Laut »Nationalem Aktionsplan für erneuerbare Energie« sollen bis 2020 bereits 8,8 GW Biomassekraftwerke am Netz sein. Wenn diese flexibel betrieben werden könnten, wäre dies ein substanzieller Beitrag zur Flexibilität des Kraftwerksparks insgesamt.

#### SPEICHER

Insgesamt gesehen, dürfte die Rolle, die Speicher im Stromsystem Deutschlands in den nächsten 10 bis 15 Jahren spielen werden, aus heutiger Sicht eher begrenzt sein. Sie wird in der (fach) öffentlichen und politischen Diskussion derzeit eher über- als unterschätzt. Für alle Speichertechnologien gilt, dass sie im Vergleich mit den anderen hier vorgestellten Flexibilisierungsoptionen zumeist die teurere Option darstellen. Daher sollten aus ökonomischer Sicht die kostengünstiger erschließbaren Potenziale zuerst ausgeschöpft werden.

Insbesondere stellen Speicher wegen ihrer deutlich höheren Investitionskosten keine Alternative zum Netzausbau dar.

Aus Systemsicht können Speicher am effizientesten zur Glättung der Residuallast eingesetzt werden. Im Gegensatz dazu ist eine Nutzung zur lokalen Glättung der Einspeisung aus erneuerbaren Energien oder des Verbrauchsprofils von Haushalten nicht optimal. In diesem Fall würde das bestehende Potenzial der Stromnetze zum weiträumigen Ausgleich von Nachfrage- und Angebotsschwankungen nicht ausgeschöpft, was zu einem ineffizienten Betrieb der Speicher führen würde. Im ungünstigsten Fall könnten zwei benachbarte Speicher gegeneinander arbeiten, wenn z.B. der eine Nachbar gerade seinen Speicher füllt, während der andere aus seinem Strom entnimmt. Daraus folgt, dass darauf abzielende Fördermaßnahmen, beispielsweise die Förderung von Photovoltaiksystemen mit integriertem Speicher zur Deckung des Eigenbedarfs, aus Systemsicht kurz- bis mittelfristig ineffizient sind.

Langfristig gesehen spielen Speicher jedoch eine wichtige Rolle bei der Bewältigung der Herausforderungen beim Umbau der Stromversorgung mit der Zielperspektive einer Vollversorgung mit aus erneuerbaren Energien erzeugtem Strom bis etwa 2050. In dieser Perspektive übernehmen Speicher mit dem Ausgleich saisonaler Schwankungen eine zentrale Funktion im Energieangebot. Dies wird zunehmend relevant, wenn der Anteil der Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien mehr als ca. 50 % beträgt – nach derzeitigen Prognosen ab etwa 2025.

#### FLEXIBILISIERUNG DER NACHFRAGE

Auch auf der Nachfrageseite bestehen Möglichkeiten, flexibler als bisher auf das schwankende Angebot der Strom-

produktion aus erneuerbaren Energien zu reagieren und damit zur Stabilisierung des Stromsystems beizutragen. Vor allem bei industriellen und großen gewerblichen Verbrauchern (z.B. Chloralkalielektrolyse, Aluminiumproduktion, große Kühllhäuser) existieren gesamtwirtschaftlich attraktive Potenziale, bei denen die Kosten, die für die Einsparung von Strom anfallen (z.B. Einbau von Mess- und Steuerungstechnik, erhöhter Wartungsaufwand), geringer sind als die für zusätzliche Stromproduktion.

Geeignete Instrumente zur Erschließung dieses Potenzials sind die verstärkte Einführung von Stromtarifen, bei denen der Strompreis mit dem Börsenpreis schwankt, sowie die stärkere Öffnung der Regelleistungsmärkte für die Nachfrageseite.

Ob auch im Haushaltssektor (und in großen Teilen des Sektors Gewerbe, Handel, Dienstleistungen) wirtschaftlich erschließbare Potenziale zur zeitlichen Verlagerung der Nachfrage bestehen, beispielsweise durch intelligent zu- bzw. abschaltbare Haushaltsgeräte oder das Lademanagement von Elektrofahrzeugen, ist dagegen zurzeit noch nicht geklärt. Vor einer definitiven Bewertung besteht hier noch wesentlicher Untersuchungsbedarf. Zu klären ist insbesondere, inwieweit die Einsparpotenziale Investitionen in intelligente Steuerungstechnik und Smart-Grid-Infrastrukturen rechtfertigen können.

#### MARKT FÜR REGELLEISTUNG

Zur Aufrechterhaltung der Systemstabilität muss eine bestimmte Anzahl an Kraftwerken jederzeit aktiv am Netz sein, die sogenannten Systemdienstleistungen bereitstellen (z.B. schnell verfügbare Regelleistung). Bei diesen sogenannten Must-Run-Kraftwerken handelt es sich derzeit vorwiegend um konventionelle Großkraftwerke. Deren kontinuierliche Stromeinspeisung bil-

det eine Sockellast (»Systemdienstleistungssockel«), die die Aufnahmefähigkeit des Stromsystems für erneuerbare Energien einschränken kann.

Daher ist es eminent wichtig, dass zukünftig verstärkt auch kleinere mit erneuerbaren Energien betriebene Kraftwerke (z.B. als Pool) bzw. die Nachfrageseite Systemdienstleistungen erbringen. Insbesondere erscheint eine Öffnung der Regelleistungsmärkte für diese Akteursgruppen geboten. Zusätzlich wäre eine verstärkte Kooperation auf europäischer Ebene wünschenswert, da größere Regelzonen einen geringeren Anteil an Regelleistung benötigen. Dies setzt allerdings ein leistungsfähiges transeuropäisches Netz voraus.

#### STROMMARKTDESIGN

Im derzeitigen Strommarkt erfolgt die Preisbildung auf Basis der Grenzkosten der Kraftwerke, also der Kosten, die für die Produktion einer zusätzlichen Kilowattstunde Strom anfallen. Mit zunehmendem Anteil von Erneuerbaren an der Stromerzeugung könnten sich in vielen Stunden des Jahres Strompreise ergeben, die zu gering sind, um Kapitalkosten zu decken und Investitionen in Kraftwerke zu gestatten. Es ist davon auszugehen, dass das Strommarktdesign zumindest auf längere Sicht grundlegend überarbeitet werden muss, um den neuen Rahmenbedingungen gerecht zu werden. Einige Gestaltungsoptionen werden in der Fachöffentlichkeit derzeit intensiv diskutiert, u.a. die zuvor genannten Kapazitätsmechanismen, mit denen das Vorhalten von Kraftwerkskapazität honoriert wird, unabhängig davon, ob diese auch abgerufen wird. Dies könnte ein zentrales Element eines veränderten Marktdesigns darstellen. Eine andere Option ist die stärkere Konzentration auf langfristige Lieferverträge.

Da Veränderungen in der Regulierung immer auch zu Kosten und zur Verun-

sicherung bei den Investoren führen, sollte die Eingriffstiefe einer solchen Umgestaltung möglichst gering gehalten und gewissenhaft vorbereitet werden. Ein sofortiger Handlungsbedarf besteht zwar nicht, eine gezielte Beobachtung des Marktgeschehens ist aber anzuraten.

---

## FAZIT

Die Ergebnisse des TAB-Projekts zeigen, dass bis 2030 hohe Anteile erneuerbarer Energien (mindestens 40 bis 50 %) in das Stromversorgungssystem integriert werden können. Voraussetzung ist allerdings, dass die Netzinfrastruktur entsprechend ausgebaut wird

und die derzeit verfügbaren und zukünftig geplanten Flexibilisierungsoptionen aktiv genutzt werden. Grundsätzlich sollten bei der Optimierung der Strategie zur Erhöhung der Flexibilität des Stromsystems Kosten und Nutzen sowie Effizienz der einzelnen Optionen sorgfältig abgewogen werden. In vielen Bereichen ist eine rein nationale Betrachtung nicht mehr angemessen. Eine Kooperation auf europäischer Ebene ist sinnvoll, um die Integration der Erneuerbaren zu fördern. Ein transeuropäischer Netzausbau in Verbindung mit der weiter fortschreitenden Integration der europäischen Strommärkte kann einen wesentlichen Beitrag zur Bewältigung der anstehenden Herausforderungen leisten.

---

## HINWEIS ZUR VERÖFFENTLICHUNG

TAB-Arbeitsbericht Nr. 147: »Regenerative Energieträger zur Sicherung der Grundlast in der Stromversorgung«

---

## KONTAKT

Dr. Reinhard Grünwald  
+49 30 28491-107  
gruenwald@tab-beim-bundestag.de