

Lastmanagement einer zukünftigen Energieversorgung

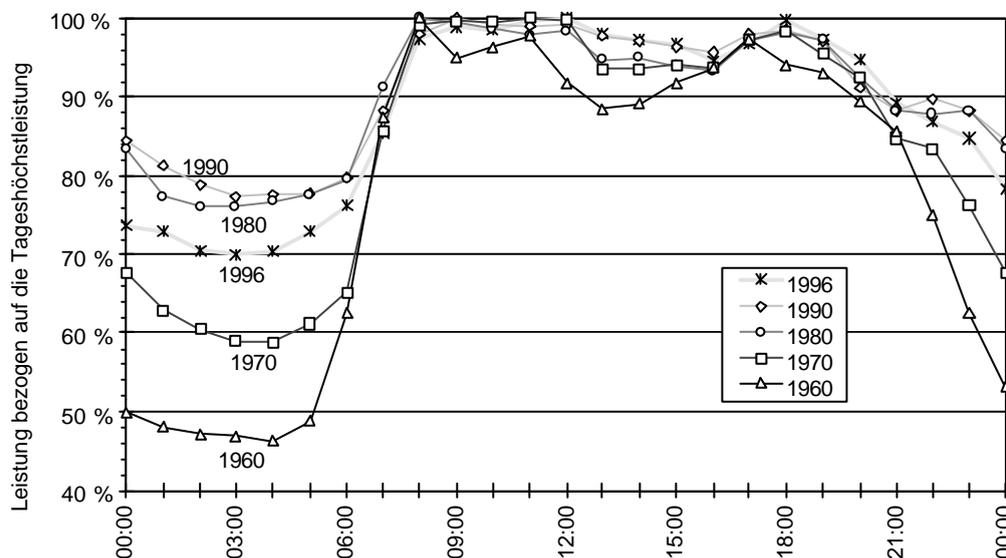
Integration regenerativer Energien in die Elektrizitätsversorgung

In die Nutzung regenerativer Energien für eine künftige klimaverträgliche Elektrizitätsversorgung werden große Hoffnungen gesetzt. Bei einem steigenden Anteil regenerativer Energien sinkt jedoch der Grundlastanteil der durch die konventionellen Kraftwerke zu deckenden Last und es kann zur Überschusserzeugung kommen. Durch Lastmanagement lässt sich jedoch die Integration regenerativer Energien in das Netz erheblich verbessern. Im folgenden werden Verlagerungspotenziale eines Lastmanagements für die künftige Elektrizitätsversorgung in Deutschland bestimmt und Einflussmöglichkeiten bei einem forcierten Einsatz regenerativer Energien näher ermittelt.

Volker Quaschnig und Rolf Hanitsch

Das Ziel der Elektrizitätswirtschaft ist, eine gleichmäßige Auslastung der Kraftwerke über Beeinflussung auf der Lastseite zu erreichen. Ein Lastmanagement wurde bisher vor allem durch günstige Nachtstarife sowie die Verbreitung von Nachtspeicherheizungen betrieben. Durchgeführte Feldversuche haben gezeigt, dass über verschiedene Maßnahmen wie zeitvariable Tarife, Stromampeln und Tarifschalter ein erheblich verbessertes Lastmanagement möglich ist. Hierfür ist jedoch ein erhöhter technischer Aufwand notwendig, der wiederum Kosten verursacht.

Mit steigendem Anteil regenerativer Energien an der Elektrizitätsversorgung nehmen auch die Schwankungen der durch konventionelle Kraftwerke zu deckenden Last deutlich zu. Möglichkeiten für ein optimiertes Lastmanagement gewinnen daher in Zukunft verstärkt an Bedeutung.



Leistungsganglinien der Netzbelastung ohne Pumpstromverbrauch der öffentlichen Versorgung bezogen auf die jeweilige Tageshöchstleistung am 3. Mittwoch im Dezember für verschiedene Jahre (Daten: VDEW [1], vor 1996 nur alte Bundesländer)

Entwicklung der Lastgänge

In den letzten Jahrzehnten wurde von den Elektrizitätsversorgungsunternehmen die Nachfrage über niedrige Nachtstarife und den Einsatz von Speicherheizungen in den Wintermonaten stark vergleichmäßigt. In den Sommermonaten hat sich der Verlauf des Lastgangs in den letzten 35 Jahren hingegen nur unwesentlich verändert. Das Bild zeigt die Entwicklung der Lastgänge in Deutschland im Dezember seit 1960. Durch eine Sättigung beim Absatz von

Speicherheizungen haben sich seit 1980 nur noch geringfügige Vergleichmäßigungen ergeben, die dann durch die Wiedervereinigung wieder etwas kompensiert wurden.

Für das Versorgungsgebiet der Bewag in Berlin wurde 1993 die Einführung zeitvariabler Tarife zur Lastbeeinflussung untersucht [2]. Da den Kostenvorteilen einer Vergleichmäßigung der Last Mehrkosten durch die notwendige Installation von Mehrtarifzählern und die Tarifschaltung gegenüberstehen, wurde die Idee der zeitvariablen Tarife nicht weiter verfolgt, obwohl eine deutliche Optimierung des Lastgangs zu erwarten wäre.

In einem zweieinhalb Jahre langen Feldversuch in Eckernförde erfolgte bis Ende 1996 das Lastmanagement über eine kostenorientierte Strompreisbildung [3]. Über Stromwertampeln und Stromwertschalter wurden hier die Kunden zur zeitlichen Verlagerung des Verbrauchs angehalten. Damit ließen sich sehr gute Erfolge bei der Lastbeeinflussung erreichen. Doch auch das Eckernförder Modell konnte bei der heutigen Versorgungsstruktur keine betriebswirtschaftlichen Vorteile für die Energieversorger erzielen. Dies wird sich jedoch durch die Liberalisierung der Elektrizitätswirtschaft und einen langfristig deutlich größeren Anteil regenerativer Energien bei der Versorgung vermutlich ändern.

Potenziale regenerativer Energien

Ziel der neuen wie auch der vorigen Bundesregierung ist eine Verringerung der CO₂-Emissionen von 25 % gegenüber 1990 bis zum Jahr 2005. Gleichzeitig soll die Kernenergienutzung beendet werden. Nach Empfehlungen der Enquete-Kommission zum Schutz der Erdatmosphäre des Deutschen Bundestags sollten die Reduktionen 50 % bis zum Jahr 2020 und 80 % bis zum Jahr 2050 betragen [4; 5]. Dies ist jedoch nur durch massive Energieeinsparungen und einen forcierten Einsatz regenerativer Energien zu erreichen [6].

Auf Basis vorliegender Studien [7 bis 9] wurde in einer umfangreichen Untersuchung an der TU Berlin ermittelt, welche Potenziale sich bei der Stromerzeugung mit regenerativen Energien erschließen lassen [10]. Die Ergebnisse sind in Tabelle 1 zusammengefasst. Mit zunehmendem Anteil regenerativer Energien im deutschen Kraftwerkspark kommt es zu vermehrten Lastwechseln sowie An- und Abfahrvorgängen bei konventionellen Kraftwerken [12]. Bei einer Netzdurchdringung regenerativer Energien von über 20 % treten außerdem Überschüsse auf, die nur durch zusätzliche Speicher genutzt werden können [13].

Tabelle 1 Jährliche Stromerzeugungspotenziale regenerativer Kraftwerke in Deutschland

| Energieträger | Erzeugung heute* in TWh | Ausbaumöglichkeiten bis zum Jahr 2020 in TWh | gesamtes Ausbaupotenzial in TWh |
|----------------------|----------------------------|---|---------------------------------|
| Photovoltaik | 0,03 | 15,5 | 175 |
| Windkraft (Land) | 4,6 | 24,2 | 85 |
| Windkraft (Offshore) | --- | 29,9 | 79 |
| Wasserkraft | 18,9 | 20,5 | 25 |
| Biomasse-Reststoffe | 1,0 | 20,0 | 33 |
| Energiepflanzen | --- | 5,0 | 17 |
| Summe | 24,5 | 115,1 | 414 |

* vorläufige Daten für 1998 [11]

Die bisher durchgeführten Untersuchungen stützen sich dabei jedoch hauptsächlich auf aktuelle Lastgänge des VDEW [13; 14]. Die Möglichkeiten eines künftigen Lastmanagements bleiben bisher in diesen Überlegungen weitgehend unberücksichtigt.

Möglichkeiten eines künftigen Lastmanagements

Im Rahmen der zuvor beschriebenen Feldversuche in Berlin und Eckernförde wurden auch sozialwissenschaftliche Untersuchungen hinsichtlich möglicher Verlagerungspotenziale bei

Haushalten durchgeführt. Die hier getroffenen Abschätzungen über Verlagerungsmöglichkeiten erfolgen in Anlehnung an die Befragungsergebnisse.

Neben der Lastverlagerung durch die Nutzer selbst können auch technische Maßnahmen die Verlagerungspotenziale deutlich erhöhen. Hierunter fallen Tarifschalter, die Geräte erst dann automatisch zuschalten, wenn niedrige Tarife - also eine geringe Nachfrage - vorhanden sind. Während es hierfür beispielsweise bei Geschirrspülern gute Einsatzmöglichkeiten gibt, sind diese bei Waschmaschinen und Wäschetrocknern deutlich geringer. Lediglich bei kombinierten Waschtrocknern sind ebenfalls große Potenziale vorhanden.

Tabelle 2 Abschätzung der Verlagerungsmöglichkeiten bei Haushalten

| Verlagerungsmöglichkeiten durch | Benutzerverhalten | | technische Maßnahmen | |
|---------------------------------|-----------------------|-------------------------|-----------------------|-------------------------|
| | innerhalb eines Tages | um mindestens einen Tag | innerhalb eines Tages | um mindestens einen Tag |
| Kühlgeräte | -- | -- | + | O |
| Gefriergeräte | -- | -- | ++ | O |
| Waschmaschinen | + | O | O/- | - |
| Wäschetrockner | + | O | O/- | - |
| Geschirrspüler | + | O | ++ | O |
| elektrische Kochgeräte | O/- | -- | -- | -- |
| elektrische Warmwasserbereitung | O | - | + | - |
| Speicherheizungen/ Wärmepumpen | - | -- | ++ | - |
| sonstige Verbraucher | O/+ | O | O | - |

++ sehr gut (> 75 %) + gut (25 % bis 75 %) O mäßig (5 % bis 25 %) - gering (bis 5 %) -- keine

Tabelle 3 Quantifizierung der Verlagerungsmöglichkeiten bei Haushalten

| Verlagerungsmöglichkeiten | innerhalb eines Tages | um mindestens einen Tag | Summe |
|---------------------------------|-----------------------|-------------------------|-------|
| Kühlgeräte | 50 % | 10 % | 60 % |
| Gefriergeräte | 75 % | 10 % | 85 % |
| Waschmaschinen | 50 % | 20 % | 70 % |
| Wäschetrockner | 50 % | 20 % | 70 % |
| Geschirrspüler | 75 % | 10 % | 85 % |
| elektrische Warmwasserbereitung | 35 % | 5 % | 40 % |
| Speicherheizungen/ Wärmepumpen | 90 % | 5 % | 95 % |
| sonstige Verbraucher | 25 % | 5 % | 30 % |

Bei elektrischen Speicherheizungen wird bereits heute eine zeitliche Verlagerung in die Nacht durchgeführt. Diese Verlagerungsmöglichkeiten bestehen auch in Zukunft bei elektrischen Heizungen und Wärmepumpen. Große Potenziale gibt es auch bei Gefrier- und Kühlgeräten. Durch verbesserte Isolation können neue Geräte die Kälte auch ohne die Aufnahme elektrischer Leistung über längere Zeiträume halten. So können die Geräte vor Hochtarifzeiten um wenige Grade heruntergekühlt und dann vom Netz getrennt werden. Durch den Einbau kleiner Kältespeicher kann die Überbrückungsdauer noch weiter verlängert werden. In Tabelle 2 sind die Einschätzungen der Verlagerungsmöglichkeiten zusammengefasst. In Tabelle 3 wurden die Ergebnisse der Einschätzungen genauer quantifiziert. Bei den nicht aufgeführten Verbrauchern sind die Verlagerungspotenziale gering, so dass diese im folgenden vernachlässigt wurden.

Insgesamt ergibt sich für die Haushalte ein sehr hohes Verlagerungspotenzial in der Größenordnung von etwa 40 %, jedoch mit großen Unterschieden zwischen Sommer und Winter. Etwa die Hälfte der Verlagerungsmöglichkeiten entfallen hierbei auf Speicherheizungen und Wärmepumpen. Um das gesamte Verlagerungspotenzial erschließen zu können,

müssen jedoch alle technischen Möglichkeiten ausgeschöpft und die Bevölkerung durch intensive Aufklärung und finanzielle Anreize zur aktiven Teilnahme gewonnen werden.

Deutlich geringere Verlagerungspotenziale gibt es bei Industrie, Kleinverbrauch und beim Verkehr. Dennoch lassen sich auch hier vor allem beim Kühl- und Wärmebedarf größere Potenziale erschließen.

Insgesamt ergeben sich im Jahresmittel Verlagerungspotenziale von 16 % bis 18 % des elektrischen Energiebedarfs. Während diese im Dezember zwischen 17 % und 20 % liegen, sinken sie hingegen im Juni auf etwa 8 %.

Entwicklung des Bedarfs

Da die Erschließung der Verlagerungspotenziale und der Ausbau der Nutzung regenerativer Energien nur über längere Zeiträume erfolgen kann, muss bei der Betrachtung des Einflusses des Lastmanagements auf die Integration regenerativer Energien auch der künftige Elektrizitätsbedarf herangezogen werden.

Auf Basis von Studien der Prognos AG [15] und des Freiburger Öko-Instituts [16] sowie eigener detaillierter Untersuchungen wurden zwei verschiedene Szenarien für eine mögliche Entwicklung des Elektrizitätsbedarfs in Deutschland bis zum Jahr 2020 aufgestellt, die in Tabelle 4 als Trendszenario und Energiesparszenario bezeichnet sind. Das Trendszenario ergibt sich aus der Fortschreibung der derzeitigen Entwicklung, während sich beim Energiesparszenario bei gleichem Wirtschaftswachstum durch Erschließung von Einsparpotenzialen eine deutliche Reduktion des Verbrauchs erreichen ließe.

Einfluss des Lastmanagements

Damit der Einfluss von Lastverlagerungen bei einem großen Anteil regenerativer Energien untersucht werden kann, wurde dem Trendszenario für den Verbrauch im Jahr 2020 aus Tabelle 4 eine regenerative Erzeugung im Umfang des gesamten Ausbaupotenzials gemäß Tabelle 1 gegenübergestellt.

Tabelle 4 Entwicklung des jährlichen Elektrizitätsbedarfs in Deutschland bis zum Jahr 2020 bei zwei unterschiedlichen Szenarien

| | Verbrauch heute (1997) [17] in TWh | Trendszenario 2020 in TWh | Energiesparszenario 2020 in TWh |
|--------------------------|---------------------------------------|------------------------------|------------------------------------|
| Haushalte | 130,8 | 134,1 | 66,4 |
| Kleinverbrauch | 107,8 | 143,4 | 89,6 |
| Industrie | 227,4 | 291,9 | 218,9 |
| Verkehr | 16,9 | 27,3 | 28,9 |
| Nettostromverbrauch | 482,9 | 596,7 | 403,8 |
| Übertragungsverluste | 20,1 | 20,9 | 14,1 |
| Stromverbrauch insgesamt | 503,0 | 617,6 | 417,9 |

Für die Bestimmung des zeitlichen Verlaufs der Leistungsabgabe des regenerativen Kraftwerksparks wurde eine umfangreiche Computersimulation durchgeführt. Als Datenbasis dienen dazu Messwerte der Globalstrahlung von 42 Standorten, der Windgeschwindigkeit von 24 Standorten sowie der Wasserstände und Abflüsse verschiedener Gewässer für 68 Wasserkraftwerke in Deutschland [18 bis 20]. Bei der Simulation wurde zuerst nur die Hälfte der Biomassepotenziale in wärmegeführten Blockheizkraftwerken eingesetzt. Auch der zeitliche Verlauf der künftigen Nachfrage im Jahr 2020 wurde in stündlicher Auflösung über ein Jahr berechnet.

Tabelle 5 zeigt die Simulationsergebnisse. Neben der maximalen Leistungsaufnahme und dem Gesamtenergieaufkommen ist auch der jeweilige Grundlast- und Spitzenlastanteil der durch die konventionellen Kraftwerke zu deckenden Last ausgewiesen. Durch den Einsatz

regenerativer Energien steigt der Spitzenlastanteil von 1,8 % auf 6,9 % an, während der Grundlastanteil von 85,8 % auf 42,3 % sinkt. Außerdem entstehen erhebliche Überschüsse mit einer großen Leistungsspitze.

Tabelle 5 Restnachfrage und Überschüsse beim Verbrauch nach dem Trendszenario 2020 und Nutzung des gesamten Ausbaupotenzials regenerativer Energien

| | Restnachfrage | | | | Überschüsse | |
|---|---------------|-----------------------|-----------------------|------------------|--------------|------------------|
| | P_{\max} | Spitzenlast | Grundlast | E_{ges} | P_{\max} | E_{ges} |
| | in GW | < 2.000 h/a in TWh | > 6.000 h/a in TWh | in TWh | in GW | in TWh |
| nur regenerative Erzeugung ¹⁾ | --- | --- | --- | --- | 176,8 | 387,2 |
| Nachfrage Trendszenario 2020 | 93,9 | 10,9 | 529,7 | 617,6 | --- | --- |
| + regenerative Erzeugung ¹⁾ | 83,4 | 18,8 | 115,1 | 272,2 | 104,1 | 42,2 |
| + Lastverlagerung | 71,0 | 16,4 | 140,2 | 253,6 | 86,7 | 23,5 |
| + Pumpspeicherkraftwerke | 68,2 | 15,3 | 142,4 | 252,0 | 83,2 | 20,5 |
| + BHKW, nachfragegeführt ²⁾ | 55,8 | 7,1 | 142,4 | 227,2 | 83,2 | 20,5 |

¹⁾ Wind, PV, Wasser und wärmegeführte Biomasse-BHKW; ohne nachfragegeführte Biomasse-BHKW

²⁾ Einsatz von 50 % des Biomassepotenzials in nachfragegeführten BHKW

Durch Ausnutzung der zuvor ermittelten Lastverlagerungspotenziale lassen sich die Überschüsse deutlich verringern, die Leistungsspitze der Nachfrage um 12,4 GW senken, der Spitzenlastanteil auf 6,5 % reduzieren sowie der Grundlastanteil auf 55,2 % erhöhen. Durch weitere Maßnahmen wie den Einsatz bestehender Pumpspeicherkraftwerke sowie den Einsatz von 50 % des Biomassepotenzials in nachfragegeführten Blockheizkraftwerken lassen sich weitere Verbesserungen erzielen.

Fazit

Während sich heute Lastverlagerungen durch kostenorientierte Tarife aufgrund der Zusatzkosten für die notwendigen technischen Installationen aus betriebswirtschaftlicher Sicht nicht rechnen, wird das Lastmanagement bei einem steigenden Anteil regenerativer Energien erheblich an Bedeutung gewinnen. So lässt sich durch das Lastmanagement die Leistungsspitze reduzieren und der Grundlastanteil erhöhen. Bei einer hohen Netzdurchdringung von regenerativen Energien kann durch ein optimiertes Lastmanagement außerdem der Speicherbedarf erheblich reduziert werden, so dass dem Lastmanagement bei der Gestaltung einer künftigen klimaverträglichen Elektrizitätsversorgung eine entscheidende Rolle zukommen wird.

Dr.-Ing. *Volker Quaschnig*, Jahrgang 1969, Studium der Elektrotechnik an der Universität Karlsruhe. 1996 Promotion an der TU Berlin, arbeitet dort derzeit an seiner Habilitation über die Systemtechnik einer künftigen klimaverträglichen Elektrizitätsversorgung für Deutschland

Prof. Dr.-Ing. habil. *Rolf Hanitsch*, Jahrgang 1940, Studium der Elektrotechnik, Promotion und Habilitation an der TU Berlin, Professor für das Fachgebiet Elektrische Maschinen und Antriebe, derzeit geschäftsführender Direktor des Instituts für Elektrische Energietechnik an der TU Berlin

Literatur

- [1] *Vereinigung Deutscher Elektrizitätswerke e. V. VDEW (Hrsg.): VDEW Statistik. Frankfurt/M : VDEW-Verlag, verschiedene Jahrgänge.*
- [2] *Hanitsch, R.; Loch, J.-M.; Melchert, A.; Leitner, K.; Kohler, M.; Frühwirth, B.; Dobberstein, J.; Valentin, G.: Zeitvariable lineare Stromtarife - eine empirische Untersuchung im Versorgungsgebiet der Bewag. Berlin: Bewag und SenStadtUm, Juni 1993.*
- [3] *Energiestiftung Schleswig-Holstein (Hrsg.): Kostenorientierte Strompreisbildung. Entwicklung und Test eines lastabhängigen Echtzeit-Tarifs in Eckernförde. Kiel: Energiestiftung Schleswig Holstein, Studie 4, 1997.*
- [4] *Enquete-Kommission „Vorsorge zum Schutz der Erdatmosphäre“ des 11. Deutschen Bundestages (Hrsg.): Schutz der Erdatmosphäre. Bonn: Economica Verlag, 1990.*
- [5] *Enquete-Kommission „Schutz der Erdatmosphäre“ des 12. Deutschen Bundestages (Hrsg.): Mehr Zukunft für die Erde. Bonn: Economica Verlag, 1995.*
- [6] *Quaschnig, V.: Regenerative Energiesysteme. München: Carl Hanser Verlag, 1998.*
- [7] *v. Bierbrauer, H.; Ernst, H.; Klenk, H.; Merkel, C.; Peter, K.; v. Winning, H.: Darstellung realistischer Regionen für die Errichtung insbesondere großer Windenergieanlagen in der Bundesrepublik Deutschland. BMFT Forschungsbericht T 85-053, 1985.*
- [8] *Kaltschmitt, M.; Wiese, A. (Hrsg.): Erneuerbare Energieträger in Deutschland. Berlin: Springer Verlag, 1993.*
- [9] *Kaltschmitt, M.; Wiese, A. (Hrsg.): Erneuerbare Energien. Berlin: Springer Verlag, 1995.*
- [10] *Quaschnig, V.; Blaschke, C.; Hanitsch, R.: Einsatzmöglichkeiten der Photovoltaik für eine zukunftsfähige Elektrizitätsversorgung in Deutschland. 14. Symposium Photovoltaische Solarenergie. Staffelstein, 10.-12. März 1999, S. 526-530.*
- [11] *Internationales Wirtschaftsforum Regenerative Energien IWR (Hrsg.): Strom aus erneuerbaren Energiequellen 1998. Internet: http://www.uni-muenster.de/Energie/re/eu/e_dat.html.*
- [12] *Fischedick, M.: Erneuerbare Energien und Blockheizkraftwerke im Kraftwerksverbund. Stuttgart: IER-Forschungsbericht Band 20, 1995.*
- [13] *Luther, J.; Nitsch, J.: Energieversorgung der Zukunft. Berlin: Springer Verlag, 1990.*
- [14] *Edwin, K.; Klafka, P.: Die Bedeutung der Sonnenenergie für die elektrische Energieerzeugung in Deutschland in den nächsten Jahrzehnten. Elektrizitätswirtschaft, Jg.96 (1997), Heft 6, S.217-225.*
- [15] *Prognos AG (Hrsg.): Energierport II. Die Energiemärkte Deutschlands im zusammenwachsenden Europa - Perspektiven bis zum Jahr 2020. Stuttgart: Schäffer Poeschel Verlag 1996.*
- [16] *Öko-Institut e. V. (Hrsg.): Das Energiewende-Szenario 2020. Freiburg: Öko-Institut 1996.*
- [17] *Verband der Industriellen Energie- und Kraftwirtschaft e. V. VIK (Hrsg.): Statistik der Energiewirtschaft 1997/1998. Essen, 1999.*
- [18] *Deutscher Wetterdienst (Hrsg.): Ergebnisse von Strahlungsmessungen in der Bundesrepublik Deutschland. Hamburg: Deutscher Wetterdienst, verschiedene Jahrgänge.*
- [19] *Bezug von Zeitreihen der stündlichen Winddaten von 1991 für 24 Stationen des DWD, Offenbach: Deutscher Wetterdienst 1998.*
- [20] *Deutsches Gewässerkundliches Jahrbuch 1991, Donaugebiet, Rheingebiet Teil I, Teil II und Teil III sowie Weser- und Emsgebiet.*