

# Inwieweit ist die – momentane – Stromerzeugung der unterschiedlichen Kraftwerke, insbesondere die der Regenerativ-Kraftwerke, den typischen Lastbereichen des Strombedarfs zuordnenbar (Strommanagement) ?

von Eberhard Wagner

e-mail [Eberhard.Wagner@energie-fakten.de](mailto:Eberhard.Wagner@energie-fakten.de)

## Hier die Fakten - vereinfachte Kurzfassung

Die in Deutschland derzeit noch immer vorhandene hohe Versorgungssicherheit mit Elektrizität – „Rund um die Uhr“ – ist nur durch eine ständige und genaue Gleichheit zwischen Stromerzeugung und Strombedarf möglich. Dieses Gleichgewicht verlangt eine Steuerung der Leistung der Kraftwerke entsprechend dem zu erwartenden momentanen Strombedarf. Es setzt einen erheblichen technischen und organisatorischen Aufwand voraus. Diese Aufgabe organisieren die sog. Lastverteiler, als Teil der Netzbetreiber der bedeutenden Stromversorgungs-Unternehmen. Die Kompliziertheit dieses Systems ist weder bei der Gasversorgung noch bei der Wasserversorgung vorhanden bzw. notwendig.

Die Lastverteiler ermitteln kurz-, mittel- und langfristig möglichst genau den Strombedarf. Dies anhand historischer Daten, abhängig von der Jahreszeit, dem Wetter, der Außentemperatur, den Fernsehgewohnheiten (z. B. besonderer Sportereignisse) und sonstiger Einflüsse.

Der prognostizierte Strombedarf für einen Versorgungsbereich (Netzbereich) stellt quasi ein Lastgebirge dar (Bild 1, Seite 4 (Langfassung)). Man unterscheidet die typischen Lastbereiche: Grund-, Mittel- und Spitzenlast. Entsprechend dieser Abgrenzung wird der Strombedarf den einzelnen Kraftwerken, so gut es möglich ist, zugeordnet. Die Belastungsmöglichkeiten der Kraftwerke sowie deren Wirtschaftlichkeit bestimmen bedeutsam den Kraftwerkseinsatz.

Für die Deckung der Grundlast (der Strombedarf, der weitgehend ganzjährig durchgängig vorhanden ist) werden Kernkraftwerke, Braunkohle-Kraftwerke sowie die Laufwasser-Kraftwerke eingesetzt. Der darüber liegende Bedarf, die Mittellast, wird wesentlich mit Steinkohle-Kraftwerken und im geringen Maße durch Öl- und Gas-Kraftwerke gedeckt. Zur Deckung der Spitzenbelastung (vorhersehbar und nicht vorhersehbar, also plötzlich) werden Gasturbinen-Kraftwerke und besonders die Pumpspeicher-Kraftwerke genutzt. Das Tages-

Lastgebirge ist im Sommer etwa ein Drittel geringer als im Winter. Der Bedarf an Fernwärme aus Kraft-Wärme-Kopplungsanlagen (Heizkraftwerke) beeinflusst die Einsatzmöglichkeit fast aller anderen Kraftwerke vor allem im Winter zusätzlich.

Dieses „Zusammenspiel“ war in der Vergangenheit weitgehend überschaubar. Jedes Versorgungsunternehmen war für seinen, abgegrenzten Bereich für die Strombeschaffung und die Sicherheit der Versorgung (Strom und ggf. Wärme) allein verantwortlich. Dieses System der sog. abgegrenzten, geschlossenen Versorgungsgebiete, wurde bezüglich der Strom-Tarife von Staatswegen beaufsichtigt; der Kraftwerksbau war anzeigepflichtig. Der „Preisreferent“, in den Ländern dem jeweiligen Wirtschaftsministerium zugeordnet, wachte über die Preisgestaltung.

Erhebliche Veränderungen dieses „Zusammenspiels“ zwischen Strom-Erzeugung (Kraftwerke) und Strom-Bedarf haben sich aus der stark wachsenden Nutzung erneuerbarer Energien

(ab etwa 1990), insbesondere der Windkraft, ergeben. Besonders verursacht durch den vorrangigen Abnahmepflicht dieses Stromes, unabhängig vom Strom-Bedarf (Erneuerbare-Energien-Gesetz – EEG). Ein weiterer Abnahmepflicht besteht für Strom aus Kraft-Wärme-Kopplungsanlagen (Kraft-Wärme-Kopplungs-Gesetz – KWKG).

Ebenso hat die „Liberalisierung“ des Strommarktes (ab 1998), die Möglichkeiten der Planbarkeit des Einsatzes konventioneller Kraftwerke bedeutsam eingeschränkt. Die Verantwortung für die Versorgungssicherheit ist

per Gesetz nunmehr den Netzbetreibern zugewiesen worden. Die Netzbetreiber müssen die Ungleichheiten zwischen der Erzeugung und dem Bedarf ausgleichen, obwohl sie keine Kraftwerke und Speicher-Kraftwerke besitzen dürfen. Für den Beobachter ergeben sich daraus wachsende Bedenken bezüglich der zukünftigen Versorgungssicherheit.

Die Nutzung der „neuen“ erneuerbaren Energien Windkraft und Photovoltaik sind wesentlich abhängig vom natürlichen Energie-Dargebot, also den momentanen Windgeschwindigkeiten

und der Sonneneinstrahlung. Diese Stromerzeugungen sind deshalb grundsätzlich keinem Lastbereich eindeutig zuordenbar.

Verlässlichere Stromerzeugungen sind dagegen durch Biomasse-Kraftwerke wie auch durch Geothermie-Kraftwerke gegeben. Die Nutzung der Wasserkraft hat sich in den vergangenen Jahrzehnten wenig verändert, sie ist saisonal gut vorhersagbar. Diesen Kraftwerken ist gemeinsam, dass sie dem Grundlastbereich zuzurechnen sind; sie füllen quasi das Lastgebirge „von unten“ auf.

# Inwieweit ist die – momentane – Stromerzeugung der unterschiedlichen Kraftwerke, insbesondere die der Regenerativ-Kraftwerke, den typischen Lastbereichen des Strombedarfs zuordnenbar (Strommanagement) ?

von [Eberhard Wagner](#)

e-mail [Eberhard.Wagner@energie-fakten.de](mailto:Eberhard.Wagner@energie-fakten.de)

## Hier die Fakten - Langfassung

Die Deckung des Strombedarfs setzt einerseits die Kenntnis des zeitlich unmittelbar bevorstehenden Leistungsbedarfs der Verbraucher und andererseits das Vorhandensein bzw. die schnelle Einsatzmöglichkeit von – für die Verbrauchssituation geeigneten – Kraftwerken voraus. Dieses Zusammenspiel ist die Grundlage für eine gesicherte Stromversorgung „Rund um die Uhr“. Das Stromversorgungssystem in Deutschland ist deshalb zwangsläufig technisch sehr aufwendig; es ergeben sich daraus auch erhebliche organisatorische Ansprüche.

Diese Aufgaben organisieren besonders die „Lastverteiler“ bei den Netzbetreibern der bedeutenden Stromversorgungs-Unternehmen. Sie sind für ein – im elektrischen Sinne – „stabiles“ Gesamtnetz verantwortlich. Ein Kennzeichen des Netzes ist z. B. die Frequenz, diese soll immer sehr genau 50 Hertz, die Abweichungen dürfen üblich nur plus/minus 0,05 Hertz betragen. Die Frequenz ist eine Eigenschaft des Wechselstroms/Drehstroms, d. h., alle Kraftwerke in einem

Verbundnetz müssen „im gleichen Takt“ arbeiten. Die gesamte Kraftwerksleistung bzw. die in Anspruch genommene Leistung aller Verbraucher muss jederzeit im Leistungs-Gleichgewicht stehen – man spricht von der Leistungs-Frequenz-Regelung. Grundsätzlich muss jeder Netzbetreiber für eine bedarfsgerechte Lastverteilung Sorge tragen. In Deutschland gibt es etwa 1.000 Netzbetreiber.

### Lastgebirge

Die Lastverteiler ermitteln kurzfristig (mindestens stündlich), mittelfristig (wöchentlich, monatlich) und langfristig (Prognosen für das Jahr und für mehrere Jahre) möglichst genau den Strombedarf. Dies geschieht anhand historischer Daten, abhängig von der Jahreszeit, dem Wetter, der Außentemperatur, den Fernsehgewohnheiten (z. B. besondere Sportereignisse, Mondlandung) und sonstiger Einflüsse. Auch der Stromaustausch mit anderen Netzbereichen sowie der Stromexport und Stromimport spielen eine Rolle. Diese können vertraglich geregelt sein oder auch spontan

stattfinden, beim letzteren spricht man vom ungewollten Strom-austausch.

Der prognostizierte Strombedarf für Deutschland bzw. einen Versorgungsbereich (Netzbereich) stellt ein Lastgebirge dar (Bild 1). Man unterscheidet die typischen Lastbereiche: Grund-, Mittel- und Spitzenlast. Entsprechend dieser Abgrenzung wird der Strombedarf den einzelnen Kraftwerken, so gut es möglich ist, zugeordnet. Die Verfügbarkeiten und die Belastungsmöglichkeiten der Kraftwerke sowie deren Wirtschaftlichkeit bestimmen bedeutsam den Einsatz jedes (größeren) Kraftwerkes.

### Sicherung der Stromversorgung

Das „Zusammenspiel“ zwischen Strom-Erzeugung (Kraftwerke) und Strom-Bedarf hat sich durch die stark wachsende Nutzung regenerativer Energien (ab etwa 1990), insbesondere der Windkraft, verändert. Besonders verursacht durch den vorrangigen Abnahmezwang dieses Stromes, unabhängig vom Strom-Bedarf. Vergleichbares gilt für den Strom

## LANGFASSUNG

aus Kraft-Wärme-Kopplungsanlagen. Ebenso hat die „Liberalisierung“ des Strommarktes (ab 1998), die Möglichkeiten der Planbarkeit des Einsatzes konventioneller Kraftwerke bedeutsam eingeschränkt.

Die Verantwortung für die Versorgungssicherheit ist per Gesetz nunmehr den Netz-

(Stromhandel). Sie nutzen das Netz als Strom-Übertragungssystem, ohne von vorn herein und unmittelbar die Übertragungsmöglichkeiten, die Netzstabilität u. ä. beachten zu müssen. Die Netzbetreiber müssen die Differenzen zwischen der Erzeugung und dem Bedarf zu jedem Zeitpunkt ausgleichen,

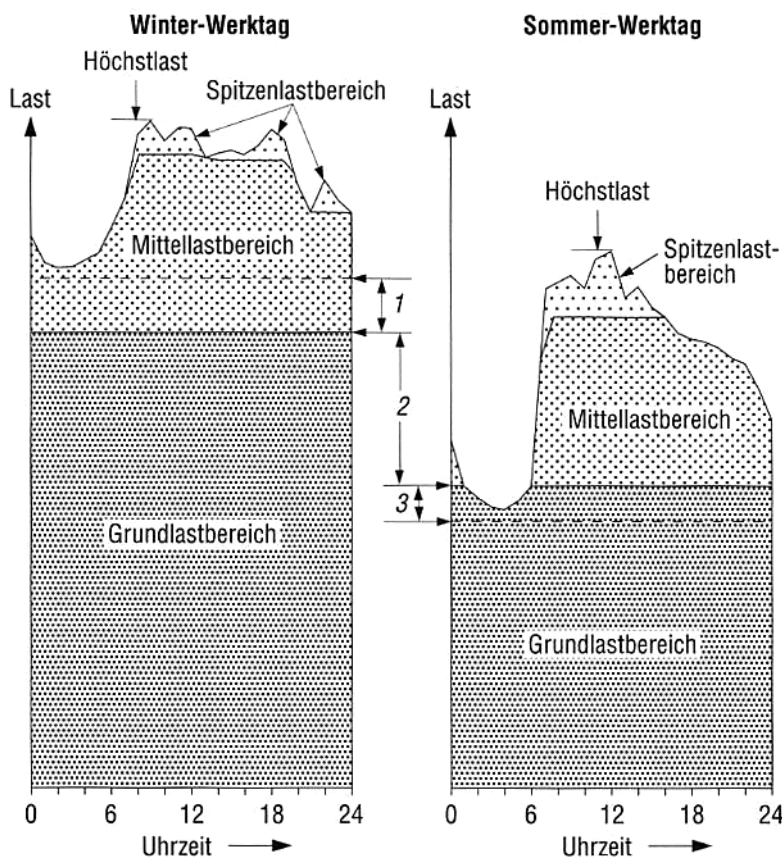
von Verträgen. Für den Beobachter ergeben sich daraus zunehmende Bedenken bezüglich der zukünftigen Versorgungssicherheit.

Unabhängig von den genannten Schwierigkeiten, besteht nach wie vor die Notwendigkeit über Kraftwerke mit sehr unterschiedlichen Betriebs-Eigenschaften verfügen zu können und diesen auch einen grundsätzlich wirtschaftlichen Betrieb zu sichern. Da es keine Kraftwerkstechnik gibt, die allen Erfordernissen gerecht werden kann, ist man insgesamt auf einen „Kraftwerksmix“ angewiesen.

### Kraftwerksarten

Wesentliche Unterscheidungsmerkmale der Kraftwerke sind die (spezifischen) Kapitalkosten (Investition), die Brennstoffkosten und die Verfügbarkeit der Brennstoffe, die Leistungs-Regelfähigkeit und bei den sog. regenerativen Energien das typische naturgegebene (stark schwankende) Energie-Darbot. Ein wichtiger energiewirtschaftlicher Kennwert von Kraftwerken ist die „Ausnutzungsdauer“ (mitunter als Volllastbenutzungsdauern bezeichnet). Diese ergibt sich als Quotient aus der Erzeugung und der installierten Leistung des betrachteten Kraftwerks oder vieler gleichartiger Kraftwerke.

Kraftwerke mit hohen Kapitalkosten werden mit Brennstoffen betrieben, deren Kosten sehr gering sind. Der wirtschaftliche Vorteil ergibt sich dann durch eine hohe jährliche Ausnutzungsdauer – es werden etwa 8.000 Stunden pro Jahr (h/a) erreicht (das Normaljahr hat 8.760



- 1 In diesem Bereich ist eine über 24 Stunden konstante Last nur an typischen Winter-Werktagen vorhanden. Dieser Lastbereich wird durch Mittelleistungs-Kraftwerke gedeckt, es sei denn, seine Deckung durch Grundleistungs-Kraftwerke wäre – trotz der über das Jahr geringen Ausnutzung – wirtschaftlicher.
- 2 Dieser Lastbereich wird während der Revisionszeit der Grundleistungs-Kraftwerke – in der Regel im Sommer – durch Mittelleistungs-Kraftwerke gedeckt.
- 3 In diesem Lastbereich werden die verfügbaren Grundleistungs-Kraftwerke zeitweilig mit stärker als rein lastbedingt reduzierter Leistung gefahren – in Sommernächten besonders ausgeprägt – um Mittelleistungs-Kraftwerken einen Mindestleistungsbetrieb zu ermöglichen.

Bild 1: Tages-Lastganglinien, typischer Werktag im Winter und im Sommer. Quelle: siehe Seite 8.

betreibern zugewiesen worden. Die eigentlichen Stromverkäufer beziehen den Strom bei den Strom-Erzeugern, dazu auch über den Weg der Strombörse

obwohl sie keine Kraftwerke und Speicher-Kraftwerke besitzen dürfen. Dazu bedienen sie sich vor allem schnell regelfähiger Kraftwerke auf der Grundlage

## LANGFASSUNG

Stunden). Sie sind besonders geeignet, den Grundlastbedarf zu decken.

Diese Anlagen sind dagegen weniger geeignet, schnelle Leistungswechsel durchzuführen.

Für den Mittellastbedarf werden Kraftwerke mit niedrigeren spezifischen Kapitalkosten, aber mit höheren Brennstoffkosten eingesetzt. Sie verfügen je nach Brennstoff über eine bessere Leistungs-Regelfähigkeit als die Kraftwerke zur Grundlastdeckung. Die Ausnutzungsdauern erreichen etwa 4.000 h/a.

Zur Deckung der Spitzenlast sind besonders schnell regel-fähige Kraftwerke erforderlich. Ihre spezifischen Kapitalkosten sind im Vergleich nicht hoch. Hohe Brennstoffkosten (Gaspreise bei Gasturbinen-Kraftwerken) werden in Kauf genommen. Entscheidend ist die kurzfristige Zugriffszeit (in Minuten). Die Anlagen unterliegen in der Regel nur kurzen Betriebszeiten (Minuten bis etwa eine Stunde), bis die Regelvorgänge abgeschlossen worden oder Störungen (im Netz oder bei anderen Kraftwerke) beseitigt sind oder bis Ersatzsysteme zur Verfügung stehen. Die Ausnutzungsdauern dieser Anlagen betragen etwa 800 bis 1.500 h/a.

### **Inwieweit werden nun die bekannten Kraftwerksarten diesen Bedingungen gerecht?**

#### **Kernkraftwerke und Braunkohle-Kraftwerke**

Diese Anlagen sind wegen der niedrigen Brennstoffkosten besonders für die Deckung des Grundlastbedarfs geeignet. Im ganzjährigen Betrieb liefern sie

„Rund um die Uhr“ verlässlich einen erheblichen Anteil des Strombedarfs. Die Ausnutzungsdauern erreichen 8.000 Stunden und mehr pro Jahr. Ihre technische Verfügbarkeit ist hoch. Kraftwerks-Stillstände werden wesentlich durch die Revisionszeiten bestimmt.

#### **Wasserkraft**

Die Nutzung regenerativer Wasserkraft erfolgt überwiegend in Laufwasser-Kraftwerken und in geringerem Umfang in Speicherkraftwerken mit natürlichem Zufluss.

Die Laufwasser-Kraftwerke nutzen kontinuierlich den naturgegebenen Abfluss der Ströme, Flüsse und Bäche. In den größeren Anlagen werden Ausnutzungsdauern von etwa 5.000 h/a erreicht, in den kleineren Anlagen etwa 3.000 h/a. Diese Stromerzeugung lässt sich relativ sicher vorhersagen. Im Frühjahr ergeben sich durch das typische Regenaufkommen und die Schneeschmelze hohe Werte. Im Sommer aber auch im Winter, ist die Erzeugung meist deutlich geringer. Hochwässer können die Erzeugung stark beeinflussen. Bei diesen Ereignissen entsteht ein Rückstau (Verminderung der Fallhöhen), die Stromerzeugung wird geringer und kann auch gänzlich ausfallen. Diese Wasserkraft-Stromerzeugung wird von jeher dem Grundlastbereich zugerechnet. Das Lastgebirge wird quasi von „unten“ aufgefüllt.

Schwellbetriebsfähige Laufwasser-Kraftwerke halten im Tagesrhythmus eine bestimmte Wassermenge zurück, um diese dann meist zur Mittagszeit als Spitzenleistung dem Netz zur Verfügung stellen zu können.

Andere Verhältnisse liegen bei den Speicherkraftwerken vor. Diese können der Deckung des Spitzenlastbedarfs dienen. Die nur wenigen Anlagen in Deutschland haben allerdings meist andere Aufgaben zu erfüllen. Z. B. werden die Anlagen unterhalb des Edersees vorrangig nach den Notwendigkeiten der Wesserschiffahrt betrieben. Die Anlagen erreichen Ausnutzungsdauern von typisch etwa 2.000 h/a.

Dagegen tragen Pumpspeicherkraftwerke in erheblichem Umfang zur Spitzenlastdeckung bei. Diese werden jedoch überwiegend mit gepumptem Wasser betrieben. Deshalb können sie nicht als Regenerativ-Kraftwerke gewertet werden. Außerdem erfüllen sie noch andere sehr wichtige Erfordernisse für die sichere Stromversorgung. (Siehe dazu: [Welche Bedeutung hat die Wasserkraft für Deutschland ?](#) und [Inwiefern haben Pumpspeicher-Kraftwerke eine Bedeutung für die Sicherheit der Stromversorgung ?](#)).

#### **Windkraftanlagen**

Nur für Windkraftanlagen werden im Internet vom Verband der Netzbetreiber (VDN) seit Januar 2006 monatlich Viertelstunden-Leistungswerte (MW) veröffentlicht, summiert für alle Anlagen in Deutschland. Das erfolgt auch im Rahmen der entgeltlichen Abrechnung und Weitergabe dieses Stroms an die Unternehmen, die Letztverbraucher versorgen. Dabei handelt es sich nur um eine kaufmännisch rechnerische Weitergabe der regenerativen Windkraft-Strommengen.



**Photovoltaik**

Die Stromerzeugung dieser Anlagen hat grundsätzlich einen typischen Tageszyklus, der von den Jahreszeiten überlagert wird. Die Anlagenleistung erreicht bei wolkenlosem Himmel im Hochsommer in der Mittagszeit ein Maximum. Etwa die Hälfte der Stromerzeugung erfolgt aus diffusem Licht (keine direkte Sonneneinstrahlung bei bedecktem Himmel). In Deutschland ist ein Leistungsgefälle von Süd- nach Norddeutschland feststellbar. Im Süden sind etwa 1.000 h/a zu erwarten, im Norden etwa 750 h/a. Da man eine maximale Anlagenleistung nur bei maximaler Sonneneinstrahlung erreicht, könnten diese Anlagen um die Mittagszeit der Spitzenlastdeckung dienen. Diese Möglichkeit setzt einen mehrstündigen klaren Himmel voraus. Sichere Voraussagen dieser Wettergegebenheiten sind auch in Zukunft eher unwahrscheinlich. Da die Deckung der Lastspitzen das generelle Problem der Stromversorgung und auch außerordentlich kostenwirksam ist, ist auch bei der Photovoltaik eine Zuordnung dieser Erzeugung zur Spitzenlastdeckung nicht gerechtfertigt. Wie beim Windstrom ist der Photovoltaik-Strom naturgegeben mehr oder weniger (im Winter fast Null) vorhanden.

**Biomasse**

Diese Anlagen können prinzipiell genau so betrieben werden wie konventionelle Kraftwerke, wenn die Brennstoffzufuhr je nach dem Strombedarf gesteuert werden kann. Einschränkungen ergeben sich bei Biogasanlagen, weil die Gaserzeugung nicht schnell dem ggf. schnell wechselnden Strombedarf folgen kann und weil die derzeitigen Anlagen über keine ausreichend große Gasspeicher verfügen. Es handelt sich um Anlagen im Leistungsbereich zwischen 100 kW bis zu etwa 20 MW, die auch modular (mehrere kleinere Motoren) aufgebaut werden. Der erzeugte Strom wird nach dem EEG sehr komfortabel vergütet. Die Anlagenbetreiber werden aus wirtschaftlichen Gründen bemüht sein, höchstmögliche Strommengen zu produzieren, auch dann, wenn eigentlich kein Bedarf besteht. Eine Einschränkung des Betriebs aus Bedarfsgründen werden die Betreiber deshalb nicht hinnehmen. Hierbei wird zunehmend

ein Mangel des EEG offenkundig. Das EEG regelt ausschließlich die Einspeisung von Strom, ohne zeitliche oder bedarfsgerechte Bewertung. Die Ausnutzungsdauern können durchaus 8.000 h/a erreichen.

#### Geothermie

Anlagen, die die Erdwärme nutzen, sind in ihrem Versorgungsbeitrag ähnlich zu werten wie die Biomasse-Anlagen. Wegen der Trägheit des Wärmestromes aus der Erde, werden die Anlagen zweckmäßig kontinuierlich betrieben. Sie können dadurch dem Grundlastbereich zugerechnet werden. Beiträge zur Spitzenlast wären dann möglich, wenn die Anlagen nur für diesen Zweck bereitgestellt würden und auch relativ schnell wechselnden Leistungsanforderungen folgen könnten. Was den wirtschaftlichen Betrieb angeht, stehen die

Betreiber in einer vergleichbaren Situation wie die Betreiber von Biomasse-Anlagen.

#### Zusammenfassung

Eine sichere Rund um die Uhr Stromversorgung ist derzeit nur mit großen konventionellen Kraftwerken möglich. Diese Anlagen beteiligen sich im hohen Maße an der Leistungs-Frequenz-Regelung. Der Einsatz dieser Anlagen erfolgt nach wirtschaftlichen Gegebenheiten entsprechend den typischen Lastbereichen Grund-, Mittel- und Spitzenlast.

Die Anlagen, die erneuerbare Energien nutzen, sind derzeit technisch nicht in der Lage, sich aktiv an der Leistungs-Frequenz-Regelung zu beteiligen. Das ist eine Grundbedingung z. B. für die Spitzenlastdeckung. Diese Anlagen, das gilt auch für kleine bis mittelgroße Wasserkraftwerke,

sind auf ein „stabiles“ Netz angewiesen. Diese Stabilität wird ausschließlich durch große und regelmäßige Kraftwerke bewerkstelligt.

Die Stromerzeugung aus regenerativ-Kraftwerken „fließt“ das Lastgebirge „von unten“ auf. Eine Zuordnung zu Lastbereichen oberhalb des Grundlast-Bereichs, die mit höherer wirtschaftlicher Stromwertigkeit verknüpft wäre, ist derzeit nicht möglich. ■

#### Bildnachweis:

Bild 1: Elektrizitätswirtschaftliche Grundbegriffe, 7. Ausgabe, 1999, VWEW/VDEW, Frankfurt am Main. Mit freundlicher Genehmigung des VWEW.

Bild 2: VDN, Berlin.

Mit freundlicher Genehmigung des VDN.

Bild 3: Wagner