

**FZR-193**

August 1997

*G. Hackstein, J. Riedel, U. Rindelhardt und M. Schwanitz*

**Elektroenergieerzeugung aus  
erneuerbaren Energiequellen in Sachsen**

Herausgeber:  
FORSCHUNGSZENTRUM ROSSENDORF  
Postfach 51 01 19  
D-01314 Dresden  
Telefon (03 51) 26 00  
Telefax (03 51) 2 69 04 61

Als Manuskript gedruckt  
Alle Rechte beim Herausgeber

# **Elektroenergieerzeugung aus erneuerbaren Energiequellen in Sachsen**

G. Hackstein<sup>1</sup>, J. Riedel<sup>2</sup>, U. Rindelhardt,  
M.Schwanitz<sup>3</sup>

- <sup>1</sup>) Energieversorgung Sachsen Ost AG, Dresden
- <sup>2</sup>) Westsächsische Energie AG, Markkleeberg
- <sup>3</sup>) Energieversorgung Südsachsen AG, Chemnitz

August 1997

## **Inhalt**

1. Einleitung	1
2. Wasserkraft	3
3. Windkraft	7
4. Photovoltaik	14
5. Biomasse	17
6. Schlußbemerkungen	18
Literatur	20

## **Kurzfassung**

Im Bericht werden die Potentiale zur Elektroenergieerzeugung aus verschiedenen erneuerbaren Energiequellen in Sachsen zusammengestellt. Dabei werden natürliche Potentiale und - wo möglich - technische Potentiale sowie wirtschaftliche Potentiale unterschieden. Das ermittelte technische Potential (ohne Biomasse) entspricht etwa einer Elektroenergieproduktion von 7400 GWh jährlich. Davon entfallen etwa 2/3 auf die Windenergie und der Rest zu gleichen Teilen auf die Wasserkraft und die Photovoltaik.

Die Erschließung der Potentiale seit 1990 wird im Einzelnen dargestellt. Neben der seit langem genutzten Wasserkraft entwickelt sich insbesondere die Windenergie sehr dynamisch. Die Windenergie wird noch 1997 die Wasserkraft als bedeutendste erneuerbare Energie in Sachsen ablösen. Die weitere Nutzung dieser beiden Energiequellen stößt allerdings auf zunehmende ökologische Bedenken bzw. Widerstände.

Der Anteil der erneuerbaren Energiequellen am Elektroenergieverbrauch in Sachsen erreichte 1996 etwa 1,3 %. Bis zum Jahr 2000 erscheint eine Vergrößerung dieses Anteils auf ca. 5 % möglich.

## 1. Einleitung

Der Freistaat Sachsen nimmt eine Fläche von 18412 km<sup>2</sup> ein, er ist mit 4,6 Mio Einwohnern das bevölkerungsreichste neue Bundesland. Sachsen ist seit dem letzten Jahrhundert in wachsendem Maße industriell geprägt. Auch in der DDR konzentrierte sich in den 3 sächsischen Bezirken die größte Wirtschaftskraft.

Neben den - in den letzten 50 Jahren praktisch ausgebeuteten - Uranvorkommen bildet die Braunkohle den wichtigsten Bodenschatz. Der Braunkohle kommt deshalb auch bei der Stromerzeugung eine zentrale Rolle zu. Bedingt durch die geografische Lage Sachsens mit dem Erzgebirge im Süden und dem flach abfallenden Mittelgebirgsvorland verfügt Sachsen sowohl über Wasserkraft- als auch über Windkraftpotentiale. Beide Energiequellen wurden bereits in vorindustrieller Zeit genutzt. Anfang dieses Jahrhunderts wurden in Sachsen immerhin 1000 Windmühlen gezählt, bei der Entwicklung und dem Bau der ersten Windkraftanlagen (elektrische Leistung etwa 5 kW) zu eben dieser Zeit nahmen sächsische Unternehmen sogar eine Spitzenstellung ein [1.1].

Der um die Jahrhundertwende erreichte industrielle Entwicklungsstand führte zu einer raschen Einführung und Nutzung der Elektroenergie [1.2]. Als erstes größeres Kraftwerk ging Hirschfelde im Jahr 1911 mit einer Leistung von 3,4 MW in Betrieb. Bereits 1915/16 entstand ein Konzept für eine sächsische Landesenergieversorgung. Danach entstanden 2 Braunkohlengroßkraftwerke (Hirschfelde und Böhlen, Leistung etwa 100 MW), die durch eine 100-kV-Leitung verbunden wurden. Einen wichtigen Platz in der sächsischen Energieversorgung nahm das 1929 in Betrieb gegangene Pumpspeicherkraftwerk Niederwartha ein (Leistung ca. 100 MW), welches zum Ausgleich der Tagesleistungskurve eingesetzt wurde. Neben den Großkraftwerken (im Inselbetrieb teilweise sogar zeitlich davor) wurde Elektroenergie in einer Vielzahl von kleinen Wasserkraftwerken erzeugt, die installierte Leistung aller Anlagen betrug im Jahr 1930 etwa 125 MW [1.3].

Dem nach 1950 einsetzenden steigenden Energiebedarf wurde mit dem Bau neuer bzw. der Erweiterung bestehender Großkraftwerke auf Braunkohlenbasis Rechnung getragen. Dies betraf die Standorte Thierbach, Lippendorf, Hagenwerder und Boxberg. Das parallel ausgebaute 380-kV-Verbundnetz war von Sachsen aus mit dem osteuropäischen Verbundsystem (Vereinigte Energiesysteme - VES) verbunden. Eine wichtige Rolle im ostdeutschen Netzbetrieb spielte das 1979 in Betrieb genommene Pumpspeicherkraftwerk Markersbach (Leistung 1140 MW). Parallel zu diesen Entwicklungen gingen infolge technischen Verschleißes und der gesetzten energiepolitischen Prioritäten die meisten Kleinwasserkraftanlagen außer Betrieb.

Die nach 1990 einsetzende Neuordnung der Elektroenergiewirtschaft führte auch in Sachsen zu einschneidenden Veränderungen. Die Großkraftwerke und die 380/220-kV-Netze wurden an das Verbundunternehmen VEAG übertragen. Aus den 3 Energiekombinaten Chemnitz, Dresden und Leipzig entstanden die Regionalversorger Energieversorgung Südsachsen AG (EVS AG) Chemnitz, Energieversorgung Sachsen Ost AG (ESAG) Dresden und Westsächsische Energie AG (WESAG) Markkleeberg. Bis Ende 1996 wurden in den jeweiligen Versorgungsgebieten insgesamt 28 Stadtwerke

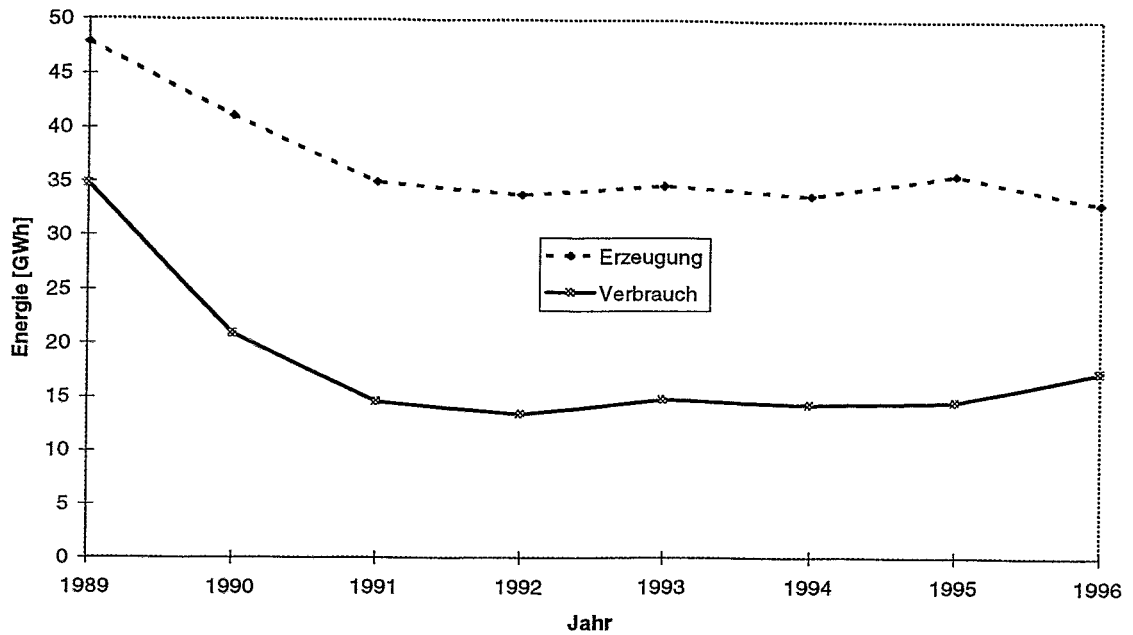


Bild 1.1 Erzeugung und Verbrauch an Elektroenergie in Sachsen

gegründet. Im Bild 1.1 ist die Entwicklung der jährlichen Erzeugung und des Verbrauchs an Elektroenergie in Sachsen seit 1989 dargestellt [1.4]. Die schwierigen und

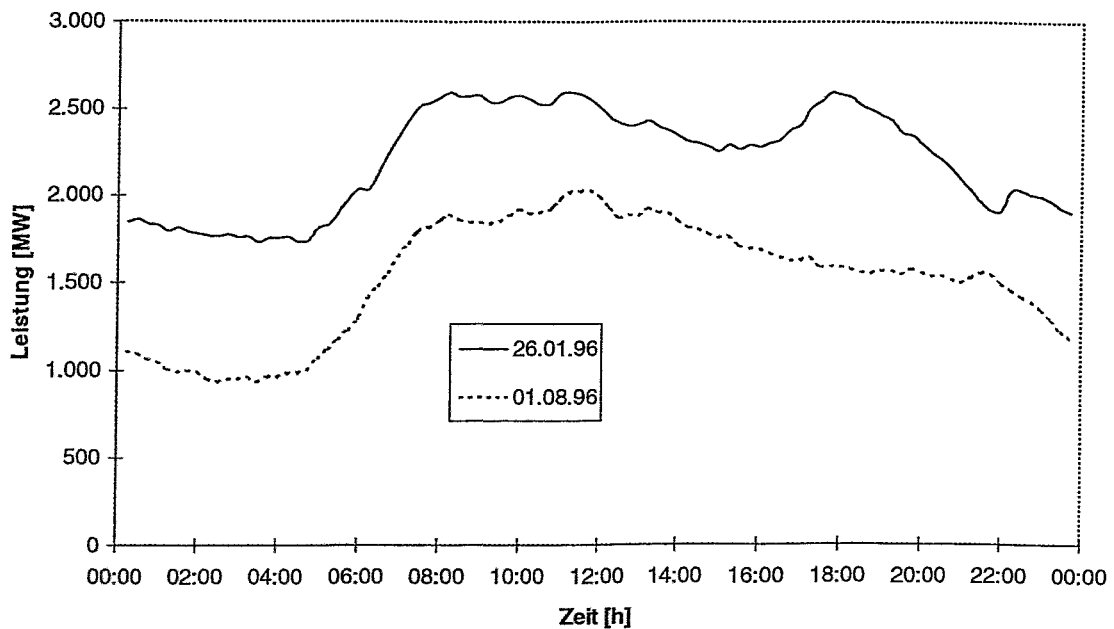


Bild 1.2 Lastgang der großen sächsischen Regionalversorger an einem Sommer- und einem Wintertag

anhaltenden wirtschaftlichen Umstrukturierungsprozesse waren mit einem drastischen Rückgang des Elektroenergieverbrauchs bis 1992 verbunden. Der jährliche Pro-Kopf-Energieverbrauch an Elektroenergie in Sachsen liegt mit knapp 4000 kWh nur bei  $\frac{2}{3}$  des Wertes der alten Bundesländer. Typische Lastgänge für die Versorgungsbereiche der 3 regionalen Energieversorgungsunternehmen (EVU) an Arbeitstagen im Sommer und im Winter sind in Bild 1.2 dargestellt. Die Höchstlast liegt bei etwa 2500 MW.

Ein sich seit 1990 abzeichnender Trend zur verstärkten Nutzung erneuerbarer Energien zur Elektroenergieerzeugung hat auch in Sachsen zu bemerkenswerten Ergebnissen geführt. Diese politisch gewollte und von vielen Interessenvertretungen begrüßte Entwicklung wird im Folgenden detailliert dargestellt.

## 2. Wasserkraft

Wasserkraftpotentiale sind aufgrund ihrer teilweise jahrhundertelangen Nutzung sowie der vorhandenen langjährigen hydrologischen Aufzeichnungen in Sachsen vergleichsweise gut bekannt. Das natürliche und das technische Potential kann deshalb recht genau angegeben werden. Eine ausführliche - wenngleich nicht widerspruchsfreie - Darstellung der sächsischen Wasserkraftpotentiale und ihrer Nutzung ist in [2.1] enthalten. Das jährliche natürliche Potential der sächsischen Flüsse (Linienpotential) liegt danach bei etwa 3000 GWh. Davon entfallen jeweils etwa 1300 GWh auf die Elbe und das Gebiet der Mulden, der Rest von 400 GWh verteilt sich auf die übrigen Flußgebiete.

Die energetische Nutzung der Elbe wurde bereits vor Jahrzehnten untersucht. In einer 1953 erschienen Arbeit [2.2] wurde für Sachsen die mögliche Errichtung von 5 Staufstufen mit einer mittleren Höhe von 8 m angegeben. Bei einer installierten Leistung von insgesamt 170 MW wurde das technische Potential (Jahresarbeit) zu 800 GWh geschätzt. Vor allem wegen ökologischer Bedenken [2.3] steht die Nutzung dieses Potentials auch gegenwärtig nicht zur Diskussion.

Auch an den übrigen Flußgebieten liegt das technische Potential erheblich unter den Werten des natürlichen Potentials. Technisch ist dies vor allem durch die erforderliche Mindestfallhöhe (etwa 2 m) für den Bau von Wasserkraftanlagen begründet. Gravierendere Einschränkungen ergeben sich auch hier aus ökologischen Erwägungen (freie Fließstrecken, Mindestwassermengen). Das ohne Elbnutzung verbleibende technische Wasserkraftpotential in Sachsen wird mit 320 bis 480 GWh angegeben [2.1]. Dies entspricht installierten Leistungen von etwa 80 bis 120 MW. Darin sind auch die an sächsischen Talsperren nutzbaren Potentiale von 60 GWh enthalten, von denen derzeit bereits 40 GWh genutzt werden.

Wie alle erneuerbaren Energiequellen ist die Wasserkraft durch ein stochastisches Auftreten gekennzeichnet. Im Bild 2.1 sind die mittleren monatlichen Abflußwerte einiger sächsischer Flüsse (bezogen auf den mittleren jährlichen Abfluß) angegeben. Ein typischer saisonaler Verlauf mit einem Maximum im März/April wird deutlich. Dennoch treten erhebliche Unterschiede in den monatlichen Abflußwerten zwischen den einzelnen Jahren auf. Sie spiegeln sich in entsprechenden Schwankungen der an



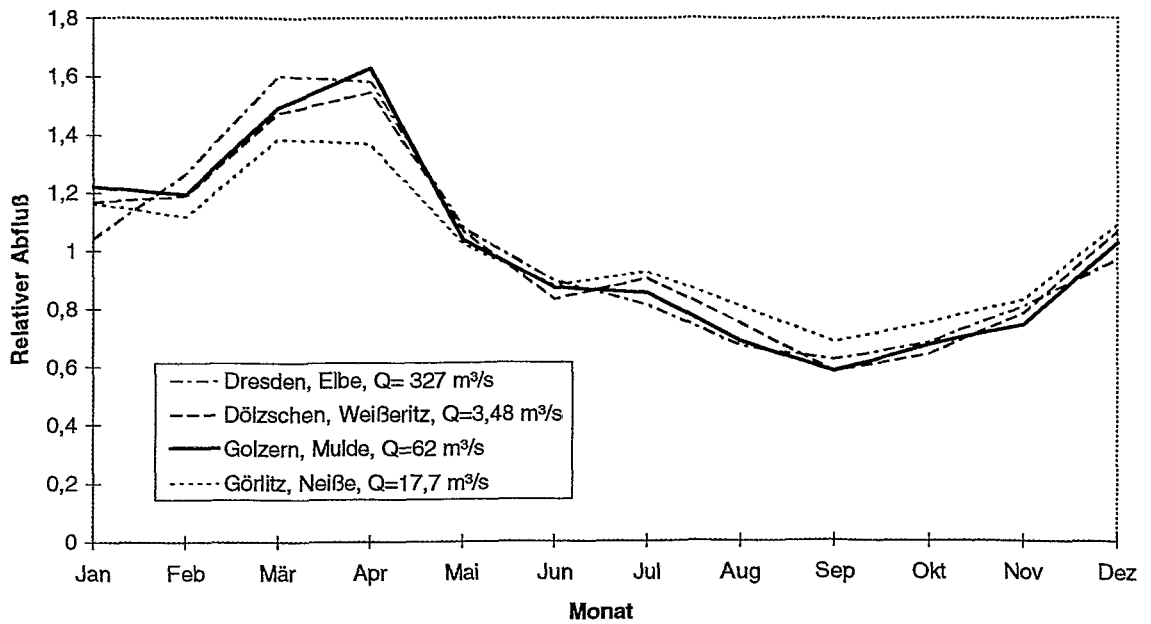


Bild 2.1 Langjährige mittlere monatliche Abflußwerte sächsischer Flüsse

diesen Flüssen erzeugten Elektroenergie wider. Im Bild 2.2 ist die normierte monatliche Energieerzeugung von 13 sächsischen Wasserkraftanlagen mit einer Gesamtlei-

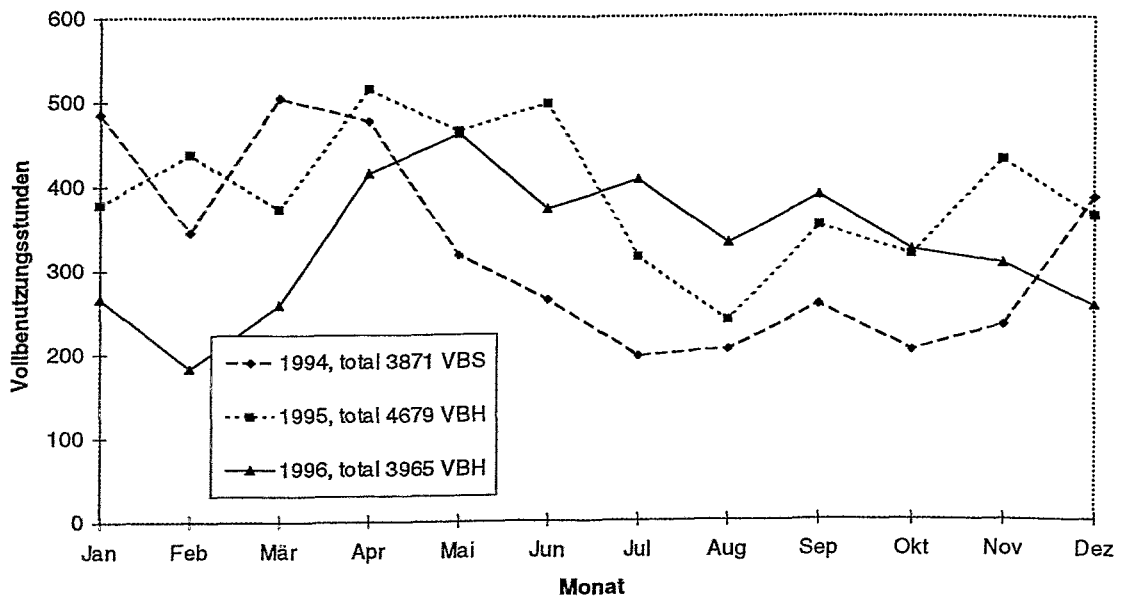


Bild 2.2 Mittlere Energieerzeugung von 13 Wasserkraftanlagen 1994 -1996

stung von 6,9 MW für die Jahre 1994 bis 1996 dargestellt. Die Anlagen befinden sich an 6 verschiedenen Flüssen. Die Unterschiede zwischen den einzelnen Jahren sind erheblich, sie erreichen fast den Faktor 2 in verschiedenen Monaten. Im Jahr 1995 wurden mit fast 4700 Vollbenutzungsstunden (VBH) die höchsten Erträge erreicht.

Wegen des gleichartigen Verlaufes der relativen monatlichen Abflußwerte der Flüsse kann durch Verfolgung nur eines Pegels (etwa Mulde, Golzern, vgl. Bild 2.1) die produzierbare Gesamtenergiemenge offensichtlich leicht abgeschätzt werden. Im Gegensatz zu den anderen erneuerbaren Energiequellen besitzt die Wasserkraft wegen der im Tagesbereich kaum variablen hydrologischen Bedingungen einen konstanten Tagesgang, dessen Pegel für einige Tage recht genau vorhersagbar ist.

Im Jahr 1930 waren in Sachsen etwa 3500 Wasserkraftanlagen mit einer geschätzten Leistung von 125 MW in Betrieb. Faktisch alle Flußläufe waren dicht mit Anlagen belegt. Die Jahresarbeit dieser Anlagen kann auf 300 bis 400 GWh geschätzt werden. Etwa 3/4 der Leistung konzentrierte sich auf das Einzugsgebiet der Mulde, weitere 10 % waren an kleineren Nebenflüssen der Elbe errichtet. Etwa 5 % der Leistung entfiel auf die Weiße Elster und 2 % auf die Spree. Der Rest verteilte sich etwa gleich auf die Schwarze Elster, Röder und Neiße. Allerdings berührte die Neiße seinerzeit in weitaus geringerem Maße sächsisches Gebiet als heute.

Nach 1945 kam es auch in Sachsen zu einem dramatischen Rückgang der Kleinwasserkraftnutzung. Die gesetzten energie- und wirtschaftspolitischen Prioritäten führten zu einer massenhaften Stilllegung von Kleinwasserkraftanlagen. So ließen sich in Sachsen im Jahr 1960 nur noch 60 MW Wasserkraftwerksleistung nachweisen [2.1]. Infolge Verschleiß und mangels Ersatzteilen halbierte sich die Leistung bis 1990 weiter auf etwa 28 MW.

Von den im Jahr 1990 in Sachsen noch betriebenen Wasserkraftanlagen befanden sich 35 Anlagen mit einer Leistung von 19,5 MW im Eigentum der Energieversorgungsunternehmen. Die EVU-eigenen Anlagen erzeugen derzeit jährlich eine Energie von etwa 55 GWh. Weitere 51 Anlagen mit etwa 8,5 MW wurden durch private Betreiber genutzt. Die meisten Anlagen befanden sich allerdings in einem schlechten Zustand und arbeiteten nur mit eingeschränkter Leistung. Die ab 1991 aufgelegten Förderprogramme des Sächsischen Staatsministeriums für Wirtschaft und Arbeit waren deshalb vorrangig auf die Rekonstruktion und Wiederinbetriebnahme ehemals betriebener Wasserkraftanlagen gerichtet. Im Ergebnis konnte die installierte Leistung bis Ende 1996 praktisch verdoppelt werden (Bild 2.3).

Die Rekonstruktion der stillgelegten Anlagen erforderte in der Regel umfangreiche wasserbauliche Maßnahmen. Dies betraf vor allem den Obergraben und die Wehranlagen. Neu errichtet wurden teilweise Fischtreppe. Bei einer großen Zahl von Anlagen konnten die bereits früher genutzten Turbinen instandgesetzt und somit wiedergenutzt werden. Einige dieser Turbinen stammen aus der Zeit vor dem 1. Weltkrieg und demonstrieren recht eindrucksvoll die Langlebigkeit von Wasserturbinen. In Sachsen kommen zu etwa gleichen Teilen Kaplan- und Francis-Turbinen zum Einsatz. Entsprechend den hydrologischen Bedingungen an den Wehren bzw. Stau-stufen werden sehr unterschiedliche Leistungsklassen eingesetzt, die durchschnittliche Leistung aller zwischen 1991 und Ende 1996 in Betrieb genommenen 143

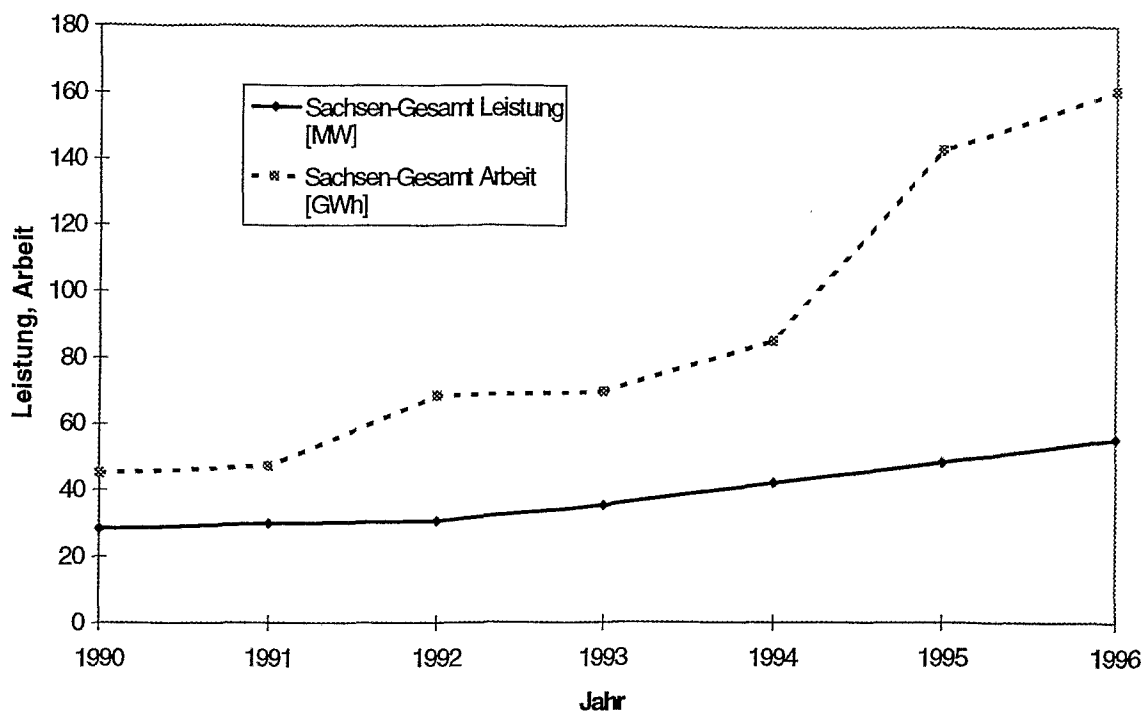


Bild 2.3 Entwicklung von Arbeit und installierter Leistung sächsischer Wasserkraftanlagen

Anlagen lag bei etwa 180 kW. Von der Ende 1996 installierten Wasserkraftwerksleistung entfallen etwa 52 MW auf das Muldengebiet ( 29 MW Freiburger Mulde und Nebenflüsse, 22 MW Zwickauer Mulde), 2,7 MW auf Nebenflüsse der Elbe und 2,6 MW auf Spree und Neiße.

Die gesamte durch Wasserkraftanlagen erzeugte Arbeit erreichte im Jahr 1996 etwa 160 GWh. Dies entspricht etwa 1 % der in Sachsen gegenwärtig verbrauchten Energie. Die Wasserkraft behauptet damit noch ihre führende Rolle unter den erneuerbaren Energien. Für den Zeitraum bis zum Jahr 2005 kann mit einem Zubau in der Größenordnung von etwa 20 MW gerechnet werden. Die Jahresarbeit könnte dann knapp 300 GWh erreichen.

Die Wasserkraftanlagen erreichen gute betriebswirtschaftliche Ergebnisse. Die mittleren Kosten für die in den letzten Jahren in Sachsen rekonstruierten bzw. neu gebauten Anlagen lagen bei etwa 5000 DM pro installiertes Kilowatt Leistung. Bei einem erreichbaren mittleren Ertrag von 4000 VBH führt eine annuitätische Wirtschaftlichkeitsabschätzung (Kreditlaufzeit 15 Jahre, Zins 6 %) zu Stromgestehungskosten von weniger als 0,15 DM/kWh.

### 3. Windkraft

Bereits die im Jahr 1990 vorliegenden langjährigen Messungen des Meteorologischen Dienstes der DDR ließen in freien Lagen Sachsens nutzbare Windenergiepotentiale vermuten [3.1]. Zu einer genaueren Bewertung des Windenergiepotentials sind meteorologische Messungen jedoch wegen ihrer geringen Meßhöhe (i.d.R. 10 m) sowie der historisch bedingten Standortwahl der Meßpunkte kaum geeignet. Zur Ermittlung und Bewertung des sächsischen Windenergiepotentials wurde deshalb vom Sächsischen Staatsministerium für Umwelt und Landesentwicklung im Jahr 1992 ein Windmeßprogramm initiiert und gefördert [3.2]. Im Ergebnis der bis 1995 durchgeführten Messungen und der anschließenden Untersuchungen wurde ein technisches Potential (d.h. mit heutiger Technik grundsätzlich erzeugbare jährliche Arbeit) von etwa 5000 GWh ermittelt [3.3]. Neben dem erwarteten hohen Windenergiepotential auf dem Erzgebirgskamm wurden bemerkenswerte Potentiale auch in Mittelsachsen sowie in anderen sächsischen Regionen festgestellt (Bild 3.1).

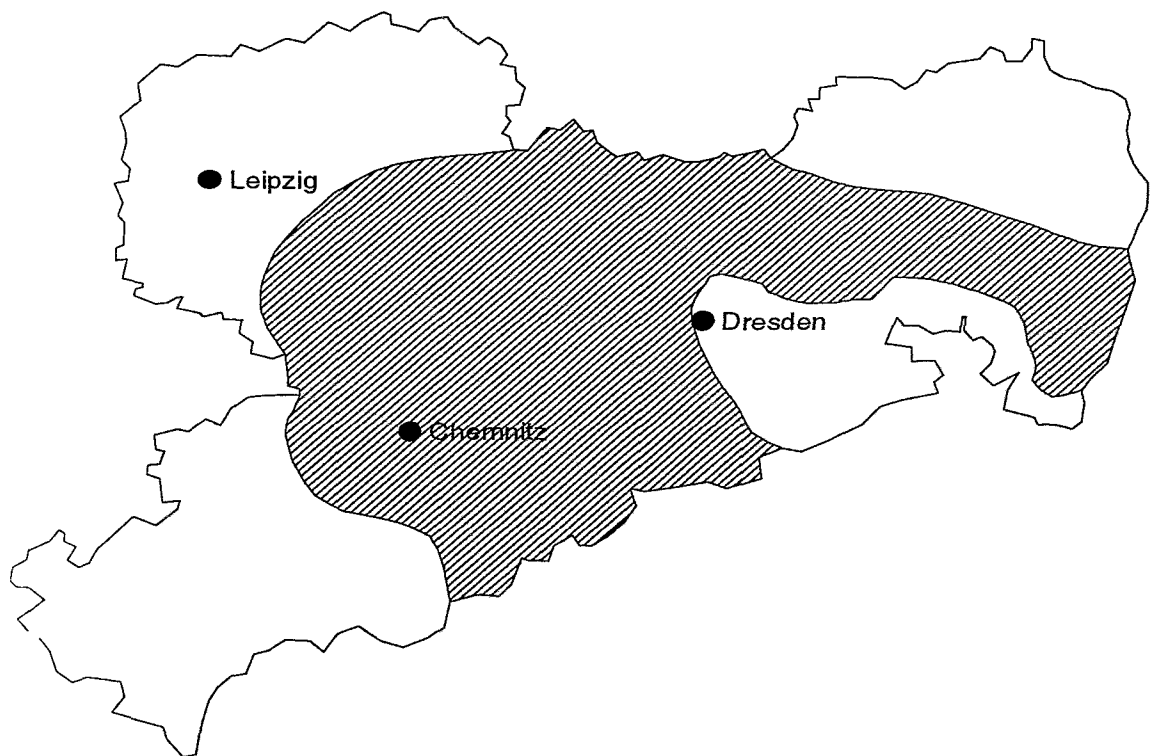


Bild 3.1 Windhöfliche Gebiete in Sachsen

Der energetische Ertrag und der wirtschaftliche Erfolg einer Windenergieanlage werden durch die Windverhältnisse am Standort bestimmt. Deren genauer Begutachtung kommt damit entscheidende Bedeutung zu. Dabei reicht keinesfalls die Angabe einer zu erwartenden mittleren Windgeschwindigkeit. Vielmehr muß auch eine anlagenbezogene Bewertung insofern erfolgen, als der durchschnittlich zu erwartende Energieertrag (bzw. die Vollbenutzungsstunden) ermittelt wird. Solche Angaben sind

jedoch derzeit - auch bei Einbeziehung moderner Rechenmodelle - noch stark fehlerbehaftet [3.4].

Die wesentliche Quelle des technisch nutzbaren Bodenwindes ist der sogenannte geostrophische Wind. Diese Luftströmungen entstehen aufgrund großräumiger Druckunterschiede in großer Höhe. Sie werden üblicherweise für ein Druckniveau von 850 hPa entsprechend einer Höhe von etwa 1500 m angegeben. Im Bild 3.2 ist der

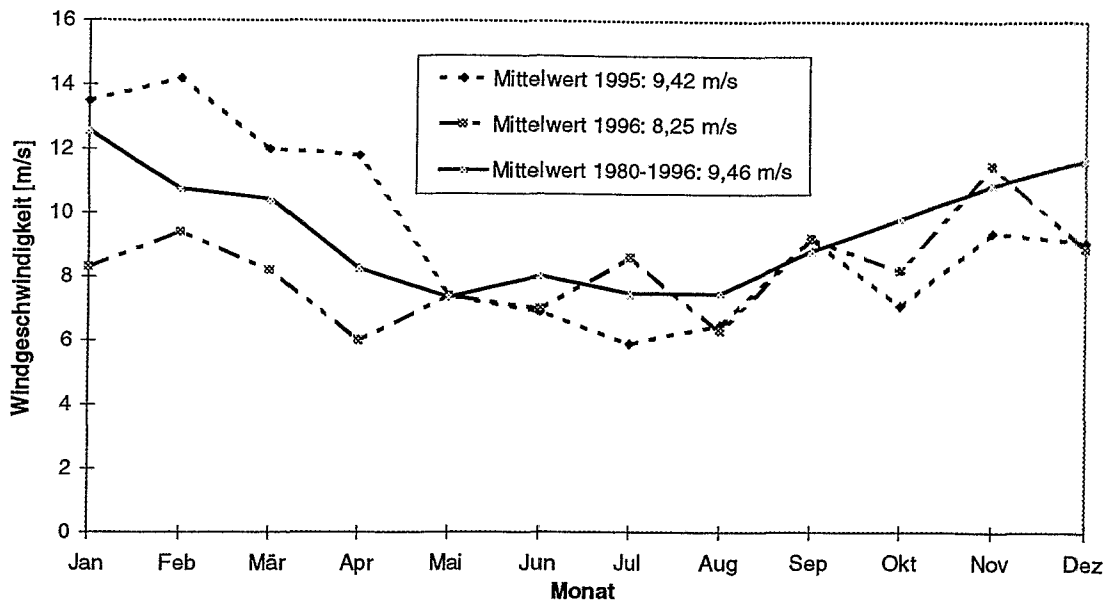


Bild 3.2 Saisonaler Verlauf des geostrophischen Windes Dresden-Wahnsdorf

saisonale Verlauf des geostrophischen Windes, gemessen an der DWD-Station Dresden-Wahnsdorf, dargestellt. Die Werte gelten als repräsentativ für ganz Sachsen. Es ist deutlich, daß der Verlauf nach Monatsmittelwerten qualitativ dem saisonalen Verlauf des Energiebedarfes entspricht. Zugleich werden aber erhebliche Schwankungen zwischen den einzelnen Jahren sichtbar. Während im Jahr 1995 die mittlere Jahreswindgeschwindigkeit etwa dem langjährigen Mittelwert entspricht, lag beispielsweise die mittlere Geschwindigkeit des geostrophischen Windes im Jahr 1996 mit 8,25 m/s deutlich (etwa 15 %) unter dem langjährigen Mittelwert. Die Energieerträge von Windenergieanlagen spiegeln diese Differenz wider.

Ungeachtet der relativ stabilen monatlichen Mittelwerte sowie eines (über ein Jahr gemittelten) praktisch konstanten täglichen Lastgangs ist die Windenergie durch eine starke Stochastik gekennzeichnet. Im Bild 3.3 ist die Einspeiseleistung eines sächsischen 3-MW Windparks an einem Wintertag dargestellt. Sie liegt an diesem Tag zwischen 0 und 100 %. Außerdem sind Flautendauern von 2 Wochen oder mehr auch in den ansonsten windstarken Wintermonaten nicht außergewöhnlich. Die Leistungsverfügbarkeit einer Windenergieanlage ist deshalb aus der Sicht eines EVU sehr gering. Sie wirkt sich betriebswirtschaftlich für das EVU nur in dem Maße aus, in dem

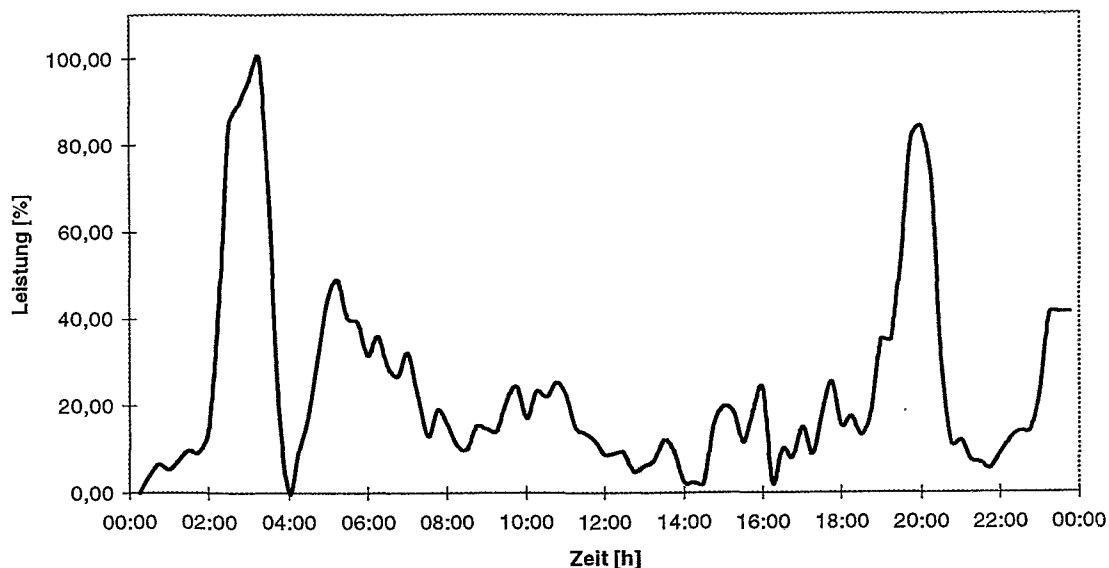


Bild 3.3 Einspeisung eines 3 MW-Windparkes an einem Wintertag

Leistung in den Zeiten (Viertelstunden) der höchsten Belastung eingespeist wird. Für die bereits heute in Sachsen mit registrierender Meßtechnik ausgerüsteten Windkraftanlagen ergab sich im Jahr 1996 eine Leistungsverfügbarkeit < 1 %. Flächendeckende Messungen für Sachsen liegen bisher nicht vor, sie werden aber derzeit vorbereitet.

Die erreichten technischen Fortschritte der Windenergieanlagen in den letzten Jahren können hier nicht im Einzelnen dargestellt werden. Sie stellen jedoch - unterstützt von staatlichen Förderprogrammen - die entscheidende Voraussetzung für die auch in Sachsen äußerst dynamische Entwicklung der Windenergie dar. Als Stand der Technik gelten heute dreiblättrige Anlagen mit einer Leistung ab 500 kW, Turmhöhen von 50-70 m und weitgehend netzrückwirkungsfreier Einspeisung. Die Investitionskosten solcher Anlagen liegen (einschließlich Nebenkosten) bei reichlich 2000 DM pro Kilowatt installierter Leistung. Sie werden üblicherweise in Windparks mit zentraler Einspeisung installiert, deren Leistung gegenwärtig bis zu einigen 10 MW beträgt. Eine Wirtschaftlichkeitsabschätzung (gleiche Bedingungen wie oben) ergibt, daß bei Anlagenerträgen von etwa 2000 VBH unter den Bedingungen des Stromeinspeisungsgesetzes die Anlagen durch den Betreiber wirtschaftlich betrieben werden können [3.5].

Die Windenergienutzung hat sich in Sachsen seit 1992 dynamisch entwickelt (Bild 3.4). Der erste Windpark (5 Anlagen mit 1,02 MW Leistung) entstand 1992 auf dem Hirtstein (Erzgebirgskamm). Stimulierend wirkten neben den staatlichen Fördermaßnahmen (Stromeinspeisungsgesetz, 250-MW-Programm, Länderprogramme) auch die Ergebnisse des erwähnten Windmeßprogramms in Sachsen. Besonders im Versorgungsbereich der EVS AG Chemnitz, aber auch in den anderen Regionen entstanden

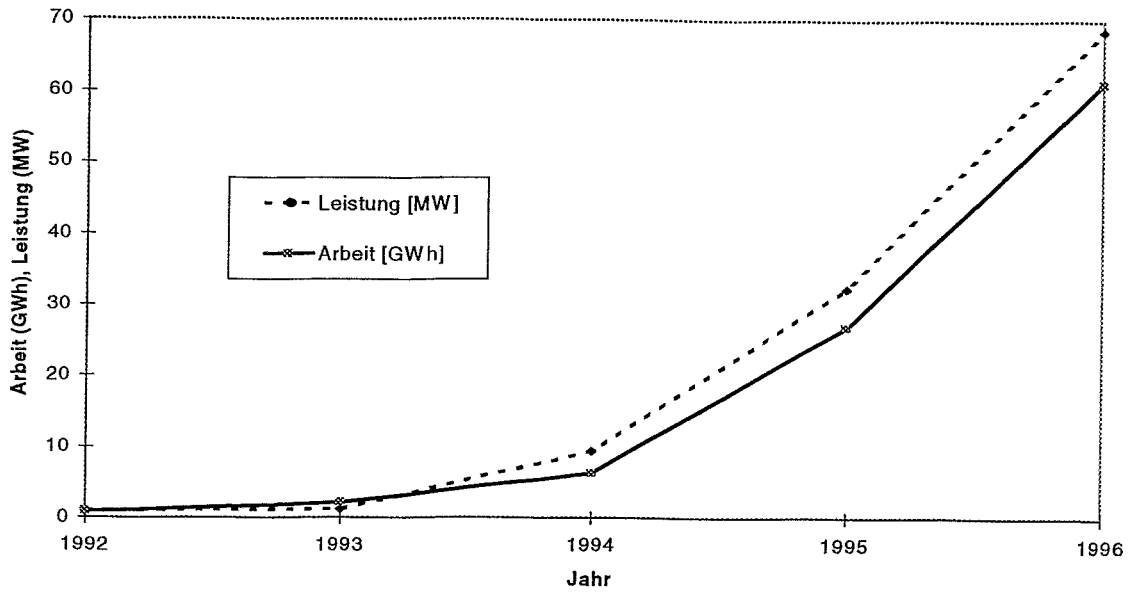


Bild 3.4 Entwicklung der Windenergie in Sachsen

in rascher Folge sowohl Einzelanlagen als auch Windparks (Bild 3.5). Dabei kamen dominierend Anlagen der 500-kW Klasse zum Einsatz, die durchschnittliche Leistungsgröße der in Sachsen bis Ende 1996 installierten Windenergieanlagen war mit 440 kW um mehr als das Doppelte größer als die Leistung der im gleichen Zeitraum

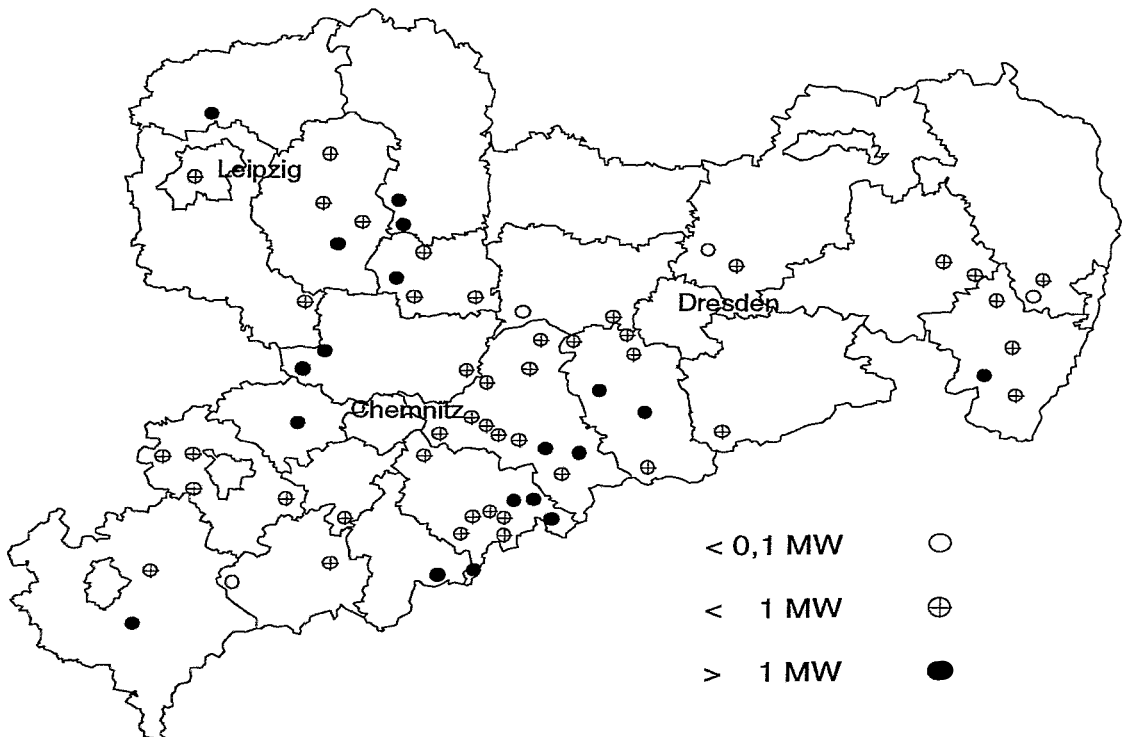


Bild 3.5 Windkraftanlagenstandorte nach installierten Leistungen, Stand Ende 1996

installierten Wasserkraftanlagen. Dies ist zugleich der größte Wert aller Bundesländer. Unter den Binnenländern nimmt Sachsen bezüglich der installierten Leistung den vierten Platz ein, beim absoluten Zuwachs im Jahr 1996 lag es sogar auf dem zweiten Platz.

Eine quantitative Analyse der erreichten Betriebsergebnisse wurde für die Jahre 1995 und 1996 vorgenommen. Insgesamt 20 Anlagen waren in beiden Jahren durchgehend am Netz. Der Vergleich ihrer Ergebnisse zeigt, daß die Erträge im Jahr 1996 durchschnittlich um 20 % unter den Erträgen des Jahres 1995 lagen. Dieser Wert ist deutlich größer als oben angegebene Reduktion des Jahresmittels des geostrophischen Windes. Dies kann darauf zurückgeführt werden, daß die Reduktion des Windes im Jahr 1996 insbesondere in den (ertragsstarken) Wintermonaten auftrat und insofern überdurchschnittliche Auswirkungen hatte. Die im Jahr 1996 erreichten Ergebnisse sind somit nicht langzeitrepräsentativ, näherungsweise kann ein Korrekturfaktor von 1,25 angenommen werden. Die so korrigierten Ergebnisse kommen dem Langzeitergebnis nahe.

Für das Jahr 1996 wurden die erreichten Betriebsergebnisse der sächsischen Anlagen im Detail analysiert. Dazu wurden 90 Anlagen an 41 Standorten herangezogen, die bereits Ende 1995 am Netz waren. Im Bild 3.6 ist die Verteilung der Anlagen entsprechend den jeweils erreichten VBH dargestellt. Der Mittelwert der erreichten VBH

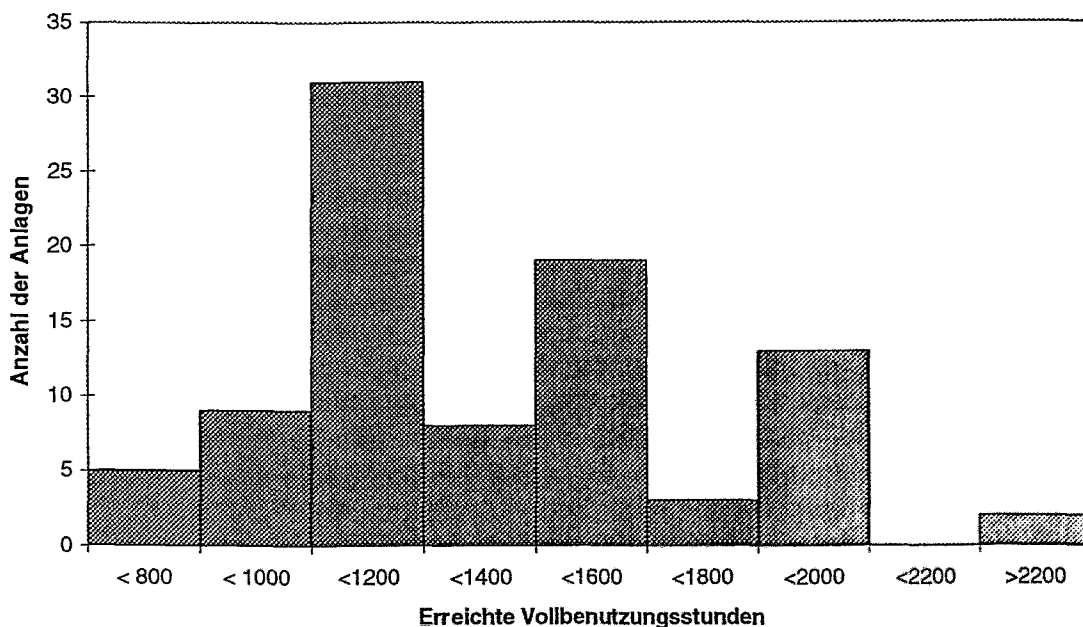


Bild 3.6 Häufigkeitsverteilung der im Jahr 1996 erreichten VBH

lag bei 1320, dies entspricht in einem mittleren Windjahr etwa 1650 VBH. Insgesamt 17 Anlagen erreichten mehr als 1800 VBH (mittleres Jahr: 2250 VBH) und sind damit aus Sicht der Betreiber wirtschaftlich. Auch die 13 Anlagen mit VBH >1500 dürften - unter Beachtung des oben Gesagten - langfristig wirtschaftlich sein. Die größte Anzahl



von Anlagen erreichte nur 1000-1200 VBH. In Abhängigkeit gewährter Fördermittel und/oder optimierten Finanzierungsmodellen könnte allenfalls ein Teil dieser Anlagen für die Betreiber wirtschaftlich sein. Für die 12 Anlagen mit weniger als 1000 VBH in 1996 scheint dies allerdings ausgeschlossen. Die betreffenden Standorte sind für einen wirtschaftlichen Betrieb von Windkraftanlagen ungeeignet.

Im Bild 3.7 ist der mittlere saisonale Verlauf der monatlichen VBH für jeweils mehrere ausgewählte Anlagen mit unterschiedlichen jährlichen VBH dargestellt. Es ist zu

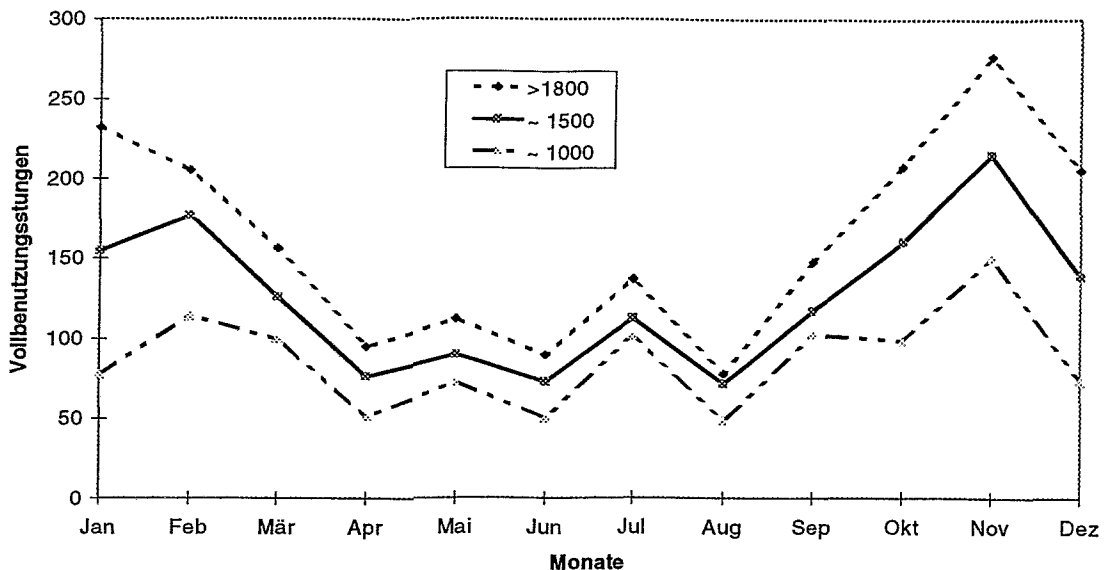


Bild 3.7 Saisonaler Verlauf der VBH für Anlagen mit unterschiedlichen Jahreserträgen

sehen, daß die Unterschiede zwischen den Anlagen in den Sommermonaten relativ gering bleiben. Der größte Teil der Ertragsunterschiede entsteht zwischen Oktober und Februar, d.h. insbesondere die Erträge in den Wintermonaten entscheiden über den Gesamtertrag. Dies sollte auch stärker bei der Standortbegutachtung berücksichtigt werden. Ein weiteres mit der Standortbegutachtung zusammenhängendes Problem wurde in einigen Windparks deutlich. Hier traten Ertragsunterschiede zwischen baugleichen Maschinen bis zu 15 % auf, ohne das diese befriedigend aus der Parkgeometrie erklärt werden konnten. Möglicherweise entstehen wegen der grundsätzlich komplexen Orografie auch kleinskalige Effekte im Windfeld, die die bisher zur Verfügung stehenden Rechenmodelle [3.4] nicht erfassen.

Bei der räumlichen Verteilung der ertragreichsten Standorte zeichnen sich einige Schwerpunkte ab. Dazu gehören etwa der Großraum Sayda im Erzgebirge sowie andere Kammlagen des Erzgebirges. Jedoch werden auch an einigen Standorten in deutlich flacheren Regionen (Muldentalkreis, Oberlausitz) hohe Erträge erzielt.

Zu wenig Beachtung wird von potentiellen Anlagenerrichtern in der Vorplanungsphase dem Verknüpfungspunkt mit dem Netz geschenkt. Dabei ist diesem Punkt ob der

wirtschaftlichen Auswirkungen große Bedeutung beizumessen. Der in Sachsen entstandene Netzaufbau ist historisch auf die Lastschwerpunkte des Verbrauches ausgerichtet. Aufgrund der Standortanforderungen an Windkraftanlagen erfolgt deren Errichtung häufig dort, wo keine geeigneten Netze zur Aufnahme der erzeugten elektrischen Leistungen vorhanden sind. Ein Einspeisepunkt in das Netz ist nicht automatisch dann gegeben, wenn sich in der Nähe des Anlagenstandortes eine "Stromleitung" befindet. In jedem Einzelfall sind umfangreiche Berechnungen zu den Anlagenparametern und der Netzkurzschlußleistung erforderlich. Durch die zwischenzeitlich erfolgte Zertifizierung der meisten Windenergieanlagen und der bereits erwähnten netzverträglichen Ausführung wird diese Arbeit erheblich erleichtert. Dennoch ist es im Ergebnis der Bewertung der Windenergieanlagen und der Bestimmung des Einspeisepunktes immer häufiger erforderlich, neue Netzanlagen mit zum Teil großer räumlicher Ausdehnung (in Sachsen bisher 5 km im Einzelfall) zu errichten. Die Kosten für diese Neuanlagen und ggf. Netzverstärkungen im vorgelagerten Netz sind vom Anlagenbetreiber zu tragen.

Bei immer größer werdenden Windparks werden jedoch bald Größenordnungen erreicht werden, die eine Verteilung der elektrischen Energie im örtlichen Netz nicht mehr zulassen, so daß eine weiträumige Verteilung über mehrere Spannungsebenen erfolgen muß. Die Höhe der Anschlußleistung sowie deren mögliche Änderungsgeschwindigkeit (vgl. Bild 3.3) kann dann zu Problemen bei der Netzföhrung (bis hin zu Rückwirkungen auf den Betrieb des konventionellen Kraftwerksparkes) durch die EVU föhren. Im Bereich der SCHLESWAG (d.i. das deutsche EVU mit dem derzeit höchsten Windenergieanteil, 1996 etwa 10 %) wird deshalb gegenwärtig erprobt, die Einspeiseleistung der Windkraftanlagen in Abhängigkeit von den örtlichen und zeitlichen Netz- und Lastverhältnissen zu beeinflussen. Ob und wann ein solcher Schritt auch in den sächsischen Netzen erforderlich wird und welche rechtlichen Konsequenzen sich daraus ergeben, ist derzeit noch nicht abzusehen.

Auf der Grundlage der derzeit bei den EVU vorliegenden Informationen über geplante bzw. bereits in Bau befindliche Anlagen (insgesamt ca. 750 MW) ist eine Abschätzung der bis zum Jahr 2000 installierten Leistung möglich. Der Trend zu Windparks größerer Leistung wird sich verstärkt fortsetzen, zum Einsatz werden zunehmend auch Anlagen mit 1 MW bzw. 1,5 MW Leistung kommen. Durchaus realistisch erscheinen in der nächsten Zukunft Windparks mit installierten Leistungen größer 20 MW. Unter Berücksichtigung dieser Aspekte ist bis zum Jahr 2000 eine Ausbauleistung in Sachsen von bis zu 300 MW denkbar. Unter Zugrundelegung einer mittleren VBH-Zahl von 1500 kann durch diese Anlagen ein Energieertrag von 450 GWh erreicht werden. Dies entspricht etwa 2,6 % des derzeitigen sächsischen Energieverbrauches. Es ist allerdings derzeit nicht absehbar, inwiefern wachsende Widerstände seitens des Naturschutzes diese Entwicklung behindern werden.

#### 4. Photovoltaik

Unter Photovoltaik wird die direkte Umwandlung von Solarstrahlung in Elektroenergie verstanden. Nach langjährigen Messungen des Deutschen Wetterdienstes beträgt die jährliche solare Einstrahlung in Dresden-Wahnsdorf etwa  $1020 \text{ kWh/m}^2\text{a}$  [4.1], dieser Wert kann als repräsentativ für ganz Sachsen angesehen werden. Etwa 75-80 % der jährlichen Einstrahlung fallen in die Monate April bis September, in den verbrauchstarken Wintermonaten steht demnach nur maximal 25 % des Jahresaufkommens zur Verfügung. Der Beitrag der Photovoltaik zur Erzeugung von Elektroenergie wird sich deshalb auch künftig im wesentlichen auf die Sommermonate beschränken. Entgegen dem antikorrelierten saisonalen Verlauf von solarem Angebot und energetischer Nachfrage besteht zwischen dem mittleren täglichen solarem Angebot und der tägliche Nachfragespitze (vgl. Bild 1.2) eine starke Korrelation.

Eine nachfrageseitige Abschätzung des technischen Potentials der Photovoltaik in Sachsen kann unter der Annahme vorgenommen werden, daß die Tageslastspitze des Sommerlastganges im Mittel durch Photovoltaik gedeckt werden soll. Im Bild 4.1 ist die

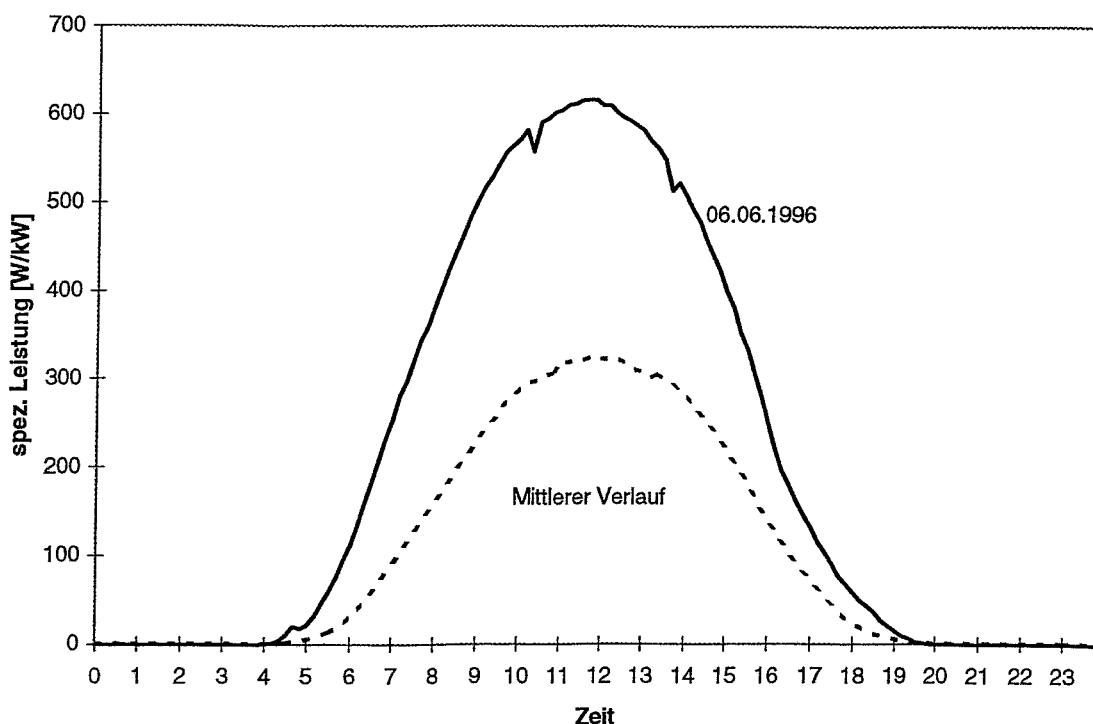


Bild 4.1 Mittlere spezifische Energieerzeugung von PV-Anlagen im Sommerhalbjahr

über das Sommerhalbjahr gemittelte Leistungsabgabe einiger sächsischen PV-Anlagen sowie die Leistungsabgabe am einstrahlungsreichsten Tag im Jahr 1996 dargestellt. Infolge Mittelung über die unterschiedlich ausgerichteten Anlagen liegt die maximal abgegebene spezifische Leistung bei  $600 \text{ W/kW}$ , der Mittelwert im Sommer beträgt nur  $300 \text{ W/kW}$ . Der gemittelte Leistungsverlauf folgt der täglichen Lastspitze des Energiebedarfes weitgehend, unter Berücksichtigung der tatsächlichen Verfügbarkeit kann photovoltaisch erzeugte Energie hier konventionell erzeugte Arbeit erset-

zen. Die Vorhaltung elektrischer Leistung in konventionellen Kraftwerken bleibt hiervon unberührt. Die im Bild 1.2 sichtbare tägliche Sommerlastspitze von 1000 MW (zwischen 6 und 18 Uhr) könnte an einstrahlungsreichen Tagen durch eine PV-Leistung von etwa 1700 MW weitgehend gedeckt werden, etwa die doppelte Leistung wird zur Deckung der Lastspitze im Sommer im Mittel benötigt. Die kleinere Leistung entspricht einer jährlichen Arbeit von etwa 1200 GWh, das sind 7 % des derzeitigen sächsischen Bedarfes.

Wegen der geringen Energiedichte der Solarstrahlung (etwa 170 W/m<sup>2</sup> im Sommerhalbjahr) werden zur Erzeugung von relevanten Energiemengen erhebliche Flächen benötigt. So erfordert die Installation der genannten PV-Leistung von 1700 MW beispielsweise einen Flächenbedarf von etwa 17 Millionen m<sup>2</sup>. Die Bedeutung des Flächenaspektes relativiert sich allerdings, wenn der in der jeweils betrachteten Fläche (etwa: Einfamilienhaus, Dorf, Großstadt) benötigte Energiebedarf mit der für Photovoltaik nutzbaren Fläche verglichen wird. So ist es ohne weiteres möglich, den jährlichen Elektroenergiebedarf eines Einfamilienhauses zu 100 % durch eine auf seinem Dach montierte PV-Anlage zu erzeugen. Die Energieproduktion erfolgt dabei allerdings nicht bedarfsgerecht, Überschüssen im Sommer stehen Defizite im Winter gegenüber. Ähnliches gilt grundsätzlich auch für die Energieversorgung von ländlichen Gemeinden ohne größere gewerbliche Verbraucher. In Städten sieht die Situation jedoch völlig anders aus. So ergaben unabhängige Untersuchungen in Leipzig und Dresden [4.2,4.3], daß bei Nutzung aller im jeweiligen Stadtgebiet verfügbaren geeigneten Flächen durch Photovoltaik der jährliche Energiebedarf lediglich zu etwa 5-7 % gedeckt werden kann. Das aus der Lastkurve abgeleitete PV-Potential stellt deshalb eher einen oberen Grenzwert für das technische Potential dar.

Das wirtschaftliche Potential der Photovoltaikanlagen ist demgegenüber jedoch zu vernachlässigen. Abgesehen von - energetisch nicht relevanten - Nischenmärkten (z.B. Versorgung von Parkscheinautomaten, Autobahntelefonen) liegen die Stromgestehungskosten noch um eine Größenordnung über den konventionellen Energiepreisen. Zwar reduzierten sich die spezifischen Anlagenkosten in den letzten Jahren deutlich (von ca. 25000 DM/kW auf ca. 17000 DM/kW), eine annuitätische Wirtschaftlichkeitsabschätzung bei einer Laufzeit von 30 Jahren (erwartete Lebensdauer) führt zu Stromgestehungskosten von etwa 1,50 DM/kWh.

Dennoch ist eine bemerkenswerte Entwicklung der Photovoltaik seit 1990 auch in Sachsen zu verzeichnen (Bild 4.2). Im September 1990 wurde die erste netzgekoppelte Photovoltaikanlage in Oberseifersdorf (Leistung 1,1 kW) installiert. Mit der Ausdehnung des Bund-Länder-1000-Dächer-Photovoltaik-Programms auf die neuen Bundesländern im Jahr 1992 setzte eine rasche Entwicklung ein. Mit 523 kW installierter Leistung bis 1994 wurde in Sachsen die im Rahmen des Programmes zweithöchste Leistung aller Bundesländer installiert. Insgesamt entstanden 150 netzgekoppelte Anlagen vorrangig auf Dächern von Ein- und Zweifamilienhäusern. Entsprechend dem Charakter des Programms als Breitentest entstanden die Anlagen nach unterschiedlichen technischen Konzepten. Die Anlagen werden mit einem langfristigen Forschungsprogramm [4.4] begleitet, das auch gegenwärtig noch andauert. Im Bild 4.3 sind die mittleren monatlichen Energieerträge von jeweils 50 Anlagen in den Jahren 1993-1996 dargestellt. Die sichtbaren jährlichen Unterschiede spiegeln die jeweiligen Einstrahlungsverhältnisse direkt wider, der mittlere normierte

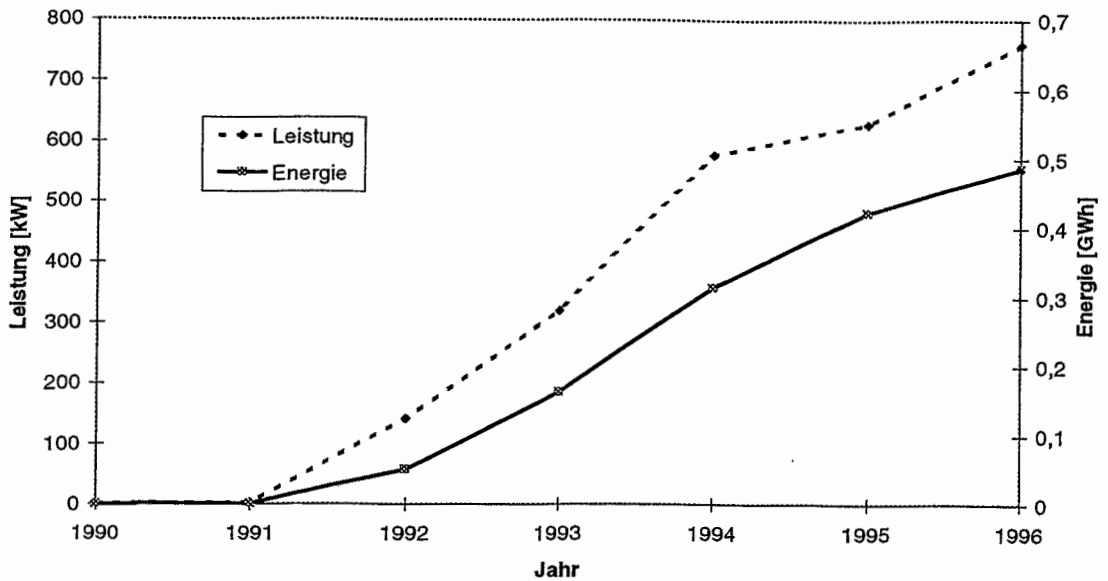


Bild 4.2 Entwicklung von Leistung und installierter Leistung von PV-Anlagen

jährliche Energieertrag wurde (aus stark schwankenden Einzelwerten) zu 700 kWh/kW ermittelt. Der Zahlenwert ist identisch mit den VBH.

Parallel zu den 1000-Dächer-Anlagen entstanden mit Bundes- und/oder Landesförderung weitere netzgekoppelte PV-Anlagen. Die gegenwärtig leistungsgrößte Anlage (40 kW) in Sachsen befindet sich auf dem Depot der Kirnitzschalbahn in der Sächsi-

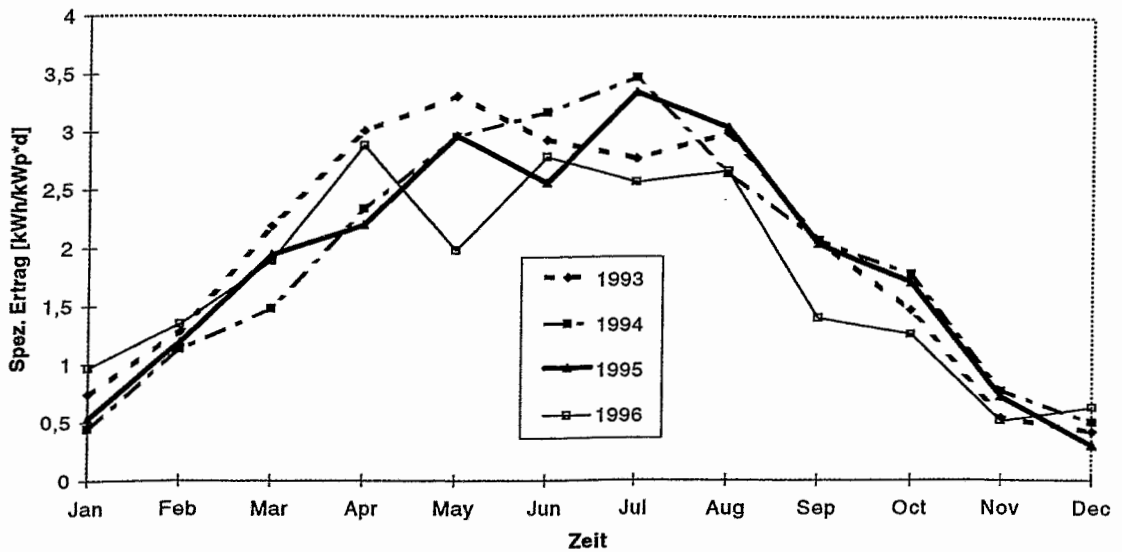


Bild 4.3 Mittlere monatliche Energieerzeugung von 50 PV-Anlagen 1993-1996

schen Schweiz [4.5]. Trotz sinkender Förderung wuchs die installierte PV-Leistung auch in den Jahren 1995 und 1996 weiter an. Sie dürfte Ende 1996 in Sachsen bei etwa 0.8 MW liegen, was immerhin etwa 8 % der bundesweit installierten Kapazität entspricht. Die umfangreichen technischen Erfahrungen aus dem 1000-Dächer-Programm (Qualitätssicherung der PV-Module, verbesserte Wechselrichter, Einstrangkonzzept bei Anlagen bis 4 kW [4.6]) beginnen sich erst allmählich bei den neuen Anlagen durchzusetzen.

Die Ermittlung der photovoltaisch erzeugten Energie in Sachsen gestaltet sich insofern schwierig, als die etwa 250 Betreiber der Anlagen nur den Teil der erzeugten Leistung in das Netz der Energieversorger einspeisen, den sie nicht selbst verbrauchen. Eine realistische Abschätzung der im Jahr 1996 photovoltaisch erzeugten Energie auf der Basis der im 1000-Dächer-Programm gemessenen Erträge führt zu einem Wert von 0,48 GWh.

Die Photovoltaik wird unter diesen Umständen auch in den nächsten Jahren eine - wenn nicht die - Herausforderung für Wissenschaftler und Techniker im Bereich der erneuerbaren Energien bleiben. Der Zubau an Anlagen wird sich im derzeitigen marginalen Rahmen halten und - wie bisher - vorrangig Versuchs- und Demonstrationzwecken dienen.

## **5. Biomasse**

Im weiteren Sinne wird auch Biomasse zu den regenerativen Energieträgern gerechnet. Hierzu gehören neben den nachwachsenden Rohstoffen Holz, Stroh, Rapsöl/Biodiesel und den tierischen Abfallstoffen (Gülle, Kot) auch sonstige organische Abfallstoffe wie Schlacht- und Küchenabfälle. Biomasse wird entweder direkt in geeigneten Anlagen (Heizkraftwerke: KWK-Anlagen) anstelle konventionellen Brennstoffs verfeuert oder zunächst in Biogas umgewandelt. Biogas dient als Brennstoff in Blockheizkraftwerken auf der Basis von Gasmotoren. Systematische Untersuchungen zum Aufkommen von energetisch nutzbarer Biomasse in Sachsen stehen derzeit noch aus, eine Potentialangabe kann daher hier nicht gegeben werden.

Grundsätzlich haben diese KWK-Anlagen eine mit konventionellen Kraftwerken vergleichbare Verfügbarkeit und Leistungsregelung. Bei hinreichendem Wärmebedarf ist eine stromgeführte Fahrweise sinnvoll. Durch die in den letzten Jahren vollzogenen Änderungen auf dem sächsischen Wärmemarkt (Ablösung von Kohle durch Gas und Öl) stößt ein stabiler Wärmeabsatz aus KWK-Anlagen allerdings vielerorts auf Schwierigkeiten, die Erlöse aus dem Verkauf von Wärme sind andererseits für einen wirtschaftlichen Betrieb von KWK-Anlagen wesentlich. Im Jahr 1996 wurden in Sachsen 6 derartige Anlagen mit einer installierten Leistung von ca. 2 MW betrieben. Als Brennstoff dominierten Holzhackschnitzel und Biogas. Die Nutzung von Holzhackschnitzeln erfolgt vorwiegend in kleineren umgebauten Rohbraunkohle-Heizkraftwerken.

Bei diesen Anlagen ist vor allem die Logistik beim Transport des Brennstoffs zu beachten. Für ein Heizkraftwerk mit einer elektrischen Leistung von 1 MW auf der Basis Holz werden je nach Feuchte und Brennwert täglich zwischen 25 und 30 t

Brennstoff benötigt. Das entspricht im Jahr einer Menge von etwa 10 000 t. Angesichts dieser Dimension sind kurze Transportwege Voraussetzung für eine wirtschaftliche Nutzung.

Für die nächsten Jahre zeichnet sich ein möglicher Zuwachs an KWK-Anlagen in Sachsen bis zu 45 MW ab. Damit könnten eine elektrische Energie von 300 GWh produziert werden.

## **6. Schlußbemerkungen**

Die technischen Potentiale zur Elektroenergieerzeugung aus erneuerbaren Energiequellen in Sachsen belaufen sich derzeit (ohne Biomasse) auf etwa 7400 GWh. Davon entfallen 2/3 auf die Windenergie und der Rest zu etwa gleichen Teilen auf die Wasserkraft und die Photovoltaik. Die wirtschaftlichen Potentiale sind erheblich niedriger. Die Nutzung der Potentiale ist allerdings sehr unterschiedlich, im Jahr 1996 wurden etwa 13 % des technischen Wasserkraftpotentials und 1,4 % des technischen Windkraftpotentials genutzt. Das genutzte Photovoltaikpotential war vernachlässigbar. Der Anteil der erneuerbaren Energiequellen am Elektroenergieverbrauch in Sachsen erreichte im Jahr 1996 etwa 1,3 %.

Die größten Zuwächse verzeichnet gegenwärtig die Windenergie, die voraussichtlich bereits 1997 die Wasserkraft als bedeutendste erneuerbare Energiequelle ablösen wird. Wesentliche Ursache für diese Entwicklung sind die im letzten Jahrzehnt erreichten technischen Fortschritte bei den Anlagen. Beigetragen haben dazu ebenfalls die verschiedenen Bundes- bzw. Landesförderprogramme. Bei anhaltendem Entwicklungstempo kann im Jahr 2000 eine Potentialnutzung von 25 % bei Wasserkraft und 9 % bei Windkraft erwartet werden.

Die Aufnahme und Verteilung von elektrischer Energie aus erneuerbaren Energien kann zukünftig bei den bestehenden Netzen lokal zu technischen Problemen bei der Netzführung (Spannungshaltung) in Zeiten mit niedrigen Belastungen führen. Daraus können ähnlich wie bei den Versorgern in Küstenregionen Forderungen nach zeitweiligen Leistungsbegrenzungen resultieren. Die Kosten für die Verknüpfungen mit dem vorhandenen Netz wie auch Ausbauten im vorgelagerten Netz werden grundsätzlich von den jeweiligen Betreibern getragen. Aus der Sicht der Betreiber ist der Betrieb von Wind- und Wasserkraftanlagen unter den Bedingungen des derzeit gültigen Stromeinspeisungsgesetzes dennoch in der Regel wirtschaftlich, der Betrieb von netzgekoppelten Photovoltaikanlagen ist gegenwärtig jedoch nur unter Forschungs- bzw. Demonstrationsaspekten zu rechtfertigen.

Aus der Sicht der regionalen EVU stellt sich der wirtschaftliche Aspekt der verstärkten Nutzung der erneuerbaren Energien allerdings anders dar. Aufgrund der geringen und vor allem nicht vorhersehbaren Leistungsverfügbarkeit stellen die regenerativen Energien nur "additive" Energien dar, da zur Aufrechterhaltung der zuverlässigen Energieversorgung die Leistung konventioneller Kraftwerke in vollem Umfang benötigt wird. Diese Leistungsvorhaltung erfolgt gegen entsprechende Vergütungen der Vorhalteleistungen. Die nach dem Stromeinspeisungsgesetz an die Einspeiser zu zahlenden Vergütungen orientieren sich nicht an den vermiedenen Kosten und stellen

somit eine Subventionierung der Anlagenbetreiber dar. Konkret entstehen dadurch für jede regenerativ erzeugte Kilowattstunde bei den lediglich verteilenden EVU ohne nennenswerte Eigenerzeugung Mehrkosten in Höhe von etwa 0,10 DM/kWh. Im Jahr 1996 summierte sich dies für die regionalen sächsischen EVU zu einem Betrag von etwa 25 Millionen DM.

Trotzdem gilt es bereits heute, die Option "Regenerative Stromerzeugung" für die Zukunft zu erschließen. Die weitere Entwicklung der Elektroenergieerzeugung aus erneuerbaren Energien wird sehr von der Akzeptanz der Bevölkerung hinsichtlich der Errichtung der Anlagen sowie von der weiteren Gestaltung der Rahmenbedingungen abhängen. Konflikte um ökologische Aspekte der Nutzung von Wind- und Wasserkraftpotentialen nehmen derzeit auch in Sachsen zu und verlangsamen teilweise die weitere Erschließung bestimmter Standorte.

Politische Zielstellungen zur Nutzung regenerativer Energien, die sich auch in den angekündigten bzw. geänderten rechtlichen Vorschriften, wie z. B. Stromeinspeisungsgesetz, Baugesetzbuch usw. widerspiegeln, stellen die wesentlichen Vorgaben dar. Die jüngst vom Sächsischen Staatsministerium für Umwelt und Landesentwicklung veröffentlichte Zielsetzung, bis zum Jahre 2005 einen Anteil der erneuerbaren Energiequellen am Stromverbrauch Sachsen von 5 % zu erreichen, ist ebenfalls als Weichenstellung zu bewerten.

Vorgenannte politische Zielstellungen kollidieren allerdings teilweise mit anderen politischen Vorgaben, wie zum Beispiel Versorgungszuverlässigkeit, wettbewerbsfähige Strompreise oder dem Naturschutz. Zukünftig wird es Hauptziel sein müssen, diese sich widersprechenden Zielvorstellungen in Übereinstimmung zu bringen.



## Literatur

- [1.1] G. Liebe: Wind-Elektrizität,  
Paul Parey, Berlin 1915
- [1.2] G. Müller, K.Schröter:  
10. Fachkolloquium Wasserkraftanlagen, VDI Bezirksverein Dresden,  
Dresden, 28.6.94
- [1.3] Die Wasserkraftwirtschaft Deutschlands  
Festschrift, Deutscher Wasserwirtschafts- und Wasserkraftverband e.V.,  
Berlin 1930
- [1.4] Statistisches Landesamt Sachsen
- [2.1] J. Puchta et. al:  
Beitrag der Wasserkraft zur Energieerzeugung in den neuen Bundesländern,  
GEUmBH Leipzig, Mai1993
- [2.2] A. Schönbach:  
Die Wasserkraft der Elbe,  
Energietechnik 3 (1953), Heft 2
- [2.3] A. Vaatz:  
Interview Sächsische Zeitung  
Dresden, 27.2.1996
- [3.1] U. Rindelhardt, H. Müller:  
Neue Energien 1 (1991), S. 136
- [3.2] Windenergienutzung im Freistaat Sachsen -Windmeßprogramm-  
Hrsg.: Staatsministerium für Umwelt und Landesentwicklung, Dresden, 1994
- [3.3] W. Hirsch, U. Rindelhardt:  
Windpotentiale Sachsen, Abschlußbericht 1997  
Auftraggeber: Staatsministerium für Umwelt und Landesentwicklung,  
Dresden, 1996
- [3.4] W. Hirsch, U. Rindelhardt:  
Windpotentiale in Sachsen  
DEWI-Magazin Nr. 11 (1997), S.44
- [4.1] Ergebnisse von Strahlungsmessungen in der BRD, Band I:Wahnsdorf,  
Hrsg.: Deutscher Wetterdienst, Hamburg 1995
- [4.2] FhG-ISE:  
Solarenergienutzungspotential für Leipzig, Abschlußbericht  
Auftraggeber: Stadtwerke Leipzig, Leipzig 1994

- [4.3] A. Lemke:  
Wirtschaftliche Bewertung einer zukünftigen solaren Stromversorgung für  
Dresden,  
Diplomarbeit HTW (FH) Mittweida, Mittweida 1996
- [4.4] Autorenkollektiv:  
1000-Dächer Meß- und Auswerteprogramm,  
Jahresjournale 1995 und 1996, FhG-ISE Freiburg
- [4.5] R. Brockmann et al.:  
11. Symposium Photovoltaische Solarenergie,  
Staffelstein 1996, Tagungsband S. 289
- [4.6] Th. Ihle et al.:  
11. Symposium Photovoltaische Solarenergie,  
Staffelstein 1996, Tagungsband S. 294