

Einsatzmöglichkeiten der Photovoltaik für eine zukunftsfähige Elektrizitätsversorgung in Deutschland

DR.-ING. VOLKER QUASCHNING, DIPL.-ING. CHRISTOPH BLASCHKE
UND PROF. DR.-ING. HABIL. ROLF HANITSCH

Technische Universität Berlin · Institut für Elektrische Energietechnik
Sekt. EM4, Einsteinufer 11, D-10587 Berlin
Tel.: 030/314-25394 · Fax: 030/314-21133

E-Mail: Volker.Quaschning@iee.tu-berlin.de · <http://www.iee.tu-berlin.de/personen/quasch>

1 Einleitung

Obwohl die Photovoltaik (PV) in den vergangenen Jahren stark gestiegene Produktionsraten aufweisen konnte, ist ihr Anteil an der Stromerzeugung in Deutschland heute immer noch verschwindend gering. Im Hinblick auf notwendige Klimaschutzmaßnahmen und einem bereits politisch intensiv diskutierten Ausstieg aus der Kernenergienutzung kommt den erneuerbaren Energieträgern und speziell der Photovoltaik eine immer bedeutendere Rolle bei der Elektrizitätsversorgung zu. Im Rahmen dieses Beitrags soll ein möglicher Einsatz der Photovoltaik für die Elektrizitätsversorgung in den Jahren 2020 und 2050 diskutiert werden.

2 Potentiale der Photovoltaik

Für die Photovoltaik wurden in bereits durchgeführten Untersuchungen große Potentiale zur Stromerzeugung ermittelt, die von 18 TWh bis 628 TWh pro Jahr reichen [1]. Da bei diesen Potentialermittlungen jedoch nicht technisch optimierte Systeme wie schattentolerante Photovoltaiksysteme verwendet wurden und außerdem durch die angenommene Nutzung großer Freiflächen Probleme durch Flächenversiegelungen entstehen werden, wurde eine optimierte umfangreiche Potentialabschätzung für PV-Anlagen mit verschiedenen Systemwirkungsgraden durchgeführt.

Tabelle 1: Standortpotentiale der PV unter Berücksichtigung von Restriktionen in Deutschland

	Wirkungsgrad Modul / System	Dachflächen	Fassaden	Verkehrswege ¹⁾	Freiflächen	Summe
Fläche solare Bestrahlung	-- 100 %	864 Mio. m ²	200 Mio. m ²	39,4 Mio. m ²	250 Mio. m ²	1.353 Mio. m ²
		834 TWh/a	153 TWh/a	42 TWh/a	270 TWh/a	1.299 TWh/a
Leistung Ertrag	$h_{Mod} = 14,0 \%$ $h_{Sys} = 11,3 \%$	120,9 GW _p 94,2 TWh/a	28 GW _p 17,3 TWh/a	5,5 GW _p 4,7 TWh/a	35 GW _p 30,5 TWh/a	189 GW _p 147 TWh/a
Leistung Ertrag	$h_{Mod} = 15,0 \%$ $h_{Sys} = 13,5 \%$	129,5 GW _p 112,5 TWh/a	30 GW _p 20,7 TWh/a	5,9 GW _p 5,7 TWh/a	37,5 GW _p 36,5 TWh/a	203 GW _p 175 TWh/a
Leistung Ertrag	$h_{Mod} = 20,0 \%$ $h_{Sys} = 18,1 \%$	172,7 GW _p 150,9 TWh/a	40 GW _p 27,7 TWh/a	7,9 GW _p 7,6 TWh/a	50 GW _p 48,9 TWh/a	271 GW _p 235 TWh/a

1) beidseitig bestrahlt

Tabelle 1 zeigt eine Zusammenfassung der ermittelten Potentiale für Dachflächen, Fassaden, Verkehrswege und Freiflächen unter Berücksichtigung strenger ökonomischer und ökologischer Kriterien bei Einsatz schattentoleranter Systeme [2]. Hierdurch erhöht sich der Anteil der Photovoltaikanlagen, die auf Gebäuden installiert werden können [3][4]. Die auf Freiflächen zu installierenden Photovoltaikanlagen wurden bewußt niedrig angesetzt. Da bei künftigen Photovoltaikanlagen im Vergleich zu heutiger Technologie Verbesserungen zu erwarten sind, wurde ein im Gegensatz zu heutigen Anlagen verbesserter Systemwirkungsgrad verwendet. Der Systemwirkungsgrad umfaßt die Modul-, Wechselrichter und Leitungsverluste. Verluste aufgrund von Verschmutzungen und Abschattungen der Module wurden bei der Berechnung der solaren Bestrahlung berücksichtigt.

Die in Tabelle 1 ermittelten Potentiale der Photovoltaik können jedoch erst bis zum Jahr 2050 erschlossen werden, da zuvor entsprechende Produktionskapazitäten errichtet werden müssen. Wird die weltweite Produktionskapazität um 30 % pro Jahr ausgebaut, lassen sich in Deutschland bis zum Jahr 2020 Photovoltaikanlagen mit einer Leistung von 18 GW_p errichten, wenn 10 % der Weltjahresproduktion in Deutschland eingesetzt wird. Hiermit ließen sich dann bei einem Systemwirkungsgrad η_{sys} von 13,5 % insgesamt 15,5 TWh elektrischer Energie pro Jahr erzeugen. Bis zum Jahr 2050 könnte dann das gesamte hier errechnete Potential von 203 GW_p erschlossen und jährlich 175 TWh elektrischer Energie bereitgestellt werden.

Der derzeitige um die Übertragungsverluste erweiterte Nettostromverbrauch beträgt etwa 500 TWh pro Jahr. Für die Zeithorizonte der Jahre 2020 und 2050 wurde jeweils ein Trendszenario und ein Energiesparszenario über die Entwicklung des Strombedarfs aufgestellt. Als Basis dienten hierzu unter anderem Untersuchungen der Prognos AG [5] und des Öko-Instituts Freiburg [6]. Die Ergebnisse sind in Tabelle 2 dargestellt.

Tabelle 2: Trendszenario und Energiesparszenario für den Elektrizitätsbedarf bis zum Jahr 2050

	Trendszenario		Energiesparszenario	
	Nettostromverbrauch	Stromverbrauch insg. ¹⁾	Nettostromverbrauch	Stromverbrauch insg. ¹⁾
1996	479,7 TWh	500,1 TWh	479,7 TWh	500,1 TWh
2020	596,7 TWh	617,5 TWh	403,8 TWh	417,9 TWh
2050	701,5 TWh	719,0 TWh	328,8 TWh	337,0 TWh

1) Nettostromverbrauch und Übertragungsverluste

Somit könnte die Photovoltaik bis zum Jahr 2020 je nach Verbrauchsentwicklung zwischen 2,5 % und 3,7 % sowie bis zum Jahr 2050 zwischen 24 % und 52 % des Elektrizitätsbedarfs decken.

3 Kombination mit anderen regenerativen Energieträgern

In Kombination mit anderen erneuerbaren Energieträgern wie Windenergie, Wasserkraft und Biomasse könnte bis zum Jahr 2050 ein Großteil des Elektrizitätsbedarfs klimaverträglich gedeckt werden. Bild 1 zeigt eine Gegenüberstellung des Elektrizitätsbedarfs sowie der möglichen regenerativen Erzeugung bis zum Jahr 2050.

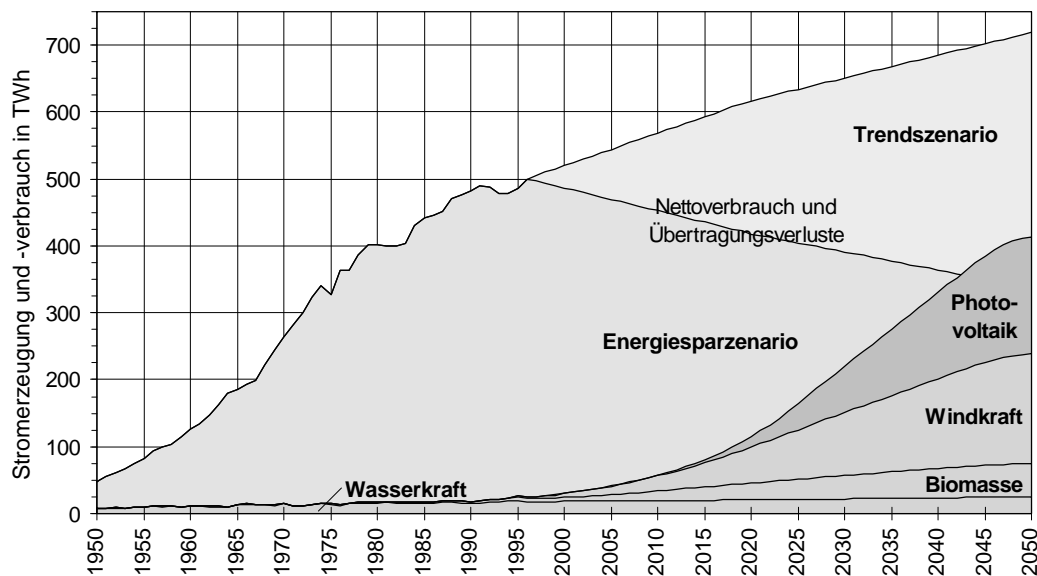


Bild 1: Mögliche Entwicklung der Stromerzeugung aus regenerativen Energieträgern sowie des Stromverbrauchs bei einem Trendszenario und Energiesparzenario in Deutschland bis zum Jahr 2050

Durch zeitliche Schwankungen des regenerativen Energieangebots werden bis zum Jahr 2050 zusätzliche Speichermöglichkeiten benötigt, die jedoch durch ein optimiertes Lastmanagement und einen großräumigen Energieaustausch deutlich reduziert werden können.

Um den Einfluß der Fluktuationen der künftigen photovoltaischen Elektrizitätserzeugung untersuchen zu können, wurde die Elektrizitätserzeugung eines photovoltaischen Verbundnetzes auf Basis von Meßwerten der Globalstrahlung aus dem Jahr 1991 an 42 Standorten in Deutschland simuliert.

Bild 2 zeigt den Verlauf der Tagessummen der Elektrizitätserzeugung eines photovoltaischen Kraftwerksparks mit der zuvor ermittelten installierten Leistung. Aufgrund der realen Wetterdaten gibt es hier geringfügige Abweichungen der Anteile der jeweiligen Monate vom langjährigen Mittel. Während in den Sommermonaten stets eine ausreichende minimale Leistungsabgabe vorhanden ist, sinkt diese in den Wintermonaten auf sehr geringe Werte ab.

Ein Ausgleich kann durch andere regenerative Energien erreicht werden. Vor allem der Einsatz von wärmegeführten Blockheizkraftwerken, die mit Biomasse befeuert werden, ergänzt sich hervorragend mit dem Einsatz der Photovoltaik. Bild 3 zeigt den Verlauf der Tagessummen der Elektrizitätserzeugung eines regenerativen Kraftwerksparks im Umfang der in Bild 1 ermittelten Ausbaupotentiale. Der saisonale Ausgleich zwischen Biomassekraftwerken und Photovoltaikanlagen ist gut zu erkennen. Bei der Biomasse wurde dabei nur die

Hälfte der Potentiale aus Bild 1 in wärmegeführten Blockheizkraftwerken eingesetzt. Durch den gezielten Einsatz der restlichen Biomasse in stromgeführten Blockheizkraftwerken kann das Angebot der Nachfrage noch besser angepasst werden.

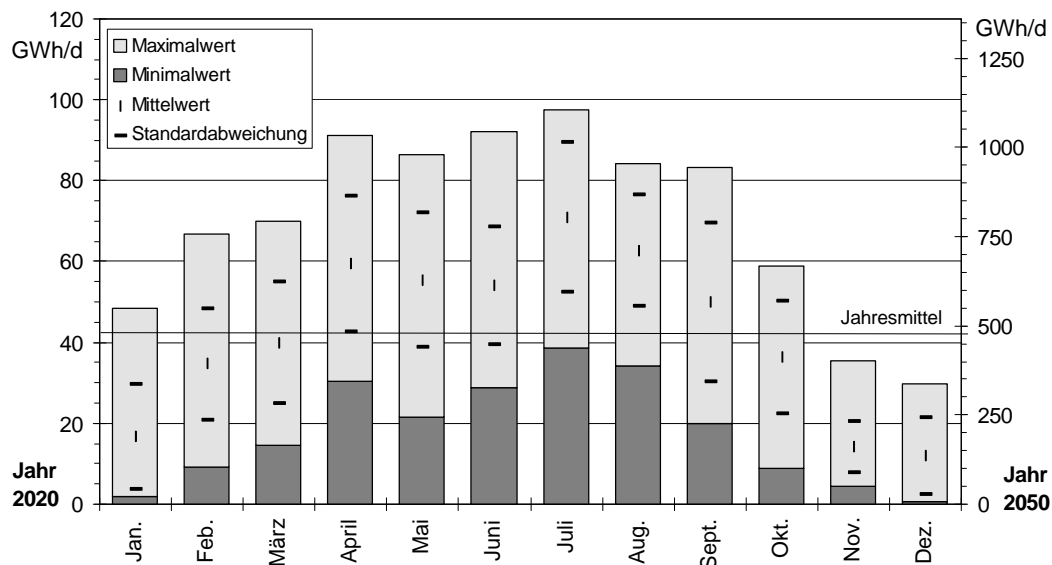


Bild 2: Tagessummen der Elektrizitätserzeugung eines photovoltaischen Kraftwerksparks mit 18 GW_p in Deutschland im Jahr 2020 und 203 GW_p im Jahr 2050

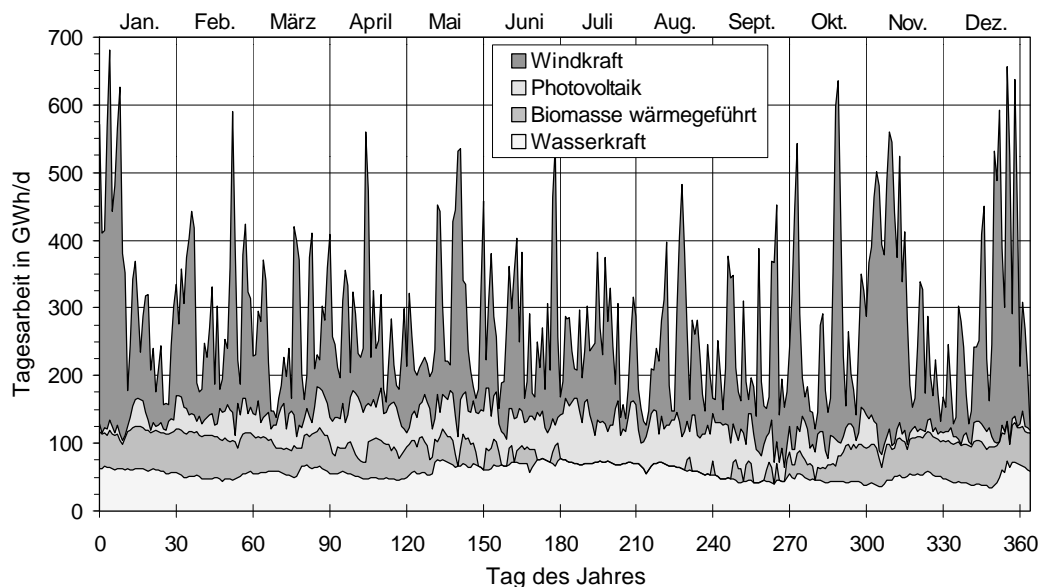


Bild 3: Tagessummen der Elektrizitätserzeugung eines regenerativen Kraftwerksparks im Jahr 2020 im Verlauf eines Jahres

Bei dem hier unterstellten starken Ausbau der Nutzung regenerativer Energieträger sind bis zum Jahr 2020 unabhängig von der Verbrauchsentwicklung keine Überschüsse zu erwarten. In den nächsten 20 Jahren ist also kein Neubau von Speichern erforderlich. Allerdings treten

aufgrund der Fluktuationen der regenerativen Energieträger größere Schwankungen zwischen einzelnen Tagen auf. Ein Neubau von schwer regelbaren Grundlastkraftwerken auf der Basis von Braunkohle oder Kernenergie ist im Hinblick auf einen zu erwartenden Anstieg der Nutzung regenerativer Energieträger nicht sinnvoll.

Innerhalb eines Tages kann die Photovoltaik vor allem in den Sommermonaten auch zur Reduzierung der Spitzenlast beitragen, wie aus Bild 4 zu erkennen ist.

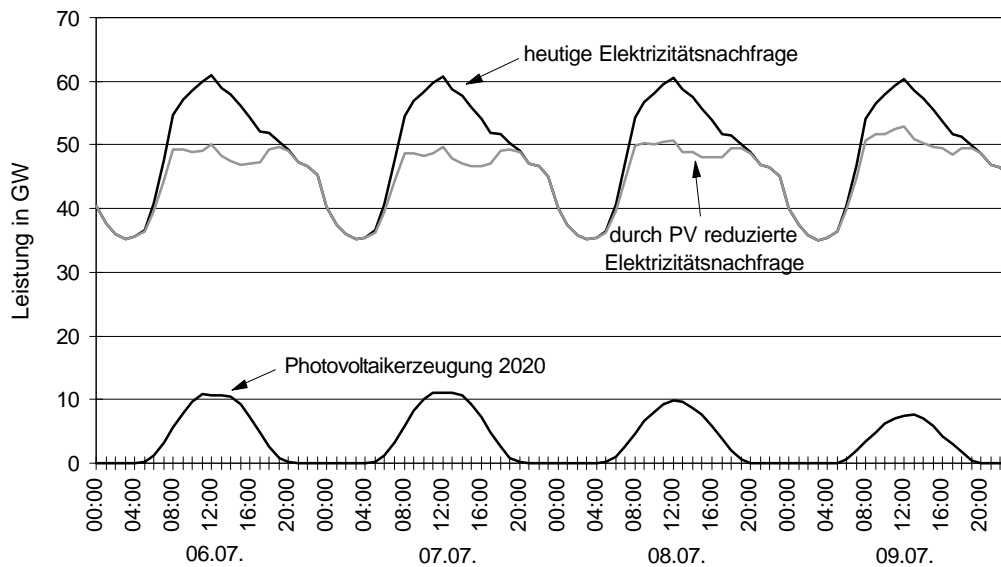


Bild 4: Gegenüberstellung der photovoltaischen Elektrizitätserzeugung im Jahr 2020 und der heutigen Elektrizitätsnachfrage für ausgewählte Tage im Sommer

Im Jahr 2050 werden jedoch große Überschüsse erzielt, die durch das Anpassen der Nachfrage an das Energieangebot, einen Ausgleich über große innereuropäische oder interkontinentale Verbundnetze sowie über neu zu errichtende Speichereinrichtungen (z.B. über Wasserstoff-erzeugung und Brennstoffzellen) ausgeglichen werden müssen. Dennoch ist eine sichere Elektrizitätsversorgung mit einem hohen Anteil regenerativer Energieträger möglich, bei der die Photovoltaik einen wichtigen Part einnehmen wird.

Literatur

- [1] Bundesministerium für Wirtschaft (Hrsg.): Grenzen und Chancen einer dauerhaften und durchhaltbaren Entwicklung im Energiesektor. Gutachten im Auftrag des BMWi, Bonn 1997.
- [2] Quaschnig, V.; Hanitsch, R.: Höhere Erträge durch schattentolerante Photovoltaiksysteme. *Sonnenenergie & Wärmetechnik* 4/96. S. 30-33
- [3] Quaschnig, V.; Christmann, R.; Hanitsch, R.: Potentiale der Solarenergienutzung bei Industrie und Gewerbe in Berlin. 11. Internationales Sonnenforum, Köln, 1998, S. 673-680
- [4] Quaschnig, V.; Hanitsch, R.: Höhere Flächenausbeute durch Optimierung bei aufgeständerten Modulen. 13. Symposium Photovoltaische Solarenergie, Staffelstein 1998, S. 427-431
- [5] Prognos AG (Hrsg.) : Energiereport II. Die Energiemärkte Deutschlands im zusammenwachsenden Europa - Perspektiven bis zum Jahr 2020. Stuttgart : Schäffer Poeschel Verlag 1996
- [6] Öko-Institut e.V. (Hrsg.) : Das Energiewende-Szenario 2020. Freiburg : Öko-Institut, 1996