

Die Rolle der Photovoltaik bei einer 100-Prozent Versorgung Deutschlands mit Erneuerbaren Energien

Eberhard Waffenschmidt

Solarenergie Förderverein Deutschland e.V. (SFV)

Herzogstraße 6, 52070 Aachen, Deutschland

+49 241 511616

eberhard.waffenschmidt@t-online.de

www.sfv.de

Die Photovoltaik ist für eine Vollversorgung Deutschlands mit Erneuerbaren Energien unverzichtbar, obwohl sie derzeit zu den aufwändigsten Erneuerbaren Energiequellen zählt. Als Gründe werden beleuchtet:

Die Photovoltaik gliedert sich unauffällig ins Landschaftsbild ein. Denn schon auf vorhandenen Dachflächen und geeigneten Fassaden kann sie einen Anteil von bis zu rund 40% des heutigen Strombedarfs decken.

Obwohl die Energieerzeugung stochastisch bestimmt ist, korreliert sie häufig mit dem Bedarf an Energie. Des weiteren ist eine Tendenz zu erkennen, dass die Energieerzeugung orthogonal zur Windenergieerzeugung stattfindet. Dadurch ergibt sich ein Kompensationseffekt, der zur Versorgungssicherheit beiträgt und die Anzahl notwendiger Speicher reduziert.

Die Photovoltaik ist mehr als jede andere der Erneuerbaren Energien geeignet, die Bürger an einer zukünftigen Energieversorgungsstruktur partizipieren zu lassen und unterstützt damit eine politische Kultur der Bürgerbeteiligung an Staat und Gesellschaft sowie eine dynamische Evolution der Photovoltaik.

1 Einleitung

Der Klimawandel und die Endlichkeit fossiler Energievorräte sind aktuell stärker denn je ins Bewusstsein der Menschen geraten. Das Einsparen von Energie ist jedoch alleine nicht ausreichend, denn langfristig erhöht selbst eine reduzierte Emission von sogenannten Treibhausgasen deren Anteil in der Atmosphäre; die Katastrophe würde lediglich hinausgezögert. Ein schneller Umstieg zu einer vollständigen Energieversorgung mit Erneuerbaren Energien ist daher die einzig sinnvolle Lösung, um einen weltweiten dramatischen Wandel unserer Lebensbedingungen und der unserer Nachkommen zu vermeiden. In diese Richtung zeigt auch die neue Leitstudie der Bundesregierung zur „Ausbaustrategie Erneuerbare Energien“ [1], die den Weg zum Ziel der Bundesregierung von rund 80% CO₂-Einsparungen bis zum Jahr 2050 aufzeigt. Eine solche Energieversorgung ist am sinnvollsten mit einer Beteiligung aller Erneuerbaren Energieformen zu erzielen. Dabei sollte die Photovoltaik eine bedeutende Rolle spielen.

Jedoch ist diese „Königsdisziplin“ der Erneuerbaren Energien zur Zeit und vermutlich auf absehbare Zeit die finanziell aufwändigste Energieerzeugungsform unter den Erneuerbaren Energien. In Hinblick auf eine Aufwandsoptimierung des Umstiegs auf 100% Erneuerbare Energien erhebt sich daher die Frage der Notwendigkeit der Solarenergie. Dieser Beitrag soll wesentliche Gründe beleuchten, die für die Nutzung

und den verstärkten Ausbau der Photovoltaik sprechen. Wünschenswert wäre eine präzise Kosten-Nutzen-Analyse. Jedoch lassen sich diese Gründe nur unzureichend im finanziellen Vergleich darstellen und der Vorteil liegt zum überwiegenden Teil in ideellen, sozialen und kulturellen Aspekten begründet.

2 Flächenbedarf

Die meisten Formen Erneuerbarer Energien müssen flächenextensiv eingesetzt werden. Die Energieintensität pro Fläche ist daher ein wichtiges Beurteilungskriterium gerade in dicht besiedelten Gegenden. Aus der umfangreichen Statistik zu Erträgen von Photovoltaikanlagen des Solarenergie-Fördervereins Deutschland mit über 9000 Teilnehmern [2] lassen sich die Erträge von Solaranlagen in Deutschland ermitteln. Bild 1 zeigt die Ergebnisse. Die Anlagen sind in allen sinnvollen Richtungen und Neigungen ausgerichtet. Bei einer Auswertung von 13 aktuellen Datenblättern für Solarmodule ergibt sich für die Spitzenleistung ein Durchschnittswert von $131 \text{ W}_{\text{pk}}/\text{m}^2$ (nach STC). Damit ergibt sich aus der Datenbank im langjährigen Mittel für die Jahre von 1992 bis 2005 ein Durchschnittswert von $109 \text{ kWh}/\text{m}^2$. Der maximale mittlere Jahresertrag in dieser Periode betrug $134 \text{ kWh}/\text{m}^2$, der minimale $99.7 \text{ kWh}/\text{m}^2$ und soll als Referenz dienen. Der allgemein bekannte „Daumenwert“ von ca. $100 \text{ kWh}/\text{m}^2$ Stromerzeugung ist also als Mindestwert zu verstehen.

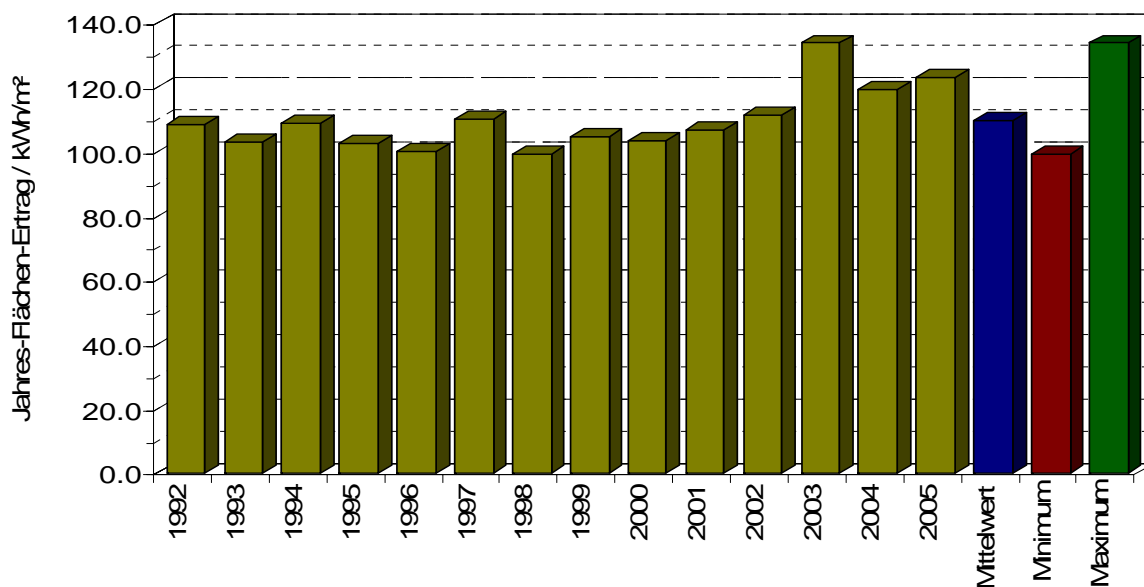


Bild 1: Jahreserträge von Photovoltaikanlagen in Deutschland [2].

Im Vergleich dazu erhält man für Windanlagen eine ähnliche Energieintensität pro Fläche von etwa $100 \text{ kWh}/\text{m}^2$ im Jahr, wenn man als Faustregel von einem Mindestabstand entsprechend dem dreifachen des Rotordurchmessers ausgeht. Dem gegenüber steht eine wesentlich geringere Energieintensität der Biomasseerzeugung. Bei einer Bewirtschaftung mit hochwertigen Energiepflanzen wie z.B. Mais lassen sich bestenfalls $5 \text{ kWh}/\text{m}^2$ als Energiegehalt von Biogas erzeugen. Photovoltaik benötigt daher nur etwa 5% der Fläche im Vergleich zur Energieerzeugung mit Biomasse.

3 Potential

Sollte der gesamte heutige Endenergieverbrauch von 2570 TWh pro Jahr [3] in Deutschland mit Photovoltaik gedeckt werden, wäre wir dafür eine Fläche von 25700 km² notwendig. Dies ist immer noch ca. 1/3 weniger als die gesamte besiedelte Fläche in Deutschland, bestehend aus Gebäuden und zugehörigen Freiflächen sowie Verkehrsflächen mit insgesamt 42000 km² [4]. Bild 2 zeigt diesen Vergleich.

Für den elektrischen Endenergieverbrauch von rund 500 TWh pro Jahr [3] genüge eine Fläche von 5000 km². Das wären gerade einmal 21% der gesamten Siedlungsfläche oder 12% der für Siedlungen und Verkehr benötigten Fläche. Ein Wert von etwa 12% der „verbauten“ Fläche ist ein Wert, dessen Realisierung durchaus vorstellbar ist. Neben Dach- und Fassadenflächen wären hier beispielsweise zusätzlich industrielle Brachflächen denkbar (zum Vergleich: Insgesamt nimmt der Braunkohletagebau 1661 km² in Anspruch, wobei davon zur Zeit 590 km² Betriebsflächen und der Rest wieder nutzbar gemachte Flächen sind [5].) oder überdachte Fernstraßen (rund 380 km² über und neben deutschen Autobahnen, nach [6] in Kombination mit [7]). Damit erscheint grundsätzlich eine elektrische Vollversorgung mit Solarstrom in Deutschland in Hinblick auf den Flächenbedarf möglich.

Bevor Solaranlagen anders nutzbare Fläche belegen, sollten zunächst einmal Flächen verwendet werden, bei denen keine Nutzungskonkurrenz auftritt. Dies sind insbesondere Dachflächen und geeignete Fassaden. Offizielle Daten dafür sind nicht erhältlich. R. Bischof hat im Jahre 1993 [8] die verfügbaren Dachflächen und Fassaden für Aachen abgeschätzt und kommt zu einem Wert von 25.44 m² pro Einwohner. Bei 82.5 Mio Einwohnern in Deutschland (für 2005, siehe [4]) ergibt sich eine Kollektor-Fläche von 2098.8 km². Mit dem Erfahrungswert von 99.7 kWh/m² lässt sich der Stromertrag auf den verfügbaren Flächen zu 209.3 TWh pro Jahr abschätzen.

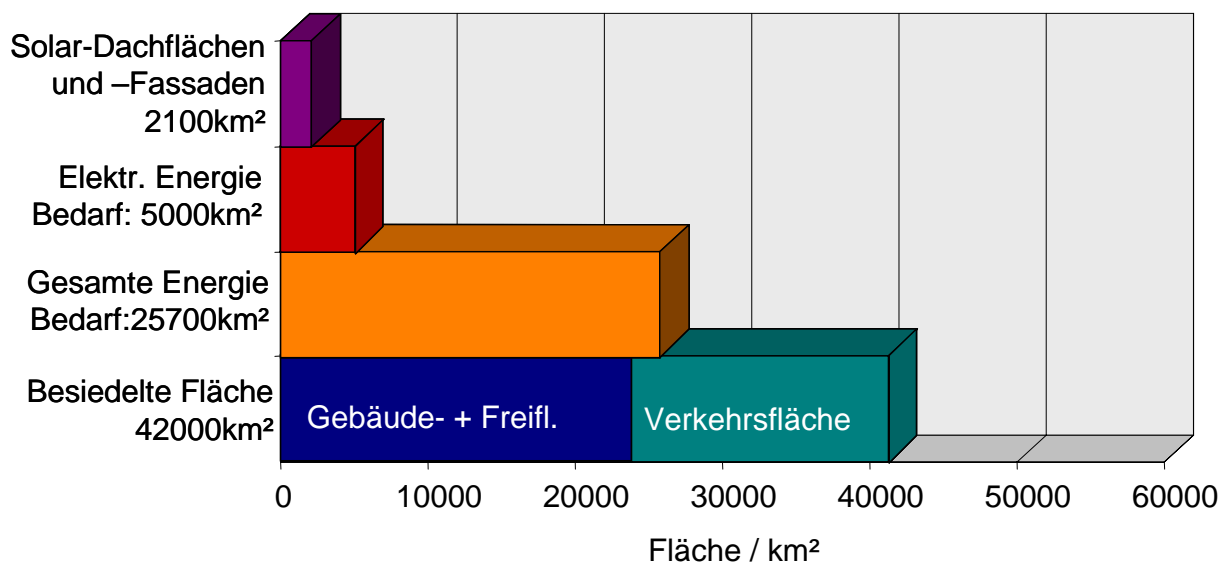


Bild 2: Flächenbedarf und -angebot für Photovoltaik (Quellen siehe Text).

Im Vergleich dazu kommt der Bericht der Enquetekommission [9] zu einem sehr ähnlichen Ergebnis von 1900 km² mit einer Ertrag von 209 TWh pro Jahr. Bei einem

Strombedarf von etwa 500 TWh pro Jahr in Deutschland [3] entspricht das einem Anteil von etwa 40%.

Damit ist also die Photovoltaik in der Lage, einen substantziellen Beitrag von bis zu 40% zur Stromversorgung zu leisten und braucht sich nicht marginalisieren zu lassen. Da auf Dachflächen und Fassaden keine Flächenkonkurrenz stattfindet, spielt der Flächenbedarf im Gegensatz zur Bioenergie keine Rolle. Im Vergleich zur Windenergie können sich solare Dachflächenanlagen wesentlich besser ins Landschaftsbild eingliedern und finden so wesentlich mehr Akzeptanz in der Bevölkerung.

4 Korrelation und Kompensation

Der Energiebedarf schwankt über den Tages- und Jahresverlauf deutlich. Ziel ist es also nicht, möglichst konstant die selbe Strommenge zu erzeugen. Vielmehr sollte die Erzeugung sich möglichst an den Verbrauch anpassen.

Der Verbrauch von elektrischem Strom ist tagsüber deutlich größer als in der Nacht. Der größte Bedarf entsteht zur Mittagszeit. Solargeneratoren liefern zur Mittagszeit die größte Leistung. Tendenziell korreliert die Solarstromerzeugung mit dem Bedarf.

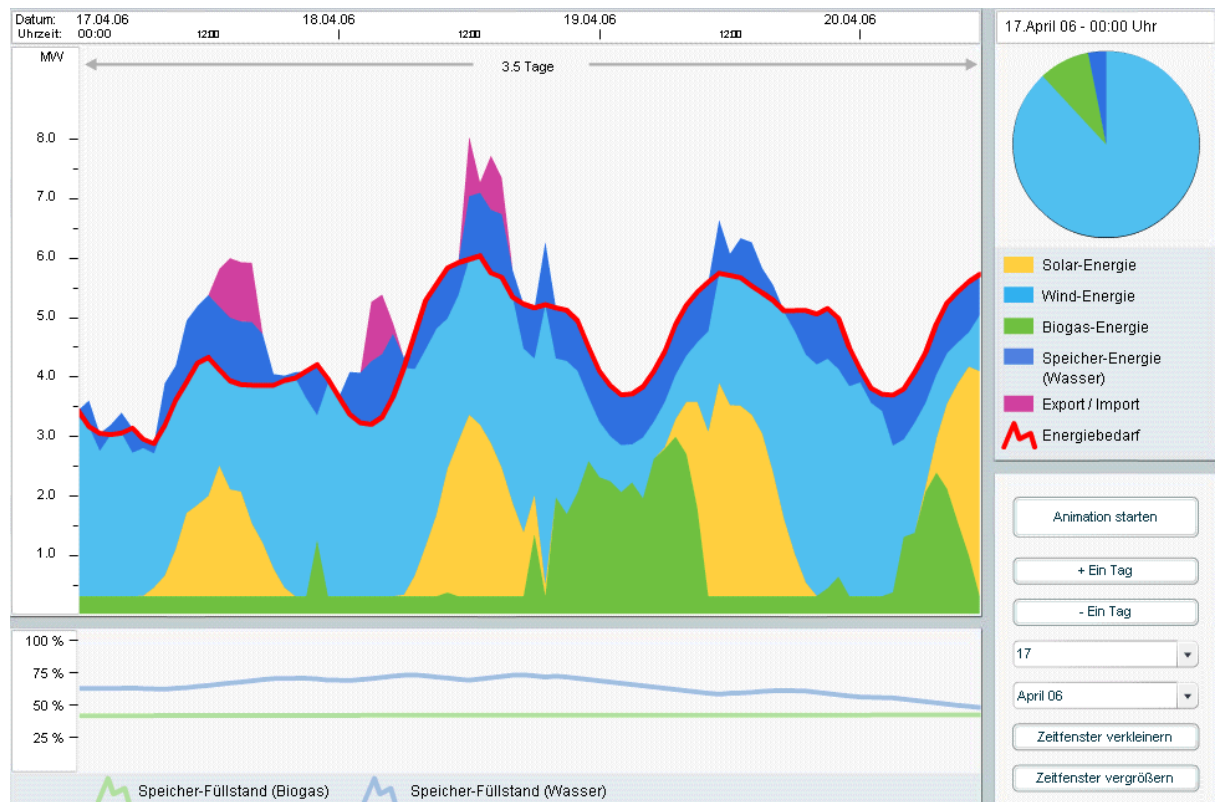


Bild 3: Typischer Tagesverlauf von Stromverbrauch und Erzeugung mit Erneuerbaren [10].

Bild 3 zeigt als typisches Beispiel mit der roten Linie den um Faktor 10000 herunter-skalierten deutschen Stromverbrauch an einigen Tagen im April 2006 [10]. Ebenso sind in dieser Graphik die mit Sonne, Wind und Biomasse erzeugten Strommengen dargestellt. Man erkennt, dass die Stromerzeugung die Photovoltaik (gelb) dann ihre größte Leistung hat, wenn auch der Bedarf am größten ist.

Die verschiedenen Formen der Energieerzeugung mit Erneuerbaren Energien ergänzen sich gegenseitig. Je mehr unterschiedliche Formen Verwendung finden, um so größer ist die Wahrscheinlichkeit, zuverlässig Strom zu erzeugen.

Auf der Internetseite zu [11] sind ausführliche Daten zu potentieller Solar- und Windenergieerzeugung sowie zum Bedarf, jeweils im 1h Raster, erhältlich. Allerdings beruhen diese schon ältere Daten aus Schätzungen und Hochrechnungen, da damals die Datenbasis noch gering war. Aus diesen Daten lassen sich Jahrgänge berechnen. Sie stellen dar, welche Leistung mindestens während der angegebenen Anzahl Stunden zur Verfügung steht. Bild 4 stellt die Jahrgänge der Differenz zum Bedarf dar. Wünschenswert in dieser Art Diagramm ist eine möglichst flache Kurve, die wenig von der Nulllinie abweicht.

Insbesondere in Zeiten, in denen Windenergie allein den Bedarf nicht decken kann (hellblau), können Solaranlagen (orange) zusätzliche Leistung liefern (Summe aus beiden, rot). Diese positive Differenz trägt dazu bei die Versorgungssicherheit zu erhöhen und Speicherkapazitäten einzusparen.

Indem die Betrachtungszeiträume unterschiedlich ausgedehnt werden, kann der Einfluss einer Speicherung auf den Kompensationseffekt abgeschätzt werden. Bild 4a zeigt die Verteilung von stündlichen Werten. Bild 4b zeigt die Graphik mit einer Mittelung über einen Tag, Bild 4c über eine Woche und Bild 4d über einen Monat. Mit zunehmendem Zeitintervall ist der Kompensationseffekt von Wind und Solar-Energie ausgeprägter. Das bedeutet, dass der Kompensationseffekt von Wind- und Solar-Energie insbesondere zu einem verminderten Bedarf von Langzeitspeicher beiträgt. Langzeitspeicher sind technisch am aufwendigsten und kommerziell am wenigsten attraktiv.

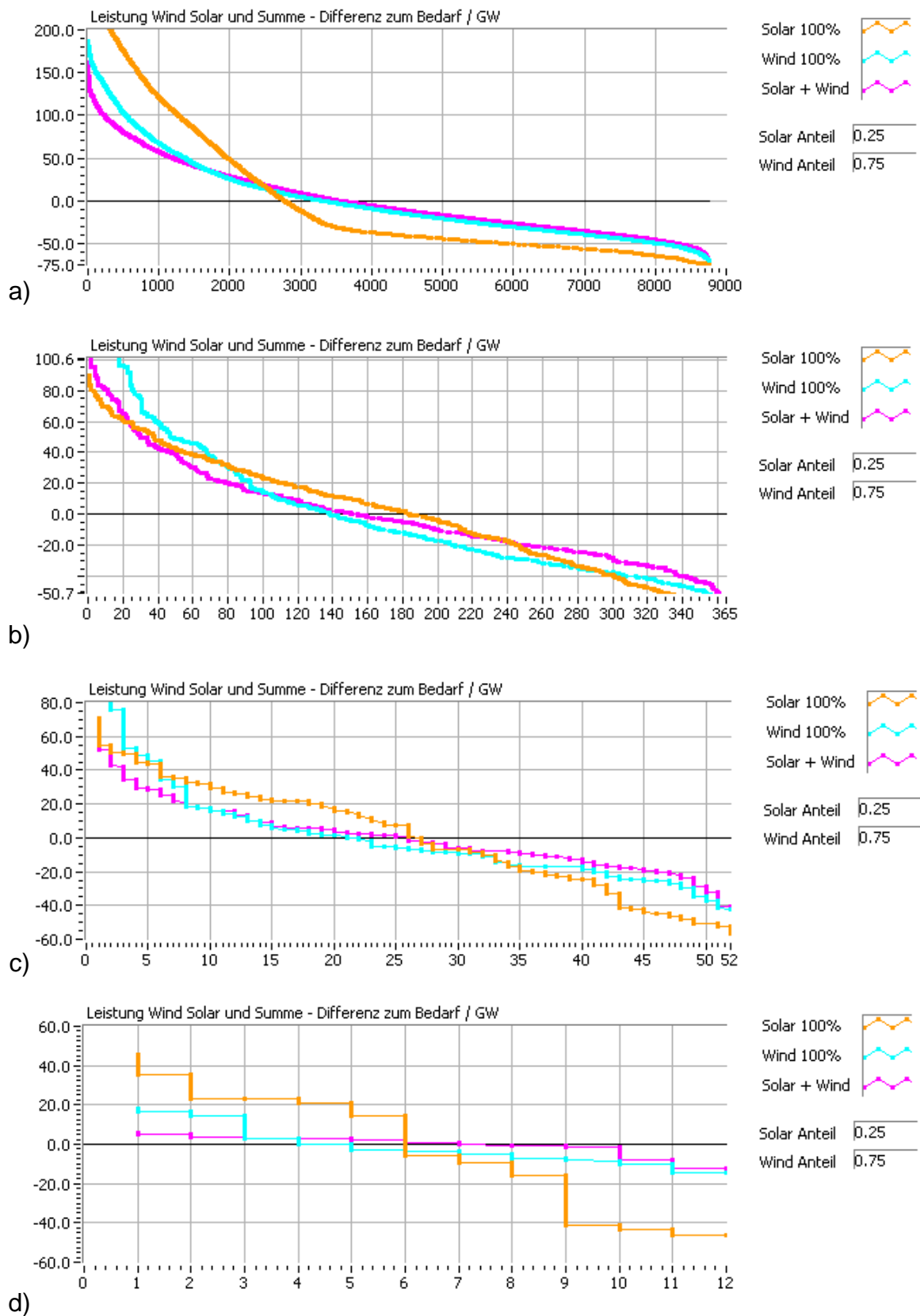
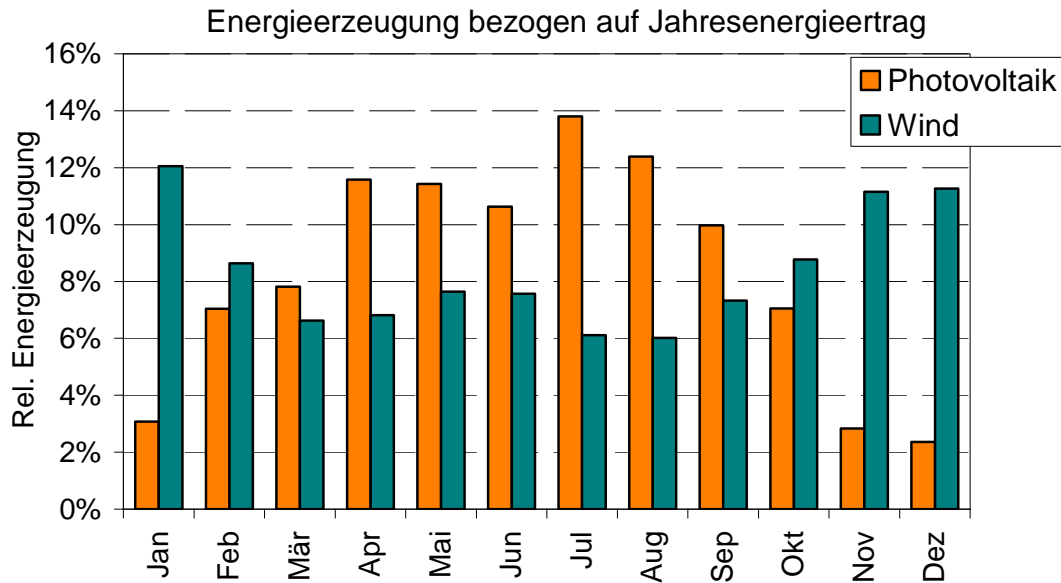
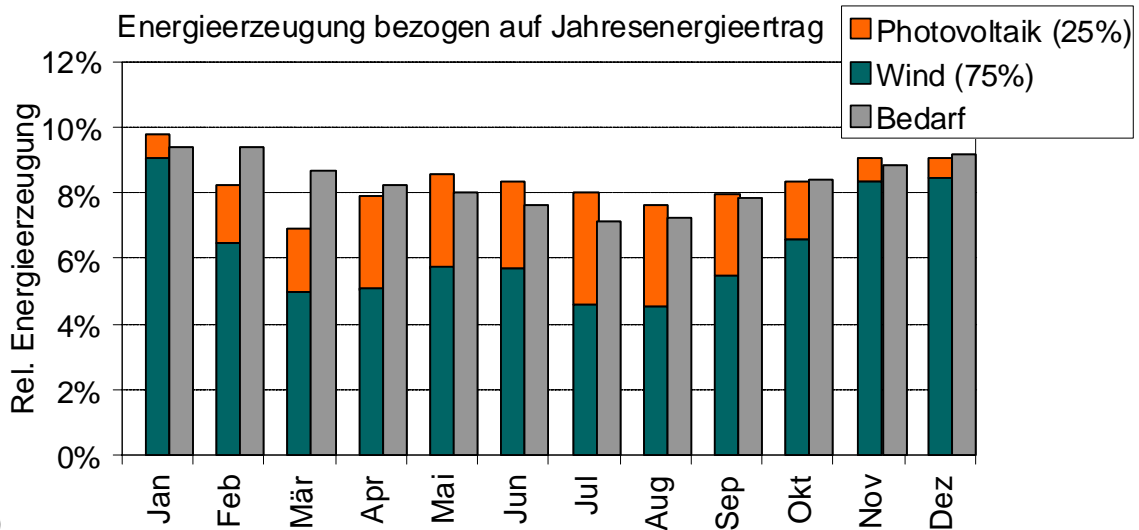


Bild 4: Jahrgänge der Differenz zwischen Bedarf und Wind-, Solarenergie und beiden, jeweils skaliert auf 100% des Bedarfs. Nach Daten aus [11].
a) stündlich b) täglich c) wöchentlich d) monatlich gemittelt.

Insbesondere auf Monatsbasis ergänzen sich Wind- und Solarenergie. Während in den Wintermonaten Windenergie die größten Beiträge liefert und im Sommer weniger, zeigt die Solarenergie einen gegenläufigen Trend (Bild 5a). Bild 5b zeigt deutlich, wie sich Solar- und Windenergie kompensieren und den Bedarf wesentlich besser decken als eine der beiden Quellen allein. Dargestellt sind die monatlichen Erträge von Photovoltaik und Windenergie zu 25% und 75%, so skaliert, dass sie den Jahresenergiebedarf decken würden, sowie der monatliche Energiebedarf (alles erzeugt nach Daten aus [11]).



a)



b)

Bild 5: Monatliche Energieerzeugung von Wind-, Solarenergie nach Daten aus [11].
a) Skaliert auf die jährliche Gesamterzeugung
b) Im Vergleich zum Bedarf, skaliert auf 100% des Jahres-Bedarfs.

5 Dynamische Entwicklung

Photovoltaik hat insbesondere als dezentrale Energieerzeugung mehrere Vorteile. Zum überwiegenden Teil werden durch die dezentrale Generation Übertragungsnetze entlastet und Verluste vermieden. Das ISET in Kassel ist an einer ausführlichen Untersuchung des Wertes von Solarstrom beteiligt [12]. Demnach tragen diese vermiedenen Verluste und Übertragungskapazitäten neben externen Kosten und eingesparten Erzeugungskosten als eine nicht vernachlässigbare Größe zum Wert von Photovoltaikstrom bei.

Im Vergleich zu anderen Erneuerbaren Energien hat die Photovoltaik die niedrigste Investitionsschwelle. Der größte Anteil wird durch kleine und mittlere Anlagen im Bereich von 2 bis 50 kWpk erzeugt. Ein Indiz dafür ist der Schwerpunkt der Anlagen dieser Größe in der Solardatenbank des SFV [2] Bild 6 zeigt eine Statistik der Anlagengrößen der Solardatenbank und illustriert diesen Sachverhalt. Damit ist die Photovoltaik mehr als jede andere der Erneuerbaren Energien geeignet, die Bürger an einer zukünftigen Energieversorgungsstruktur partizipieren zu lassen und sie unterstützt damit eine politische Kultur der Bürgerbeteiligung an Staat und Gesellschaft.

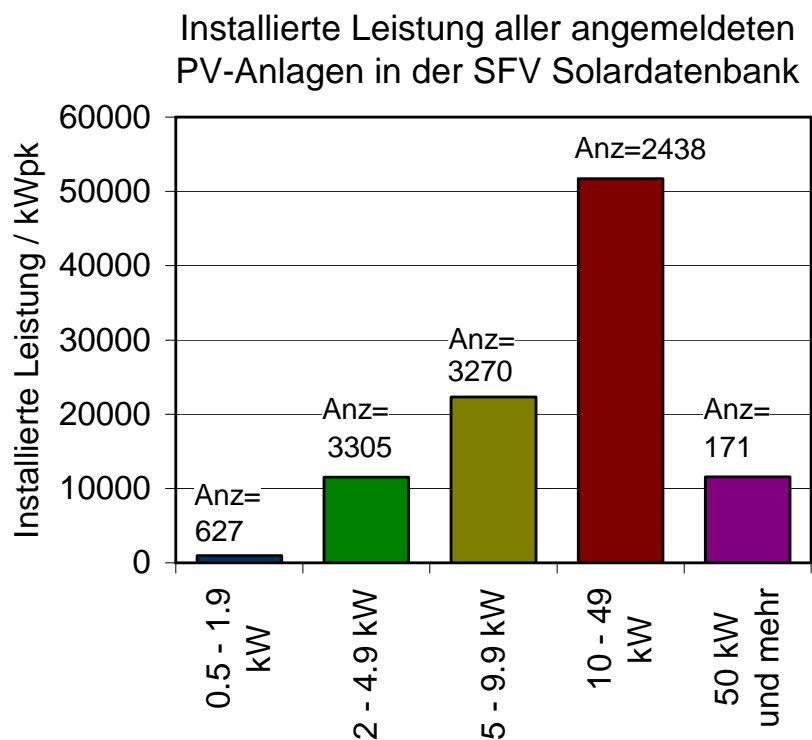


Bild 6: Statistik der installierten Leistung nach Anlagengröße. Aus SFV Solardatenbank.

Anstelle einer notwendigen massiven Großinvestition für eine solare Energiewirtschaft im und jenseits des Mittelmeerraums, die eine ausentwickelte Technologie notwendig macht, ermöglichen private Kleininvestoren eine dynamische Evolution der Photovoltaik von kleinen Anfängen bis zu signifikanten Beiträgen. Bild 7 zeigt die Entwicklung und Projektion der Solar- und Windenergieerzeugung über die letzten 15

Jahre und in die Zukunft. Ziel sollte es sein, das beispiellose Wachstum der Solar-energie beizubehalten, damit schon innerhalb des kommenden Jahrzehnts eine 100-prozentige Stromversorgung mit Erneuerbaren Energien möglich wird.

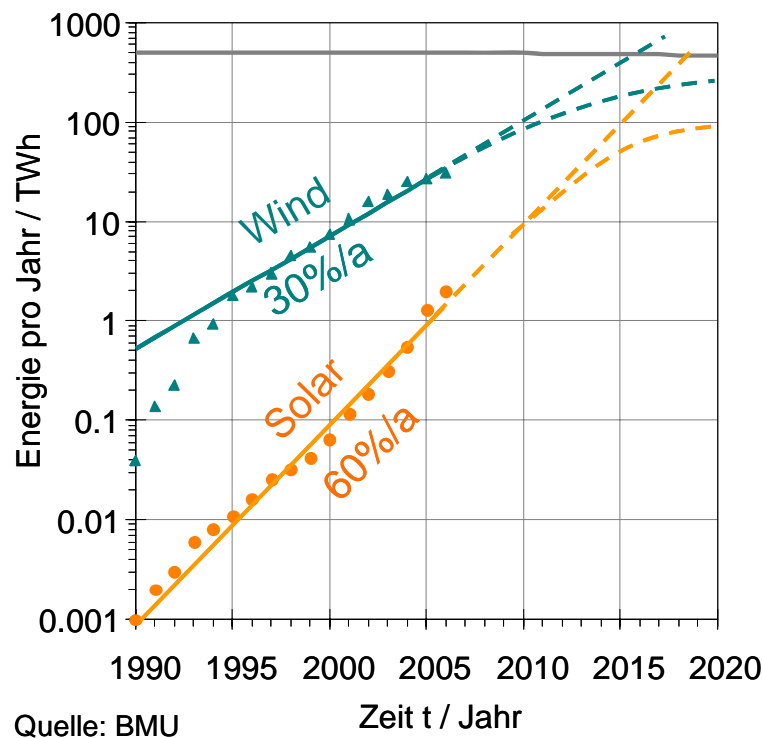


Bild 7: Entwicklung und Projektion der Solar- und Windenergieerzeugung.

6 Literaturhinweise

- [1] Joachim Nitsch , „Leitstudie 2008' - Weiterentwicklung der ‚Ausbaustrategie Erneuerbare Energien' vor dem Hintergrund der aktuellen Klimaschutzziele Deutschlands und Europas“, Untersuchung im Auftrag des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, in Zusammenarbeit mit der Abteilung „Systemanalyse und Technikbewertung“ des DLR –Instituts für Technische Thermodynamik, Oktober 2008, Stuttgart.
- [2] Solardatenbank des Solarenergie-Fördervereins, <http://www.pv-ertraege.de/>
- [3] Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen e.V., „Energiebilanz der Bundesrepublik 2002“, Excel-Datei, <http://www.ag-energiebilanzen.de/daten/inhalt1.php#>
- [4] Statistisches Bundesamt, <http://www.destatis.de/>
- [5] „Braunkohle in Deutschland – Profil eines Industriezweiges“, DEBRIV, Bundesverband Braunkohle, http://www.braunkohle.de/schule/medien/debriv02_ge.pdf

- [6] Wikipedia, Stichwort „Autobahn“, [http://de.wikipedia.org/autobahn_\(Deutschland\)](http://de.wikipedia.org/autobahn_(Deutschland))
Mit Verweis auf Statistisches Bundesamt, <http://www.destatis.de/>
- [7] www.auto-umwelt.at/print/4%20%20Flaechenverbrauch.pdf mit Verweis auf Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft, Wien, <http://www.umwelt.net.at/articleview/27722/7207>, Lebensministerium V/5, 22.05.2002
- [8] Ralf Bischof, „Möglicher Beitrag der Photovoltaik zur elektrischen Energieversorgung einer Stadt“, Diplomarbeit Universität Hannover, Juni 1993
- [9] „Nachhaltige Energieversorgung unter den Bedingungen der Globalisierung und Liberalisierung“, Bericht der Enquete-Kommission des Deutschen Bundestages, 2002, Drucksache 14/2687.
- [10] <http://www.kombikraftwerk.de>
- [11] Volker Quaschnig, "Systemtechnik einer klimaverträglichen Elektrizitätsversorgung in Deutschland für das 21. Jahrhundert", Fortschritt-Berichte VDI, Energietechnik, Reihe 6, Nr. 437, Düsseldorf: VDI Verlag 2000, ISBN 3-18-343706-6, auch im Internet unter:
<http://www.quaschnig.de/volker/publis/klima2000/index.html>
- [12] Stefan Bofinger, Martin Braun, Thomas Degner, Cornel Enßlin, Thomas Glotzbach, Kurt Rohrig, Yves-Marie Saint-Drenan (ISET, Kassel), Thomas Erge, Anselm Kröger-Vodde, Malte Thoma (Fraunhofer-ISE, Freiburg), Stefan Bofinger, Ralph Cerny (meteocontrol, Augsburg), "Rolle der Solarstromerzeugung in zukünftigen Energieversorgungsstrukturen - Welche Wertigkeit hat Solarstrom?", Untersuchung im Auftrag des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit mit Unterstützung durch Bundesverband Solarwirtschaft (BSW) und European Photovoltaic Industry Association (EPIA), Mai 2008