

## **Einsatzmöglichkeiten regenerativer Energien für eine klimaverträgliche Elektrizitätsversorgung in Deutschland**

Volker Quaschnig und Michael Geyer

Deutsches Zentrum für Luft und Raumfahrt e.V. · Plataforma Solar de Almería

Apartado 39 · E-04200 Tabernas (Almería) · Spanien

Tel.: ++34 950 387906 · Fax: ++34 950 365313 · VOLKER.QUASCHNING@PSA.ES

### **Einleitung**

Um die Folgen des anthropogenen Treibhauseffekts in Grenzen zu halten, sollte bei der Planung der künftigen Elektrizitätsversorgung in Deutschland sichergestellt werden, dass ein wirksamer Beitrag zum Klimaschutz unabhängig von Entscheidungen über eine künftige Nutzung der Kernenergie geleistet werden kann. Ziel der neuen wie auch der vorigen Bundesregierung ist eine Verringerung der CO<sub>2</sub>-Emissionen von 25 % gegenüber 1990 bis zum Jahr 2005. Nach Empfehlungen der Enquete-Kommission zum Schutz der Erdatmosphäre des Deutschen Bundestags sollten diese sogar 50 % bis zum Jahr 2020 und 80 % bis zum Jahr 2050 betragen.

Mit einem Anteil von 38 % an den Emissionen von Kohlendioxid tragen die deutschen Kraft- und Fernheizkraftwerke erheblichen zum Ausstoß von Treibhausgasen bei. Eine 50%ige Reduktion der CO<sub>2</sub>-Emissionen lässt sich bis zum Jahr 2020 generell nur schwer erreichen. Aufgrund der noch zu schaffenden Produktionskapazitäten für regenerative Kraftwerke können diese in Deutschland im Jahr 2020 nur ein Anteil von etwa 30 % decken. Ein Stromimport von regenerativen Kraftwerken, z.B. aus solarthermischen Kraftwerken in Südeuropa kann jedoch zur weiteren Verbesserung der CO<sub>2</sub>-Bilanz beitragen, sodass sich dennoch die Klimaschutzziele einhalten lassen.

Die Reduktionsempfehlungen für das Jahr 2050 können deutlich einfacher erreicht werden. Je nach Verbrauchsentwicklung könnten heimische regenerative Energien bis dahin bis zu 100 % des Elektrizitätsbedarfs decken und somit zu einem wirksamen Klimaschutz beitragen. Bei steigendem Elektrizitätsbedarf lässt sich eine 80%ige CO<sub>2</sub>-Reduktion jedoch auch im Jahr 2050 nur durch einen zusätzlichen regenerativen Stromimport erreichen.

### **Stromerzeugungspotentiale aus regenerativen Energien**

Im Rahmen einer umfangreichen Untersuchung wurden die Potenziale für die Errichtung von Wasserkraft-, Windkraft, Photovoltaik und Biomasseanlagen in Deutschland ermittelt.

Hierbei wurde unterstellt, dass bei der Photovoltaik Anlagen auf Freiflächen nur in geringem Maße eingesetzt werden, da hier die Photovoltaik mit der Biomassenutzung konkurriert. Die ermittelten Gesamtpotentiale der Photovoltaik können jedoch erst bis zum Jahr 2050 erschlossen werden, da derzeit noch entsprechende Produktionskapazitäten fehlen. Wird die weltweite Produktionskapazität um 30 % pro Jahr ausgebaut, lassen sich in Deutschland bis zum Jahr 2020 Photovoltaikanlagen mit einer Leistung von 18 GW<sub>p</sub> errichten, wenn 10 % der Weltjahresproduktion in Deutschland eingesetzt wird. Hiermit ließen sich dann bei einem Systemwirkungsgrad 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<sub>p</sub> erschlossen und jährlich 175 TWh elektrischer Energie bereitgestellt werden.

Das zweitgrößte Potential zur Stromerzeugung bei den regenerativen Energien besteht in Deutschland bei der Windkraft. Bei der Windkraft wurden in Deutschland im Jahr 1999 insgesamt 1.568 MW installiert. Somit gibt es bei der Windkraft im Gegensatz zur Photovoltaik bereits große Produktionskapazitäten. Da jedoch Probleme unter anderem bei der Genehmigung und Planung neuer Anlagen in Deutschland zu erwarten sind, wurde davon ausgegangen, dass sich die Stromerzeugungspotentiale ebenfalls erst bis zum Jahr 2050 in vollen Umfang erschließen lassen.

Beim Einsatz von Biomasse in Blockheizkraftwerken (BHKW) ergibt sich eine mögliche Leistung künftiger Kraftwerke von knapp 19 GW. Hierbei wurde angenommen, dass die Hälfte der Biomasse in wärmegeführten BHKW mit 4.000 Vollaststunden pro Jahr und die andere Hälfte in nachfragegeführten BHKW mit 2.000 Vollaststunden pro Jahr eingesetzt wird.

Aufgrund der Topographie von Deutschland gibt es bei der Wasserkraft nur noch geringe Ausbaupotentiale.

Tabelle 1 zeigt die derzeitige Erzeugung regenerativer Kraftwerke in Deutschland sowie die Stromerzeugungspotentiale bei dem unterstellten Ausbau des regenerativen Kraftwerkparkes für die Jahre 2020 und 2050.

*Tabelle 1: Realisierbare Stromerzeugungspotenziale regenerativer Energieträger in Deutschland*

Energieträger	Erzeugung im Jahr 1999	Potenzial bis 2020	Potenzial bis 2050
Photovoltaik	0,03 TWh/a	15,5 TWh/a	175 TWh/a
Windkraft (Land)	5,4 TWh/a	24,2 TWh/a	85 TWh/a
Windkraft (Offshore)	---	29,9 TWh/a	79 TWh/a
Wasserkraft	19,5 TWh/a	20,5 TWh/a	25 TWh/a
Biomasse-Reststoffe <sup>1)</sup>	3,8 TWh/a	20,0 TWh/a	33 TWh/a
Energiepflanzen	---	5,0 TWh/a	17 TWh/a
<b>Summe</b>	<b>28,7 TWh/a</b>	<b>115,1 TWh/a</b>	<b>414 TWh/a</b>

<sup>1)</sup> incl. Müll

Neben regenerativen Anlagen in Deutschland wird künftig auch der Import von regenerativ erzeugter Elektrizität zur Bedarfsdeckung beitragen. Vor allem für die Errichtung solarthermischer Kraftwerke in Südeuropa und Nordafrika gibt es große Potenziale. Hiermit könnte theoretisch sogar der gesamte Elektrizitätsbedarfs Europas gedeckt werden. Da die Stromerzeugung durch solarthermische Kraftwerke in der Regel erheblich kostengünstiger ist als die mit der Photovoltaik, ist es durchaus sinnvoll, nicht die Stromerzeugungspotenziale der Photovoltaik in vollem Umfang zu erschließen, sondern stattdessen einen Teil der Potenziale durch Import aus solarthermischen Kraftwerken zu ersetzen.

## **Entwicklung des Elektrizitätsbedarfs**

Für die Entwicklung des Elektrizitätsbedarfs wurden zwei verschiedene Szenarien aufgestellt, die im folgenden 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 Einsparpotentialen eine deutliche Reduktion des Verbrauchs erreichen ließe. Tabelle 2 zeigt den Bedarf verschiedener Verbraucherguppen bei beiden Szenarien im Vergleich zum aktuellen Bedarf.

In Bild 1 sind sowohl die zurückliegende als auch die für die Zukunft angenommene Stromerzeugung regenerativer Kraftwerke für die zuvor erläuterten Ausbaustufen dargestellt. Weiterhin sind die Entwicklung des Stromverbrauchs seit 1950 und die beiden Entwicklungspfade für das Trendszenario und das Energiesparszenario eingezeichnet.

Tabelle 2: Entwicklung des jährlichen Elektrizitätsbedarfs in Deutschland für zwei Szenarien

	Verbrauch heute (1998) in TWh	Trendszenario 2020 in TWh	Energiesparszenario 2020 in TWh
Haushalte	130,5	134,1	66,4
Kleinverbrauch	111,0	143,4	89,6
Industrie	229,6	291,9	218,9
Verkehr	16,1	27,3	28,9
Nettostromverbrauch	487,5	596,7	403,8
Übertragungsverluste	21,2	20,9	14,1
Stromverbrauch insgesamt	508,6	617,6	417,9

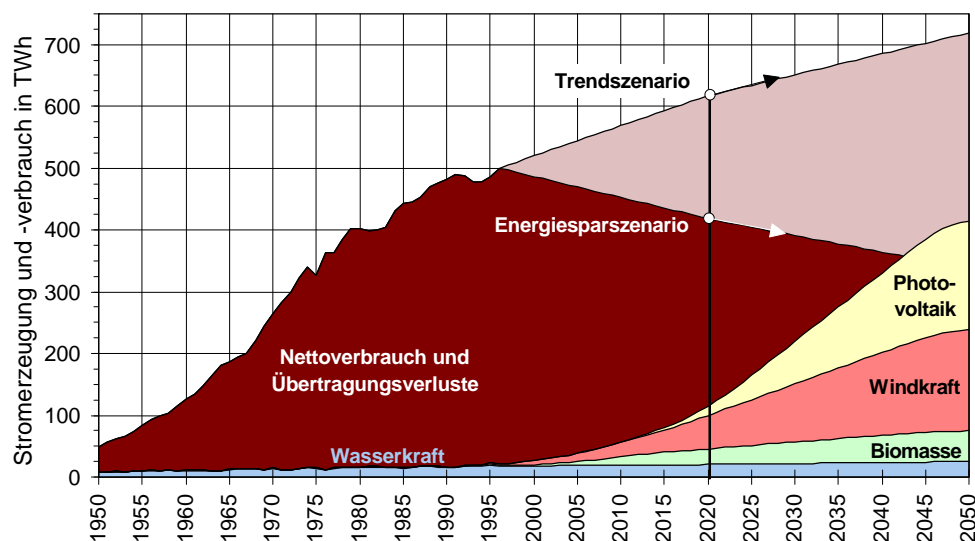


Bild 1: Mögliche Entwicklung der Stromerzeugung aus regenerativen Energien und des Stromverbrauchs in Deutschland bis zum Jahr 2050

### Schwankungen der Leistungsabgabe

Um den zeitlichen Verlauf der Leistungsabgabe des regenerativen Kraftwerksparks bestimmen zu können, wurde eine umfangreiche Computersimulation durchgeführt. Als Datenbasis dienten dazu Messwerte der Globalstrahlung an 42 Standorten, der Windgeschwindigkeit an 24 Standorten sowie der Wasserstände und Abflüsse verschiedener Gewässer für 68 Wasserkraftwerke in Deutschland. Obwohl es vor allem bei der Photovoltaik erhebliche Schwankungen bei der Leistungsabgabe im Laufe des Jahres gibt, weicht die monatsmittlere Leistungsabgabe des gesamten regenerativen Kraftwerksparks bei den einzelnen Monaten um weniger als 10 % vom Jahresmittel ab. Die verschiedenen regenerativen Kraftwerke ergänzen sich sehr gut.

Bild 2 und Bild 3 zeigen die tägliche und monatsmittlere Leistungsabgabe regenerativer Kraftwerke in Deutschland bei ausschließlicher Nutzung heimischer regenerativer Energien. Anhand dieser Ergebnisse sowie der bestimmten Verbrauchskurven lassen sich auch Aussagen über den Speicherbedarf treffen, der selbst bei sehr hohen regenerativen Anteilen mit etwa 12 TWh 3 % der jährlichen Erzeugung nicht übersteigt.

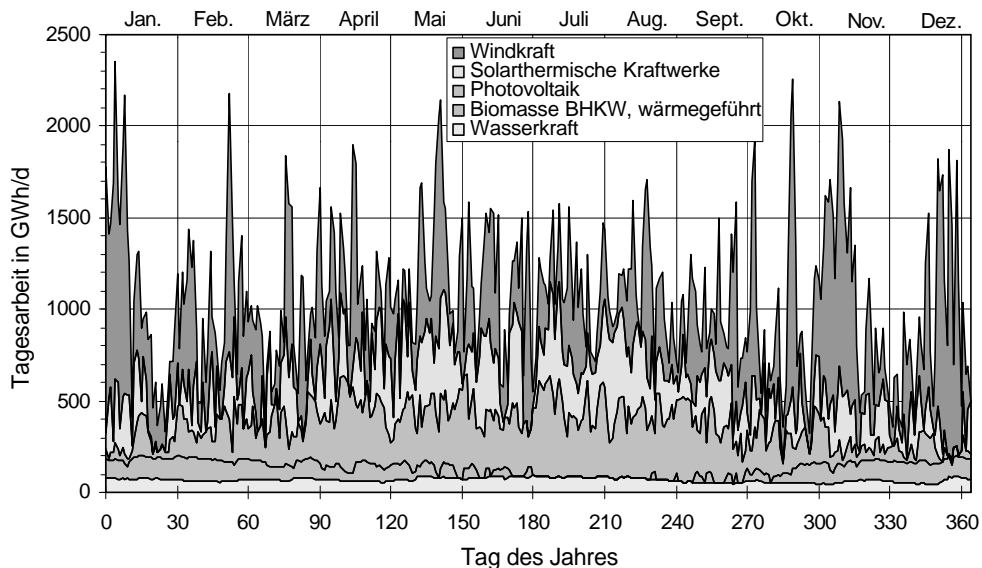


Bild 2: Tagesmittlere Leistungsabgabe der regenerativen Kraftwerke in Deutschland bei einem Ausbau im Jahr 2050 gemäß Tabelle 1

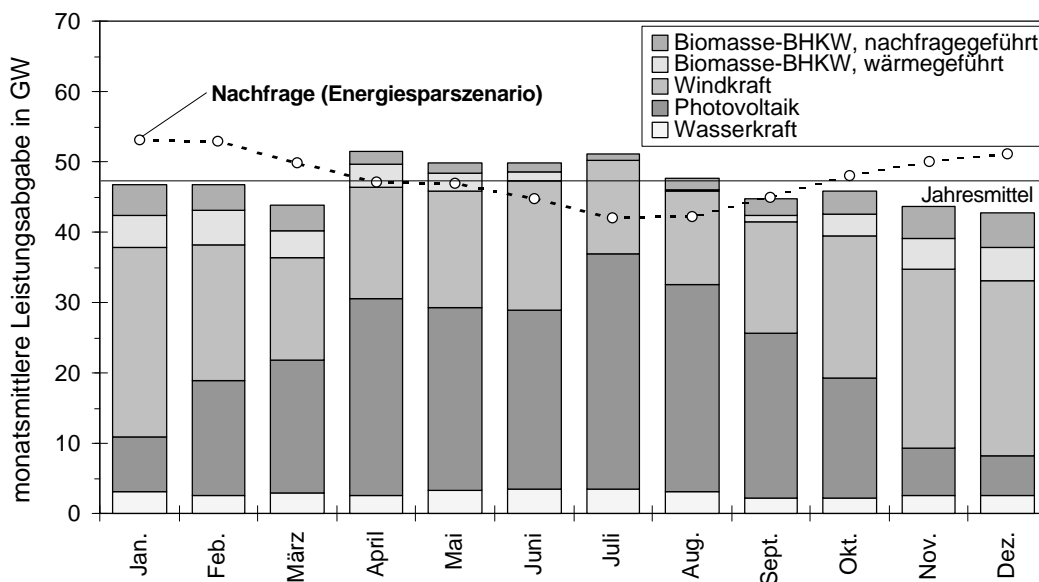


Bild 3: Monatsmittlere Leistungsabgabe der regenerativen Kraftwerke in Deutschland bei einem Ausbau im Jahr 2050 gemäß Tabelle 1

### Regenerativer Stromimport

Im Jahr 2020 kann der Anteil regenerativer Energien an der Stromerzeugung in Deutschland aufgrund noch zu schaffender Produktionskapazitäten je nach Verbrauchsentwicklung nur

zwischen 18 % und 28 % liegen. Bei Anteilen unter 30 % entstehen noch keine Überschüsse, für die zusätzliche Speicher notwendig werden. Bei einem Ausstieg aus der Kernenergienutzung sind Klimaschutzziele mit CO<sub>2</sub>-Reduktionen von 50 % bis zum Jahr 2020 gegenüber 1990 bei alleiniger Nutzung heimischer regenerativer Energien nicht einzuhalten. Eine baldige Erschließung der Möglichkeiten des Imports regenerativer z.B. aus solarthermischen Kraftwerken kann hierbei ein Ausweg sein.

Wird langfristig auf den Ausbau eines Teils der vollen Potenziale in Deutschland verzichtet und stattdessen Elektrizität aus regenerativen Kraftwerken in anderen europäischen Ländern oder Nordafrika importiert, lässt sich eine weitere Vergleichmäßigung der Leistungsabgabe erreichen. Um diesen Einfluss näher zu untersuchen, wurden sieben Kraftwerksstandorte für solarthermische Parabolrinnen-Kraftwerke im Mittelmeerraum ausgewählt. Deren Ertrag wurde mit Hilfe des Simulationsprogramms RENIPplan, das an vom DLR an der Plataforma Solar de Almería zur Simulation regenerativer Kraftwerke entwickelt wird, in stündlicher Auflösung simuliert.

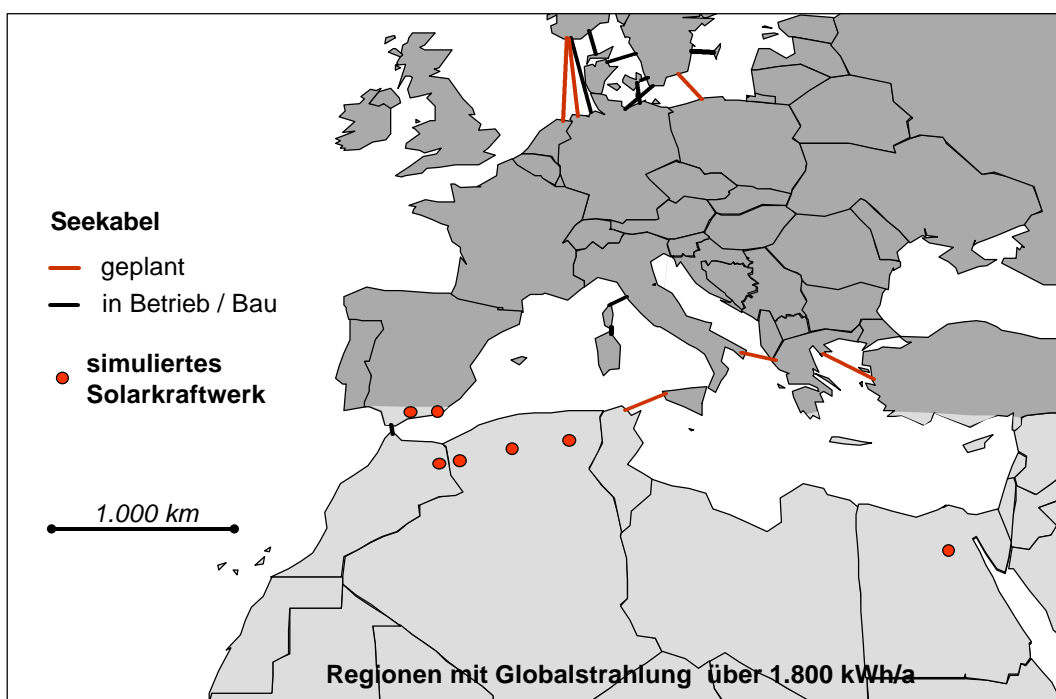


Bild 4: Simulierte Kraftwerksstandorte für solarthermischer Kraftwerke

Der Einfluss des Stromimport von solarthermischen Kraftwerken aus dem Mittelmeerraum auf die Erzeugung in Deutschland ist im Bild 5 dargestellt. Dieses zeigt analog zu Bild 3 die monatsmittlere Leistungsabgabe, wobei hier 60 % der Potenziale der Photovoltaik in Deutschland durch solarthermischen Stromimport ersetzt wurde. Der Speicherbedarf sinkt hierdurch um mehr als 50 %.

Neben der Reduzierung des Speicherbedarfs lassen sich durch solarthermischen Stromimport auch erhebliche Kostenreduktionen erreichen. Derzeit ist in Deutschland bei der Photovoltaik mit Stromgestehungskosten von 0,9 Euro/kWh zu rechnen. Bei Kostenreduktionen von 6 % pro Jahr fallen diese auf 0,25 Euro/kWh im Jahr 2020. Bei solarthermischen Kraftwerken liegen heute die Stromgestehungskosten für Mittelmeerstandorte bereits unter 0,20 Euro/kWh und können in 20 Jahren deutlich unter 0,10 Euro/kWh fallen. Während heute noch die Übertragungskosten auf der Höchstspannungsebene etwa 0,02 bis 0,03 Euro pro kWh und 1.000 km betragen, werden diese

durch Nutzung moderner Techniken wie Höchst-Gleichspannungs-Übertragung auf Werte um 0,01 Euro/kWh fallen.

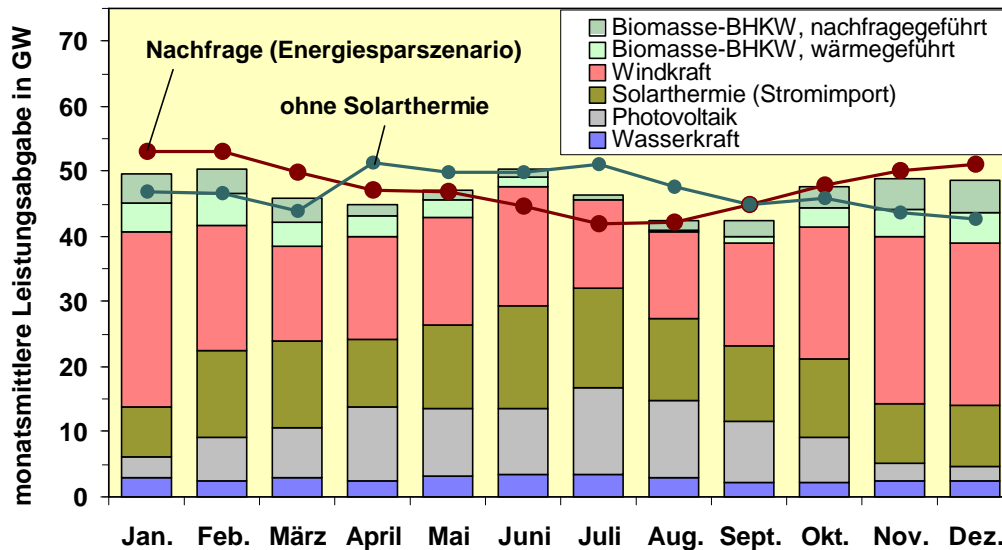


Bild 5: Monatsmittlere Leistungsabgabe der regenerativen Kraftwerke in Deutschland wie bei Bild 3, jedoch Ersatz von 60 % der Photovoltaikanlagen in Deutschland durch solarthermischen Stromimport aus Südeuropa und Nordafrika

## Fazit

Unter Einbeziehung der Möglichkeiten des Stromimports aus regenerativen Energien wie solarthermischen Kraftwerke ist eine Elektrizitätsversorgung in Deutschland weitgehend auf Basis regenerativer Energien zu realisieren. Langfristig entsteht dabei ein Bedarf an zusätzlichen Speicherkapazitäten, der jedoch durch eine Kombination sich ergänzender regenerativer Energien und einen entsprechenden regenerativen Stromimport minimiert werden kann. Im Hinblick auf die zu realisierenden Klimaschutzmaßnahmen sollte der Ausbau der Nutzung regenerativer Energien in Deutschland weiter forciert und die Möglichkeiten eines regenerativen Stromimports aus neu zu errichtenden Kraftwerken z.B. im Mittelmeerraum erschlossen werden.

## Literatur

- Quaschnig, Volker: Systemtechnik einer klimaverträglichen Elektrizitätsversorgung für Deutschland im 21. Jahrhundert. Düsseldorf : VDI Verlag (in Vorbereitung)
- Quaschnig, V.; Hanitsch, R.: Lastmanagement einer zukünftigen Energieversorgung. *BWK* (Springer-VDI-Verlag) Bd. 51 (1999), Nr. 10, S. 64-67.
- Quaschnig, V.; Hanitsch, R.: Klimaschutz beim Wort genommen. *Sonnenenergie & Wärmetechnik* 5/99, S. 12-15.
- Pilkington Solar International (Hrsg.): *Statusbericht Solarthermische Kraftwerke*. Köln: Flabeg Solar 1996, ISBN 3-9804901-1-4.
- DGS (Hrsg.): Schwerpunkt solarthermische Kraftwerke. In: *Sonnenenergie* Heft 3/1998.
- Quaschnig, Volker: *Regenerative Energiesysteme*. Carl Hanser Verlag München, 2. Auflage 1999, ISBN 3-446-21340-6.