



DEUTSCHE FORSCHUNGSANSTALT FÜR
LUFT- UND RAUMFAHRT E.V. (DLR)

SOLARTHERMISCHE KRAFTWERKE FÜR DEN MITTELMEERRAUM

Band 1:
Gesamtübersicht, Marktpotential und CO₂-Reduktion

Herausgeber: H. Klaiß, F. Staiß

Springer-Verlag Berlin Heidelberg New York
London Paris Tokyo Hongkong Barcelona Budapest 1992

Dr.-Ing., Dipl.-kfm. Helmut Klaiß

Deutsche Forschungsanstalt für Luft- und Raumfahrt e.V. (DLR),
Studiengruppe Energiesysteme, Stuttgart

Dipl.-Wirtsch.-Ing. Frithjof Staiß

Zentrum für Sonnenenergie- und Wasserstoff-Forschung (ZSW), Stuttgart

ISBN-13: 978-3-540-55664-0

e-ISBN-13: 978-3-642-84798-1

DOI: 10.1007/978-3-642-84798-1

This work is subject to copyright. All rights are reserved, whether the whole or part of the material is concerned, specifically the rights of translation, reprinting, reuse of illustrations, recitation, broadcasting, reproduction on microfilms or in other ways, and storage in data banks. Duplication of this publication or parts thereof is only permitted under the provisions of the German Copyright Law of September 9, 1965, in its version of June 24, 1985, and a copyright fee must always be paid. Violations fall under the prosecution act to the German Copyright Law.

© Springer-Verlag Berlin Heidelberg 1992

Softcover reprint of the hardcover 1st edition 1992

The use of registered names, trademarks, etc. in this publication does not imply, even in the absence of a specific statement, that such names are exempt from the relevant protective laws and regulations and therefore free for general use.

2362/3020–543210

Autoren

Band 1

Dr.-Ing. Dipl. Kfm. Helmut Klaiß*

Dipl.-Wirtsch.-Ing. Frithjof Staiß***

unter Mitarbeit von:

Dr. Ing. J. Nitsch*

Band 2

Dipl.-Ing. Georg Hille*

Teil I

Dr.-Ing. Dipl. Kfm. Helmut Klaiß*

Teil III

Dipl.-Wirtsch.-Ing. Joachim Meyer*

Teil II

Dipl.-Phys. Wolfgang Schiel**

Teil V

Dipl.-Wirtsch.-Ing. Frithjof Staiß***

Teil IV,VI

Dipl.-Ing. Peter Wehowsky****

Teil V

unter Mitarbeit von:

Dr. rer. nat. Michael Kiera****

Dipl.-Ing. Axel Schweitzer**

Dipl.-Ing. (FH) Friedhelm Steinborn***

* Deutsche Forschungsanstalt für Luft- und Raumfahrt e. V., Stuttgart

** Büro Schlaich Bergermann und Partner, Stuttgart

*** Zentrum für Sonnenenergie- und Wasserstoff-Forschung Baden-Württemberg, Stuttgart und Ulm

**** Interatom GmbH, jetzt Siemens AG/KWU, Bergisch Gladbach

Vorwort

Die Notwendigkeit zukünftige Energieversorgungssysteme zu gestalten, die den Forderungen nach ökologischer und sozialer Verträglichkeit langfristig genügen, stellt die zentrale Herausforderung für die Weltenergiewirtschaft in den nächsten Jahren und Jahrzehnten dar.

Unumstritten ist dabei, daß es zur Lösung der globalen Klimaprobleme enormer Anstrengungen der hochindustrialisierten Staaten bedarf und es zu einer intensiven Kooperation mit den weniger entwickelten Ländern kommen muß.

Ebenso ist unumstritten, daß die erneuerbaren Energiequellen dazu deutlich höhere Beiträge leisten müssen, als dies heute der Fall ist.

Welche Energieträger und Energiesysteme in welchem Umfang in einem Land genutzt werden sollen, hängt vor allem von den vorhandenen Energieressourcen, dem Entwicklungsstand einer Technologie sowie den technischen, wirtschaftlichen, politischen und gesellschaftlichen Voraussetzungen und Möglichkeiten ab, diese Technologien in den jeweiligen Energiemarkt einzuführen. Sicher ist jedoch, daß es keine singuläre technische Einzellösung geben kann, sondern sich eine Vielzahl Systeme ergänzen müssen.

Das vorliegende Buch betrachtet vor diesem Hintergrund die technisch-ökonomischen Chancen solarthermischer Stromerzeugung mittels Parabolrinnen- und Solarturmkraftwerken sowie dezentraler Dish/Stirling-Systeme. Alle drei Konzepte haben in den vergangenen 10 Jahren in Demonstrationsvorhaben ihre technische Machbarkeit bewiesen. Kommerzielle Erfolge wurden bereits mit den in Kalifornien erstellten Parabolrinnenanlagen mit einer installierten Leistung von 350 MW_{e1} erzielt. In diesem Stadium der Technologieentwicklung gilt es, Märkte zu suchen und zu analysieren und die Technologien den Anforderungen der Nutzer anzupassen, um eine erfolgreiche Markteinführung bzw. Markterweiterung zu ermöglichen.

Die Untersuchung konzentriert sich auf die Potentiale solarthermischer Kraftwerke im Mittelmeerraum, der aus europäischer Sicht als Markt von besonderem Interesse ist. Darüberhinaus kann das Untersuchungsgebiet als exemplarisch für die einstrahlungsreichen Regionen der Erde betrachtet werden. Die Methodik und Vorgehensweise der Analyse läßt sich grundsätzlich auf andere sonnenreiche Gebiete übertragen, wenngleich die Ergebnisse und Folgerungen im Einzelfall unterschiedlich sein werden.

Eine wesentliche Zielsetzung des Buches liegt darin, aufbauend auf dem aktuellen technologischen Status und den weiteren Entwicklungsmöglichkeiten zu einer möglichst geschlossenen Darstellung solarthermischer Kraftwerke von der Technik bis zur Marktanalyse zu gelangen. Das Buch richtet sich daher an Energiewirtschaftler, Energieplaner, Energiepolitiker und all jene, die sich für innovative und umweltverträgliche Konzeptionen in der Energiewirtschaft im europäischen und internationalen Maßstab interessieren. Wir hoffen, daß der Leser bei über-

schaubarem Zeitaufwand in die Lage versetzt wird, die Chancen solarthermischer Stromerzeugungstechnologien einschätzen zu können, die nach unserer Auffassung eine vielversprechende Option für zukünftige Elektrizitätsversorgungssysteme in einstrahlungsreichen Regionen darstellt.

Um einerseits dem Anspruch gerecht zu werden, dem Leser das Thema in kompakter Form näher zu bringen, andererseits die Möglichkeit der Vertiefung der wesentlichen Einflußfaktoren auf das Marktpotential zu ermöglichen, wurde die Untersuchung in zwei Bände aufgeteilt:

Band 1 analysiert in verschiedenen Zeithorizonten (mittelfristig bis zum Jahr 2005 bzw. langfristig bis zum Jahr 2025) systematisch in komprimierter Form die meteorologischen, energiewirtschaftlichen und infrastrukturellen Randbedingungen und stellt sie der technisch-ökonomischen Leistungsfähigkeit der solaren Anlagen gegenüber. Die Quantifizierung möglicher solarer Stromerzeugungsanteile erfolgt in Form einer sog. Potentialkaskade, indem ausgehend von den meteorologischen Verhältnissen, sukzessive die weiteren Randbedingungen, wie die verfügbaren Flächen, die Stromnachfragestruktur und das technisch-wirtschaftliche Entwicklungspotential bei den Anlagen einbezogen wird. Da die Markteinführung solarthermischer Systeme nicht zuletzt von der Veränderung der bestehenden energiepolitischen Randbedingungen abhängt, werden in verschiedenen Szenarien denkbare energiepolitische Strategien berücksichtigt. Hieraus ergeben sich die möglichen CO₂-Reduktionspotentiale solarthermischer Stromerzeugung.

Um dem nicht deutschsprachigen Interessentenkreis an der Thematik entgegenzukommen, wurde Band 1 um eine ausführliche englische Zusammenfassung ergänzt.

Band 2 gliedert sich in sechs Teile und beschreibt das Vorgehen zur Bestimmung und Ableitung der wichtigsten Randbedingungen, die die notwendige Voraussetzung für die Potentialabschätzung in Band 1 darstellen:

- Rahmenbedingungen für die Energiewirtschaft*
- Solares Strahlungsangebot*
- Verfügbare Flächen*
- Laststrukturen*
- Technik und Stromgestehungskosten*
- Vergütungsstrukturen für Solarstrom*

Jeder Teil stellt eine in sich geschlossene Analyse dar und dokumentiert darüberhinaus in aufbereiteter Form das zusammengetragene Datenmaterial. Band 2 bietet damit die Möglichkeit wichtige Aspekte zu vertiefen und die der Auswertung zugrunde gelegte Methodik im einzelnen nachzuvollziehen.

Das Buch basiert auf einer Studie zum "Systemvergleich und Potential von solarthermischen Anlagen im Mittelmeerraum (PSTM)", die im Zeitraum von Herbst 1990 bis Herbst 1991 von den Institutionen

- *Deutsche Forschungsanstalt für Luft- und Raumfahrt e.V. (DLR), Stuttgart*
- *Interatom GmbH (jetzt Siemens AG/KWU), Bergisch Gladbach*
- *Büro Schlaich Bergermann & Partner, Stuttgart*
- *Zentrum für Sonnenenergie- und Wasserstoff-Forschung Baden-Württemberg (ZSW), Stuttgart*

unter Federführung des Fachgebietes Systemanalyse des ZSW (Studienleitung Dr. J. Nitsch) durchgeführt wurde. Die Studie war Teil der wissenschaftlichen Begleitung des Technologieforschungsprogramms "Solares Testzentrum Almeria (Spanien)", das vom Bundesminister für Forschung und Technologie getragen wird und von der Hauptabteilung Energietechnik der DLR Köln in Zusammenarbeit mit dem spanischen Betreiber der "Plataforma Solar de Almeria", dem Centro de Investigaciones Energeticas, Medioambientales y Technologicas (CIEMAT) durchgeführt wird.

Wir möchten an dieser Stelle allen Autoren und Beteiligten an der PSTM-Studie danken, ohne deren Bereitschaft und zusätzliches Engagement an der Überarbeitung der Themen die vorliegende Veröffentlichung nicht möglich gewesen wäre.

Unser Dank gilt auch den Institutionen und Unternehmen im In- und Ausland, die die Arbeit mit wichtigen Materialien und Fachkenntnissen unterstützt haben. Ausdrücklich genannt seien Herr R. Aringhoff von der Firma Flachglas Solartechnik, Köln sowie das Paul-Scherrer-Institut, Villingen (Schweiz).

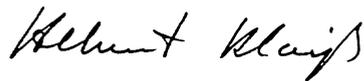
Wir danken den Herren Dr. M. Becker und W. Meinecke der Hauptabteilung Energietechnik der DLR Köln für die Unterstützung bei der Herausgabe des Buches. Insbesondere danken wir auch Frau U. Rachow, die uns alle organisatorischen Dinge abgenommen hat und Frau Giegerich für die englische Übersetzung.

Nicht zuletzt gilt der Dank allen Sekretärinnen und studentischen Hilfskräften, die unsere oftmals zeitraubenden Wünsche bei der Gestaltung der Texte und Graphiken mit viel Engagement und Geduld erledigt haben.

Stuttgart, September 1992



Frithjof Staiß



Helmut Klaiß

Inhaltsverzeichnis

Vorwort

1 Einleitung und Zielsetzung	1
2 Methodisches Vorgehen	3
3 Grundlagen der Potentialermittlung	9
3.1 Rahmenbedingungen für die Energiewirtschaft	9
3.1.1 Übersicht	9
3.1.2 Demographische Rahmendaten	11
3.1.3 Wirtschaftliche Rahmendaten	12
3.1.4 Primärenergie	13
3.1.5 Elektrizität	15
3.1.6 Nord-Süd-Vergleich für ausgewählte Daten	25
3.1.7 Mittelwertevergleich solargeeigneter/aller Länder	26
3.2 Solares Strahlungsangebot	28
3.2.1 Übersicht	28
3.2.2 Statistische Auswertung der Strahlungsdaten	29
3.2.3 Ableitung repräsentativer Strahlungsdaten	34
3.3 Verfügbare Flächen	38
3.3.1 Übersicht	38
3.3.2 Bezugsflächen	39
3.3.3 Langfristig zur Verfügung stehende Flächen	39
3.3.4 Kurz- bis mittelfristig zur Verfügung stehende Flächen	40
3.3.5 Nord-Süd-Vergleich	43
3.3.6 Verfügbare Flächen für dezentrale Systeme	44
3.4 Laststrukturen	45
3.4.1 Übersicht	45
3.4.2 Zentrale Elektrizitätsversorgungssysteme	45
3.4.3 Dezentrale Elektrizitätsversorgungssysteme	53
3.5 Technik und Stromgestehungskosten	57
3.5.1 Übersicht	57
3.5.2 Stromerzeugungskosten solarthermischer Anlagen	60
3.5.3 Stromerzeugungskosten konventioneller Vergleichskraftwerke	64
3.5.4 Vergleich solarthermischer mit konventionellen Anlagen	66
3.6 Vergütungsstrukturen für Solarstrom	68
3.6.1 Übersicht	68
3.6.2 Analyse vorhandener Vergütungs- und Tarifstrukturen	68
3.6.3 Ableitung von zeitvariablen, linearen Vergütungsstrukturen anhand repräsentativer Laststrukturen	72
3.6.4 Erzielbare Erlöse solarthermischer Anlagen	73

4 Potentialermittlung	79
4.1 Übersicht	79
4.2 Theoretisches Potential	80
4.3 Angebotspotential	83
4.4 Technisches Potential	87
4.5 Wirtschaftliches Potential	91
4.6 Zusammenfassung der Potentialabschätzung	95
5 Markteinführung solarthermischer Kraftwerke im Mittelmeerraum	97
5.1 Ausschöpfungspotentiale	97
5.2 Beitrag solarthermischer Stromerzeugung zur Verminderung der CO ₂ -Emissionen im Mittelmeerraum	101
6 Schlußfolgerungen und Empfehlungen an die Energiepolitik	104
7 Anstelle einer Zusammenfassung: An Augmented English Summary	109
8 Ausgewählte Literatur	141