

Standörtlich und meßtechnisch bedingte Abweichungen von Meßergebnissen verschiedener Stationen

Übertragbare Strahlungsdaten?

Bei solartechnischen Anwendungen in der Forschung und in der Praxis stellt sich häufig die Frage, ob die Strahlungsdaten des *Deutschen Wetterdienstes (DWD)* oder an einem bestimmten Standort ermittelte Strahlungswerte auf in der Umgebung installierte Anlagen übertragbar sind. Zur Beantwortung dieser Frage wurden die an zwei verschiedenen Standorten ermittelten Meßwerte der globalen Horizontalstrahlung untereinander und mit den Werten vom *DWD Potsdam* verglichen. Grundlage des Vergleichs waren Meßdaten der Strahlungsleistungsdichte der Globalstrahlung für das Jahr 1995, wobei Monats- und Tagessummen der Strahlungsenergie-dichte und zeitliche Verläufe der Strahlungsleistungsdichte ausgewertet wurden.

Im *Institut für Agrartechnik Bornim (ATB)* und an der *Universität Potsdam* wird im Rahmen von Forschungsprojekten zur Solarenergienutzung die Globalstrahlung ständig meßtechnisch erfaßt. Die Meßstation der *Universität Potsdam* ist Bestandteil einer Photovoltaik-Versuchsanlage und befindet sich in Potsdam-Eiche (im folgenden kurz Eiche genannt). Die Meßstation des *Instituts für Agrartechnik Bornim* war während des betrachteten Zeitraums auf einem Versuchsfeld des Instituts in Potsdam-Bornim (im folgenden kurz Bornim genannt) installiert.

Beide Standorte befinden sich am Stadtrand von Potsdam. Bornim liegt ca. 5 km nördlich von Eiche. An beiden Standorten wurde die solare Strahlungsleistungsdichte der Horizontalstrahlung gemessen. Die Strahlungsmeßstelle des *DWD Potsdam* befindet sich südlich von Potsdam. Die Entfernung zur Meßstation der *Universität Potsdam* beträgt ca. 7 km, zum Standort der Versuchsanlage in Bornim ca. 10 km Luftlinie (Abb. 1).

In der in Eiche gelegenen Meßstation der *Universität Potsdam* wird zur Strahlungsmessung ein kalibriertes Silizium-Element der Firma *Matrix (USA)* Modell MK 1-G verwendet. Die Kalibrierung wurde durch den Hersteller vorgenommen (Kalibrierung bei 1.000 W/m^2). Als Referenzelement dienen Thermosäulen (Pyranometer und Pyrhelimeter).

Erfaßt wird der Momentanwert der Strahlungsleistungsdichte in W/m^2 . Alle 4 Minuten wird der Momentanwert mit anderen Meßdaten der Versuchsanlage in einem PC abgespeichert.



Abb. 1: Lage der Meßstationen

An der Anlage des *Instituts für Agrartechnik Bornim* kommt ein Pyranometer der Firma *Thies CLIMA* Typ CM 11 mit einem Spektralbereich von $0,335 \mu\text{m}$ bis $2,200 \mu\text{m}$ (95 %), $0,305 \mu\text{m}$ bis $2,800 \mu\text{m}$ (50 %) zum Einsatz. Die Meßwertspeicherung erfolgt mit einem DATA-Logger. Erfaßt wird die Strahlungsleistungsdichte in W/m^2 als Mittelwert über 10 Minuten bei einer Abtastzeit von einer Minute.

Aus der Strahlungsleistungsdichte wurde die Tagesenergiesumme wie folgt ermittelt:

$$\text{Eiche: } WT = \sum (P_m \cdot 4 \text{ min}) \quad (1)$$

$$\text{Bornim: } WT = \sum (PM \cdot 10 \text{ min}) \quad (2)$$

WT - Tagesstrahlungsenergiesumme (0 bis 24 Uhr)

P_m - Strahlungsleistungsdichte (Momentanwert)

PM - Strahlungsleistungsdichte (10Min.-Mittelwert)

Aus den Tagessummen wurden Monatssummen gebildet, die allerdings teilweise durch Datenlücken unvollständig und daher nicht in vollem Maße aussagefähig sind.

Monats- und Tagessummen der Globalstrahlung

Die Monatssummen der Globalstrahlung können aus den veröffentlichten Strahlungswetterberichten des *DWD* [1] für die angegebenen Standorte ermittelt

werden. Für den Vergleich sind die Werte von Potsdam interessant, außerdem wurden die Werte von Berlin-Dahlem, als einem in der Nähe gelegenen Standort, mit einbezogen (Tab. 1).

Der Vergleich der Werte zeigt, daß die Strahlungsmeßdaten aus Bornim im Mittel 10 % (ohne Berücksichtigung des Monats Januar 6 %) und die Werte aus Eiche 20 % unter denen des *DWD* in Potsdam liegen. Eine bessere Übereinstimmung der in Eiche und Bornim gemessenen Werte ergibt sich bei einem Vergleich mit den für Berlin-Dahlem angegebenen Strahlungswerten. Die Abweichungen liegen bei 7 % für Bornim (ohne Berücksichtigung des Monats Januar 2 %) und bei 14 % für Eiche. Die Ursachen für die Abweichung der Meßdaten von Eiche werden in der nachfolgenden Auswertung deutlich.

Die hohen Werte des *DWD Potsdam* sind zum einen in der günstigen Lage der Meßstation und zum anderen in der größeren Genauigkeit der verwendeten Meßapparaturen begründet. Die Strahlungsmessung erfolgt auf einer Bergkuppe mit freiem Horizont. Der *DWD* arbeitet mit hochgenauen Pyranometern, die einer regelmäßigen Reinigung und Kontrolle unterliegen. Die Erfassung der Strahlung erfolgt mit mehreren Geräten gleichzeitig, so daß Datenfehler bzw. Datenverluste ausgeglichen werden können. Damit liegt die Genauigkeit der Messung bei ca. +2 %. Für die Meßapparaturen der *Universität Potsdam* und des *ATB* muß ein Fehler von 15 % angenommen werden [2]. Die Auswertung der Meßdaten zeigt, daß die aus den Strahlungsdaten von Bornim ermittelten Monatssummen der Globalstrahlung im Rahmen der Meßgenauigkeit mit den vom *DWD* veröffentlichten Werten übereinstimmen.

Bei dem Vergleich der in Bornim und Eiche gemessenen Tagessummen der Strahlungsenergie-dichten mit den Angaben vom *DWD Potsdam* wurden die Werte vom *DWD Potsdam* als Bezugsgröße mit 100 % angenommen. Tab. 2 zeigt die Monatsmittelwerte der Abweichungen der Tagessummen der Strahlungsenergie-dichte. Im Jahresdurchschnitt liegen die Werte für Bornim um 9 % und die für Eiche um 15 % unter denen vom *DWD Potsdam*. Betrachtet man die einzelnen Monate, kann man feststellen, daß in den strahlungsarmen Monaten die Abweichungen größer sind als in den strahlungsreichen.

Monatssummen der Globalstrahlung in kWh/m²

Monat	Potsdam	Berlin	Bornim	Eiche
Januar	20	20	11	
Februar	35	33	31	30
März	78	73	68	
April		104	102	
Mai	159	152		137
Juni		137		
Juli	191	187	184	160
August	158	149	149	133
September	84	80	79	
Oktober	61	59	57	52
November	25	25	25	
Dezember	12	12	12	9

Tab. 1: Vergleich der Globalstrahlungsdaten von unterschiedlichen Meßstationen einer Region (1995)

Verhältnis der mittleren Tagessummen

Monat	Bornim/DWD (DWD 1,0)	Eiche/DWD (DWD 1,0)	Eiche/Bornim (Bornim 1,0)
Januar	0,60	0,74	1,66
Februar	0,92	0,87	0,95
März	0,88	0,86	0,98
April	0,92	0,90	0,99
Mai	0,85	0,87	1,05
Juni	0,96	0,85	0,89
Juli	0,96	0,84	0,87
August	0,94	0,85	0,90
September	0,96	0,91	0,95
Oktober	0,94	0,86	0,91
November	0,96	0,82	0,86
Dezember	0,99	0,81	0,83
Jahresmittel	0,91	0,85	0,99

Tab. 2: Verhältnis der mittleren Tagessummen der Globalstrahlung unterschiedlicher Meßstationen (1995)

Ein Vergleich von Bornim und Eiche zeigt, daß die Tagessummen der Globalstrahlung am Standort Bornim im Durchschnitt höher als am Standort Eiche sind. Für diesen Vergleich wurden die Daten vom Standort Bornim mit 100 % angesetzt.

Im Jahresdurchschnitt liegen die Werte für Eiche ca. 1 % unter denen von Bornim. Die Monatsmittelwerte weichen in Extremfällen um +66 % (Januar) und -17 % (Dezember) voneinander ab. Das zeigt, daß sich in den strahlungsarmen Monaten (Einstrahlung kleiner als 1 W/m²) größere Probleme ergeben. Für den Monat November beträgt die Abweichung 14 %, auch hier liegt die Einstrahlung im wesentlichen unter 1 W/m².

Die Analyse der dem Trend widersprechenden Werte in den Monaten Januar und Mai ergab eine Bedeckung des Strahlungssensors in Bornim mit Schnee für mehrere Tage im Januar und eine starke Verschmutzung durch Blütenstaub im Mai. In den Sommermonaten mit hoher Einstrahlung (Juni bis August) liegt die mittlere Abweichung zwischen den Tagesenergiesummen für beide Standorte bei 10 % bis 13 %. Die beste Übereinstimmung ergibt sich in Monaten mit mittlerer Einstrahlung (z. B. März, April, September). Hier liegen die durchschnittlichen Abweichungen bei maximal 5 %. Auf die Ursachen wird im folgenden Abschnitt eingegangen.

Nimmt man für beide Meßsysteme eine Genauigkeit von +15 % an (keine

häufige Kalibrierung) /2/, liegen die ermittelten Abweichungen (mit Ausnahme vom Januar) im Bereich des angegebenen Meßfehlers.

Betrachtet man einzelne Tage und vergleicht die Tagesenergiesummen, bestätigen sich die Trends aus den Monatsdurchschnittswerten. An Tagen mit relativ hoher Einstrahlung sind die Strahlungswerte für Bornim immer etwas größer als die von Eiche. Die Abweichung beträgt bis zu 15 %. An Tagen mit relativ geringer Einstrahlung ergeben sich dagegen auch größere Werte für Eiche bzw. gleich große Werte für beide Standorte. Abb. 2 zeigt als Beispiel die Tagesenergiesummen für den Monat März für Bornim, Eiche und den DWD Potsdam.

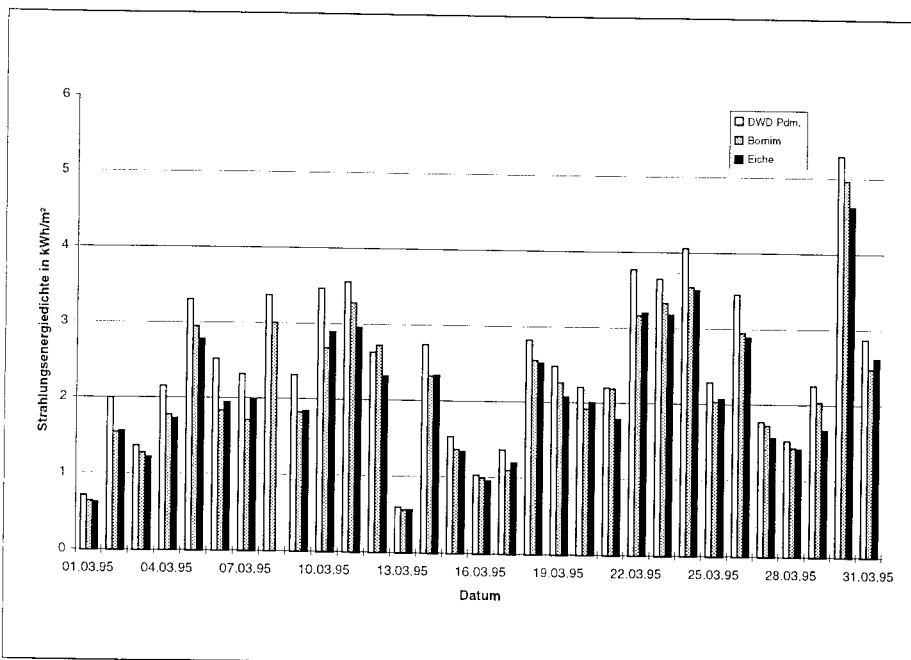


Abb. 2: Tagesenergiesummen der drei Meßstationen im März 1995

Zeitliche Verläufe der Strahlungsleistungsdichte

Die Verläufe der Strahlungsleistungsdichte zeigen eine gute Übereinstimmung. An Tagen mit ausgeprägtem Wolkenzug kann man zeitliche Verzögerungen (einzelne Wolken bzw. Wolkenfronten) gut erkennen. Da Bornim nördlich von Eiche liegt, ergeben sich bei den relativ häufig vorherrschenden westlichen und östlichen Windrichtungen parallele Wolkenverschiebungen für beide Standorte und damit gleiche zeitliche Verläufe für die Strahlungsleistungsdichte (Abb. 3). Weht der Wind aus Norden oder Süden ergibt sich eine zeitliche Verschiebung der Verläufe (Abb. 4). Gleiche Verläufe ergeben sich auch bei Auflösung von Dunst oder Frühnebel oder zunehmender Wolken- bzw. Dunstschleierbildung im Laufe des Tages.

Neben den aufstellungs-, witterungs- und gerätetechnisch bedingten Unter-

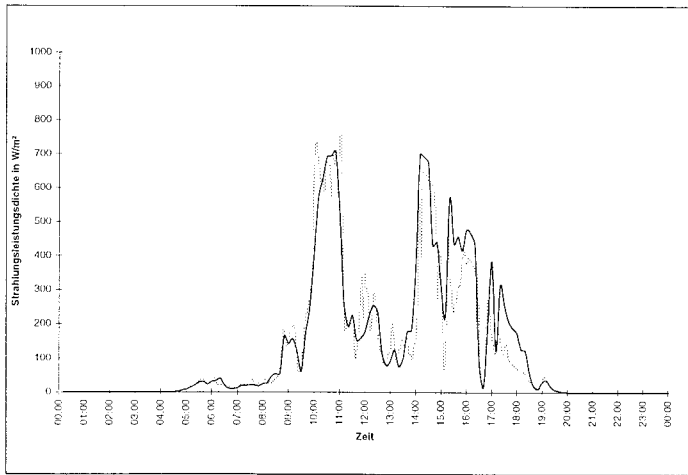


Abb. 3: Zeitlicher Verlauf der am 8. Mai 1995 in den Meßstationen Eiche und Bornim gemessenen Strahlungsleistungsdichten
Graue Kurve: Station Eiche; Schwarze Kurve: Station Bornim

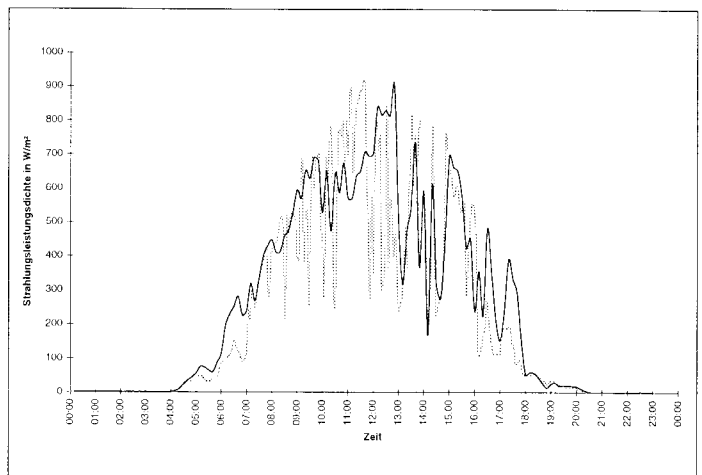


Abb. 4: Zeitlicher Verlauf der am 17. 07 1995 in den Meßstationen Eiche und Bornim gemessenen Strahlungsleistungsdichten
Graue Kurve: Station Eiche; Schwarze Kurve: Station Bornim

schieden der ermittelten Strahlungswerte ergeben sich auch Unterschiede, die durch die Erfassung der Meßwerte bedingt sind. In Eiche wird alle 4 Minuten ein Momentanwert erfaßt. Veränderungen z. B. bei Wolkenzug werden bei der Aufzeichnung der zeitlichen Verläufe der Strahlungsleistungsdichte deutlicher als in Bornim. Für die Ermittlung der Strahlungsenergie wird der Momentanwert als 4-Minuten-Mittelwert angenommen. Daraus können sich bei den Tagessummen größere Fehler ergeben, als bei der Verwendung realer Mittelwerte.

Am Standort Bornim wird ein 10-Minuten-Mittelwert abgespeichert. Daher zeigen die zeitlichen Verläufe der Strahlungsleistungsdichte ein integraleres Verhalten als die Darstellungen für Eiche. Für Bornim ergibt sich ein nahezu ausgeglichener zeitlicher Verlauf mit sich kontinuierlich ändernden Strahlungswerten. Am zeitlichen Verlauf der Strahlungsmeßwerte für Eiche zeigen sich ausgeprägte Minima, die offensichtlich durch einzelne Wolken verursacht werden.

Neben der beschriebenen Meßwerterfassung und -speicherung trägt auch das unterschiedliche dynamische Verhalten der eingesetzten Strahlungssensoren zu den beschriebenen Effekten bei. Pyranometer sind aufgrund ihres thermischen Wirkprinzips träge. Man muß mit Einstellzeiten von 20 s rechnen. Silizium-Detektoren reagieren sofort auf Änderungen der Einstrahlung.

Die Ursachen für die prinzipiell höheren Meßwerte in Bornim sind:

- Eine Abschattung des Strahlungssensors in Eiche in den Morgenstunden (vor 7.00 Uhr) und in den Abendstunden (nach 17.00 Uhr) vor allem in den Sommermonaten Mai bis August, die sich besonders bei hohen Einstrahlungen bemerkbar macht. Im Winterhalbjahr sind die Auswirkungen geringer.

- Bei hohen Einstrahlungen zeigt der Sensor in Bornim prinzipiell um ca. 5 % höhere Werte. Eine nachträgliche Überprüfung des in Eiche verwendeten Silizium-Detektors ergab, daß diese Abweichungen offenbar auf fehlerhafte Angaben des Herstellers für den Kalibrierfaktor zurückzuführen sind.

Wichtig für eine korrekte Strahlungsmessung sind ein freier Horizont und die Vermeidung von Abschattungen durch Objekte in der Umgebung. Diese Forderungen sind am Standort Bornim besser erfüllt als am Standort Eiche.

Zusammenfassung und Schlußfolgerungen

Die Auswertung der Strahlungsdaten der drei untersuchten Meßstationen in der Umgebung Potsdams zeigt, daß sich die Abweichungen mit 9 % bzw. 15 % in Grenzen halten. Bei den relativ geringen räumlichen Entfernungen zwischen den Meßstationen (maximal 10 km) resultieren die Abweichungen in erster Linie aus aufstellungsbedingten Unterschieden (Höhe, Horizontfreiheit, Abschattung) und aus unterschiedlichen Wartungsintensitäten der Strahlungssensoren (Reinigung, Kalibrierung). Darüber hinaus führen selbstverständlich auch unterschiedliche Meßprinzipien zu Abweichungen zwischen Strahlungsdaten. Nachweislich können Fehler sogar durch falsch angegebene Kalibrierfaktoren verursacht werden.

Für die untersuchten Meßsysteme in Eiche und Bornim sind die ermittelten relativen Fehler im Mittel kleiner als die in der Literatur /2/ angegebenen +15 %. Nach der Beseitigung der in Eiche festgestellten Mängel, kann für beide Meßsysteme ein relativer Fehler von unter +5 % angenommen werden.

Zusammenfassend kann festgestellt werden, daß Solarstrahlungsdaten, die innerhalb einer begrenzten Region

(10 km) an unterschiedlichen Standorten gemessen wurden, in der Regel übertragbar sind.

Die im Raum Potsdam ermittelten Abweichungen liegen im Bereich der Meßgenauigkeit. Witterungsbedingte Unterschiede ergeben keine wesentlichen Auswirkungen auf die Ergebnisse bei der Ermittlung der Monats- und Tagessummen. Die zeitlichen Verläufe der Strahlungsleistungsdichte zeigen für die untersuchten Standorte überraschend gute Übereinstimmungen.

Für eine korrekte Messung der Solarstrahlung ist die Auswahl eines optimalen Standortes für die Meßeinrichtung entscheidend. Abschattungen durch Objekte wie Bäume, Masten, Gebäude, müssen auch bei niedrigem Sonnenstand unbedingt vermieden werden. Außerdem ist auf einen möglichst freien Horizont zu achten. Die Kalotte des Sensors sollte regelmäßig gereinigt werden. Im Winterhalbjahr sind gegebenenfalls Schnee, Reif oder Eis zu entfernen. Darüberhinaus empfiehlt es sich, eine tägliche, zumindest visuelle Kontrolle des Sensors vorzunehmen.

Hans Sträßner, Angelika Liermann,
Volkhart Scholz

Literatur

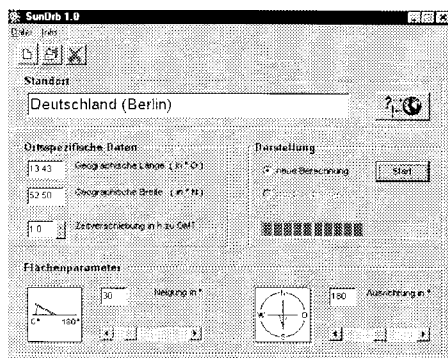
- /1/ „Strahlungswetterbericht“, SE 5/95, 3/96
- /2/ Khartchenko, N. V.: „Thermische Solaranlagen“, Springer-Verlag 1995

Über die Autoren:

Prof. Dr. habil. Hans Sträßner ist Leiter der Abt. Berufliche Fachrichtung Elektrotechnik/Energietechnik am Institut für Berufspädagogik der Universität Potsdam. Dr.-Ing. Angelika Liermann ist dort wissenschaftliche Mitarbeiterin. Dr.-Ing. Volkhart Scholz ist wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Agrartechnik Bornim e.V., Abt. Lagerung, Aufbereitung und Konservierung.

SunOrb 1.0

Sonnenstandsdiagramme können als Planungshilfe bei der Projektierung solar-technischer Anlagen, aber auch in der Entwurfsphase von Gebäuden zur Beurteilung der Beleuchtungs- und Bestrahlungssituation herangezogen werden.



Durch stereographische Projektion abschattender Projekte aus der Umgebung auf ein entsprechendes Sonnenstandsdiagramm können auch die standortspezifischen Besonnungsverhältnisse ermittelt werden, wobei zu berücksichtigen ist, daß eine energetische Bewertung von

Abschattungseffekten nicht möglich ist. Neben der Darstellung von Sonnenstandsdiagrammen bietet SunOrb 1.0 folgende Möglichkeiten:

- Minutengenaue Ermittlung von Sonnenständen bezüglich der eingestellten Fläche,
- Ermittlung der Sonnenauf- und -untergänge sowie der Tageslänge,
- Ortsdatenbank verschiedener Standorte weltweit (beliebig erweiterbar),
- Speichern sowie Wiederherstellen einmal berechneter und bearbeiteter Diagramme,
- Ausdrucken der dargestellten Diagramme.

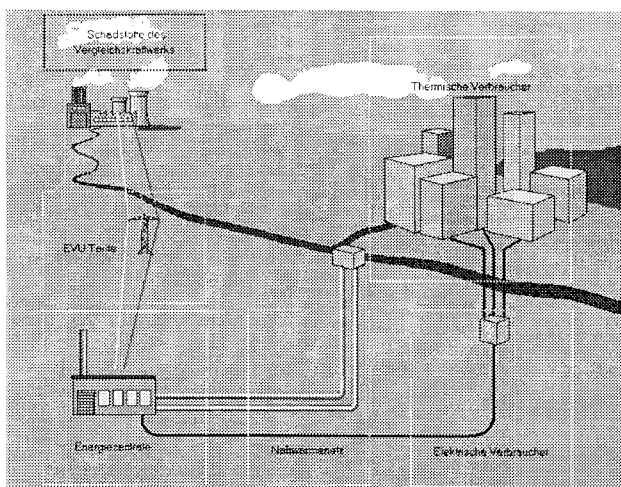
Nutzerprofil: Planer

Systemanforderungen: Windows 95; Bildschirmauflösung von 600 x 800 Pixel oder höher; 3,6 MB freier Festplattenspeicher, Postscript-Drucker Klasse 2 oder höher für Ausdrücke über Postscript
Preis: ca. 50 DM

Bezugsadresse: Ruhr-Universität Bochum, Lehrstuhl für Nukleare und Neue Energiesysteme, Prof. Dr.-Ing. H. Hunger, Universitätsstraße 150, 44780 Bochum, Tel.:0234/700-6046

COPRA

Das WINDOWSTM-Simulationsprogramm COPRA wurde vom *Ingenieurbüro Dr. Valentin* zur schnellen und komfortablen Auslegung und Wirtschaftlichkeitsberechnung von dezentralen Energieversorgungsanlagen mit und ohne Blockheizkraftwerk entwickelt.



Bei der Simulation können bis zu vier elektrische und bis zu vier thermische Energieverbrauchsgruppen mit jeweils unterschiedlichen Tarifen definiert werden. Die benötigte Heizenergie zur Gebäudeheizung wird nach Eingabe der Heizlast anhand stündlicher Werte der Sonneneinstrahlung und der Außentemperatur ermittelt. Das Energieversor-

gungssystem beinhaltet ein variabel definierbares Nahwärmenetz. Die wirtschaftliche Optimierung der Anlage und die Ermittlung der Einspeisesolleistung ist durch die Einbeziehung der Strom- und Brennstofftarife sowie der Wärmeverkaufspreise möglich.

Die dynamische Wirtschaftlichkeitsberechnung nach der Annuitätenmethode entsprechend der neuen VDI 6025 erleichtert dabei das Ermitteln des wirtschaftlichen Optimums.

Besonderes Augenmerk verdient neben der Bedienerfreundlichkeit die für Analyse- und Präsentationszwecke ideale Grafikausgabe des Programms. Eine schnelle Angebotserstellung für Anlagenbauer und Wärmelieferanten ist ebenso möglich wie die Ermittlung von Investitions- und Betriebskosten.

Nutzerprofil: Ingenieurbüros, Energieversorgungsunternehmen, Betreibergesellschaften

Systemanforderungen: keine Angaben

Preis: kostenlose Demoversion

Bezugsadresse: Unter „Innovative Ingenieur-Software“ bei Ingenieurbüro Dr.-Ing. G. Valentin; Köpenicker Straße 9; 10997 Berlin; Tel.: 030/617917-80

Datenbank Energie

Die CD-ROM „Erneuerbare Energien“, ein Auszug der STN-ONLINE-Datenbank, erleichtert den schnellen Zugang zur relevanten Literatur. Die Nutzer können sich, geführt durch eine benutzerfreundliche Oberfläche blitzschnell einen Literaturüberblick verschaffen und nach Begriffen, Institutionen, Quellen, Verfassern usw. suchen. Präzise Abstracts geben den Inhalt der Literatur in Kurzform wieder und erleichtern die Auswahl. Die Quellen sind zu 50 % Artikel aus Fachzeitschriften, 25 % graue (d.h. nicht im Buchhandel erhältliche) Literatur und 13 % Buchpublikationen.



Nutzerprofil: Fachleute aus Forschung und Wirtschaft, Planer, Architekten, Entscheider, aber auch interessierte Laien

Systemanforderungen: PC mit mindestens Windows 3.x™; 8 MB RAM und CD-ROM-4-fach-Speed-Laufwerk; Bildschirmauflösung mindestens 800 x 600 Pixel

Preis: 99 DM

Bezugsadresse: Fachinformationszentrum Karlsruhe PROKA; Herrn Gerhard König; 76344 Eggenstein-Leopoldshafen; Tel.: 07247/808-240

BHKW-Plan

Dieses Programm ermöglicht dem Planer, mit geringem Zeitaufwand eine belastbare Aussage zur Wirtschaftlichkeit von Blockheizkraftwerken zu geben. Seit August 1997 ist die Demoversion des Programms erhältlich. Sie erlaubt dem Nutzer einen ausführlichen Test, da nur wenige Einschränkungen gegenüber der Vollversion vorhanden sind.

BHKW-Plan berechnet unter Berücksichtigung von Wetterdaten den Wärmebedarf und Netzverlust der zu versorgenden Objekte. Neben einer vollständigen Kostenaufstellung wird erstmals eine detaillierte Analyse der erzielbaren Erlöse für unterschiedliche Tarifzeiten möglich.

Nutzerprofil: Planer

Systemanforderungen: 486er Prozessor, 16 MB Arbeitsspeicher, 40 MB freier Festplattenspeicher, Windows 3.1 mit Excel 5.0 oder Windows 95 mit Excel 7.0

Preis: 50 DM für die Demoversion; der Kaufpreis der Demoversion wird beim Kauf der Vollversion angerechnet

Bezugsadresse: alpha & omega Verlag (ISBN 3-927656-07-0)/Buchhandel