

PROJEKT:

PLANUNG EINER PHOTOVOLTAIK-ANLAGE

STUDIENGANG:

UMWELTTECHNIK / REGENERATIVE ENERGIEN

STUDIENFACH:

ANLAGENPLANUNG

SEMESTER:

D6UT

...

S...

...

S...

DATUM:

09. JULI 2000

# 1 Inhaltsverzeichnis

|          |  |          |
|----------|--|----------|
| <b>1</b> | <b><u>INHALTSVERZEICHNIS</u></b>             | <b>1</b> |
| <b>2</b> | <b><u>AUFGABE</u></b>                        | <b>3</b> |
| <b>3</b> | <b><u>EINFÜHRUNG</u></b>                     | <b>4</b> |
| <b>4</b> | <b><u>OBJEKTBSCHREIBUNG</u></b>              | <b>5</b> |
| <b>5</b> | <b><u>VORGABEN FÜR DIE PLANUNG</u></b>       | <b>6</b> |
| 5.1      | ANGABEN DES KUNDEN                           | 6        |
| 5.2      | VORGESCHLAGENE GERÄTE                        | 6        |
| 5.2.1    | MODULE                                       | 6        |
| 5.2.2    | WECHSELRICHTER                               | 6        |
| <b>6</b> | <b><u>BERECHNUNGEN</u></b>                   | <b>8</b> |
| 6.1      | WESTAUSRICHTUNG                              | 8        |
| 6.1.1    | KORRIGIERTE GLOBALSTRAHLUNG PRO TAG UND JAHR | 8        |
| 6.1.2    | ERTRAG DES SOLARGENERATORS                   | 8        |
| 6.1.3    | ENERGIEABGABE DES SOLARGENERATORS            | 9        |
| 6.1.4    | ERTRAG AM AUSGANG DES WECHSELRICHTERS        | 9        |
| 6.1.5    | LEITUNGSQUERSCHNITTE                         | 9        |
| 6.2      | SÜDAUSRICHTUNG                               | 10       |
| 6.2.1    | KORRIGIERTE GLOBALSTRAHLUNG PRO TAG UND JAHR | 10       |
| 6.2.2    | ERTRAG DES SOLARGENERATORS                   | 10       |
| 6.2.3    | ENERGIEABGABE DES SOLARGENERATORS            | 11       |
| 6.2.4    | ERTRAG AM AUSGANG DES WECHSELRICHTERS        | 11       |
| 6.2.5    | LEITUNGSQUERSCHNITTE                         | 11       |
| 6.3      | ERGEBNISSE                                   | 12       |

|                  |   |           |
|------------------|---|-----------|
| <b><u>7</u></b>  | <b><u>WIRTSCHAFTLICHKEITSBETRACHTUNG</u></b>  | <b>13</b> |
| 7.1              | PREISE  | 13        |
| 7.2              | FÖRDERUNGSMÖGLICHKEITEN   | 14        |
| 7.2.1            | FÖRDERPROGRAMM "STADTWEITE EINZELMAßNAHMEN" (SWE)   | 14        |
| 7.2.2            | BEWAG-FÖRDERPROGRAMM "ENERGIE 2000"   | 14        |
| 7.2.3            | ERNEUERBARE ENERGIEN GESETZ (EEG)   | 14        |
| 7.2.4            | 100.000 DÄCHER-SOLARSTROMPROGRAMM IM RAHMEN DES KfW-PROGRAMMES ZUR CO <sub>2</sub> -MINDERUNG | 15        |
| 7.3              | INVESTITIONSFINANZIERUNG  | 15        |
| 7.4              | ERGEBNISSE  | 16        |
| <b><u>8</u></b>  | <b><u>ZUSAMMENFASSUNG</u></b>   | <b>17</b> |
| <b><u>9</u></b>  | <b><u>QUELLENVERZEICHNIS</u></b>  | <b>18</b> |
| <b><u>10</u></b> | <b><u>ANLAGEN</u></b>   | <b>19</b> |
| 10.1             | OBERSPREESTRAßE 22, LAGEPLAN  | 19        |
| 10.2             | OBERSPREESTRAßE 22, WESTANSICHT   | 19        |
| 10.3             | OBERSPREESTRAßE 22, NORDANSICHT   | 19        |
| 10.4             | OBERSPREESTRAßE 22, ÜBERSICHTSPLAN PV-ANLAGE  | 19        |
| 10.5             | TECHNISCHE DATEN PV-ANLAGE (WESTAUSRICHTUNG)  | 19        |
| 10.6             | SIMULATIONSERGEBNISSE ERTRAG PV-ANLAGE (WESTAUSRICHTUNG)                                      | 19        |
| 10.7             | TECHNISCHE DATEN PV-ANLAGE (SÜDAUSRICHTUNG)   | 19        |
| 10.8             | SIMULATIONSERGEBNISSE ERTRAG PV-ANLAGE (SÜDAUSRICHTUNG)                                       | 19        |
| 10.9             | WIRTSCHAFTLICHKEITSBETRACHTUNG (WESTAUSRICHTUNG)  | 19        |
| 10.10            | WIRTSCHAFTLICHKEITSBETRACHTUNG (SÜDAUSRICHTUNG)   | 19        |
| 10.11            | KYOCERA SOLARMODULE, TECHNISCHE DATEN   | 19        |

## 2 Aufgabe

Es soll eine Photovoltaikanlage für eine Doppelhaushälfte in Berlin geplant werden. Die Anlagengröße soll nach den baulichen Gegebenheiten des Standortes ausgelegt werden. Weiterhin soll eine Wirtschaftlichkeitsrechnung durchgeführt werden. Da die Dachausrichtung ungünstig ist (West-Ausrichtung), wird eine Vergleichsrechnung für die gleiche Anlage mit idealer Südausrichtung durchgeführt, um den Einfluss des Standortes auf den Ertrag zu verdeutlichen.

### 3 Einführung

Mit der Verabschiedung des Erneuerbare Energien Gesetzes am 25.02.2000 wurden neue gesetzliche Rahmenbedingungen für die Vergütung der Einspeisung von aus regenerativen Energiequellen erzeugtem Strom geschaffen. Substanzliche Verbesserungen ergaben sich für die Einspeisung von photovoltaisch erzeugtem Strom. Die öffentlichen Energieversorgungsunternehmen müssen privaten Kleinerzeugern bis zu einer installierten Leistung von 5 MW den in das öffentliche Netz eingespeisten Strom über 20 Jahre mit 0,99DM pro kWh vergüten. Diese Vergütung gilt für Neuanlagen, die bis zum 01.01.2002 errichtet werden. Danach ist eine jährliche Verringerung um 5% für Neuanlagen, die jeweils ab diesem Zeitpunkt errichtet werden, vorgesehen.

Zum zweiten wurde mit der Neuauflage des 100.000-Dächer-Programmes die Investitionsbedingungen für private Errichter von Photovoltaik-Anlagen erheblich verbessert. Gefördert wird die Errichtung und Erweiterung von Photovoltaikanlagen ab einer installierten Spitzenleistung von ca. 1 kWp. Dabei sind Investitionskosten einschließlich Wechselrichtern, Kosten für Messeinrichtungen sowie Montage- und Planungskosten in voller Höhe förderungsfähig. Die Förderung erfolgt durch die Vergabe von zinsgünstige Investitionsdarlehen für Privatpersonen durch die Kreditanstalt für Wiederaufbau (KfW).

Vor diesem Hintergrund kann auch für Standorte mit relativ ungünstigen Einstrahlungsbedingungen die Errichtung einer Photovoltaik-Anlage in Betracht gezogen werden. Am Beispiel eines vorhandenen Einfamilienhauses in Berlin soll eine Photovoltaik-Anlage ausgelegt werden. Weiterhin soll eine Ertrags- und Wirtschaftlichkeitsbetrachtung durchgeführt werden.

## 4 Objektbeschreibung

Die Planung der Photovoltaik-Anlage soll für das Objekt ... in Berlin durchgeführt werden. Es handelt sich um eine Doppelhaushälfte in einem Wohngebiet mit aufgelockerter Bebauung.

Die Photovoltaik-Anlage soll auf der Gaube des Schrägdaches installiert werden. Die verfügbare Fläche beträgt 3x4m, die Dachneigung 30°. Die vorgesehene Fläche ist nach Westen ausgerichtet. Eine südliche Ausrichtung der Anlage ist nicht möglich. Auf der vorgesehenen Fläche tritt zu keiner Zeit Verschattung durch umstehende Bäume, Bauten oder Dachaufbauten auf. Zur Verdeutlichung sind drei Zeichnungen als Anlagen beigefügt.

Im Objekt ist derzeit noch keine Photovoltaik-Anlage installiert. Das bedeutet, es muss ein zusätzlicher Stromzähler für die Abrechnung des in das öffentliche Versorgungsnetz eingespeisten Stroms installiert werden.

Die Vergleichsanlage wird unter den gleichen Voraussetzungen geplant. Allerdings wird eine genau südliche Ausrichtung gewählt.

## 5 Vorgaben für die Planung

### 5.1 Angaben des Kunden

Dachfläche:

$$A_{Gen} = 3m \times 4m$$

$$A_{Gen} = 12 \text{ m}^2$$

Generatorleistung:

$$P_{Gen} = 1,3 \text{ W}_p$$

Ausrichtung:

$$\text{Azimut: } \gamma = 90^\circ$$

$$\text{Neigung: } \beta = 30^\circ$$

### 5.2 Vorgeschlagene Geräte

#### 5.2.1 Module

KYOCERA LA721 108Watt, Daten aus [7]

$$P_n = 108 \text{ W}$$

$$U_{MPP} = 33,8 \text{ V}$$

$$I_{MPP} = 3,2 \text{ A}$$

$$U_0 = 43,0 \text{ V}$$

$$I_K = 3,3 \text{ A}$$

$$A_{Modul} = 0,988m \cdot 0,868m = 0,8576 \text{ m}^2$$

Es werden 12 Module installiert. Die Verschaltung erfolgt in zwei Strängen zu jeweils 6 Modulen. Die Module werden so montiert, dass eine Hinterlüftung möglich ist. Der dadurch auftretende Kühlungseffekt wirkt sich positiv auf den Anlagenenertrag aus.

#### 5.2.2 Wechselrichter

Sun Power SP1200/9-15, Daten aus [6]

$$U_{DC_{max}} = 375 \text{ V}$$

$$I_{DC_{max}} = 11 \text{ A}$$

$$\eta_{max} = 0,92$$

Maximum der Wechselrichterspannung:

$$U_{WR_{\max}} = 1,13 \cdot U_0 \cdot n_M$$

$$U_{WR_{\max}} = 1,13 \cdot 43 \text{ V} \cdot 6$$

$$\underline{\underline{U_{WR_{\max}} = 291,5 \text{ V}}}$$

$$U_{WR_{\max}} = 291,5\text{V} < U_{DC_{\max}} = 375\text{V}$$

Die maximale Spannung des Solargenerators überschreitet die zulässige Spannung des Wechselrichter im Gleichstromkreis nicht.

Maximum des Wechselrichterstroms:

$$I_{WR_{\max}} = 1,13 \cdot I_K \cdot n_S$$

$$I_{WR_{\max}} = 1,13 \cdot 3,3 \cdot 2$$

$$\underline{\underline{I_{WR_{\max}} = 7,46 \text{ A}}}$$

$$I_{WR_{\max}} = 7,46\text{A} < I_{DC_{\max}} = 11\text{A}$$

Der maximale Strom im Generatorkreislauf überschreitet den zulässigen Wert für den Wechselrichter nicht.

Ein Übersichtsplan der Anlage befindet sich in den Anlagen.

## 6 Berechnungen

### 6.1 Westausrichtung

#### 6.1.1 Korrigierte Globalstrahlung pro Tag und Jahr

$$G'_{Gen} = G_{Wa} \cdot k(\gamma; \beta)$$

$$G'_{Gen} = 2,8 \frac{kWh}{m^2 d} \cdot 0,98$$

$$\underline{\underline{G'_{Gen} = 2,744 \frac{kWh}{m^2 d}}}$$

|            |   |
|------------|---|
| $G'_{Gen}$ | spezifische Globalstrahlung auf die geneigte Generatorfläche  |
| $G_{Wa}$   | spezifische Globalstrahlung auf eine waagerechte Fläche       |
| $k$        | Korrekturfaktor für die geneigte Fläche, Tabellenwert aus [1] |
| $\gamma$   | Azimut des Generators (siehe Vorgabe)                         |
| $\beta$    | Neigung der Generatorfläche (siehe Vorgabe)                   |

#### 6.1.2 Ertrag des Solargenerators

$$G_{Gen} = G'_{Gen} \cdot n_M \cdot A_M \cdot 365 \frac{d}{a}$$

$$G_{Gen} = 2,744 \frac{kWh}{m^2 d} \cdot 12 \cdot 0,8576 m^2 \cdot 365 \frac{d}{a}$$

$$\underline{\underline{G_{Gen} = 10307 \frac{kWh}{a}}}$$

|           |   |
|-----------|---|
| $G_{Gen}$ | Globalstrahlung auf den geneigten Generator |
| $n_M$     | Anzahl der Module im Generator              |
| $A_M$     | Fläche eines Moduls                         |

### 6.1.3 Energieabgabe des Solargenerators

$$W_{Gen} = G_{Gen} \cdot \eta_M$$

$$\eta_M = \frac{P_n}{A_M \cdot 1000 \frac{W}{m^2}}$$

$$\eta_M = \frac{108Wm^2}{0,8576m^2 \cdot 1000W}$$

$$\eta_M = 0,1259$$

$$W_{Gen} = 10307 \frac{kWh}{a} \cdot 0,1259$$

$$\underline{\underline{W_{Gen} = 1298 \frac{kWh}{a}}}$$

$W_{Gen}$  abgegebene Energie des Solargenerators  
 $\eta_M$  Modulwirkungsgrad  
 $P_n$  Nennleistung eines Moduls

### 6.1.4 Ertrag am Ausgang des Wechselrichters

$$W_{WR} = W_{Gen} \cdot PR$$

$$W_{WR} = 1298 \frac{kWh}{a} \cdot 0,75$$

$$\underline{\underline{W_{WR} = 974 \frac{kWh}{a}}}$$

$W_{WR}$  Ertrag am Ausgang des Wechselrichters  
 $PR$  Performance Ratio, Erfahrungswert (0,75 für Westausrichtung gewählt)

### 6.1.5 Leitungsquerschnitte

Für den gesamten Gleichstromkreis werden Leitungen des Typs H07RN-F mit einem Leiterquerschnitt von 2,5 cm<sup>2</sup> verwendet. Es handelt sich um eine Gummischlauchleitung für mittlere mechanische Beanspruchungen. Sie ist für die Verlegung sowohl in Innenräumen als auch im Freien geeignet. Dieser Leitungstyp hat sich in der Praxis gut bewährt.

## 6.2 Südausrichtung

### 6.2.1 Korrigierte Globalstrahlung pro Tag und Jahr

$$G'_{Gen} = G_{Wa} \cdot k(\gamma; \beta)$$

$$G'_{Gen} = 2,8 \frac{kWh}{m^2 d} \cdot 1,12$$

$$\underline{\underline{G'_{Gen} = 3,136 \frac{kWh}{m^2 d}}}$$

|            |   |
|------------|---|
| $G'_{Gen}$ | spezifische Globalstrahlung auf die geneigte Generatorfläche  |
| $G_{Wa}$   | spezifische Globalstrahlung auf eine waagerechte Fläche       |
| $k$        | Korrekturfaktor für die geneigte Fläche, Tabellenwert aus [1] |
| $\gamma$   | Azimut des Generators (siehe Vorgabe)                         |
| $\beta$    | Neigung der Generatorfläche (siehe Vorgabe)                   |

### 6.2.2 Ertrag des Solargenerators

$$G_{Gen} = G'_{Gen} \cdot n_M \cdot A_M \cdot 365 \frac{d}{a}$$

$$G_{Gen} = 2,744 \frac{kWh}{m^2 d} \cdot 12 \cdot 0,8576 m^2 \cdot 365 \frac{d}{a}$$

$$\underline{\underline{G_{Gen} = 11780 \frac{kWh}{a}}}$$

|           |   |
|-----------|---|
| $G_{Gen}$ | Globalstrahlung auf den geneigten Generator |
| $n_M$     | Anzahl der Module im Generator              |
| $A_M$     | Fläche eines Moduls                         |

### 6.2.3 Energieabgabe des Solargenerators

$$W_{Gen} = G_{Gen} \cdot \eta_M$$

$$\eta_M = \frac{P_n}{A_M \cdot 1000 \frac{W}{m^2}}$$

$$\eta_M = \frac{108Wm^2}{0,8576m^2 \cdot 1000W}$$

$$\eta_M = 0,1259$$

$$W_{Gen} = 11780 \frac{kWh}{a} \cdot 0,1259$$

$$\underline{\underline{W_{Gen} = 1483 \frac{kWh}{a}}}$$

$W_{Gen}$  abgegebene Energie des Solargenerators  
 $\eta_M$  Modulwirkungsgrad  
 $P_n$  Nennleistung eines Moduls

### 6.2.4 Ertrag am Ausgang des Wechselrichters

$$W_{WR} = W_{Gen} \cdot PR$$

$$W_{WR} = 1483 \frac{kWh}{a} \cdot 0,79$$

$$\underline{\underline{W_{WR} = 1172 \frac{kWh}{a}}}$$

$W_{WR}$  Ertrag am Ausgang des Wechselrichters  
 $PR$  Performance Ratio, Erfahrungswert (0,79 für Südausrichtung gewählt)

### 6.2.5 Leitungsquerschnitte

Für den gesamten Gleichstromkreis werden Leitungen des Typs H07RN-F mit einem Leiterquerschnitt von 2,5 cm<sup>2</sup> verwendet. Es handelt sich um eine Gummischlauchleitung für mittlere mechanische Beanspruchungen. Sie ist für die Verlegung sowohl in Innenräumen als auch im Freien geeignet. Dieser Leitungstyp hat sich in der Praxis gut bewährt.

## 6.3 Ergebnisse

Ist die Anlage nach Westen ausgerichtet, ergibt sich ein jährlicher Ertrag von 974 kWh/a. Ist die Anlage direkt südlich ausgerichtet, ergibt sich ein Ertrag von 1172 kWh/a. Der jährliche Ertrag der westlich ausgerichteten Anlage liegt 17% unter dem der südlich ausgerichteten.

Eine analoge Berechnung wurde mit dem Simulationsprogramm PV-SOL 1.1 durchgeführt. Dabei ergab sich für eine Ausrichtung nach Süden bzw. Westen ein jährlicher Energieertrag von 1201 kWh/a bzw. 861 kWh/a. Der jährliche Ertrag der westlich ausgerichteten Anlage liegt 28% unter dem der südlich ausgerichteten. Die ausführlichen Ergebnisse sind aus den beigefügten Anlagen ersichtlich.

Das bedeutet, dass die Berechnung mit dem Programm PV-SOL bei Südausrichtung einen um 3% höheren, bei Westausrichtung einen um 12% niedrigeren Jahresertrag der Anlage prognostiziert. Die Ursache für die hohe Differenz von 12% liegt möglicherweise in einer exakteren Datenbasis von PV-SOL für diese Ausrichtung. Praktische Erfahrungen zeigen, dass bei einer reinen Westausrichtung mit einer Ertragsreduzierung von 25% bis 30% gerechnet werden muss.

Für diesen Fall erscheinen uns die Ergebnisse des Programms PV-SOL plausibler. Daher werden wir diese Ergebnisse der Wirtschaftlichkeitsbetrachtung zu Grunde legen.

## 7 Wirtschaftlichkeitsbetrachtung

### 7.1 Preise

|   |  |             |
|---|--|-------------|
| 1 | 12 Module Kyocera LA721 108W <sup>1)</sup>         | 14.604,00DM |
| 2 | Wechselrichter Sun Power SP1200/9-15 <sup>2)</sup> | 2.825,00 DM |
| 3 | Schrägdachaufständerung SCHÜCOSOL <sup>3)</sup>    | 416,00 DM   |

- 1) Bruttopreis, Telefonische Preisauskunft der Fa. Donau Solartechnik, München
- 2) Bruttopreis, Telefonische Preisauskunft der Fa. Sun Power Vertriebsgesellschaft, Bad Vilbel  
Der Großhandelspreis beträgt 1.695,00 DM. Bei Bezug über einen Installationsbetrieb muss mit einem 30% bis 50% höheren Preis gerechnet werden. Wir haben einen Preiszuschlag von 40% gewählt.
- 3) Marktübersicht Montagesysteme, Fachzeitschrift Photon 1/2000  
Es ist ein Bruttopreis von 320,00 DM/kW incl. Lieferung angegeben.

Von der Firma Solinus-Solarhaus GmbH, Mahlower Str. 145, 14513 Teltow wurde folgendes telefonische Angebot abgegeben:

|   |                                       |             |
|---|---------------------------------------|-------------|
|   | Kabel                                 | 100,00 DM   |
|   | Zählerschrank                         | 520,00 DM   |
|   | Dacharbeiten DC-Installation          | 2.130,00 DM |
|   | Dacharbeiten AC-Installation          | 490,00 DM   |
|   | Erdung und Potenzialausgleich         | 220,00 DM   |
|   | Inbetriebnahme und Anmeldung beim EVU | 150,00 DM   |
|   | Gesamtpreis (netto)                   | 3.610,00 DM |
|   | Mehrwertsteuer 16%                    | 577,60 DM   |
| 4 | Gesamtpreis (brutto)                  | 4.187,60 DM |

Der Zähler wird kostenlos vom jeweiligen EVU, in diesem Fall der BEWAG zur Verfügung gestellt.

Somit ergibt sich aus den Positionen 1 bis 4 ein Gesamtpreis von 22.032,60 DM.

Bei einer installierten Leistung von 1,3 kWp folgt daraus ein spezifischer Preis von 16.948,15 DM/kWp.

## 7.2 Förderungsmöglichkeiten

### 7.2.1 Förderprogramm "Stadtweite Einzelmaßnahmen" (SWE)

Das Programm richtet sich an Wohnungsbestand im Altbau (Errichtung vor 1991). Die Installation von Photovoltaik-Anlagen wird mit einem Zuschuss von 30%, jedoch maximal 6.000 DM gefördert. Bei Kombination mit anderen Programmen beträgt die maximale Förderung 25.000 DM pro Wohnung. Die Antragstellung und Mittelausreichung erfolgt über die Investitionsbank Berlin.

### 7.2.2 BEWAG-Förderprogramm "Energie 2000"

Das Programm verbindet eine anteilige Investitionsförderung mit einer kostenorientierten Einspeisevergütung. Es wird ein Investitionskostenzuschuss von 50% gewährt, wobei maximal ein Anlagenpreis von 14.500 DM/kWp zugrundegelegt wird. Da die geplante Anlage über diesem Preis liegt, würde der Zuschuss 7.250 DM/kWp betragen. Das Programm ist nicht mit der Einspeisevergütung nach den Erneuerbare Energien Gesetz kombinierbar.

Gleichzeitig ist die Teilnahme an der Solarstrombörse der BEWAG möglich. Die Solarstrombörse findet vier mal jährlich statt. Es steht ein Kontingent von 62,5 kWp zur Verfügung. Der Energieerzeuger gibt ein Angebot über die gewünschte Höhe seiner Einspeisevergütung über die nächsten 15 Jahre ab. Gibt es mehr Antragsteller als das Leistungskontingent erlaubt, erhalten die Anbieter mit der geringsten gewünschten Einspeisevergütung den Zuschlag. Aus den Erfahrungen der letzten Strombörsen zeigt sich, dass realistischerweise etwa 0,70 DM/kWh zu erzielen sind.

### 7.2.3 Erneuerbare Energien Gesetz (EEG)

Nach dem EEG ist der Netzbetreiber, in diesem Falle die BEWAG dazu verpflichtet, die oben berechnete Anlage an ihr Netz anzuschließen, den gesamten angebotenen Strom aus dieser Anlage abzunehmen und den eingespeisten Strom über 20 Jahre mit 0,99 DM/kWh zu vergüten.

#### 7.2.4 100.000 Dächer-Solarstromprogramm im Rahmen des KfW-Programmes zur CO<sub>2</sub>-Minderung

Es wird ein zinsverbilligtes 10jähriges Darlehen über 100% des Investitionsbetrages vergeben. Bislang war das Darlehen zinslos. Auf Grund der hohen Antragszahl ist die Vergabe derzeit ausgesetzt. Ein neuer Zinssatz ist noch nicht bekannt. Das Programm ist mit anderen Förderprogrammen kombinierbar.

### 7.3 Investitionsfinanzierung

Die Wirtschaftlichkeit wurde für die Anlage sowohl mit West-, als auch mit Südausrichtung berechnet. Dabei wurde jeweils zwei unterschiedliche Fördermöglichkeiten betrachtet.

#### 1. Variante:

Die Einspeisung erfolgt nach dem Erneuerbare Energien Gesetz. Die Einspeisevergütung beträgt 0,99 DM/kWh über 20 Jahre. Es wird ein Zuschuss des Förderprogramms SWE in Höhe von 6.000DM in Anspruch genommen. Der Restbetrag der Investition wird mit einem 10jährigen Kredit der KfW (100.000 Dächer-Programm) finanziert. Der Zinssatz beträgt 2%. Der Betrachtungszeitraum sind 20 Jahre, das entspricht der Lebensdauer der Anlage.

#### 2. Variante:

Die Einspeisung erfolgt über die Teilnahme an der Strombörse. Die Einspeisevergütung beträgt 0,70 DM/kWh über 15 Jahre. Es wird ein Zuschuss der BEWAG in Höhe von 7.250 DM und ein Zuschuss des Förderprogramms SWE in Höhe von 6.000 DM in Anspruch genommen. Der Restbetrag der Investition wird mit einem 10jährigen Kredit der KfW (100.000 Dächer-Programm) finanziert. Der Zinssatz beträgt 2%. Der Betrachtungszeitraum sind 15 Jahre, da die Einspeisevergütung der Strombörse nur über 15 Jahre festgeschrieben ist.

In beiden Varianten wird eine Zwischenbetrachtung zum Ende der Kreditlaufzeit durchgeführt. Da es sich um eine Wirtschaftlichkeitsbetrachtung für einen Privathaushalt handelt, wird die Annuität (Zins und Tilgung) insgesamt als jährliche Belastung betrachtet. Eine Trennung zwischen Tilgung als Eigenkapitalerhöhung und Zinsen als Finanzierungskosten wird nicht vorgenommen.

Die Berechnungen sind als Anlage zusammengefasst.

## Erläuterungen

Der Annuitätenfaktor berechnet sich nach:

$$a = \frac{(1 + \frac{p}{100})^n \cdot (\frac{p}{100} - 1)}{(\frac{p}{100})^n - 1}$$

|     |                  |
|-----|------------------|
| $a$ | Annuitätenfaktor |
| $p$ | Zinssatz in %    |
| $n$ | Kreditlaufzeit   |

Die jährliche Annuität berechnet sich nach:

$$A = a \cdot K$$

|     |                    |
|-----|--------------------|
| $A$ | jährliche Annuität |
| $a$ | Annuitätenfaktor   |
| $K$ | Kredithöhe         |

Die Betriebskosten enthalten sowohl anfallende Kosten für Versicherung der Anlage, als auch Rücklagen für eventuell notwendige große Reparaturen (Wechselrichter, Modul).

## 7.4 Ergebnisse

Da bei der Anlage mit Westausrichtung der jährliche Ertrag um 28% niedriger als bei der zum Vergleich herangezogenen Anlage mit Südausrichtung ist, sind die jährlichen Einnahmen ebenfalls geringer. Mit beiden Finanzierungsvarianten ergibt am Ende des Betrachtungszeitraumes ein negatives Saldo von - 3.801 DM bzw. -2.987 DM .

Ist die Anlage nach Süden ausgerichtet, ergibt sich für beide Finanzierungsvarianten ein positives Saldo am Ende des Betrachtungszeitraumes. Erfolgt die Finanzierung nach Variante 1, beträgt das positive Ergebnis 2.931 DM. Wird die Finanzierung nach Variante 2 gewählt, ist das Saldo 583 DM. Ursächlich für den niedrigeren Betrag ist der um 5 Jahre kürzere Betrachtungszeitraum. Da jedoch derzeit keine seriöse Abschätzung der in 15 Jahren gezahlten Einspeisevergütung möglich ist, wurde die Anlage nicht über die gesamte Lebensdauer von 20 Jahren betrachtet. Eine Sensitivitätsanalyse ergab, dass nach Ablauf der 15 Jahre eine Einspeisevergütung von mindestens 0,63 DM/kWh für einen kostendeckenden Betrieb notwendig ist.

## 8 Zusammenfassung

Geplant wurde eine kleine Photovoltaikanlage mit einer Leistung von 1,3 kWp. Für Kauf und Montage dieser Anlage ergab sich ein spezifischer Preis von 16.948,15 DM/kWp. Die Ursache für den vergleichsweise hohen spezifischen Preis ist die sehr geringe Anlagengröße.

Berechnet wurde der jährliche Energieertrag dieser Anlage in Abhängigkeit von der Ausrichtung. Bei Westausrichtung, wie sie am vorhandenen Objekt nur möglich ist, beträgt er 861 kWh/a. Bei der zum Vergleich herangezogenen Südausrichtung 1.201 kWh/a. Der Energieertrag liegt bei Westausrichtung um 28% niedriger als bei Südausrichtung.

Betrachtet wurde die Wirtschaftlichkeit für beide Ausrichtungen mit jeweils zwei Fördervarianten. Im Ergebnis waren bei der nach Westen ausgerichteten Anlage die Belastungen höher als die Einnahmen. Mit der nach Süden ausgerichtete Vergleichsanlage bestände die Möglichkeit eines wirtschaftlichen Betriebs. Als günstigste Variante der Förderung hat sich die Einspeisevergütung nach dem Erneuerbare Energien Gesetz in Verbindung mit einem Zuschuss der Investitionsbank Berlin und einer zinsgünstigen Finanzierung des Restbetrages durch einen Kredit der KfW nach dem 100.000-Dächer Programm herausgestellt. Ohne einen Zuschuss zu den Investitionskosten in Höhe von mindestens 3.400 DM ist kein wirtschaftlicher Betrieb möglich.

Als Schlussfolgerung lässt sich sagen, dass sich auf dem vorhandenen Objekt ... auch bei der derzeit sehr günstigen Situation für Photovoltaik in Deutschland eine Photovoltaikanlage nicht wirtschaftlich betreiben lässt. Diese Schlussfolgerung kann auch für andere Objekte mit gleichen Standortbedingungen verallgemeinert werden.

## 9 Quellenverzeichnis

|    |   |   |
|----|---|---|
| 1  | FHTW Berlin, Prof. Dr. B. Müller                  | Energieeinsparung und regenerative Energien in der Gebäudetechnik, Arbeitsblätter               |
| 2  | KlimaSchutzPartner Berlin                         | Finanzierungshilfen zur Energieeinsparung und zur Nutzung Erneuerbarer Energiequellen in Berlin |
| 3  |   | Erneuerbare Energien Gesetz   |
| 4  | <a href="http://www.kfw.de">http://www.kfw.de</a> | Investitionsfinanzierung, Förderprogramme der KfW   |
| 5  | Fachzeitschrift Photon 1/2000                     | Marktübersicht Montagesysteme   |
| 6  | Fachzeitschrift Photon 3/2000                     | Marktübersicht Wechselrichter   |
| 7  | Fa. Wuttke Solartechnik, Wildberg                 | Datenblatt Kyocera Solarmodule  |
| 8  | Fa. Donau Solartechnik, München                   |   |
| 9  | Fa. Sun Power Vertriebsgesellschaft, Bad Vilbel   |   |
| 10 | Fa. Solinus-Solarhaus, Teltow                     |   |
| 11 | PV-Sol 1.1  |   |

## 10 Anlagen

- 10.1 ..., Lageplan
- 10.2 ..., Westansicht
- 10.3 ..., Nordansicht
- 10.4 ..., Übersichtsplan PV-Anlage
- 10.5 Technische Daten PV-Anlage (Westausrichtung)
- 10.6 Simulationsergebnisse Ertrag PV-Anlage (Westausrichtung)
- 10.7 Technische Daten PV-Anlage (Südausrichtung)
- 10.8 Simulationsergebnisse Ertrag PV-Anlage (Südausrichtung)
- 10.9 Wirtschaftlichkeitsbetrachtung (Westausrichtung)
- 10.10 Wirtschaftlichkeitsbetrachtung (Südausrichtung)
- 10.11 Kyocera Solarmodule, technische Daten