

Wirtschaftlichkeitsfragen *)

Von Dr. Pitter Gräff, Starnberg

Dieses Thema hat drei Gesichtspunkte:

1. Den allgemein volkswirtschaftlichen; seine Beurteilung durch die Politiker entscheidet über die Möglichkeit staatlicher Förderung.
2. Den betriebswirtschaftlichen; hier geht es darum, die Anlagen so zu dimensionieren, daß sie wünschbar werden.
3. Das Finanzierungsmodell; es hat mögliche staatliche Anreize ebenso zu berücksichtigen wie die Lebensdauer einzelner Anlagenteile.

Diese Punkte sind nicht unabhängig. Es ist nicht möglich, sie in gleicher Breite hier zu behandeln. Das Schwergewicht wird auf dem zweiten liegen.

Der volkswirtschaftliche Aspekt

Die DGS fordert seit längerem eine staatliche Stützungs politik für solarwirksame Maßnahmen, (so etwa auf der Pressekonferenz der Göttinger Tagung.) Hierbei handelt es sich um eine Entscheidung, die Politiker unter

folgenden drei Gesichtspunkten sehen sollten:

Die energiepolitische Seite

Die Hälfte unseres gesamten Energieverbrauchs ist Wärme unterhalb von 100°C 1).

Da hiervon ein wesentlicher Teil auch im Sommer und in der Übergangszeit gebraucht wird – insbesondere in der gewerblichen Wirtschaft (Wäschereien, Gärtnereien), aber auch für Schwimmbäder – bietet sich die Sonne schon heute (eigentlich schon gestern, aber wir haben es nur nicht wahrhaben wollen) als durchaus annehmbare Energiequelle an.

Dieser Beitrag behandelt Wirtschaftlichkeitsüberlegungen. Eine vorrangige Forderung hierbei lautet: Denkfehler – auf grund von Vorurteilen, wie sich gerne herausstellt – zu vermeiden. Ein typisches Beispiel für die bisherige Mißachtung der Sonnenenergie gibt das folgende Argument: "Im Winter – gerade wenn man sie am nötigsten bräuchte – ist die Sonne

doch zu schwach." Richtig ist, daß der Winter wohl nur dann seinem Namen Ehre machen kann, wenn ihn die Sonne nicht zu sehr sticht. Die Wirtschaftlichkeit einer Sonnenheizung erweist sich aber kaum über den Winterbetrieb. Sondern eben im Rest des Jahres. So gesehen, ist auch die Suche nach besonders effizienten "Winterkollektoren" (oder Langzeitspeichern) noch Zukunftsmusik. Deshalb die Sonnenenergie heute zu verwerfen, ist also ein Vorurteil. Es basiert nicht auf rationaler Wirtschaftlichkeitsbetrachtung.

Zurück zur Energiepolitik

Unterstellen wir einmal, es wäre nur möglich, ein Fünftel dieses gesamten Jahreswärmebedarfs durch Sonnenenergie abzudecken! Dann wären dies schon 10 % des gesamten Energieverbrauchs und damit ebensoviel, wie die gesamte Elektrizitätserzeugung erbringt.

Bedenkt man noch, daß dabei ein nicht unbeträchtlicher Teil dieser Elektrizität auch nur wieder in Wärme

*) Vortrag, gehalten beim Kolloquium der DGS am 3. April 1976 in Nürnberg

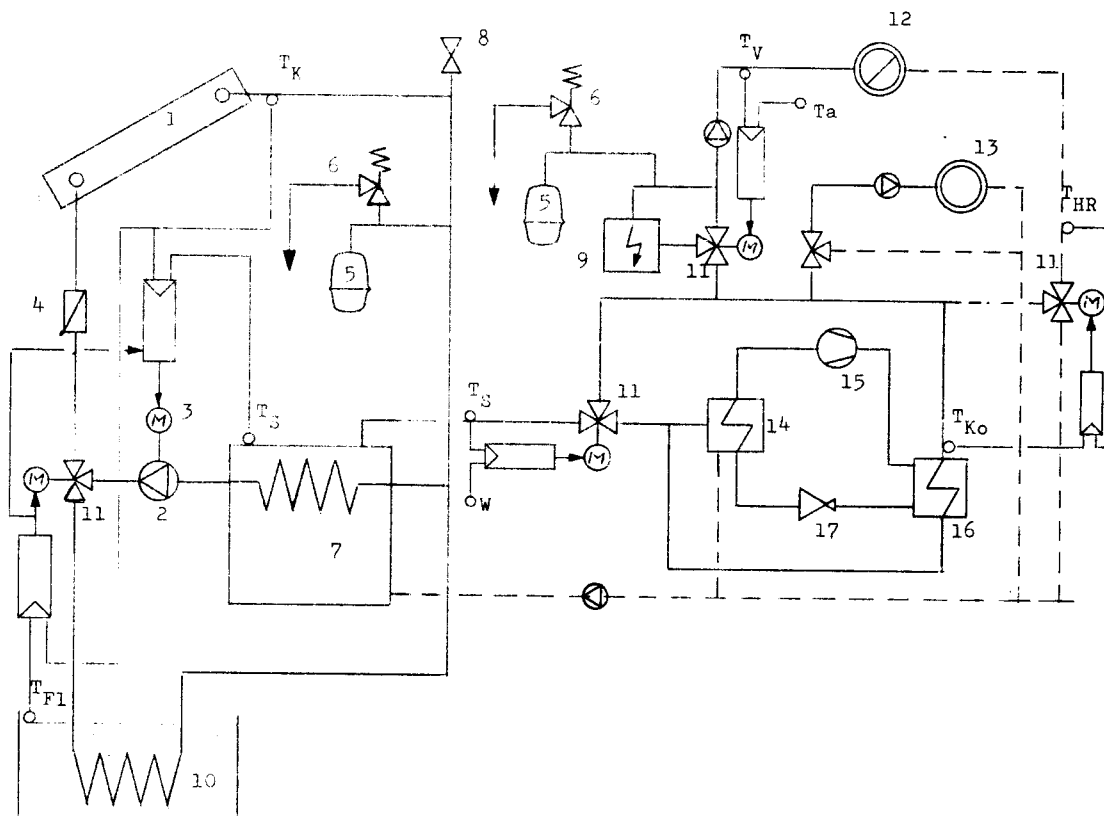


Bild 5: Verwertung der Sonnenenergie für Schwimmbadbeheizung unter Einschaltung einer Wärmepumpe

1 Kollektor, 2 Umwälzpumpe, 3 Motor, 4 Rückschlagklappe, 5 geschl. Ausdehnungsgefäß, 6 Sicherheitsventil, 7 Wärmespeicher, 8 Entlüftung, 9 Elektrokessel, 10 Fluß, 11 Dreiwegeventil, 12 Wärmeverbraucher allg. Heizung, 13 Wärmeverbraucher Heizung Schwimmbadwasser, 14 Verdampfer, 15 Kompressor, 16 Kondensator, 17 Druckreduzierventil

umgesetzt wird – (bei einem Geschirrspüler oder einer Waschmaschine sind es 90 %) – so erkennt man, daß hier sogar noch tiefgestapelt wird.

Eine nähere Abschätzung zeigt, daß das erwähnte Fünftel nicht unrealistisch ist. Über den hierfür benötigten Flächenbedarf existieren teilweise etwas fantastische Vorstellungen. Sonnenkollektoren haben recht akzeptable Wirkungsgrade. Weil sie eine hochwertige Energie (Licht hoher Temperatur) in eine minderwertige (Wärme niedriger Temperatur) umwandeln. Man darf dabei nur nicht den Umweg über die Elektrizität gehen !!! – Bei 100 W/qm mittlerer Sonnenleistung kommt man bei dem obigen Wunsch auf 1000 qkm, das sind 4 ‰ des bundesdeutschen Areal.

Bei der Entscheidung über eine staatliche Förderung wird man sich in jedem Fall orientieren am Vergleich zu anderen Energieträgern:

– Öl: Seine Preisgestaltung ist offen. Es wurde billig, solange die Ölgesellschaften noch an die Kernenergie glaubten. Das war vor 20 Jahren.

Damals wollten sie die 'Lager räumen', ehe das Öl dem Dumping der Atome ausgesetzt würde ! Heute wissen sie:

– Kern-Energie geht nur auf dem Umweg über Elektrizität. (Jedenfalls nichts anderes ist geplant, alle Kernkraftwerke werden von Elektrizitätsversorgungsunternehmen betrieben).

– Eine Nutzung der Abwärme wird vertagt: Statt dessen bekommen wir Kühltürme, die diese Wärme abfackeln. – Doch dies ist nicht unser Thema: Abwärme für die Stadt, Sonne für das Land.

– Kohle. Ihr Preis wurde schon vor dem des Öls politisiert. Immerhin wäre zu bedenken: Gut isolierte Häuser, mit Sonne beheizt, mit Kohle (oder sogar dem recycelnden Holz aus dem Wald) "zusatzgeheizt" – für das etwa noch verbleibende restliche Drittel, das die Sonne nicht mehr schafft – das ist schon heute technisch möglich. – Unsere bisherigen Ölvorräte wären gut angelegt, wenn sie in die dabei benötigten Wärmeisolistoffe umgesetzt würden !

Der Schutz der Umwelt

Daß die Sonnenenergie hier allen anderen Energieträgern weit überlegen ist, ist unbestritten. – Der Ehrlichkeit halber muß allerdings auf ein langfristiges Problem hingewiesen werden : Das Abwärmeproblem. Auch Solarnlagen erzeugen Abwärme, beim Hausgebrauch allerdings kaum in einem global gefährlichen Maßstab. Anders könnte es bei industriellem Einsatz werden. Da sie aber dieses Problem mit allen konventionellen Anlagen teilen, sind sie auch hier besser dran.

Der Kuriosität halber sei übrigens hier schon eine andere Warnung ausgesprochen: Es könnte folgender Fall eintreten: Solare Brauchwasseranlagen werden installiert. In grös-

serem Stil. Im Sommer ist das warme Wasser (fast!) umsonst. Wenn die Sonne scheint, kostet es jedenfalls keine Heizung. Erfolg: Es wird eine Dusche im Garten montiert, um wenigstens den Kindern den Spaß zu kommen zu lassen. Für die Kinder ist dies Steigerung der Lebensqualität.

– Bei hinreichendem "Absatz" bricht prompt die gemeindliche Wasserversorgung zusammen. – Das Beispiel wurde natürlich nicht gewählt um gegen die Sonnenenergie Stimmung zu machen !

Neue Arbeitsplätze

Wie Bayerns Wirtschaftsminister Jauernig bei der Eröffnung der Investitionsgütermesse für Haustechnik in Nürnberg betont hat, sieht er durch die Rationalisierungsmaßnahmen der Industrie eine Lawne von Arbeitsuchenden auf die gewerbliche Wirtschaft zurollen. Sofern diese in der Lage ist, die Leute aufzunehmen, d.h. genug Aufträge hat. Ein gezielt geförderttes Sonnenenergieprogramm könnte hier Wunder wirken.

Der betriebswirtschaftliche Aspekt

Was ein Sonnenkollektor ist, wie man ihn in eine konventionelle Heizung einbindet, daß es dazu meistens eines Speichers bedarf (Swimming-Pools ausgenommen), das soll hier nicht erörtert werden. Selbst wenn man schon weiß, wie man das überhaupt macht, so weiß man doch nicht: Wie groß müssen die einzelnen Bestandteile einer solchen Anlage werden ? Diese Dimensionierung ist die eine Frage.

Sie ist nicht unabhängig vom zur Verfügung gestellten Kapital. Und dessen Amortisation. (Beide hängen wieder von der staatlichen Förderung ab.) Dies ist der andere Teil der Frage.

Im Einzelfall sind beide Fragen verzwirrt. Gerade deshalb aber lohnt es sich, die rein anlagentechnischen Möglichkeiten zu untersuchen, indem man die Kapitalbedingungen – wenn auch verschieden ausgelegt – einmal festhält. Dies sollte der Gegenstand dieses Kapitels sein. Leider werde ich die Frage nicht erschöpfend behandeln können. – Vielmehr wird auch hier der Hinweis auf mögliche Denkfehler im Vordergrund stehen.

Das Startvermögen eines Kollektors

Im Wunsch, möglichst jeden Sonnenstrahl nutzen zu können, ist man häufig bestrebt, das Volumen des Wassers im Kollektor recht gering zu machen. Auch hier kann man übertreiben, Beispiel: Auf einen Kollektor von 1m² ist ein Kupferrohr von 1 cm Innendurchmesser aufgebracht. Die Platte sei 2 mm stark. Der Wärmeinhalt des Metalls beträgt rund 2 kcal, der des Wassers rund 0,8 kcal. Hier wird also die Ansprechzeit des Kollektors bereits weitgehend durch das Metall bestimmt, und es hat wenig Sinn, das

Wasservolumen weiter zu reduzieren. Denn damit steigt zugleich die Pumpleistung drastisch an. Es gilt

$$\text{Pumpleistung} = \text{proportional} \frac{(\text{Volumen})^2}{\text{Volumen}}$$

da bei kleinen Rohrweiten mit dem Hagen-Poiseulle'schem gerechnet werden darf. (Andernfalls wird es noch schlimmer.) Reduziert man im obigen Beispiel das Volumen auf die Hälfte, was einem Innendurchmesser von 7 mm der Röhren entspricht, so braucht man, um die selbe Wärmemenge abzurufen, jetzt die vierfache Pumpleistung ! – Die Ansprechzeit hat sich aber nur um 16 % verbessert. (2,8/2,4). Daß dies natürlich nicht umgekehrt heissen kann, man solle das Wasservolumen möglichst groß machen, ist hoffentlich klar. Im obigen Beispiel wäre aber der Übergang zu einem 14 mm Rohr durchaus zu überlegen, wodurch die Pumpleistung auf 25 % abfällt, während sich die Ansprechzeit nur um knapp 30 % verlängert.

Bei welcher Kollektortemperatur wird die Pumpe eingeschaltet

Es liegt nahe, zu sagen: Sobald die Speichertemperatur überschritten wird. Diese Ansicht ist falsch. Auch hier geht wieder die Pumpleistung ein. Nehmen wir einen schnell ansprechenden Kollektor von 20 m², der etwa eine Pumpleistung von 100 W erfordert. 1 kWh Wärme wird von der "konkurrierenden Ölheizung" im Winter für 3,6 Pf erbracht. Bei einem derzeitigen mittleren Preis von 22 Pf/kWh_{el} im Haushaltstarif bedeutet dies: Die Pumpleistung ist finanziell mindestens sechs mal so hoch zu bewerten wie die Sonnenwärme, die sie fördert. Dies bedeutet: Der Kollektor muß mindestens 600 Watt leisten können, ehe er eingeschaltet wird. Das entspricht 30 W/m². Bei Kenntnis der Fördermenge kann man hieraus auf die erforderliche Mindesttemperatur schließen, die der Kollektor über dem Speicher haben soll.

Nehmen wir an, ein Zweischeibenkollektor erbringt im Winter noch eine Leistung von 50 W/m², so bleibt mithin ein nutzbarer Anteil von 20 W/m² übrig, bei den erwähnten 20m² also eine echte Zusatzleistung von 400 W. Steht diese während eines schönen Wintertags über 5 Stunden zur Verfügung, so hat man rund 2 kWh im Tag erwirtschaftet oder 7,2 Pf. Heizöl gespart. Wenn das Beispiel auch etwas stilisiert wirken mag, so zeigt es doch: Die Pumpleistung ist ggf. nicht zu vernachlässigen und der Winterbetrieb rechtfertigt in der Regel wohl kaum eine Sonnenheizung.

Nochmals zum Kollektorinhalt

Das gesamte Kollektorvolumen sollte nicht zu groß sein, um rasches Ansprechen zu sichern, es sollte nicht zu klein sein, um kleine Pumpleistungen zu sichern. Wie groß also? Hier kommt es wesentlich auf den Verwendungszweck an. Genauer: Auf die

Wärmekapazität des zu beschickenden Systems: Heizung direkt oder Speicher. Bei einem großen Niedertemperatur-speicher (z.B. Swimming-Pool) wird man anders argumentieren als bei einem kleinen Heißwasserspeicher.

Ich wähle den letzteren als Beispiel. Betrachtet wird ein 100-l-Boiler, der von 10 °C auf 45 °C aufgeheizt werden möge. Man braucht also 3 500 kcal. Bei gutem Sommerbetrieb kann man etwa 500 kcal/hm² ziehen. Bei 5 Stunden Ladedauer kommt man auf etwa 2 500 kcal/m²d, so daß dann rund 2 m² zur Beschickung des Speichers ausreichend wären.

Nimmt man übliche Plattenheizkörper für die Kollektoren mit rund 2 l Inhalt pro Quadratmeter, so hat man also 4 l Kollektorinhalt. Das sind 4 % des gesamten Wasservolumens. Bei einem stehenden Speicher kommt es zu einer Temperaturschichtung (das heiße Wasser wird oben abgesetzt). Diese Schichtung bleibt für einige Stunden stabil, denn die Wärmeleitfähigkeit des Wassers ist gering. Wird der Kollektorinhalt dreimal umgesetzt, so steht immerhin 10 % des Boilers als Heißwasser zur Verfügung. – Das Beispiel soll nur zeigen, daß hier der gesamte Kollektorinhalt nicht viel mehr als 4 bis 5 % des Speichervolumens betragen sollte. Wählt man also "zur Sicherheit" eine größere Kollektorfläche, so sollte man wohl den Inhalt pro Quadratmeter etwas absenken.

Hierfür spricht auch, daß bei zu grossem Inhalt das Startvermögen so schlecht wird, daß während der Sonnenscheindauer die gewünschte Betriebstemperatur nicht erreicht wird. Diese Bemerkung gilt auch für "nicht temperaturschichtende" Speicher, wie Schwimmbäder.

Die Speichergröße

Hier geht es um Sonnenwärme als Zusatzheizung. Die Speichergröße ist eigentlich aus den Schattenzeiten zu bestimmen. Diese sind weitgehend wetterbedingt, systematisch ist nur die Nacht. Aus diesem letzteren Grund sind daher für entsprechende Kurzzeitspeicher am einfachsten Aussagen zu machen.

Wie erwähnt, ist nur die Übergangszeit interessant. Bei einem Anschlußwert von 10 kW für eine Wohnung wird man in dieser Zeit etwa die halbe Leistung brauchen, also 5 kW.

Bei einer Betriebszeit von vier Stunden abends und zwei Stunden am nächsten Morgen müssen also 30 kWh = 25 800 kcal gespeichert werden. Nimmt man eine Fußbodenheizung mit einer Vorlauftemperatur von 40 °C an und beschickt den Speicher bis auf eine Temperatur von 65 °C, so braucht man ein Volumen von rd. 1 m³ Wasser.

Allerdings ist 65 °C eine relativ hohe Temperatur: Rechnet man für den Wärmetauscher zwischen Speicher und Kollektoren eine Differenz von 5 °C, so müssen die Kollektoren Wasser von 70 °C erbringen! Diese

Forderung kann die Kollektorkosten erheblich steigern. (Sei es über die größere benötigte Fläche oder über bessere Kollektoren, etwa mit selektiven Beschichtungen). Man kann daher daran denken, die Kollektortemperatur auf 55 °C abzusenken. Damit schrumpft aber der verfügbare Temperaturbereich im Speicher auf 10 °C und das Speichervolumen wächst auf 2,6 m².

Bei einer Kostenrechnung muß man diesen Sachverhalt natürlich berücksichtigen. Die Wahl der geeigneten Betriebstemperatur ist mithin ein wesentlicher Punkt bei der Preisgestaltung. Um die Energieabgabe der Kollektoren beurteilen zu können, sind zwei Dinge erforderlich:

Die Kollektorleistung pro Quadratmeter

Nach Arbeiten von Köhne²⁾, Schreitmüller³⁾, Klöckner⁴⁾ und anderen ergeben sich für weite Klassen von Kollektoren nahezu lineare Kennlinien, wenn man die abgegebene Leistung Q über der einfallenden Strahlungsleistung W aufträgt. Im Wesentlichen gilt:

$$Q = \beta (W - k_B (T - T_u + M))$$

Hierin will ich β die "bezogene Effizienz" nennen (B-Eta), k_B den bezogenen K-Wert und M den meteorologischen Wert, (er hängt noch geringfügig von der Kollektortemperatur ab, im übrigen wohl von der Rückstrahlung der Atmosphäre u..a.). Man beachte: Es hat weder theoretisch einen Sinn, vom Wirkungsgrad eines Kollektors zu sprechen, da dieser – trotz der obigen einfachen Zusammenhänge – zu sehr krummen Kurven führt, noch ist es von praktischem Interesse, weil man letzten Endes doch nur wieder Q wissen will.

Auf grund der obigen Werte werden Kollektoren leicht vergleichbar. Typische Werte sind etwa:

$$\begin{aligned} \beta &= 80 \% (= 0,8) \\ k_B &= 5 \text{ W/}^\circ\text{C} \\ M &= \text{zwischen Null und } 5 \text{ }^\circ\text{C.} \end{aligned}$$

Der meteorologische Wert stellt also hier eine kleine Korrektur dar. Das dürfte sich aber bei Windeinfluß ändern, wenn auch wohl in berechenbarer Weise.

Der Sonnenatlas

Die obige Kollektorformel erzählt natürlich nichts über die Werte der Einstrahlungsintensität W. Will man also etwa das Energieangebot eines Kollektors in Starnberg im April abschätzen, so ist noch die Kenntnis der Wahrscheinlichkeit vonnöten, daß an einem Tag im April dort die Sonne mit einer bestimmten Intensität soundsoviele Stunden scheint. – Es muß betont werden, daß mit einer mittleren Sonnenstundenanzahl, wie sie etwa der Zahl der Gradtage entspricht –, hier nicht – oder nicht genau – auszukommen ist!

Als Beispiel habe ich folgenden Fall gerechnet: Die Gesamtkosten seien gegeben. Außerdem die spezifischen Kosten der Kollektorfläche/qm und des Speichers/m³. Es zeigt sich, daß die optimale Kollektorgröße weit mehr durch den wahrscheinlichsten Wert des Sonnenenergieangebots bestimmt ist, als durch den Mittelwert.

Es wäre daher zu wünschen, daß geeignete Werte dieser Wahrscheinlichkeitsverteilungen für die verschiedenen Orte Deutschlands in absehbarer Zeit zur Verfügung stehen würden. (=Sonnenatlas). Die DGS wird sich hierum bemühen.

Langzeitspeicher

Es wird häufig die Ansicht geäußert, der Speicher könne gar nicht groß genug sein. Aus dem Vorhergehenden folgt, daß ein solcher Speicher – der theoretisch in der Lage wäre, mehrere Tage ohne Sonne zu überbrücken – auch eine sehr große Kollektorfläche zum Beladen braucht. Hierdurch werden die Kosten der Anlage meist sehr erhöht. Denn insbesondere bedarf ein Langzeitspeicher einer wesentlich besseren Isolierung als ein nur für eine Nacht ausgelegter. (Abgesehen davon, daß er nicht so häufig gebraucht wird). Ist bei einem Kurzzeitspeicher ein Temperaturverlust von 1-2°C gerade noch tolerierbar, so muß ein für anderthalb Tage ausgelegter bereits dreimal so gut isoliert werden, abgesehen von seiner dreifachen Größe.

Die Finanzierungsfrage

Sieht man einmal von steuerlichen Möglichkeiten – die ja noch nicht existieren – ab, so gibt es hier im Wesentlichen zwei Fragestellungen, von deren positiver Antwort jeweils die Entscheidung über den Einbau einer Sonnenwärmanlage abhängen wird:

1. Welcher Zinssatz ist für das aufgewandte Kapital zu erwarten?
2. Bei gegebenem Zinssatz: In welcher Zeit amortisiert sich das aufgewandte Kapital?

Nur zum ersten Fall ein Beispiel: Sind die Kollektorkosten 300.- DM/qm und es werden 20 qm montiert, also für 6000.- DM, wird weiter für den Speicher und die Installation 2000.- DM angesetzt, so führt die Annahme, daß 25 % Heizkosten erspart werden, zu einer Verzinsung von 6 %, bei 30 % Ersparnis wären es 7,2 % etc.

Bei dieser Rechnung wurde nicht berücksichtigt, daß durch die Montage eines Speichers grundsätzlich die Effizienz der vorhandenen Ölheizungen wesentlich gesteigert werden kann, weil in der Übergangszeit – aber bei schlechtem Wetter – der intermittierende Betrieb mit seinen schlechten Wirkungsgraden vermieden werden kann!

Würden Solaranlagen in den Bereich der Umweltschutz-Investitionen ein-

Fortsetzung nächste Seite

Die mittlere Wärmeleistung wird mit 190 000 kcal/h (etwa 200 kW) angegeben und durch weitere 20 kW der beiden Windräder ergänzt. Die für eine Lebensdauer von 25 Jahren ausgelegte Anlage soll eine Heizungsautonomie von fünf Tagen ermöglichen. Als Fremdenergie wird bei den klimatischen Bedingungen der Camargue lediglich Strom zum Betrieb von Zirkulationspumpen und Steuerungsor-

Fortsetzung

bezogen, so stünden weitere steuerliche Möglichkeiten offen. ⁵⁾

Literaturhinweise

- 1) Philips-Bericht Sonnenenergie-Statuseminar, Stuttgart, Sept 1975
- 2) Köhne: DFVLR-Forschungsbericht 75-33 (1975). Auch Tagungsbericht "Heizen mit Sonne" der DGS, Göttingen, Feb. 1976
- 3) Schreitmüller: Tagungsbericht "Heizen mit Sonne"
- 4) Klöckner: Dokumentation über Sonnenenergie, Ingolstadt, 1975
- 5) Heigl: Abschreibungsvergünstigungen für Umweltschutzinvestitionen. Verlag moderne Industrie, München, 1975

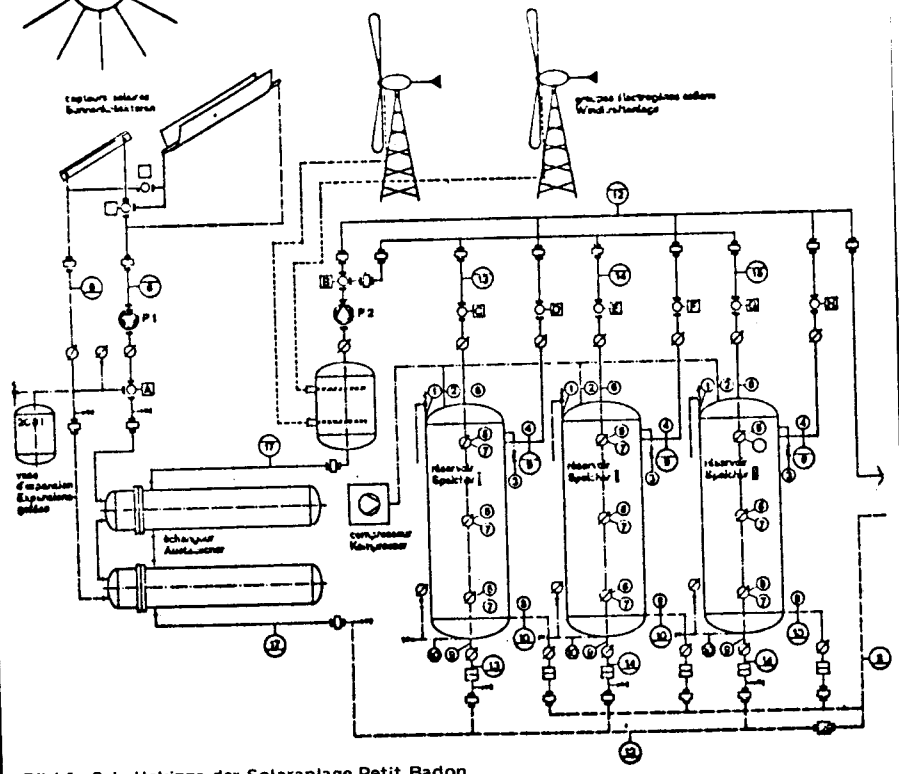


Bild 1: Schaltskizze der Solaranlage Petit Badon