

# Substitution von Erdöl durch die Sonnenenergie

Autor(en): **Kesselring, P.**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins, des Verbandes Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen = Bulletin de l'Association Suisse des Electriciens, de l'Association des Entreprises électriques suisses**

Band (Jahr): **69 (1978)**

Heft 7

PDF erstellt am: **22.07.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-914859>

## **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

## **Haftungsausschluss**

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

davon, dass die progressive Ausgestaltung der Energiepreise angesichts einer komplexen Tarifwirklichkeit grossen praktischen Schwierigkeiten begegnen würde, käme dieses System aus politischen Gründen wahrscheinlich auch nur für die bereits unter weitgehender öffentlicher Kontrolle stehenden Teilbereiche der Energiewirtschaft ernsthaft in Betracht. Eine partielle Anwendung des progressiven Tarifs in den Sektoren Gas und Elektrizität müsste sich im Hinblick auf das Hauptproblem der heutigen Energieversorgung, den hohen Anteil des Mineralöls an der Bedarfsdeckung, erst recht kontraproduktiv auswirken.

Ist das Konzept des progressiven Tarifs auch aus grundsätzlichen Erwägungen heraus abzulehnen, so stellt sich doch nach wie vor die Frage, wie der aktuellen Notwendigkeit des

Energiesparens in optimaler Weise Rechnung getragen werden kann und mit welchen Mitteln das sich in diesem Zusammenhang manifestierende Unbehagen über die geltenden Tarifregelungen, das sich in der Forderung nach dem progressiven Tarif artikuliert, am besten abgebaut werden kann. Eine zumindest denkbare und diskussionswürdige Massnahme wäre die Abschaffung der Grundgebühren und Leistungspreise und ihre Integration in rein arbeitspreisorientierte neue Tarifsysteme. In diesem Bereich dürften einige der Probleme zu suchen sein, welche Theorie und Praxis der Tarifpolitik in den nächsten Jahren vor neue Aufgaben stellen.

#### Adresse des Autors

H. Schweikert, Dr. rer. pol., Direktionsstab der Industriellen Werke Basel, Margarethenstrasse 40, 4053 Basel.

## Substitution von Erdöl durch Sonnenenergie

Von P. Kesselring

*Die Möglichkeiten der Sonnenenergie zur Substitution des Erdöls werden oft überschätzt. Der Autor weist auf die Schwierigkeiten auf dem energetischen und wirtschaftlichen Sektor hin, die diesen an sich wünschenswerten Substitutionsbestrebungen entgegenstehen. (Siehe auch Bulletin EIR Nr. 31, April 1977)*

### 1. Was ist «Substitution»?

Der Begriff «Substitution von Erdöl» wird nicht immer richtig angewendet. Dafür ein Beispiel:

Die Zubereitung von Haushaltswarmwasser mit Sonnenkollektoren im Mittelland ergibt für eine gut ausgelegte Anlage einen Nettowärmeertrag «am Hahnen» von etwa 300 kWh/Jahr pro m<sup>2</sup> Kollektorfläche. Dies entspricht etwa einer Verbrennungswärme von 25 l Heizöl. Rechnet man – wegen des schlechten Sommerwirkungsgrades von Kombikesseln – mit einer Ausnutzung der Ölwärme von 25% bei der konventionellen Warmwasserbereitung, so ersetzt 1 m<sup>2</sup> Kollektor den Verbrauch von 100 l Erdöl/Jahr.

Dieser Sachverhalt wird oft so wiedergegeben: «1 m<sup>2</sup> Sonnenkollektor substituiert 100 l Öl/Jahr durch Sonnenenergie.» Dabei wird aber ausser acht gelassen, dass sowohl Kollektoren wie Speicher und das übrige Zubehör zu ihrer Herstellung Energie – verkürzt gesagt Erdöl – benötigen. So gesehen spricht man korrekterweise besser von einem «Strecken» des Erdöls mit Sonnenenergie, weil – wie wir noch zeigen werden – unter Sommerbedingungen mit der gleichen Ölmenge in einer Sonnenkollektoranlage etwa 4- bis 5mal mehr Haushaltswarmwasser zubereitet werden kann als im Kombikessel.

Echte Erdölsubstitution findet dann statt, wenn ein mit Erdölenergie erbautes System Energie so hoher Qualität liefert (Elektrizität, Wasserstoff), dass es sich daraus – und nicht wieder mit Öl – reproduzieren lässt.

Der springende Punkt ist also, dass man mit Warmwasser keine neuen Sonnenkollektoren bauen kann. Dazu ist die Qualität dieser Energie zu niedrig. Echte Substitution durch Sonnenenergie lässt sich dagegen mit photovoltaischen Zellen oder «Power-Tower»-Kraftwerken bewerkstelligen, da diese Elektrizität erzeugen.

*On surestime souvent les possibilités de l'énergie solaire pour remplacer le pétrole. Si souhaitables que soient les efforts de substitution dans ce sens, il ne reste pas moins de gros obstacles du point de vue énergétique et économique, comme le montre l'auteur du présent article.*

### 2. Energieverstärkungsfaktoren für Sonnenenergieanlagen

Wir bezeichnen als Energieverstärkungsfaktor einer Anlage wie üblich das Verhältnis

$$R = \frac{E_P}{E_I} = \frac{\text{Energieproduktion während der Lebensdauer der Anlage}}{\text{Energieinvestition für den Bau der Anlage}}$$

Diese so definierte Grösse und ihre Berechnung sind aus verschiedenen Gründen nicht unproblematisch. Wir erwähnen die zwei augenfälligsten:

– Darf man z. B. die Wärmeenergie niederer Qualität des Haushaltswarmwassers direkt mit der hochqualitativen Energie  $E_I$  für den Bau der Anlage vergleichen, oder müsste nicht ein Carnotfaktor berücksichtigt werden? Wir werden den direkten Vergleich anstellen, da uns für die Sonnenwärme nicht der absolute Wert von  $R$  interessiert, sondern der Vergleich mit dem Kombikessel, wo der gleiche Carnotfaktor ebenfalls mitgenommen werden müsste.

– Die Berechnung von  $E_I$  erfolgt in Ermangelung eines besseren wie üblich über den sogenannten  $\epsilon$ -Wert, eine Energie/Kosten-Relation. Dabei wird vorausgesetzt, dass hinter jedem Franken Investitionskosten im Mittel  $\epsilon$  kWh stehen. Ist dieser Wert für die Kollektortechnologie gleich wie für Fotozellenfelder oder für Kernkraftwerke? Wir wissen es nicht. Man darf aber annehmen, dass sie mindestens nicht um Faktoren verschieden sind.

Die gerechneten  $R$ -Werte in Tabelle I enthalten immer einen Wert von  $\epsilon = 6$  kWh/Fr. Eine Begründung würde hier zu weit führen, doch sei erwähnt, dass sich mit diesem Wert für ein heutiges Kernkraftwerk  $R = 15$  ergibt, wenn man als  $E_P$  die während 30 Jahren ans Netz abgegebene Elektrizität

einsetzt und die Kosten mit 2 Milliarden Franken/Gigawatt veranschlagt. R-Werte dieser Grösse sind heute für Kernkraftwerke allgemein akzeptiert.

### 3. Das Strecken von Erdöl mit Sonnenwärme

Aus Tabelle I bilden wir das Verhältnis

$$S_{\text{Brauchwasser}} = \frac{R_S}{R_K} \approx 5$$

Das bedeutet, dass für die Brauchwasserbereitung mit Sonnenkollektoren im Sommer mit gleichviel Öl fünfmal mehr Warmwasser erzeugt wird als im Kombikessel mit einem Wirkungsgrad von 25% – keine schlechte Leistung also.

Es wäre aber falsch, dieses Ergebnis zu verallgemeinern und etwa zu sagen: «Mit Sonnenwärme kann man eine gegebene Menge Öl um das Fünffache strecken.» Denn für eine Sonnenheizung mit grösserer Kollektorfläche und einer Speicherung über ein bis zwei Monate sinkt – bei konstantem Bruttowärmeertrag am Kollektor – der Nettowärmeertrag von 300 kWh/m<sup>2</sup> und Jahr auf mindestens die Hälfte wegen der Speicherverluste und der nicht verwertbaren Überschusswärmemengen im Sommer. Bedenkt man dazu noch, dass der Wirkungsgrad von Kombikesseln während der Heizperiode mehr als doppelt so gross wie der angenommene Sommerwirkungsgrad von 25% ist, so wird der Ölstreckwert S für die eigentliche Kollektorheizung mindestens viermal kleiner. Wir erhalten

$$S_{\text{Heizung}} \leq 1,25$$

was nur noch eine marginale Einsparung gegenüber dem Kombikessel bedeutet.

Angesichts der bis jetzt noch nicht sehr genau definierbaren Voraussetzungen wollen wir diese Resultate nicht zu hoch bewerten. Immerhin machen sie qualitativ folgendes klar:

- Die Brauchwasserbereitung ist nicht nur finanziell, sondern auch energetisch gesehen die günstigste Art der Sonnenwärmenutzung mit Kollektoren.

- Für die Heizung sind wahrscheinlich die indirekten Methoden der Sonnenenergienutzung günstiger. Wir denken dabei vor allem an entsprechende Orientierung der Häuser, optimale Aussenhautkonstruktionen, Umverteilen von Sonnenwärme im Gebäude sowie an die Anwendung von Wärmepumpen, mit andern Worten an eine «neue Architektur».

- Als Kriterium für die Beurteilung der Sonnenwärmenutzung wurden die S-Werte bis jetzt zuwenig berücksichtigt. Gründliche Studien dazu fehlen, wären aber nötig.

### 4. Die Substitution von Erdöl durch Sonnenelektrizität

Die Grösse des Energieverstärkungsfaktors für «Power-Tower»-Kraftwerke, wie sie vom Battelle-Institut in Genf für die Schweizer Alpen vorgeschlagen wurden, liegt bei ungefähr R = 5. Wie steht es aber mit den Fotozellen? Wir schreiben für R den folgenden einfachen Ausdruck:

$$R = \frac{I\eta\tau}{K\varepsilon}$$

Dabei bedeuten:

I = jährliche Strahlungsleistung/m<sup>2</sup>

η = mittlerer Wirkungsgrad der Zelle

τ = Lebensdauer der Zelle

K = Kosten/m<sup>2</sup> Fotozelle

ε = 6 kWh/Fr.

Rechnen wir für das Schweizerische Mittelland mit 1400 kWh/m<sup>2</sup> und Jahr Einstrahlung (um 45° geneigte Fläche), einem Wirkungsgrad von 10% und einer Lebensdauer von 20 Jahren, so erhalten wir für heutige Zellen (10000 Fr./m<sup>2</sup>) einen Wert von etwa R = 1/20. Man weiss aber aus der Literatur, dass er in Wirklichkeit für diese Annahmen bei etwa 1/2 bis 1/4 liegt. Es ist dies ein Beispiel, wo unser Wert ε = 6 kWh/Fr. offensichtlich zu hoch ist – vermutlich deshalb, weil die Kosten der heutigen Fotozellenherstellung überdurchschnittlich hoch sind, wird doch eine ausgesprochene Spitzentechnologie auf extrem kleine Serien angewandt. Dies ist auch der Grund, weshalb in den Prognosen der ERDA und der Firma AEG für 1985 von Kosten in der Grössenordnung 100 Fr./m<sup>2</sup> die Rede ist. Es gibt allerdings auch namhafte Fachleute, die diese hundertfache Kostenreduktion innerhalb von 10 Jahren ins Reich der Fabel verweisen.

Ändert man in der Formel für R lediglich die Kosten von 10000 Fr./m<sup>2</sup> auf 100 Fr./m<sup>2</sup>, so erhält man einen Wert von R = 5, wie für das «Power-Tower»-Kraftwerk. Dabei sind allerdings erst die Fotozellen und noch nicht das ganze Kraftwerk berücksichtigt.

Versucht man die Grenzen abzuschätzen, innerhalb denen 1985 mögliche R-Werte von Fotozellen liegen könnten, so zeigt sich die erstaunliche Spanne von R ≤ 1 bis etwa R = 100. Diese unerhörte Bandbreite dokumentiert nichts anderes als unsere Unkenntnis über die grosstechnische Herstellung von Fotozellen. Sie kann nur durch Forschung und Entwicklung behoben werden.

Energieverstärkungsfaktoren verschiedener Systeme<sup>1)</sup>

Tabelle I

System	I Investition Anlagekosten dividiert durch Kollektorfläche Fr./m <sup>2</sup>	τ Lebensdauer  Jahre	E Energieproduktion während Lebensdauer  kWh	R = $\frac{E}{\varepsilon I}$ Energie- verstärkungsfaktor R
Brauchwasseraufbereitung mit Sonne	800	20	6 000	1,25
Si-Fotozelle heute	10 000	30	3 500	0,06
Si-Fotozelle 1985 (Prognose AEG)	100	30	3 500	5,80
Brauchwasser im Kombikessel				0,25

<sup>1)</sup> Dieser sehr groben Abschätzung liegt ein ε-Wert von 6 kWh/Fr. zugrunde (siehe Text). Der R-Wert für einen Kombikessel ist im wesentlichen durch seinen Verbrennungswirkungsgrad bestimmt. Die Energie, welche für seine Konstruktion verwendet wurde, verschwindet daneben fast völlig. Es wurde ein Sommerwirkungsgrad von 25% angenommen.

## 5. Ein Substitutionsmodell

Wir wollen einige Eigenheiten echter Substitution am einfachen Modell beleuchten, welches in Fig. 1 dargestellt ist.

Für den Fall, dass keine Substitutionselektrizität in die Fotozellenfabrik rückgeführt wird, also für  $p = 0$ , definieren wir

$$R = \frac{L_K \cdot \tau}{L_B \cdot \vartheta}$$

Darin bedeutet  $L_B$  die mittlere Leistung (Öl, Elektrizität, Wasserstoff), die für den Bau während der Bauzeit  $\vartheta$  eingesetzt wird.

Wir zählen die Zeit in Einheiten der Bauzeit  $\vartheta$ :  $t = n \cdot \vartheta$ . Man kann sich dann leicht ausrechnen, dass

$$L_K(t) = \frac{a^n - 1}{a - 1} \cdot b \quad \text{wobei } a = 1 + pR \frac{\vartheta}{\tau}$$

$$b = R \frac{\vartheta}{\tau}$$

Diese Relationen gelten natürlich nicht nur für Sonnenzellenkraftwerke, sondern auch für jede echte Substitution.

In Fig. 2 sind einige zeitliche Verläufe der Grösse

$$\frac{L_N - L_F}{L_F} = \frac{(1 - p)L_K - L_F}{L_F}$$

dargestellt. Sie geben die Differenz zwischen elektrischer Nutzleistung des Sonnenzellenkraftwerkes und der zur Substitution aufgewendeten Ölleistung  $L_F$  an, gemessen in Einheiten eben dieser Ölleistung.

Ausgehend vom Referenzfall  $R = 6$ ,  $\vartheta = 1$  Jahr,  $p = 0,7$  werden diese Parameter – bei konstanter Lebensdauer  $\tau = 30$  Jahre – einzeln variiert. Dabei werden folgende wesentliche Tatsachen klar:

- Kurzfristig gesehen (10 Jahre) ist die volle Nutzung der Elektrizität ohne Rückkopplung ( $p = 0$ ) eindeutig die günstigste «Lösung» (Fall A). Sie löst aber die Probleme nicht, da ein solches System energetisch nie selbsttragend wird.

- Echte Substitution setzt einen minimalen R-Wert voraus, der um 5 liegen muss. Fall B zeigt nämlich, dass bei  $R = 3$  die Nutzleistung durch die Abzweigung der Energie für die Fotozellenproduktion sehr stark gedrosselt wird. Würde die Zufuhr von Öl nach 30 Jahren abgestellt, so wäre das System gerade noch imstande, den jetzt beginnenden Ersatz von Fotozellen zu bewerkstelligen.

- Lange Bauzeiten (d.h. zum Beispiel grosse Einheiten) verlangsamen den Substitutionsprozess (Fall C gegenüber Fall D).

- Starke Rückkopplung beschleunigt bei überkritischen R-Werten die Substitution. Rein technisch gesehen sind 70% Rückkopplung durchaus noch sinnvoll.

- Rückkopplung kostet Zeit und vor allem Geld. Bei  $p = 0,7$  werden 70% der Energie sofort «reinvestiert» und nur 30% gewinnbringend verkauft. Wirtschaftlich gesehen liegt deshalb bereits  $p = 0,3$  (Fall E) an der oberen Grenze des Möglichen.

- Substitution verlangt – bei konstantem Endenergieverbrauch – eine erhöhte Primärenergieproduktion. Im Fall D ist die Kraftwerksleistung  $L_K$  3,3mal höher als die Nutzleistung  $L_N$ . Im Fall E beträgt dieses Verhältnis immer noch fast 1,5.

- Bei plötzlicher Verringerung der Rückkopplung wird Leistung frei. Im Fall D verdoppelt sich z.B. die momentane Nutzleistung, wenn man auf  $p = 0,4$  heruntergeht.

## 6. Zusammenfassung und Schlussfolgerung

Öl kann mit Sonnenwärme nicht echt substituiert werden, weil man mit dem Warmwasser der Kollektoren dieses nicht ersetzen kann. Man kann bekanntlich heute durch die Brauchwasserbereitung auch noch kein Geld sparen. Aber man kann dadurch immerhin aus gleich viel Öl etwa 5mal mehr Warmwasser machen als in einem Kombikessel mit dem schlechten Sommerwirkungsgrad von 25%.

Die echte Substitution von Öl ist heute mit Fotozellen noch nicht möglich. Die Zukunftsaussichten für diese Art der Elektrizitätsproduktion wird auch von Spezialisten noch sehr kontrovers beurteilt. Es gibt Fachleute, die nicht an die Elektrizitätsproduktion im grossen mit Fotozellen glauben. Behalten dagegen die Optimisten recht, so können Fotozellen mit Energieverstärkungsfaktoren von 50 und mehr hergestellt werden. Damit lassen sich Kraftwerke bauen, mit denen, wie oben gezeigt wurde, echte Substitution geleistet werden kann. Zweigt man z.B. 10% des Gesamtölkonsums als  $L_F$  in Fig. 1 zur Substitution ab, so lässt sich damit innerhalb von 30 Jahren theoretisch eine Elektrizitätsproduktion aufbauen, die mengenmässig den ursprünglichen Gesamtbedarf an Energie deckt (z.B. Fall E). Ähnliches gilt für die sogenannten «Power-Tower»-Kraftwerke.

In Wirklichkeit wird das Bild aber auch dann nicht so rosig sein. Es gilt nicht nur energetische – und damit auch finanzielle – Durststrecken von 10–20 Jahren (Energierückzahlzeit) zu überwinden. Durch die Rückkopplung wird die an sich schon kleine Nutzleistung nochmals reduziert. Für das schweizerische Mittelland sind mittlere Dauerleistungen (24 h/Tag, 365 Tage/Jahr) zwischen 5–10 W/m<sup>2</sup>, je nach Rückkopplungsgrad, zu erwarten. In den Alpen können diese Werte lediglich mit etwa 1,5 multipliziert werden.

All diese Überlegungen haben eines gezeigt: Die echte Substitution von Erdöl ist eine grosse und schwierige Aufgabe, die viel Zeit und sehr viel Geldmittel erfordert. Das Studium ihrer spezifischen Probleme sollte deshalb viel intensiver als bis jetzt betrieben werden, auch wenn – oder gerade weil – der Beginn der Realisierung noch Jahre und eventuell Jahrzehnte in der Zukunft liegt. Die Sonnenenergie hat – wie wir am Beispiel der Fotozelle gezeigt haben – das technische Potential, Substitution leisten zu können. Forschung und Entwicklung auf diesem Gebiet sind deshalb sinnvoll und notwendig. Aus den verschiedensten Gründen (z.B. Landbedarf, Landpreise, Besonnung) wird allerdings die Schweiz kaum je mehr als einige Prozent an hochwertiger Energie auf eigenem Boden gewinnen können. Wir werden auch bei der Sonnenenergie – so paradox das tönt – auf den Import angewiesen sein.

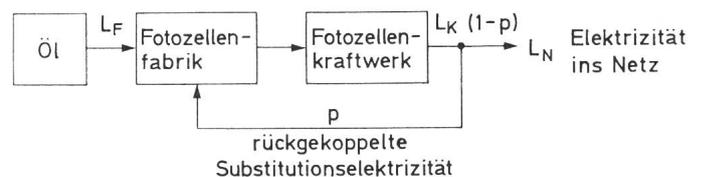


Fig. 1 Vereinfachtes Substitutionsmodell

$L_F$  = eine konstante fossile Leistung (Öl), die während mindestens einer Lebensdauer  $\tau$  eingesetzt wird  
 $L_K$  = die mittlere Kraftwerksleistung während der Lebensdauer  $\tau$

## Nachtrag

Seit ich vor einem Jahr den vorstehenden Artikel für das EIR-Bulletin geschrieben habe, wurden viele zum Teil sehr emotionelle Diskussionen um die Substitution von Erdöl durch Sonnenenergie geführt. Insbesondere der Begriff des Erntefaktors – den auch ich benützt habe – gab viel zu reden.

Meine Meinung hat sich durch diese Ereignisse nicht wesentlich geändert. Ich möchte aber – post festum sozusagen – meine Schlussfolgerungen etwas erweitern und die Bedeutung des Erntefaktors präziser darstellen.

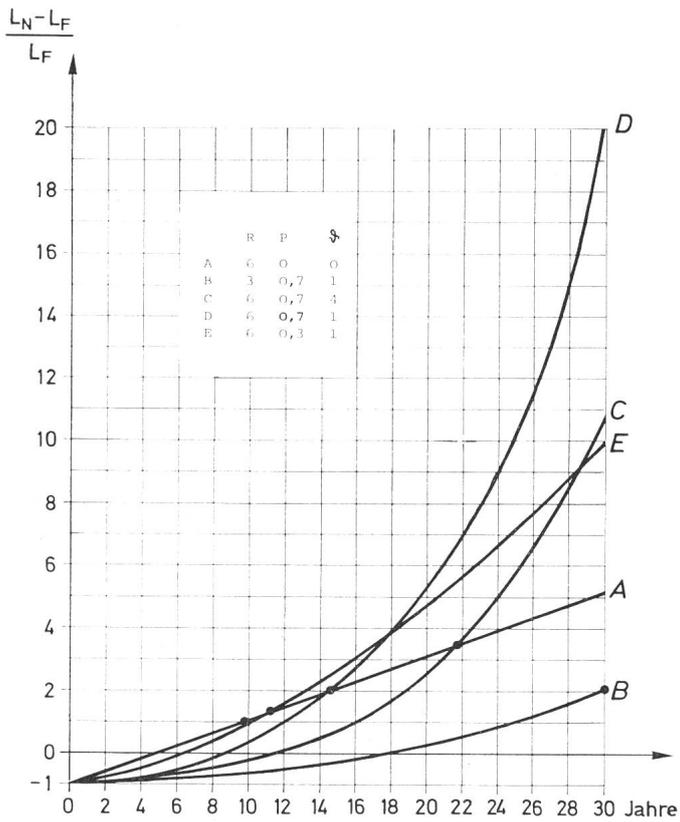


Fig. 2 Substitution von Erdöl durch Solarelektrizität

$L_N$  ist die elektrische Nutzleistung des Kraftwerkes in Fig. 1,  $L_F$  die konstante, zur Substitution eingesetzte fossile Leistung (Öl). Die Lebensdauer der Fotovoltaik wurde in allen Fällen mit  $\tau = 30$  Jahre angenommen.

Am Anfang ist noch keine Nutzleistung vorhanden, das System produziert nicht, sondern es verbraucht Energie. Sobald eine Kurve die Zeitachse kreuzt, liefert das System mehr Nutzleistung  $L_N$ , als es fossile Leistung  $L_F$  bezieht. Man beachte, dass die Kraftwerksleistung  $L_K$  dann aber bereits grösser als  $L_F$  ist:  $L_F = L_N \rightarrow L_K = L_F / (1 - p) > L_F$ .

Eine weitere interessante Grösse ist die Zeit, nach welcher das System gleich viel Nutzenergie produziert hat, wie fossile Energie bisher hineingepumpt wurde (Energierückzahlzeit). Diese Zeit ist gegeben durch den Schnittpunkt der Geraden A mit der zum betrachtenden Fall gehörigen Kurve. Eine Ausnahme bildet der Fall B, da die zugehörige Gerade mit der Steigung  $R/\tau = 0,1 \text{ y}^{-1}$  nicht eingezeichnet ist. Die Energierückzahlzeit beträgt hier gerade etwa eine Lebensdauer, d. h. 30 Jahre.

Die Kurven sind in Wirklichkeit Treppenkurven mit Stufenbreite  $\vartheta$ . Sie wurden der Übersichtlichkeit halber durch glatte Kurven mit Stützwerten bei den Zeiten  $t = n\vartheta$  angenähert.

Der Schlüssel für eine vernünftige Interpretation liegt nach meiner Meinung bei der Unterscheidung zwischen dem «Strecken» und der «echten Substitution» von Erdöl. Ersetzt man nämlich eine Technik, deren Erntefaktor  $R$  inhärent kleiner als eins ist (Beispiel: Warmwasserbereitung mit Kombikessel) durch eine Technik mit  $R > 1$ , so spart man – im Gleichgewicht – sicher Öl ein. Dies ist der Fall für die Niedertemperatur-Sonnenwärmetechnik (meine heutige Schätzung für den Erntefaktor: irgendwo zwischen 2 und 10). Bleibt also – ausser der vielumstrittenen Höhe der Öleinsparungen – noch die Frage eines Versorgungsengpasses bei zu kleinem Erntefaktor auf Grund dynamischer Effekte. Ein solcher ist jedoch nicht zu befürchten, wie folgende einfache Überlegung zeigt:

Die Fabrikation und Installation von Sonnenwärmanlagen ist eine Tätigkeit, vergleichbar mit vielen anderen in der Baubranche (Sanitär, Elektriker usw.). Hier ist also ein direkter Vergleich zwischen Energieaufwand und Kosten sicher nicht abwegig. Da die Kosten einer Brauchwasseranlage für ein Einfamilienhaus (z. B. 10000 Fr.) vielleicht 1 bis 5% der gesamten Baukosten für das Haus ausmachen (z. B. 300000 Fr.), ist auch der prozentuale Energieaufwand etwa gleich gross. Eine nicht utopische Einführungsgeschwindigkeit der Sonnenwärmanlagen vorausgesetzt, ist also die dafür nötige Energie zu vernachlässigen gegenüber z. B. den Schwankungen des Energiebedarfs, wie sie sich durch die ändernde Konjunktur in der Baubranche einstellen.

Mit andern Worten: Solange wir genug Energie zum Häuserbauen haben, können wir diese auch mit einer Sonnenwärmanlage für Brauchwasser und etwas Heizung versehen. Aus Gründen wie sie im ersten Kapitel dargelegt wurden, kann das durchaus sinnvoll sein. Ich befürchte deshalb diese Technik, auch wenn ich überzeugt bin, dass viele «Sonnenenergiefans» die dadurch gesamthaft zu erzielenden Einsparungen an Öl bei weitem überschätzen.

Ganz anders liegt der Fall bei der «echten Substitution» von Erdöl. Wie wir in Kapitel 5 anhand der Sonnenzellenfabrik gezeigt haben, wird es überhaupt erst bei Erntefaktoren, die bedeutend über eins liegen, möglich, ein sinnvolles System aufzubauen. Sinnvoll heisst dabei, dass das System fähig ist, sich ohne weitere Ölzufuhr zu reproduzieren und zu wachsen. Dies aber ist natürlich die unabdingbare Voraussetzung, um überhaupt je einmal echt vom Öl loszukommen.

### Wir fassen zusammen:

– Wenn es ums «Strecken» von Erdöl geht, so ist ein hoher Erntefaktor natürlich ebenfalls anzustreben. Über Sinn oder Unsinn der Einführung einer neuen Technik entscheidet aber nicht so sehr der Absolutwert des Erntefaktors als vielmehr sein Vergleich mit demjenigen der zu ersetzenden Technik.

– «Echte Substitution» ist ohne hohen Erntefaktor prinzipiell in Frage gestellt.

### Adresse des Autors:

Dr. P. Kesselring, Eidg. Institut für Reaktorforschung, 5303 Würenlingen.