



Arch.- u. Ingenieurbüro  
PAUL BOSSERT  
Getwilerstrasse 4  
CH-8953 Dietikon  
☎ 01 / 740 83 93

NOVEMBER 1982

## Erfahrungen mit Total-Energie-Anlagen

# Für Normal-Verbraucher unerschwinglich

Von Paul Bossert, Dietikon/Schweiz

Unter der Leitung und der planerischen Mitwirkung des Verfassers wurden im Verlauf der letzten vier Jahre bei drei Objekten in der Schweiz Total-Energie-Anlagen (TEA) projektiert und installiert. Die Anlagen befinden sich in der Umgebung von Zürich, wobei es sich um sechs große Einfamilienhäuser und um ein Doppelmehrfamilienhaus mit sieben Wohneinheiten handelt. Man hatte es sich zum Ziel gesetzt, durch den Einsatz moderner Energienutzungstechniken und unter Ausnutzung der Umweltwärme den Energiebedarf um das Dreifache zu senken.

Die Total-Energie-Anlagen bilden ein umfassendes Energieversorgungskonzept:

- Sonnenenergienutzung mit entsprechenden Niedertemperatur-Wärmespeichern,
- Energieerzeugungsanlage bestehend aus Dieselmotor, Elektro-Generator, Wärmepumpe, sowie Mittel- und Hochtemperatur-Wärmespeicher,
- Bodenheizung im Konstruktionsbeton integriert,
- Warmwasserbereitung mit Solar- und Abwärmenutzung sowie mit zusätzlichem Elektroeinatz.

Alle Anlagen sind mit Analog- bzw. Microprozessor-Steuerungen versehen. Die Häuser sind alle optimal wärmegeklämt und weisen einen mittleren spezifischen Energieverlust von  $0,40 \text{ W/m}^2 \text{ K}$  auf.

### Wärmebilanz

Nach dem heutigen Stand des Wissens und der Technik zeigt eine TEA bei einer Verdampfungstemperatur von  $+10 \text{ }^\circ\text{C}$  folgende charakteristische Wärmebilanz:

Der Brennstoffwärmeeinsatz wird wie folgt umgesetzt:

Die Rauchgas-Abwärme beträgt	23 %
Die thermische Motor-Abwärme beträgt	39 %
Die mechanische Motor-Nutzleistung beträgt	38 %
Total	100 %

Diese Energieleistung wird wie folgt aufgeteilt:

Von der mechanischen Leistung (38 %) werden 13 % für einen elektrischen Generator verwendet, dessen Stromproduktion beträgt 10,5 %  
Die restliche mechanische Nutzleistung von 25 % wird vom Kältekompressor aufgenommen, dessen thermische Leistung beträgt nun 21,0 %

*Der Autor dieses Artikels, Paul Bossert, ist Bauingenieur und Inhaber eines Ingenieurbüros in Dietikon, Schweiz.*

Dann kann ein Teil der Generator- und Kompressor-Verlustleistungen über den Verdampfer nutzbar gemacht werden	5,5 %
Die Abstrahlungswärme des Motors wird auch über den Verdampfer genutzt	10,5 %
Von der Umwelt zugeführte Wärme wird über den Verdampfer geführt	68,0 %
Hinzu kommt die Wärme des Kühlwassers	28,5 %
Ebenso die nutzbare Abwärme aus den Abgasen	13,0 %
<b>Total</b>	<b>157,00 %</b>

Demzufolge beträgt die Leistungsziffer **1,57**  
 Ohne Umweltwärme weist diese Anlage einen Nutzungsgrad auf von **89,0 %**

Sinkt nun jedoch die Verdampfungstemperatur auf  $-5^{\circ}\text{C}$  ab, zum Beispiel infolge ungenügender Menge oder auf niedrigerem Temperaturniveau sich befindlicher Umweltwärme, so sinkt der Wirkungsgrad der Heiz- und Stromleistung sofort auf **120,0 %**

Die Leistungsziffer heißt nun **1,20**  
 In Wirklichkeit sieht die Energiebilanz jedoch folgendermaßen aus:

Von der theoretischen mechanischen Nutzleistung (38 Prozent) entfallen drei Prozent für Verluste der Energieübertragung. Von den restlichen 35 Prozent entfallen 13 Prozent für den elektrischen Generator, dessen Übertragungsverluste drei Prozent betragen. Somit entfallen für die Stromproduktion noch **10,0 %**

Die restliche mechanische Nutzleistung von 22 Prozent wird vom Kältekompressor aufgenommen und bei fünf Prozent Verlust in folgende thermische Leistung transformiert **17,0 %**

Nun können Teile der Generator- und Kompressor-Verlustleistungen über den Verdampfer genutzt werden. Jedoch nicht wie angenommen zu 85 Prozent, sondern infolge der Energieübertragungsverluste höchstens zu ca. 25 Prozent, somit **3,0 %**

Ebenso können infolge zusätzlicher Energieübertragungsverluste von der Motor-Abstrahlungswärme nur genutzt werden **9,0 %**

Infolge niedrigem Kompressorwirkungsgrad und mehrheitlich ungenügend vorhandener Umweltenergie beträgt

die zugeführte und nutzbare Umweltwärme noch	38,0 %
Abwärme des Kühlwassers	23,0 %
Abwärme aus den Abgasen	10,0 %
<b>Total</b>	<b>110,0 %</b>

Somit ergibt sich ohne Strom eine Heizleistungsziffer von **1,0**  
 Werden die anfallenden Stillstands- und Anfahrverluste von ca. fünf Prozent in Abzug gebracht, sinkt die Heizleistung auf **95,0 %**

### Nutzung der Abgaswärme

Als erstes erscheint die Rauchgaswärmeerzeugung zu gering, da vom möglichen Anteil von 23 Prozent nur 10 Prozent nutzbar sind. In Tat und Wahrheit sind diese 10 Prozent noch zuviel, da eine entsprechend wirksame und taugliche Rauchgaswärmetauschung auf dem Markt noch gar nicht erhältlich ist. Die Erfahrung zeigt, daß handelsübliche Rauchgaswärmetauscher nach kurzer Zeit versotten und ausgebaut werden müssen. Den Glauben an Taupunktunterschreitungen in Rauchgaswärmetauschern kann man vorerst aufgeben.

Wenn man sie jedoch auf höhere Abgastemperaturen dimensioniert, verrotten sie, wobei die Wärmetauscher 14tägig oder monatlich zu reinigen sind. Diese Unterhaltsarbeiten können Bauherrschaften nicht zugemutet werden. Die Kosten sind nicht zu erfassen. Um die Versottung einigermaßen in den Griff zu bekommen, müssen die Abgase zwischen Motor und Rauchgas-Tauscher „gereinigt“ werden. Nun sind die auf dem Markt erhältlichen katalytischen Rauchgasreiniger oder entsprechende Rauchgaswäscher jedoch untauglich und nicht brauchbar.

Außerdem bewirkt die fehlende und nicht funktionierende Rauchgas-Reinigung bzw. Waschung, daß die vorhandenen austretenden Abgase über alle Maßen stinken und die Luft penetrant verpesten. Höhere Abgas- bzw. Auspuffleitungen lösen das Problem nicht, sondern verlagern es nur um wenige Meter Abstand vom Verursachungsort.

Zu guter Letzt sollen noch die Vibrations- und Schallimmissionen erwähnt werden, die entstehen, wenn TEA in Wohngebäuden eingebaut werden. Vor allem sind die Tiefton-Frequenzen nicht in den Griff zu bekommen. Ebenso wirken die direkten Körper- und Luftschallübertragungen sehr störend.

### Elektronische Steuerung mangelhaft

Nur noch etwas zu den Steuerungen: Vorausgesetzt wir glauben, daß die hydraulischen Systeme erfaßbar

seien, so können wir annehmen, daß die nun verwendeten Steuerungseinheiten für die Energieerzeugungsanlage der TEA alleine in der Praxis recht gut funktionieren. Hingegen funktioniert die elektronische Steuerung über die ganze Einheit mangelhaft. Meistens wird zur falschen Zeit Wärme produziert. Hochwertige Umweltwärme wird nicht oder zu wenig genutzt oder wird an den falschen Ort geleitet. Die passive Sonnenstrahlungsenergie wird nicht erfaßt und somit zuviel Wärme auf Vorrat produziert, welche vom Speicher dann nutzlos abgegeben wird.

Nun drängt sich der Einwand auf, daß auf die Stromproduktion verzichtet werden soll, um die Kompressor- und damit die Heizleistung zu erhöhen. Dies ist jedoch nur dann sinnvoll, wenn genügend Umweltwärme vorhanden ist.

Im Falle vom Umwelt-Wärme-Medium Luft ist der Fall klar, daß bei solchen Leistungseinheiten die entsprechenden Luft/Wasser-Wärmetauscher noch nicht auf dem Markt sind. Außer es handelt sich um dubiose Angebote, die laufend versehen und demzufolge entsprechende Energiemengen für den Abtauvorgang aufwenden müssen.

Ist ein Fluß oder See vorhanden, sieht es schon besser aus, doch dürften die hohen Wasserdurchfließgeschwindigkeiten Probleme bieten. Erfahrungen mit Leistungsziffern von über 1,2 sind noch keine vorhanden und technisch sauber überprüft.

### Nutzung der Umweltwärme

Eine eventuelle Hoch-, Mittel- und Niedertemperaturnutzung bei Sonnenkollektoren ist gegenwärtig noch nicht möglich, da die entsprechende Strahlungserfassung mit Steuereinheiten noch nicht entwickelt ist. Demzufolge entstehen laufend unnötige Übertragungsverluste bei den Speichern, sowie k-Wert-Verluste beim Kollektor. Hinzu kommt, daß der Nutzungsgrad von Sonnenkollektoren nicht überprüfbar ist, da richtig funktionierende Strahlungsmeßgeräte wenn überhaupt vorhanden, zu ungenau und noch viel zu teuer sind.

Das in der SMA (Schweizerische Meteorologische Anstalt) verwendete Strahlungsmeßgerät wurde speziell für die Meteorologen hergestellt und ist für den Normalverbraucher unerschwinglich.

Will es der Zufall, daß nun doch etwas Strahlungswärme in den verschiedenen Speichern vorhanden ist, so entstehen weitere Probleme der Wärmeschichtung. Je nachdem

sind bei entsprechenden Grenzschichttemperaturen Wärmeübergänge erst bei einer Temperaturdifferenz ab 10 K möglich. Dies basiert auf der Tatsache, daß die Thermoeffusion in Flüssigspeichern noch nicht wissenschaftlich erforscht ist.

Die vorbeschriebenen Mängel schaukeln sich potenzierend auf, so daß von der eingestrahnten Wärme beim Kollektor nur noch 30 bis 50 Prozent in der Wärmepumpe nutzbar gemacht werden können. Falls man je soweit kommen würde, die vorbeschriebenen Mängel zu beheben, so drängt sich die Frage nach der erforderlichen Heizleistung auf.

Vorerst sind die spezifischen Energieverluste eines Gebäudes nicht bestimmbar, da gegenwärtig noch keine brauchbare und überprüfbare Berechnungsmethode vorliegt. Dieser Mangel wird dadurch verursacht, daß noch keine Strahlungsenergie-Meßgeräte vorhanden sind, die in Abhängigkeit der Sonnenstrahlung den Energie-Input eines Gebäudes messen. Sowohl die unmittelbare Leistung, wie auch die eingestrahlte Summe können mit heute marktüblichen Geräten nicht erfaßt werden. Selbstverständlich wäre die Außentemperatur nur als Nebenwert zum Haupt-Parameter Sonnen-Einstrahlung zu verstehen. Im weiteren wären noch die Einflüsse von Wind und Regen zu berücksichtigen. Doch dies sind ferne Wunschträume.

Gesetzt den Fall, die vorbeschriebenen Meßgeräte wären vorhanden, so kommt als weitere Schwierigkeit, daß wir infolge des Energie-Inputs

die instationäre Wirksamkeit dieser Energien nicht berücksichtigen können, weil eben wiederum diese mathematischen Berechnungsmodelle noch nicht vorhanden sind.

Kurz:

Die Grundlagen für instationäre passive Solarenergie-Nutzung sind noch nicht vorhanden.

Wären nun diese Grundlagenforschungen erfolgt, so würden nun erneut Schwierigkeiten auftreten. Dabei hätte man nämlich bemerkt, wie schon lange vermutet, daß k-Wert-Theorien, Außentemperatur-Steuerungen, Nachtabenkungen und individuelle Energie-Verbrauchs-Abrechnungen den wirklichen Verhältnissen nicht gerecht werden und die Konsequenzen daraus gezogen. Aber die wirkliche Schwierigkeit entsteht erst dann, wenn TEA und Gebäude integriert elektronisch gesteuert werden soll. Diese komplizierten Microprozessor-Steuerprogramme dürften erst in den 90er Jahren erhältlich sein.

### **Nicht gelöste Probleme**

Bei TEA sind folgende Teile und Anlagen technisch sowie wissenschaftlich ungelöst:

- Rauchgas-Wärmetauschung
- Rauchgas-Reinigung
- Vibrations- und Schallemissionen
- zu große Umwandlungs- und Wirkungsgradverluste
- zu hohe Kosten (keine Fließbandfertigung)
- bei Sonnenkollektoranlagen fehlen

genaue Strahlungsmeßgeräte und Steuerungseinheiten

- für flüssige Wärmespeichersysteme fehlen Grundlagenforschungen hinsichtlich Thermoeffusion (dissipative Strukturen) und entsprechende Werte für Wärmeübertragung

- Für Gebäude fehlen Grundlagenforschungen hinsichtlich instationärer Temperaturvorgänge in Abhängigkeit der Wärme- und Feuchte-Speicherfähigkeit, sowie der passiven Solar-Energie-Nutzung. Ebenfalls fehlen die Grundlagen über Feuchtigkeitsdiffusion.

Als Folge der vorerwähnten Grundlagenforschungen wären die Daten über den Wärmeleitungs-Bedarf von Gebäuden zu überarbeiten, damit präzise Heizleistungen berechnet werden können.

Unabhängig davon, ob ein Gebäude mittels TEA oder konventionell beheizt wird, sind strahlungsabhängige Heizungsregelungen zu entwickeln.

TEA mit Diesel- und Otto-Motoren weisen gegenwärtig unlösbare Mängel auf. Mit TEA beheizte Gebäude erzielen praktisch keine Energieeinsparungen im Vergleich mit konventionellen Ölheizungsanlagen. TEA sind gegenwärtig für normal Sterbliche unerschwinglich. Der Verfasser dieser Zeilen zählt sich zu den Optimisten.

Da der Energiesektor sich etwas beruhigt hat, hat man nun genug Zeit, die oben dargestellten Mängel zu beheben, so daß in ein paar Jahren der Energieverbrauch mittels TEA wirkungsvoll gesenkt werden kann. □

