

Europäisches Seminar in Grenoble-Autrans

Biologische Sonnenenergienutzung

Von Dipl.-Phys. Georg Löser, Freiburg

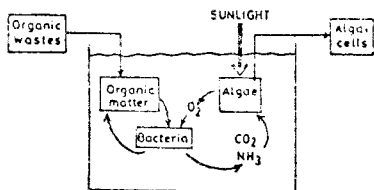
In Grenoble-Autrans fand vom 9. bis 12. Mai 1977 mit rd. 250 Teilnehmern das "European Seminar on Biological Solar Energy Conversion Systems" statt. Die Veranstaltung, von Prof. D. O. Hall, London, und Dr. P. M. Vignais, Grenoble, organisiert und von mehreren französischen Forschungsorganisationen unterstützt, bot mit fast 30 Vorträgen einen aktuellen Überblick über Arbeiten und Ergebnisse im Bereich biologischer Sonnenenergienutzung, insbesondere in Westeuropa. Das Programm wurde ergänzt durch über 50 Kurzbeiträge (Poster). Fazit der Tagung: Obwohl sich nur ein Teil der "grünen" Energietechnologien im anwendungsreifen Stadium befindet, z. B. Methoden der Abfallverwertung, der Algenzucht und der Biogaserzeugung, so ist festzustellen, daß sich binnen weniger Jahre auch in der biologischen Forschung eine bemerkenswerte und gezielte Aktivität in Richtung Sonnenenergienutzung herausgebildet hat. Diese Anstrengungen erlauben die begründete Hoffnung, daß biologische Sonnenenergiesysteme bereits mittelfristig einen Beitrag zur Versorgung mit Kohlenwasserstoffen liefern können. Ein Teil der Erkenntnisse kommt zweifellos auch der nahrungserzeugenden Landwirtschaft oder kombinierten Energie-Nahrungs-Systemen zugute.

Die jährliche Einstrahlung an Sonnenenergie auf die gesamte Erdoberfläche beträgt z. Z. das 10^4 -fache des Weltenergieverbrauchs und das 10^3 -fache der Energie, die jährlich durch die Photosynthese der Pflanzen als chemische Energie gebunden wird; letztere beträgt immerhin das ca. 200fache des gegenwärtigen Nahrungsennergieverbrauchs der Menschheit. Angesichts dieser Zahlen erläuterte Y. de Kouchkovsky, CNRS, Frankreich, die zahlreichen begrenzenden Faktoren der Photosynthese, die letztlich dazu führen, daß weltweit gemittelt die Pflanzen nur ca. 0,1% der Sonneneinstrahlung binden, während kurzzeitig unter Feldbedingungen einige Prozent erreichbar seien.

Einige dieser Faktoren seien durch externe Maßnahmen, wie Sicherstellung ausreichender Temperatur und Wasserzufuhr, Schutz vor Krankheiten oder durch "CO₂-Düngung" zu verbessern, wobei Nebeneffekte wie Energieaufwand und Umweltverschmutzung zu berücksichtigen wären. Dagegen seien zur Verringerung der Lichtatmung gewisser Pflanzengruppen - es treten dabei Verluste bis zu ca. 40% der zunächst fixierten Energie auf - und für die Ausweitung der Fähigkeit von Pflanzen zur Luftstickstoffbindung z. B. genetische Maßnahmen erforderlich. Wenn landwirtschaftliche und rein energetische Zwecke einander widersprechen, gebühre der Nahrungserzeugung der Vorrang. Dies sei angesichts des Wachstums der Erdbevölkerung, der ökonomischen Verschwendung und der ungleichen Verteilung der Güter eine Notwendigkeit.

Energiepflanzungen

Keine auf alle Länder übertragbaren Resultate erbrachten die von W. Sandler, Canberra/Australien, und R. Inman, Mitre Corp./USA, vorgetragenen Ergebnisse über Studien zur Nutzung von Wäldern und Pflanzungen, z. B. Zuckerrohr, Eukalyptus, für direkt energeti-



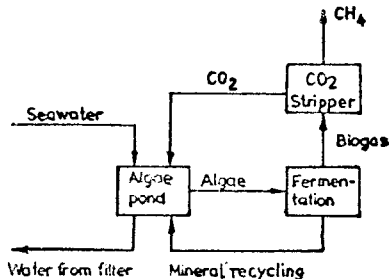
Produktion von Algen-Biomasse in einem Algen-Bakterien-Teich durch Zufuhr von Sonnenlicht und organische Abfälle
D. O. Hall

sche Zwecke (Strom- bzw. Treibstoffherzeugung). Letzteres wird für einige Gebiete der USA, Australiens sowie Brasiliens ernsthaft erwogen, und es werden nach Verbesserung der Bewirtschaftung jährliche Erträge an Bio-Trockenmasse von 30 bis 60 t/ha und ein Energieinput- zu -outputverhältnis von 1:10 erwartet. Jedoch stehe diese Nutzungsart in Konkurrenz zur Erzeugung von Nahrungsmitteln, Fasern und Futter, wobei letztere drei Zwecke z. Z. einen höheren wirtschaftlichen Wert besitzen.

Energie aus organischen Abfällen

Ökonomisch und technisch anwendungsreif bezeichneten mehrere Referenten Techniken, die sich der Verwertung von organischen Abfällen zur Energieerzeugung bedienen, meist unter gleichzeitiger Erzeugung von Düngemitteln und Futtermitteln sowie chemischen Rohstoffen: einer Machbarkeitsstudie der US-Energiebehörde ERDA zufolge, berichtete J. Alich, Stanford/USA, fallen in acht von zehn untersuchten Regionen mit je ca. 150 km Durchmesser organische Abfälle hauptsächlich aus Waldwirtschaft, Holzverarbeitung und Getreideanbau in ausreichender Menge zu relativ niedrigen Gesamtkosten an und könnten häufig zu wettbewerbsfähigen Preisen in verschiedene Energieformen umgewandelt werden. Hierzu seien z. Z. die Stromerzeugung, insbesondere durch Zuführung in konventionellen Kraftwerken, sowie die Methangaserzeugung geeignet. Z. B. könnten in einer nordkalifornischen Region die realistisch verfügbaren Strohabfälle niedriger Feuchte den Strom- oder Gasbedarf der 1,3 Millionen Einwohner decken.

Praktische Verfahren zur Verwertung pflanzlicher organischer Abfälle erläuterte M. Israelsen, Kolding/Dänemark; Strohverarbeitung mittels NH₃- oder NaOH-Behandlung und entsprechende Maßnahmen bei

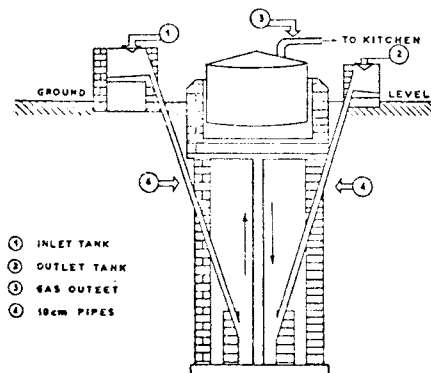


Flußdiagramm für anaerobe Fermentation von Algen mit Mineralienrückführung und Gasabscheider
K. Wagener, P. Inden

Gras, Klee und Blattwerk können ohne wesentlich erhöhten Energieeinsatz einen Beitrag zur effizienteren Landnutzung liefern und damit das "Magische Dreieck" starker Konkurrenz von Nahrungserzeugung, Proteinerzeugung und Energieeinsatz zugunsten der beiden ersteren verbessern.

Erneuerbare Rohstoffe für die petrochemische Industrie

Über biochemische Technologien zur Einführung erneuerbarer Kohlenwasserstoffquellen - statt Kohle, Gas, Öl - für die Verarbeitung in der petrochemischen Industrie berichtete P. Dupuy, Dijon. Projekte dieser Art werden in Frankreich im Rahmen von Energieprogrammen verschiedener Regierungsbehörden unterstützt. Zwar entsprechen ca. 5% der jährlichen Biomasse-Produktion der Welt dem gegenwärtigen Bedarf an Öl und Gas, aber zur Vermeidung von Sammelschwierigkeiten wären eigens Energiefarmen zu entwickeln. Andererseits biete



Schematisches Diagramm einer einfachen Biogasanlage mit organischer Materie als Input und Biogas sowie Dünger als Output
J. Parikh

sich heute die Nutzung von Nebenprodukten der Wald- und Landwirtschaft an. Chemisches bzw. enzymatisches (i. e. biokatalysatorisches) "Zerkleinern", insbesondere der Makromoleküle Stärke und Hemizellulose, ergibt Zwischenprodukte wie Furfural oder Äthanol, die wiederum Ausgangsstoffe praktisch aller Produkte der Petrochemie sind.

Ebenfalls von Bedeutung ist Methanol, das über Biogaserzeugung (Methan) oder über Pyrolyse aus Biomasse gewonnen wird. Weitere pflanzliche Hauptbestandteile, Zellulose und Lignin, sonst schwierig degradierbar, können nach K. Erikson, Stockholm, mit Hilfe spezieller Pilze verwertbar gemacht werden.

Einen interessanten Spezialfall stellt die mikroskopische Alge Dunaliella salina dar, eine einzellige grüne Alge, die unter günstigen Bedingungen und bei hoher Salzkonzentration des Wassers bis zu 85% (bzgl. Trockengewicht) aus freiem Glycerol (einem Alkohol) besteht. Für die Konversion von Sonnenlicht in chemische Energie kann nach Angaben von A. Ben-Amotz, Haifa, hiermit eine Effizienz bis 10% erreicht werden, Dunaliella

erlaube durch Zentrifugation oder Sedimentierungsverfahren eine Ernte bis 0,5 kg Glycerol pro Tonne Medium und Tag.

Algenfarmen für Nahrung und Biogas

Bei den Azteken und heute in Japan und im Tschad wurde bzw. wird die kleine mehrzellige blaugrüne Alge Spirulina als Teil der Nahrung genutzt. Mit einer Kombination mehrerer Pigmente erreicht diese Alge, die in Salzwasser gedeiht und verdauliche Zellwände aus speziellen Proteinen (nicht Zellulose) besitzt, eine hohe Photosynthese-Effizienz von 3 bis 4 %. Sie eignet sich dank ihres 70%igen Proteingehaltes gut zu Ernährungs- und Futterzwecken.

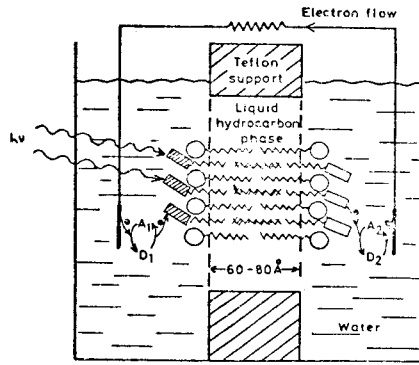
H. Durand-Chastel, Sosa Texcoco/Mexico, erläuterte, daß statt primitiver Sammlungs- und Trocknungsmethoden jetzt für Zucht und Verarbeitung der Alge moderne optimierte Verfahren in mittelgroßem industriellem Maßstab bereitstehen. Zur Ernte reiche die billige Filterung. Abgesehen vom Proteinbeitrag sei auch an eine energetische Nutzung, z. B. Fermentation zu Biogas, zu denken.

| | |
|-----------------------------|--|
| Input of dung (dry weight) | 2,8 kg/day per buffalo. 2,0 kg/day per cow. 0,8 kg/day per calf. |
| Production of gas | At 15°C, 0,18 cubic meters of gas/kg of dung. |
| Caloric value of gas | 4770 kcal/cubic meter. |
| Burning efficiency | 60 %. |
| Effective heat obtained .. | $4770 \times 0,60 = 2860$ kcal/m ³ of gas. |
| Production of fertilizer .. | 0,72 kg of dry sludge with 2,0 % nitrogen/kg of dung. |
| Gas consumption : | |
| — for cooking | 0,34 m ³ per person per day. |
| — for lighting | 0,125 m ³ per hour per lamp of 100 can 'ie power. |
| — for motive power .. | 0,425 m ³ per horse power hour. |

Relevante Daten für nichtbeheizte Biogasanlagen (bei 15°C) im Fall Indien *J. Parikh*

Neben großflächigen Riesenalgenfarmen im küstennahen Ozean – *H. Wilcox*, San Diego/USA, berichtete über amerikanische Experimente und Studien –, für die jedoch vor 2000 noch keine große Bedeutung erwartet wird, sind zwei weitere Algenanwendungen anwendungsfähig: Die Algenproduktion auf Seewasserbasis in mehr oder weniger künstlichen Teichen insbesondere an den Küsten von Trockengebieten (ca. 22 000 km Länge), ohne sonst bebaubares Land in Anspruch zu nehmen ("Marikultur auf dem Land"). Dieses Verfahren eignet sich nach *K. Wagener*, KFA Jülich, besonders für die Kombination mit Biogasproduktion mit den Vorteilen vollständiger Mineralienrückführung und des geringen Düngerverlustes bei Teichwirtschaft. Die anaerobe Fermentation könne ca. 0,6 m³ Biogas pro kg Trockenmaterie ergeben, zu 2/3 Methan, zu 1/3 CO₂, das zwecks CO₂-Düngung in die Teiche zurückgeführt werde.

Ähnliche Methoden zur Methangas- und Düngerezeugung sind nach Bericht von *J. Benemann*, Berkeley/USA, bei Kläranlagen verwendbar. Letztere müßten jedoch für optimale Algenproduktion leicht modifiziert werden in flachere und gerührte Oxidationsteiche. Bestimmte faserige blaugrüne Algen seien anders als die üblicherweise in Klärtei-



Lipids Chlorophyll (or other sensitiser) Ubiquinone (or other electron acceptor) Carotene

Schematische Darstellung einer photosynthetischen Membran zur biophotolytischen Wasserstoffherstellung *Calvin*
 D = Elektronendonator
 A = Elektronenakzeptor
 P₁, P₂ = Photosysteme I und II der Chloroplasten
 * = angeregt nach Absorption von Lichtquanten der Energie $h \cdot \nu$

= biol. Makromolekül

chen vorkommenden zu kleinen Mikroalgen zum ökonomischen Sammeln geeignet. Teichsysteme seien notwendig, um bei wechselnden Betriebsbedingungen maximale Algenrenten zu ermöglichen.

Gute Chancen für die Biogas-erzeugung

J. Le Gall, Marseille, führte aus, daß von den jährlich weltweit photosynthetisch erzeugten 1,7 · 10¹¹ t Biomasse nur 1 % für Nahrung und Futter sowie 1 % für Fasern und energetische Zwecke benutzt werden. Daher sei – zu dieser Auffassung sei auch das Seminar *Microbial Energy Conversion* der UNITAR und des BMFT 1976 in Göttingen gelangt – eine Optimierung der drei Biokonversionsprozesse (a) Nahrung und Futter, (b) Fasern und Chemikalien und (c) Energie nötig und möglich. Insbesondere die anaerobe Fermentation biete bei Kenntnis von teilweise noch zu erforschenden Detailvorgängen die Möglichkeit, nicht nur, wie bekannt, das Endprodukt Methangas (CH₄), sondern auch gezielt die Wasserstoffherstellung zu begünstigen oder Chemikalien wie Äthanol, Aceton, Isopropanol zu gewinnen.

Technologie für die Dritte Welt

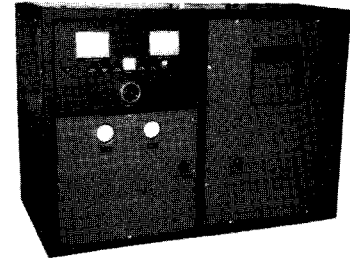
Die große Bedeutung der Biogasproduktion im dörflichen Maßstab als angepaßte Technologie mit niedrigen Investitionskosten für Entwicklungsländer wie Indien stellte *J. Parikh*, Laxenburg/Österreich, dar. Dadurch, daß Verbrennen von Holz und Abfällen vermieden wird, kann erstens der Entwaldung Einhalt geboten werden, können zweitens erhebliche Mengen zusätzlichen Stickstoffdüngers bereitgestellt werden, kann drittens eine effiziente Abfallverwertung stattfinden und viertens der häusliche Energiebedarf im ländlichen Raum weitgehend gedeckt werden – in Indien knapp die Hälfte des Gesamtenergieverbrauchs.

In diesem Zusammenhang ist von Interesse, daß nach Ergebnissen von *J. Roustan* et. al., INRA, pro kg organischer Trockenmaterie, bestehend aus Schweine- und Viehmist, bei Arbeitstemperaturen von 28 bis 35°C eine Ausbeute von 0,3 bis 0,4 m³ Gas mit knapp 60 % Methangehalt erreicht werden kann.

Energiesparer Nr. 1

Wir sind die einzigen, die Ihnen das komplette Programm an Wärmepumpen liefern können.

Unsere Mitarbeiter haben jahrzehntelange Erfahrung im Bau von Wärmepumpen.



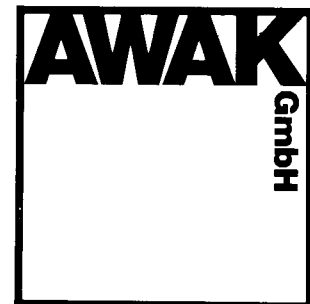
Wir bieten Ihnen ausgereifte, bewährte Technik in Verbindung mit der modernsten Technik.

Wir bauen Wärmepumpen mit Elektromotor-Antrieb Dieselmotor-Antrieb Gasmotor-Antrieb

Unsere Wärmepumpen sind weitgehendst wartungsfrei und servicefreundlich, sie laufen z. T. leiser durch die von uns entwickelte Schalldämmung als die Ihnen bekannten Ölbränner.

Warmwassertemperaturen von + 30°C bis + 90°C
 Leistung von 2 kW bis 2000 kW

Unser Netz von autorisierten Fachfirmen in der BRD und im europäischen Ausland bietet Ihnen die Sicherheit der besten Installation, Service und Beratung.

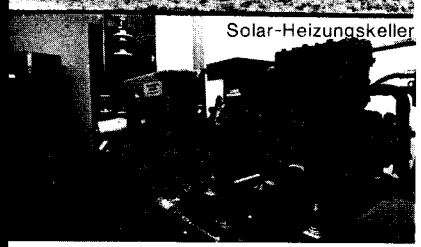
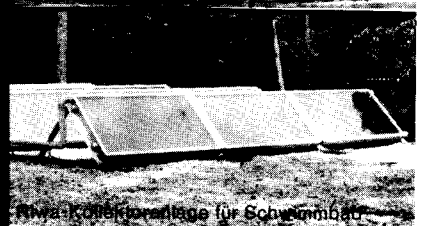


Postfach 674
 Creidlitzer Straße 68
 D-8630 Coburg
 Tel. (0 95 61) 13 41

RIWA

SOLARHEIZTECHNIK Für Neu- und Altbauten. Heizen mit der Energie, die vor Ihrer Haustür liegt.

Riwa-Haus mit Sonnenkollektoren und Wärmepumpenheizung



Riwa-Solarheiztechnik liefert bi- und multivalente Solarheizsysteme für alle Häuser, Sonnenkollektor-Anlagen zur Brauchwasser- und Schwimmbaderwärmung – auch kombiniert mit Wärmepumpe zur Nutzung der Wärme aus der Luft, dem Erdreich und dem Wasser. Nutzen Sie die staatliche Förderung und die Erfahrung eines Marktführers.



Gutschein DGS 6

- Senden Sie mir
- Kostenloses Informationsmaterial zur Riwa-Solarheiztechnik
 - Die Anschrift des nächstgelegenen Musterhauses mit Solarheiztechnik
 - Planungsbogen zwecks unverbindlicher Angebotserstellung

Riwa-Solarheiztechnik, Postfach 320
6540 Simmern, Telefon (06761) 20 55

Name _____
 Straße _____
 PLZ/Ort _____
 Telefon _____

Veranstaltungen

Fixieren von Luftstickstoff statt künstlicher Düngung

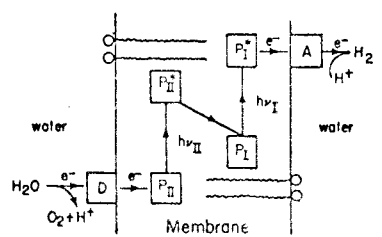
Mehrere Vortragende befaßten sich mit der Verbesserung der Luftstickstoff-Fixierung durch Nutzpflanzen, um auf diese Weise den Bedarf an Stickstoffdünger, dem "Hauptenergieverbraucher" in der modernen Landwirtschaft, zu reduzieren. R. Dixon, Brighton/GB, äußerte die Hoffnung, daß es mit Hilfe genetischer Modifikation existierender stickstoffbindender Pflanzen oder durch Einbindung entsprechender Gene in wichtige Nutzpflanzen gelingen könnte, daß Pflanzen "biologische Düngemittelfabriken" werden.

Wasserstoff und Strom gewinnen?

Eine ungewöhnlich attraktive Möglichkeit der Bioenergie, die sich aber in den kommenden 10 bis 20 Jahren noch im Stadium der Grundlagenforschung befinden wird, ist die biophotolytische Wasserstoffherzeugung. Wasserstoff, aus Wasser und Sonnenlicht gewonnen und in Brennstoffzellen schadstofffrei zu Wasser "verbrannt", ist auf diese Weise eine erneuerbare Energiequelle, die sich auszeichnet in die Natur einordnet (vgl. Justi, DGS-Tagungsbericht Göttingen 1976).

A. San Pietro, Bloomington/USA, und D. Hall, London, gaben Einblick in Stand und Aussichten: Einerseits sind Ertrag und Dauer der biophotolytischen H₂-Erzeugung, die 1962 erstmals und seit 1973 vielfach im Labormaßstab gelungen ist, bisher noch klar zu niedrig für praktische Anwendungen, Kombinationen von subzellulären Pflanzenteilen (Chloroplasten) mit wasserstoffherzeugenden Biokatalysatoren von Bakterien ergaben unter Laborbedingungen – meist mit blaugrünen Algen – bisher maximal ca. 100 Mikromol H₂ pro mg Chlorophyll und Stunde bei einer Lebensdauer des Systems bis zu drei Wochen (Weismann und Benemann, 1977), entsprechend einer Lichtkonversionseffizienz von 0,5 %.

Andererseits laufen derzeit Untersuchungen, die Wasserspaltung der Pflanzen mit künstlichen Systemen (photoelektrochemische Zelle oder photoelektrische Membran) nachzuahmen, aber ebenso Chlorophyll als "Lichtempfangsantenne" zu benutzen ("synthetisches Blatt"). Hierbei wird durch das eingefangene Licht eine elektrische Potentialdifferenz erzeugt, die in einem äußeren Leiterkreis gleichzeitig einen Strom fließen läßt (siehe Abbildung); eine von W. Haehnel et al., Bochum, im Labor untersuchte Modell-einheit einer photosynthetischen Batterie ergab zwischen zwei Pt-Elektroden eine Spannung von 0,22 Volt.



Schematisches Diagramm einer photoelektrochemischen Zelle mit asymmetrischer Doppelschichtmembran (Ti, Verma: in Solar Energy, a UK assessment)

Die weitere Entwicklung könnte auf vollsynthetische Systeme für direkte Elektrizitätserzeugung zielen. Solche Verfahrensweisen erlaube gegenüber weitgehend pflanzlichen Systemen die Möglichkeit zu einer erheblichen

Verbesserung des Wirkungsgrades der Sonnenlichtkonversion, da begrenzende Faktoren der pflanzlichen Photosynthese wie CO₂-Mangel, Licht, Nährstoffe, Temperatur u.a. umgangen werden können, wie auch der Aufwand für die pflanzlichen Lebensvorgänge.

Einen Baustein solcher Wasserstoff oder Elektrizität erzeugenden Systeme könnte die Purpormembran des Halobakteriums darstellen, erläutert von D. Oesterhelt, Würzburg. Diese Membran ist eine der stabilsten biologischen Materialien (bis 800°C, pH 0 bis 12, wahrscheinlich jahrelang stabil und photochemisch aktiv) und würde auch in künstlichen Systemen wirksam bleiben. Sie dient dem Halobakterium als lichtgetriebene Protonen- (= Wasserstoffionen-)pumpe.

EG-Forschung

Im Rahmenprogramm der Tagung berichteten D. Hall, London, und E. Lalor, Dublin, über die Förderung von Vorhaben zur biologischen Sonnenenergienutzung durch die EG für den Zeitraum 1975 - 79, vgl. Sonnenenergie Heft 4/77. Aus dem Etat für Sonnenenergieprojekte in Höhe von 23 Mill. US-Dollar für vier Jahre stehen 12 % für photochemische, photoelektrochemische und photobiologische Zwecke zur Verfügung sowie zusätzlich 6% für Biomasse-Forschung.

Literatur

- Tagungsbericht des "European Seminar on Biological Solar Energy Conversion Systems", 1977, engl. od. franz., erhältlich bei Dr. P. Vignais, DRF/Biochimie CEN-G, 85 85X, 38041 Grenoble-Cedex, Frankreich
- New Scientist, 26.5.77, S. 474, 475
- UK-Assessment "Solar Energy", 1976
- Microbial Energy Conversion, Hrsg. H. G. Schlegel, J. Barnea, Pergamon Press, 1976 (Seminarbericht der gleichnamigen Veranstaltung der UNITAR und des BMFT in Göttingen 1976)
- Heizen mit Sonne I, Tagungsbericht der DGS, Göttingen 1976

Termine 1978

7. bis 18. April
 Fachstudienreise der DGS als Mittelmeerkreuzfahrt mit Vorträgen und Besichtigungen. Auskunft: DGS-Geschäftsstelle München, Tel. 089/53 04 14

12./13. April
 International DFVLR-Symposium on Solar-Thermal Power Stations, DFVLR-Forschungszentrum, Dr. Sprengel, Linder Höhe, 5000 Köln 90

19./20. April
 Leistungsfähigkeit von solaren Heizungs- und Kühlsystemen, Kongreß-Zentrum Düsseldorf, Nato-Committee on the Challenges of Modern Society (CCMS), Auskunft: KFA Jülich, Projektleitung Energieforschung Dr. Peuser, Postfach 1913, D-170 Jülich

24. bis 27. April
 SOLTECH '78, The Middle East Solar Technology Exposition and Conference in Bahrain, Auskunft: Arabian Exposition Management, 11 Manchester Square, London, WIM 5AB UK

18. bis 24. Mai
 Renewable and Traditional forms of energy within hac-technics, VVS '78, Stockholm International Fairs, Auskunft: VVS-Tekniska Föreningen, Hantverkargatan 8, S-11221 Stockholm