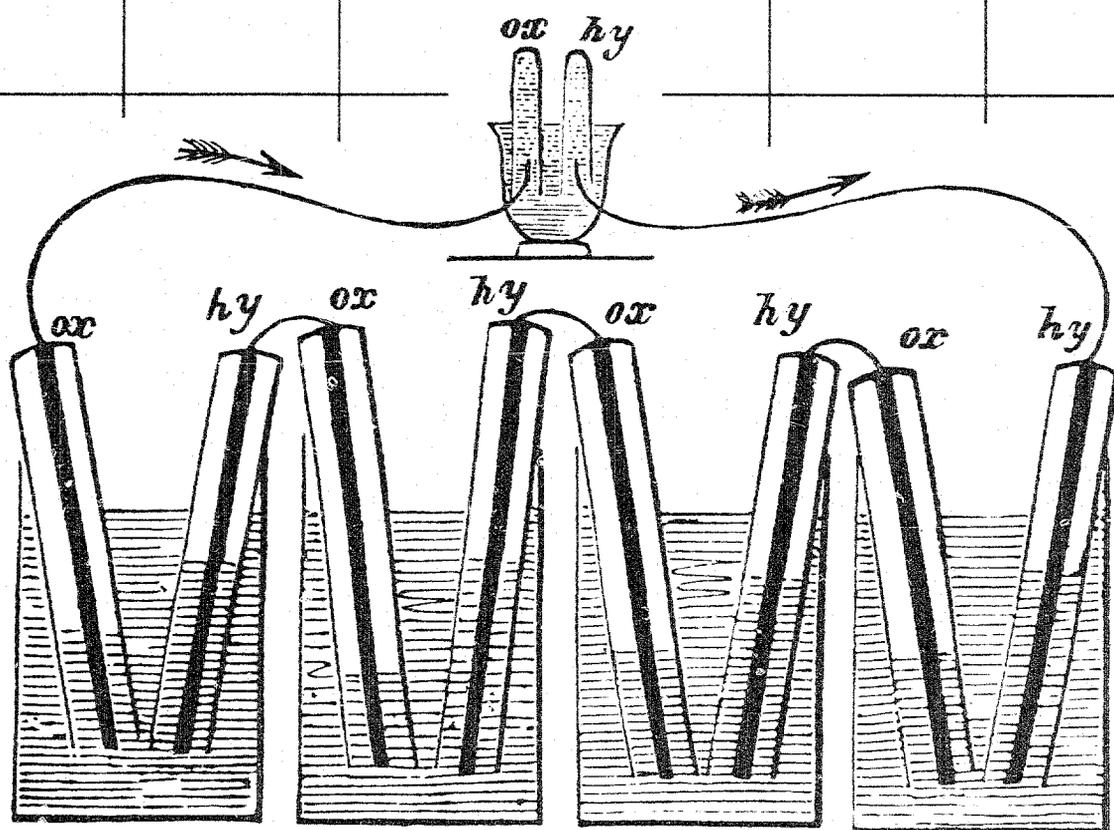


Office fédéral de l'énergie
Bundesamt für Energiewirtschaft

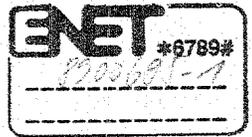
Recherche énergétique

Energie-Forschung 1989

Rapports de synthèse des chefs de programme
Überblicksberichte der Programmleiter



Il y a 150 ans, W.R. GROVE découvre le principe de la pile voltaïque à gaz



RECHERCHE ENERGETIQUE

1 9 8 9

ENERGIE - FORSCHUNG

Rapports de synthèse des chefs de programme

Ueberblicksberichte der Programmleiter

T a b l e / i n h a l t

	Page / Seite
Avant-propos / Vorwort	3
Fortschritte der Energieforschung 1989	5
Rationelle Energienutzung in Gebäuden	7
Rationelle Energienutzung im Verkehr	15
Umgebungs- & Abwärmenutzung, Wärme-Kraft-Kopplung	19
Feuerung & Verbrennung	25
Nukleare Sicherheitsforschung	35

Solaire thermique et stockage de chaleur	41
Solararchitektur	47
Photovoltaïque	53
Energie éolienne	65
Biomasse	69
Kontrollierte Kernfusion	75
Piles au gaz naturel	79
Elektrochemie	85
Photochimie	89
Thermochemie	93
Wasserstoff	97
Elektrizität	103
Sozioökonomie	105
Technologie - Transfer	109
Annexe / Anhang	
Adresses des chefs de programme / Adressen der Programmleiter	111

AVANT - PROPOS

La recherche énergétique du secteur public en Suisse se conforme aux directives émises par le Conseil fédéral en 1987 ^[1]. Les dépenses en 1989 ont dépassé les 165 millions de francs. Les détails à ce sujet peuvent être trouvés dans la liste des projets de recherche qui vient de paraître ^[2].

La valeur des mandats délivrés par l'Office fédéral de l'énergie a atteint 20,2 millions de francs, sans tenir compte des installations de démonstration *intra-muros* de la Confédération (5,6 millions de francs). Ce sont en tout plus de 250 projets qui ont pu ainsi être soutenus financièrement, dont plus de la moitié ont été confiés directement à des firmes privées.

Le présent recueil des rapports de synthèse des chefs de programme tente de donner une vue d'ensemble à l'intention d'un public large qui, sans être intéressé à tous les détails, désire cependant être informé. Ne sont pas évoqués dans les rapports de synthèses les *projets isolés* qui n'ont pas encore pu être intégrés dans un programme. Il s'agit principalement d'études en matière de géothermie, d'utilisation rationnelle de l'électricité dans les bâtiments et d'utilisation de l'énergie dans les piscines.

Chaque rapport de synthèse peut être reproduit en tout ou en partie, à la condition de mentionner la source. Les rapports annuels (RA89), établis pour chacun des projets de recherche énergétique cités dans les rapports de synthèse, peuvent être obtenus soit par l'intermédiaire d'ENET (c/o OFEN, 3003 Berne) soit en le demandant au chef du programme concerné (adresses en annexe).

VORWORT

Die Energieforschung der öffentlichen Hand in der Schweiz richtet sich nach den Leitlinien des Bundesrats von 1987 ^[1]. Die Aufwendungen beliefen sich 1989 auf über 165 Mio Franken. Detailangaben darüber sind in der soeben erschienen Forschungsprojektliste ^[2] zusammengestellt.

Seitens des Bundesamts für Energiewirtschaft (BEW) betrug 1989 der Umfang der Forschungsaufträge 20,2 Mio Franken, ohne die Beiträge an bundeseigene Demonstrationsanlagen (5,6 Mio Franken). Ueber 250 Projekte wurden damit unterstützt, wobei mehr als die Hälfte der Forschungsarbeiten an private Firmen vergeben wurde.

Die vorliegende Broschüre enthält die Berichte der BEW-Forschungs-Programmleniter. Sie richtet sich an alle, welche sich eine Gesamtschau über die Energieforschungsarbeiten verschaffen wollen. Nicht erwähnt sind allerdings *vereinzelte Projekte*, welche noch keinem Forschungsprogramm zugeordnet waren. Es handelt sich hauptsächlich um Untersuchungen in den Bereichen Geothermie, rationelle Elektrizitätsnutzung in Gebäuden und Energieverbrauch von Hallenbädern.

Die Uebersichts-Berichte der Programmleniter können - unter Angabe der Quelle - ganz oder teilweise reproduziert werden. Die einzelnen Jahresberichte (JB89) der in den Uebersichten erwähnten Energieforschungsprojekte sind bei ENET (c/o BEW, 3003 Bern) oder beim betreffenden Programmleniter erhältlich (siehe Adressverzeichnis im Anhang).

^[1] Plan directeur de la recherche énergétique de la Confédération, novembre 1987, OFEN, 3003 Berne.
Konzept der Energieforschung des Bundes, November 1987, BEW, 3003 Bern.

^[2] Liste des projets - Recherche, développement et démonstration - énergie, Série G 1989 (*Réf.: R, D + D Série G 1989*), OFEN, 3003 Berne.
Liste der Projekte - Forschung, Entwicklung und Demonstration im Bereich der Energie in der Schweiz, Serie G 1989 (*Ref.: F, E + D Serie G 1989*), BEW, 3003 Bern.

FORTSCHRITTE DER ENERGIEFORSCHUNG 1989

G. Schriber, Leiter Sektion Energieforschung, BEW

Die **Energieforschung der öffentlichen Hand** der Schweiz hat 1989 ihre Ziele kontinuierlich weiterverfolgen können. Sie ist im internationalen Vergleich in den prioritär zu fördernden Gebieten an der Spitze mit dabei oder sogar wegleitend (z.B. bei der chemischen Energiespeicherung). Begünstigt wurden die Forschungsarbeiten im vergangenen Jahr durch die verstärkten Aktivitäten beim Paul Scherrer Institut (PSI) sowie durch die weitere Öffnung der Höheren Technischen Lehranstalten (HTL) für Energieforschungsaufgaben. Der strukturelle Aufbau der Forschungsbegleitung durch BEW und BBW konnte abgeschlossen werden: Alle 18 Programmleiterposten sind jetzt besetzt, die Arbeiten für die nächsten Jahre - mit einer Ausnahme - definiert und deren Begleitung durch Experten und die Eidg. Energieforschungskommission CORE sichergestellt.

Auch 1989 stand die **Entwicklung neuer Energietechnologien** im Zentrum der schweizerischen Energieforschung. Und es können markante Erfolge verzeichnet werden. Vier Beispiele:

- Bei einer gänzlich neuen Art Solarzelle (photo-elektrochemische Zelle) konnte ein Wirkungsgrad grösser als 5 %, dauernde Stabilität und Reproduzierbarkeit der Beschichtung erreicht werden. Damit sind gute Grundlagen geschaffen worden für die Herstellung einer sehr preisgünstigen Solarzelle.
- Bei den mit wesentlichen Schweizer Beiträgen durchgeführten Kernfusionsexperimenten (Joint European Torus, Culham) ist man bei den Plasmametern schätzungsweise einen Faktor 10 zur Zündung der Fusionsreaktion herangelangt. In den 70er Jahren fehlte noch ein Faktor 25'000!
- In einem gemeinsamen Effort haben Industrie und Forschungszentren aussichtsreiche Bedingungen für die Herstellung einer Schweizer Erdgasbrennstoffzelle erarbeitet.
- Für die saisonale Wärmespeicherung sind die technischen und wirtschaftlichen Parameter soweit erfasst und modelliert worden, dass jetzt klare Entscheidungsgrundlagen für deren Anwendung vorliegen.

Daneben sind natürlich auf allen Forschungsgebieten deutliche Schritte vorwärts getan worden. Die Erfolge lassen sich jedoch nicht erzwingen und Enttäuschungen blieben auch 1989 nicht aus. So brachten etwa Forschungsarbeiten an leichten Elektromobilen nicht die erwarteten Ergebnisse; nach wie vor fehlt es an geeigneten Batterien.

Eher entmutigend sind auch die Ergebnisse im Energieforschungsgebiet **Optimierung von Komponenten und Systemen**. Es geht hier darum, bei den in den letzten Jahren hervorgebrachten, anwendungsreifen Technologien den Wirkungsgrad oder die Materialien und die Herstellungsmethoden so zu verbessern, dass sie auf dem Markt konkurrenzfähiger werden. Fortschritte - insbesondere bei den Wärmepumpen, den Solar- und Biogasanlagen - sind zwar zu verzeichnen. Bei den heutigen Energiepreisen genügen sie jedoch bei weitem nicht.

Ein weiterer Schwerpunkt der Energieforschung befasst sich mit der **Sicherheit und Zuverlässigkeit von Anlagen**. Die 1989 fertiggestellten neuen Testeinrichtungen an der HTL Rapperswil werden belastbare Aussagen über Lebensdauer und Betriebsicherheit von solarthermischen Anlagen ermöglichen. Interessante Ergebnisse liefern bereits die Prüfeinrichtungen für solarelektrische Installationen an der HTL Trevano. Hier konnten z.B. 1989 in gewissen Modultypen gravierende Fehler ausgemacht werden. Zudem wurde festgestellt, dass der Wirkungsgrad von Solarzellen aus amorphem Silizium im Winter geringer ist als im Sommer, ganz im Gegenteil zu kristallinen Zellen. Der Hauptteil der Sicherheitsforschung gilt jedoch den Nuklearanlagen. Die Abklärungen sind dabei sehr breit angelegt: Zerstörungsfreie Komponentenprüfungen, Erdbebenauswirkungen, Werkzeuge für Störfallanalysen, Aktivitätstransporte in den Kühlkreisläufen, Bruchverhalten von Rohrleitungen u.a. Diese Arbeiten sind auch unter dem Aspekt der Ausbildung von Spezialisten für die Sicherheitsbehörde zu sehen.

Wie in früheren Jahren haben die Forschungsarbeiten für eine **effizientere Energienutzung** auch 1989 neue Wege zum Energiesparen aufgezeigt. So ist z.B. mit Messungen in Spitälern ermittelt worden, wie dort der Wärmeverbrauch bis zu 40 % gesenkt werden kann. Und Untersuchungen an Mischarmaturen haben Modelle mit ebenfalls bis zu 40 % geringerem Wasser- und Energieverbrauch gegenüber üblichen Armaturen identifiziert. Im Hinblick auf die Planung optimaler Raumbelüftung zeichnet sich ab, dass man - mindestens modellmässig - die Luftbewegungen in Grossräumen in den Griff bekommt. Positiv zu vermerken sind ebenfalls die Messergebnisse aus dem Gebiet Solararchitektur: Sie zeigen, dass Sonnenenergie und -licht zu günstigen wirtschaftlichen Bedingungen Energie- und Behaglichkeitsvorteile bringen kann.

Einen Beitrag zur **Reduktion umweltbelastender Schadstoffe** will die Verbrennungsforschung bringen. Trotz Fortschritte im vergangenen Jahr, sind die Kenntnisse über die Verbrennungsvorgänge noch immer mangelhaft. Sie sind jedoch Vorbedingung für die Entwicklung neuer, sauberer Technologien, wie etwa die Hochdruckverbrennung, von der man sich drastische Verbesserungen gegenüber den noch gängigen Praktiken verspricht.

Einen wichtigen Aspekt der Schweizer Energieforschung bilden die Anstrengungen zur **Umsetzung der Ergebnisse in die Praxis**. Hier wurden 1989 wesentliche Schritte unternommen:

- Es haben vermehrt Seminare mit der Industrie stattgefunden um einerseits Resultate vorzustellen, andererseits Forschungslücken gemeinsam zu definieren (Luftströmungs-Seminar, Tagung mit Brennerfachleuten, Brennstoffzellenseminar, Seminare über chemische Speicherung, Tagung "Energie und Bau" u.a.).
- Im Bundesbereich sind eine Reihe von Demonstrationsanlagen errichtet und der Öffentlichkeit bekannt gemacht worden (z.B. Solarzellenanlage entlang Autobahn).
- Mit privaten Errichtern von Demonstrationsanlagen wurde eng zusammengearbeitet (z.B. Anlage für solare Prozesswärme in Teigwarenfabrik Leuenberger, 100 %-Solarhaus Jenni).
- ENET und INFOENERGIE, welche zentrale Rollen bei der Wissensumsetzung bzw. Information über Demonstrationsanlagen spielen sollen, haben ihre Aktivitäten aufgenommen.
- Der Kreis der HTL's, welche Energieforschung betreiben, konnte erweitert werden. Dies hat nebst dem "Umsetzungseffekt" auch zu einer Vergrösserung der Forscherkapazität geführt.

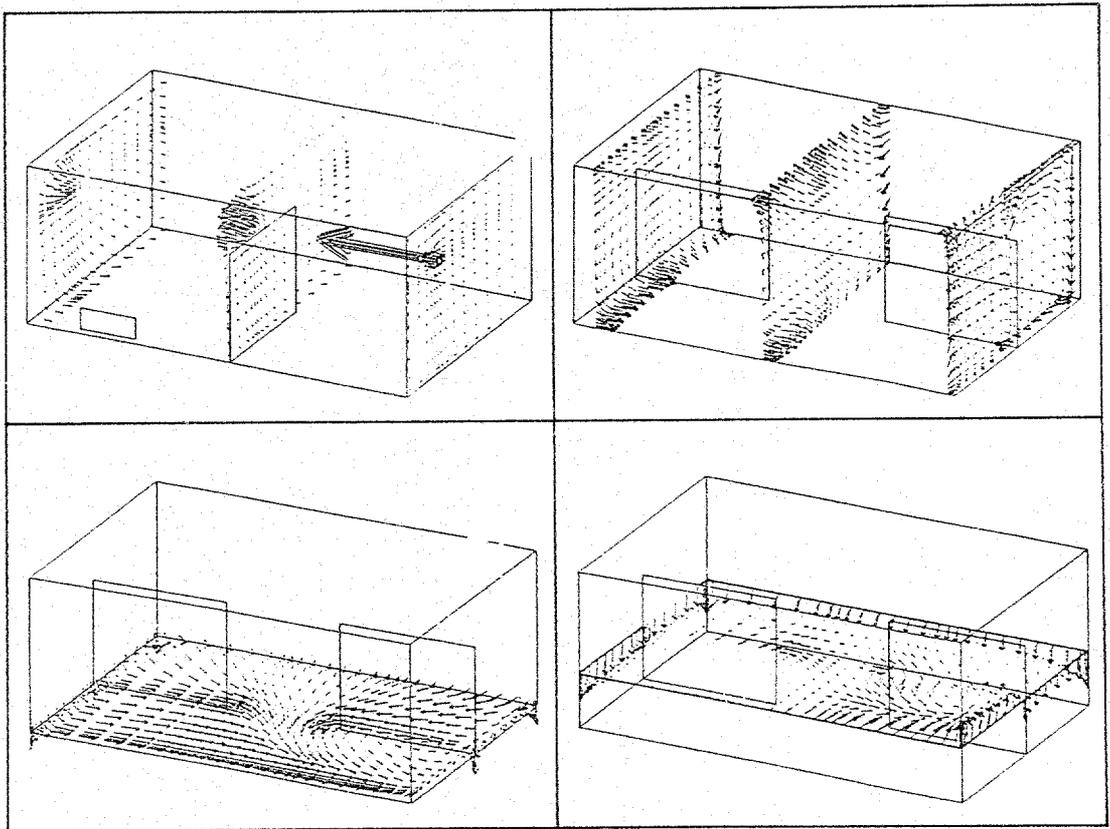
Die **privatwirtschaftliche Energieforschung** hat naturgemäss ihr Schwergewicht in der Produkteentwicklung. Dabei wurden auch 1989 in erster Linie Verbesserungen in der konventionellen Energietechnik (Turbinen, Generatoren, Wärmetauscher, elektrische Geräte, u.a.) angestrebt. Im Bereich neuer Energietechniken wie Solarenergie, Wärmepumpen usw blieb die Forschung der Privatindustrie relativ bescheiden. Bedauerlicherweise sind sogar zwei zukunftssträchtige Entwicklungen aufgegeben worden: Elektrolyseure für die Wasserstoffherstellung und Receiver für Solarkraftwerke. Andererseits sind neue Gebiete aufgenommen worden: z.B. die Entwicklung von Brennstoffzellen, von Komponenten zu Windanlagen, von Wechselrichtern für Photovoltaikanlagen. 1989 war zudem ein vergrössertes Engagement der Privatwirtschaft für neue Verbrennungstechniken spürbar. Stark ist die Schweizer Industrie im Bereich Regelung & Steuerung (Energimanagement), sie konnte hier im vergangenen Jahr ihre Position international weiter ausbauen.

In der Zusammenarbeit zwischen Privatwirtschaft und öffentlicher Hand im Energieforschungsbereich ist für 1989 eine vermehrte Oeffnung zu verzeichnen. Die Situation ist jedoch noch nicht befriedigend.

RATIONELLE ENERGIE- NUTZUNG IN GEBÄUDEN

Uebersichtsbericht
zum Forschungsprogramm 1989

Programmleiter: M. Zimmermann



Luftströmung in einem Raum (Computersimulation)

Die Luft und ihre Bewegung wurde in der Energietechnik lange vernachlässigt. Dank dem Forschungsprogramm ERL ist es heute möglich, Luftströmungen im Raum vorzuberechnen und damit Komfort und Energieflüsse während der Planung zu beurteilen. Das Bild zeigt oben links die Luftströmung in einem Raum mit hoher Luftzufuhr. Die übrigen Bilder zeigen drei Schnitte durch einen anisothermen Raum mit kalter Rückwand und Bodenheizung.

1. Programmübersicht

Die rationelle Energienutzung in Gebäuden ist ein sehr weites Gebiet. Sie umfasst im Wesentlichen alle Massnahmen, die der energetischen Optimierung des Gebäudes und dessen Nutzung dienen. Dazu gehören sowohl der Wärmeschutz, die gesamte Haustechnik, die Nutzung von Sonnenenergiegewinnen und internen Gewinnen, sowie auch der Einbezug der Gebäudeerstellung, der Sanierung und des Abbruchs. Das Sparpotential ist auch entsprechend gross. Deshalb erhalten diese Forschungsarbeiten hohe Priorität.

Im Vordergrund der Forschungsanstrengungen steht die optimale Planung des Gebäudes als Energiesystem. An zweiter Stelle folgt die Verbesserung der Gebäudehülle und der Haustechnikanlagen (vgl. Bild 1).

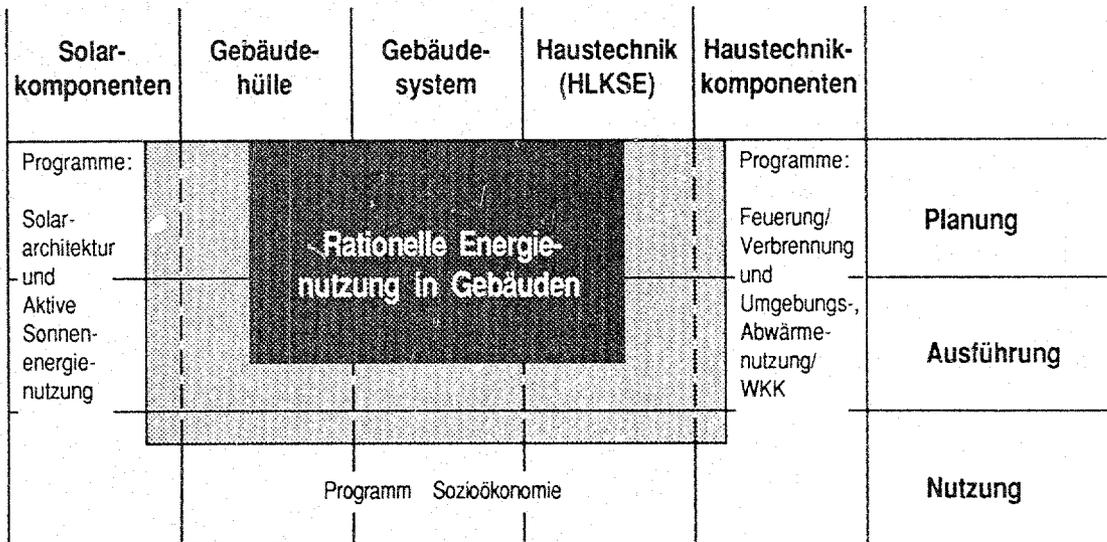


Bild 1: Das Forschungsprogramm "Rationelle Energienutzung in Gebäuden" hat seinen Schwerpunkt bei der energetisch optimalen Planung des Energiesystems Gebäude. Es ist koordiniert mit 5 weiteren, angrenzenden Forschungsprogrammen, mit denen es sich z.T. überschneidet (grauer Bereich).

Es ist klar, dass das Forschungsprogramm bei der Breite des Gebietes Schwerpunkte setzen muss. Es will vor allem Wissenslücken schliessen und neuen Technologien zum Durchbruch verhelfen.

Bei den Komponenten - sei es auf der Solar- oder auf der Haustechnikseite überschneidet sich das Forschungsprogramm mit anderen Programmen. Eine klare Trennung ist nicht möglich, weil häufig das Gebäude als Gesamtsystem betrachtet werden muss. Im Bereich der Gebäudenutzung (des Benutzerverhaltens) tangiert es auch das Forschungsprogramm Sozioökonomie.

2. Anvisierte Zielpunkte 1989

1988 wurde das Forschungsprogramm "Rationelle Energienutzung in Gebäuden" konzipiert und gestartet. 1989 diente vor allem der detaillierten Ausarbeitung und dem Start der Projekte, aber auch der besseren Abstimmung laufender Projekte auf die gemeinsame Zielrichtung des Programmes.

Daneben galt es auch, neue Entwicklungen im Energiebereich zu beobachten und Forschungsbedürfnisse abzuklären.

Heute besteht das Programm aus 18 laufenden Projekten, wovon 11 1989 neu gestartet wurden. Zusätzlich sind weitere Projekte in Vorbereitung (vgl. 6.).

Für die Ueberarbeitung des Forschungskonzeptes, welche 1990 erfolgen soll, wurden zwei neue Schwerpunkte ermittelt:

- Vermeidung von Kühllast in Niedrigenergie-Gebäuden mit hohen internen Wärmegegewinnen,
- Rationelle Elektrizitätsnutzung in Gebäuden.

3. Durchgeführte Arbeiten und erreichte Ergebnisse

Laufende Projekte

a) *Gestion de l'énergie dans les hôpitaux [1]*

Die internationalen Arbeiten zu diesem Projekt (im Rahmen der IEA) wurden 1989 mit der Veröffentlichung eines mehrteiligen Handbuchs in Englisch und Deutsch über Energiemanagement in Spitälern abgeschlossen [13].

In der Schweiz werden die Arbeiten noch weitergeführt, um die Umsetzung der Erkenntnisse in die Praxis zu gewährleisten. Dazu wird mit verschiedenen Spitälern eng zusammengearbeitet, die sich auch an detaillierten Messkampagnen beteiligen. Diese haben z.B. gezeigt, dass der Wärmeverbrauch in Spitälern von über 1000 MJ/m²a auf etwa 600 MJ/m²a gesenkt werden kann. Dagegen ist der Elektrizitätsverbrauch stark angestiegen und übersteigt häufig 500 MJ/m²a. Der Stromverbrauch wird deshalb in Zukunft vermehrt untersucht werden müssen.

b) *Energierrelevante Luftströmungen in Gebäuden (ERL) [2]*

Die wichtigsten Ergebnisse des ERL-Forschungsprogrammes wurden am 3. Status-Seminar vom 8. November 89 in Zürich einem breiten Interessentenkreis vorgestellt [14].

Auf dem Gebiet der numerischen Simulation von Raumluftrömungen konnte das Rechenmodell verbessert werden, sodass heute turbulente und konvektive Luftströmungen besser berücksichtigt werden können. Dadurch wurden bei der Berechnung der Raumluftrömungen recht grosse Fortschritte gemacht. Allerdings bedingt diese Berechnung eine sehr grosse Rechenleistung. Für einfachere Praxisanwendungen soll deshalb ein Raumluftrömungs-Atlas mit typischen Luftströmungssituationen erarbeitet werden.

Für die Berechnung des Luftaustausches zwischen den Räumen konnte in Zusammenarbeit mit dem internationalen Projekt COMIS die erste Fassung eines Interzonenströmungsmodelles erarbeitet werden. Dieses Rechenprogramm, das nun noch getestet und z.T. ergänzt werden muss, soll einmal zur Behandlung von Luftaustausch-Problemen der Praxis direkt zur Verfügung stehen. Zusätzliche Arbeiten wurden für die Behandlung grosser Oeffnungen bereits begonnen.

Ein dritter Teil des ERL-Programmes befasst sich mit der Erarbeitung von Unterlagen für die Planung von Lüftungsanlagen. Im Vordergrund stehen zukunftsgerichtete, energiesparende Lüftungssysteme. Ein Grundlagenbericht ist dazu 1989 in die Vernehmlassung gegangen. Die Untersuchung neuartiger Konzepte am Objekt und im Labor wurde etwas zurückgestellt, um die Kenntnislücken vorgängig genauer definieren zu können.

Mit dem Jahr 1989 ist auch die erste Hälfte des ERL-Programmes zu Ende gegangen. Die ERL-Gesamtleitung will dies zum Anlaß nehmen, anfangs 90 Bilanz über das bisher Geleistete zu ziehen und die Ziele zu überarbeiten.

c) Radon im Innern von Wohnbauten [3]

Nachdem man sich in der ersten Hälfte dieses Forschungsprojektes auf die Untersuchung der Radon-Quellen, der Radon-Ausbreitung im Boden und der Auswirkung des Radons auf den Menschen konzentriert hatte, wurden 1989 vor allem die Radon-Transportmechanismen im Gebäude untersucht.

Die daraus gewonnenen Erkenntnisse bestätigen im wesentlichen die früheren Vermutungen:

- wesentlich höhere Radonkonzentrationen in Gebäuden mit Naturboden-Keller als mit Betonboden-Keller,
- wesentlich höhere Radonkonzentrationen bei vertikal offenen Gebäuden (v.a. wenn offen bis zum Keller),
- reduzierter Radonpegel in gut gelüfteten Räumen, jedoch kaum höhere Werte bei Abdichtung der Wohnräume.

Der Radonpegel in Wohnräumen ist nicht konstant. Sowohl die Radonquelle (im Keller) wie auch die Radon-Ausbreitung ist stark klimabedingt, d.h. temperatur- und druckabhängig. Vertikale Verbindungen sowie eine undichte Gebäudehülle begünstigen in der Regel den Luftwechsel vom Keller bis unters Dach.

d) Air Infiltration and Ventilation Centre (AIVC) [4]

Das AIVC in Warwick (UK) hat die Aufgabe, im Rahmen der IEA als weltweite Koordinations- und Informationsstelle für alle Luftströmungs-Vorhaben tätig zu sein und diese mit eigenen technischen Arbeiten zu ergänzen. Wichtigste Arbeiten waren 1989:

- Koordination und Begleitung der Luftströmungsprojekte "Demand Controlled Ventilating Systems, Air Flow Patterns und COMIS",
- Durchführung der 10. AIVC Konferenz in Finnland,
- Ergänzung der AIRBASE-Literaturbank, welche heute rund 3500 Publikationen erfasst (an EMPA und EPFL vorhanden) [16],
- Publikation der Resultate (Kurzfassung) von IEA - Task "Minimum Ventilation Rates and Measures for Controlling Indoor Air Quality" [15].

e) Effiziente Energienutzung in Schulen (EFFENS) [5]

Der technische Teil des Forschungsprojektes konnte 1989 weitgehend abgeschlossen werden. Dazu wurden in diversen Schulhäusern Untersuchungen über Luftqualität, Tageslicht und Beleuchtung sowie über Regelsysteme für Schulhäuser durchgeführt. Die Resultate dieser Untersuchungen werden an einem zwei-tägigen Seminar im Mai 1990 den Fachleuten vorgestellt.

Danach wird der Arbeitsschwerpunkt bei der Zusammenfassung der Erkenntnisse und deren Uebertragung zum Anwender liegen.

f) Demand Controlled Ventilating Systems [6]

Die Bedeutung bedarfsgeregelter Haustechniksysteme hat seit Beginn dieses Projektes generell zugenommen. Im Zentrum der Bedarfsregelung steht die Sensor-Technik, welche die Ermittlung des Bedarfes sicherstellen muss. Die Untersuchungen über die geeignete Wahl und Plazierung der Fühler stand deshalb 1989 im Vordergrund. Ein entsprechender Bericht wurde dazu verfasst [17].

Zudem wurden Sensor-Tests in Angriff genommen, welche Aussagen über die Zuverlässigkeit handelsüblicher Fühler für Feuchte, CO und nicht-oxydierte Gase ermöglichen sollen.

g) Air Flow Patterns within Buildings [7]

Dieses IEA-Projekt hängt mit dem schweizerischen ERL-Forschungsprogramm zusammen, indem es im Bereich der numerischen Simulation von Raumluftrömungen und des Luftaustausches das ERL-Programm international ergänzt.

Zur Untersuchung der Raumluftrömungen wurden einige klar definierte Testfälle festgelegt und in verschiedenen Ländern identische Messkammern aufgebaut. Diese Fälle sollen demnächst ausgemessen und zugleich mit numerischen Simulationsmodellen berechnet werden. Der Vergleich der Ergebnisse soll Aufschluss über die Verwendbarkeit der Programme geben.

In einem zweiten Projektteil wurde 1989 mit der Verbesserung der Rechenalgorithmen zur Bestimmung des Luftaustausches zwischen den Räumen begonnen. Im Vordergrund stehen der Luftaustausch durch grosse Oeffnungen, der Einfluss des Bewohnerverhaltens (z.B. Oeffnen der Fenster), der Transport von Schadstoffen im Gebäude und die Berechnung der Mehrzonen-Lüftungseffizienz. Auch die Messmethoden zur Erfassung von Luftaustausch bzw. Luft-Durchlässigkeit zwischen den Räumen wurden verfeinert und erprobt. Die meisten Kapitel für zwei Messtechnik-Handbücher sind bereits geschrieben. Datenbanken für die Anwender sind in Vorbereitung.

Neue Projekte

a) Gasbrenner - unterstützte Kleinholzfeuerungen [8]

Das Projekt will untersuchen, inwiefern mit einer kleinen, bedarfsgeregelten Gasflamme der Anfeuerungs- resp. Ausbrandvorgang bei Kleinf Feuerungen schadstoffbezogen verbessert werden kann. Das Projekt versteht sich als Ergänzung zur Optimierung der Feuerraumgeometrie und -konstruktion, welche vor allem das Feuerungsverhalten im stationären Betrieb verbessern soll.

Das erste Projektjahr diente hauptsächlich der Evaluation einer geeigneten Messanordnung, die einen sehr breiten Messbereich beansprucht. Erste Messungen konnten an verschiedenen Holzfeuerungen zur Erprobung des gewählten Verfahrens durchgeführt werden.

b) Energierrelevante Typenprüfung für Oel- und Gasheizkessel [9]

Hauptziel dieses Projektes ist die Ergänzung der Typenprüfung in Bezug auf energetisch relevante Einsatzbedingungen moderner Oel- und Gasheizkessel mit Gebläsebrennern. Dabei sollen vor allem auch praxisbezogene Angaben für den Planer ermittelt werden.

In einer ersten Phase wurden 1989 die für den Planer und für den Betrieb interessanten Anlagekennwerte in einem Bericht zusammengefasst. Im Hinblick auf die europäische Koordination der Zulassungsprüfungen wurde auch die Uebereinstimmung der geplanten Anforderungen mit dem CEN-Prüfverfahren untersucht. Diese Untersuchung führte zu einer Verzögerung im Projektablauf, sodass erst 1990 mit den eigentlichen Arbeiten am Prüfverfahren begonnen werden kann.

c) Schadstoffemissionsverhalten von Baustoffen [10]

Im Hinblick auf möglichst niedrige Luftwechselraten soll das Projekt Angaben über das Schadstoffemissionsverhalten von Baustoffen liefern. Es sollen auch die Parameter, welche eine solche Emission beeinflussen untersucht und ein allgemein anwendbares Prüfverfahren erarbeitet werden.

Das erste Projekthalbjahr diente vor allem der Planung und Ausführung der Prüfzellen. Eine begehbare 20 m-Prüfzone, die auch für andere Projekte verwendet wird, konnte bereits erstellt werden. Die für dieses Projekt sehr wichtige 1 m -Prüfzelle soll gegen Mitte 90 betriebsbereit sein.

d) Wärmeabfluss ins Erdreich [11]

Der Wärmeabfluss einer beheizten, grossflächigen Halle über den unisolierten Boden wurde aufgrund theoretischer Berechnungen für ein bestimmtes Gebäude als sehr klein beurteilt. Das Projekt soll nun durch Messungen abklären, ob die Berechnungen richtig waren und in welchen Fällen keine flächige Dämmung von Hallenböden sinnvoll ist. 1989 wurden im Laufe der Bauarbeiten die notwendigen Fühler verlegt, die Messung und Auswertung folgt nächstes Jahr.

e) Wasser- und Energieverbrauch von Mischarmaturen [12]

Das Projekt soll aufzeigen, ob die Wahl der Mischarmaturen auf den Energie- und Wasserverbrauch einen Einfluss hat. Die Ergebnisse sollen dem Planer helfen, vermehrt energie- und wassersparende Armaturen einzusetzen.

Die Untersuchungen wurden in einem gut besuchten Hotel an Waschtischen und Dusch-/Badewannenkombinationen durchgeführt. Die Messresultate zeigen, dass ausgehend vom üblichen Zweigriffmischer beim Waschtisch der Kalt- und Warmwasserverbrauch bis auf etwa 60% reduziert werden kann. Tiefste Werte erreichten die Sanitärautomaten, einerseits wegen geringem Wasserdurchfluss, andererseits wegen der berührungslosen Sensortechnik zum Öffnen und Schliessen des Auslassventiles.

4. Internationale Zusammenarbeit

Die Koordination des Forschungsprogrammes "Rationelle Energienutzung in Gebäuden" mit den internationalen Forschungsanstrengungen findet hauptsächlich durch das IEA-Programm "Energy Conservation in Buildings and Community Systems" statt. 1989 hat die Schweiz an 5 IEA-Projekten aktiv mitgewirkt:

- Air Infiltration and Ventilation Centre
- Energy Management in Hospitals
- Demand Controlled Ventilating Systems
- Air Flow Patterns (mit internationaler Leitung)
- Thermal Modelling (Vorbereitungsphase)

Um im Rahmen dieses IEA-Programmes auch längerfristige Forschungsthemen angehen zu können, wurde mit Schweizer-Beteiligung unter dem Titel "Beyond 2000 - Buildings of the 21st Century" ein Forum gegründet. In diesem Rahmen sollen kontinuierlich Trends und langfristige Entwicklungen diskutiert und als Basis für neue Projekte aufbereitet werden. Ein erster, genereller Workshop wurde 1989 in Gersau durchgeführt. Zu ganz spezifischen Themen werden weitere Workshops folgen.

5. Referenzen

- [1] P. Chuard, "Gestion de l'énergie dans les hôpitaux", Sorane SA (1989).
- [2] F. Widder, "Energierrelevante Luftströmungen in Gebäuden (ERL)", PSI (1989).
- [3] R. Cramer, "JB89: Radon im Inneren von Wohnbauten".
- [4] P. Hartmann, "JB89: IEA Task: Air Infiltration and Ventilation Centre".
- [5] B. Wick, "JB89: Effiziente Energienutzung in Schulhäusern (EFFENS)".
- [6] Ch. Filleux, "JB89: IEA Task: Demand Controlled Ventilating Systems".
- [7] A. Moser, "JB89: IEA Task: Air Flow Patterns within Buildings".
- [8] Ch. Gaegauf, "JB89: Gasbrenner-unterstützte Kleinh Holzfeuerungen".

- [9] J. Brenn, "JB89: *Energierrelevante Typenprüfung für Oel- und Gasheizkessel mit Gebläsebrenner*".
- [10] P. Hofer, "JB89: *Schadstoffemissionsverhalten von Baustoffen*".
- [11] B. Wick, "JB89: *Wärmeabfluss ins Erdreich*".
- [12] H. Hiediger, "JB89: *Wasser- und Energieverbrauch von Mischarmaturen*".
- [13] A Guide for Energy Management in Hospitals (auch auf Deutsch verfügbar)
 - Band 1: Introduction and Management Perspective
 - Band 2: Heat/Cold Generation and Distribution
 - Band 3: Heating, Ventilating, Air Conditioning, Domestic Hot Water
 - Band 4: Electrical System
 - Band 5: Services
 - Band 6: Building Envelope
- [14] F. Widder, "*Forschungsprogramm Energierrelevante Luftströmungen in Gebäuden*", Tagungsunterlagen 3. Status-Seminar, Zürich (November 89).
- [15] TN 26: "*Minimum Ventilation Rates and Measures for Controlling Indoor Air Quality*", AIVC (1989).
- [16] "*Recent Additions to Airbase Nr. 43, 44, 45, 46*", AIVC (1989).
- [17] W. Raatschen, "*Demand Controlled Ventilation, State of the Art Review*", dem AIVC zur Veröffentlichung unterbreitet.

6. Neue Forschungsarbeiten

Verschiedene Projekte wurden Ende 89 gestartet oder sind in Vorbereitung:

- Energierrelevante Anwendungen integraler Ingenieursysteme,
- IEA Task: Thermische Simulation von Gebäuden,
- Hochwärmedämmende Wand- und Dachkonstruktionen,
- Hochwärmedämmende Fensterrahmen,
- Etude de faisabilité d'une typologie des bâtiments et urbaine,
- Optimaler Betrieb von Heizungsanlagen (Nutzung der freien Wärme / Benutzereinfluss),
- Lade- und Entladeverhalten von Latentwärmespeichern ,
- Niedertemperaturheizsysteme ,
- Gebäudeleitsysteme .

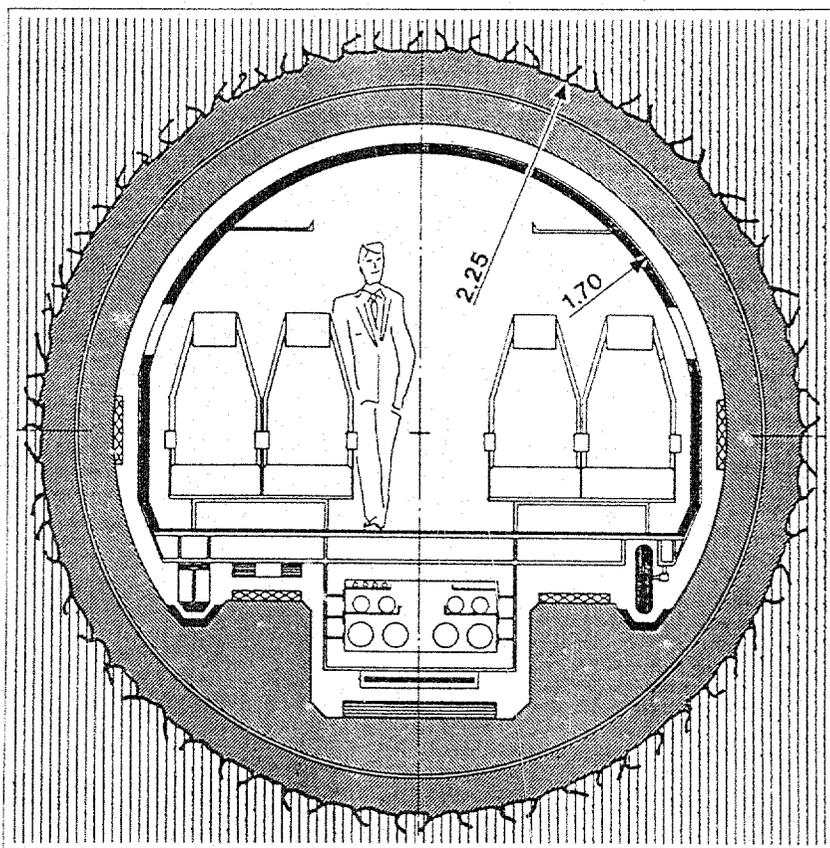
Im weiteren sollen 1990 bisher zu wenig bearbeitete Gebiete erarbeitet werden:

- Vermeidung von Kühllast / Passive Kühlung,
- Rationelle Elektrizitätsnutzung in Gebäuden.

RATIONELLE ENERGIENUTZUNG IM VERKEHR

Überblicksbericht
zum Forschungsprogramm 1989

Programmleiter: B. Albrecht



Swissmetro

Querschnitt durch Fahrzeug und Fahrweg des in einer Teilvakuumröhre mit Hilfe eines magnetischen Schwebesystems sowie durch Linearmotoren angetriebenen neuartigen Verkehrssystems für mittlere und längere Reiseentfernungen. Die geplante Höchstgeschwindigkeit soll zwischen 400 und 500 km/h betragen.

1. Anvisierte Zielpunkte für 1989

Hauptziel war die Erarbeitung des Forschungsprogramms "Rationelle Energienutzung im Verkehr", welches bis 1992 durchgeführt werden soll. Dieses enthält selbstverständlich auch die Fortsetzung der bereits früher eingeleiteten Forschungsvorhaben. Das Forschungsprogramm wurde Ende 1989 der CORE vorgestellt und von ihr grundsätzlich gutgeheißen.

Die Schwerpunkte der Forschungsprogramms 1989/92 sind:

- Motorisierter Individualverkehr (verbesserte Auslastung der Personenwagen, treibstoffsparende Motorfahrzeuge, Elektro- und Hybridfahrzeuge, Niedriggeschwindigkeitsszenarien, usw.),
- Öffentlicher Personenverkehr auf Schiene und Strasse (Energierückgewinnung und -speicher, neue Betriebsformen für den öffentlichen Verkehr, Fahrzeug-Leichtbau, usw.),
- Güterverkehr (verbesserte Auslastung der Nutzfahrzeuge, integrale Logistikkonzepte, usw.),
- Neuartige Technologien für den Personen- und Gütertransport (Swissmetro, Direkt-Elektroantrieb für den Strassenfernverkehr, Produkterohrleitungen, usw.),
- Verfeinerung der energiestatistischen Grundlagen.

Die in den einzelnen Teilbereichen durchzuführenden Projekte sollen aufzeigen, wo und wie künftig eine **Minimierung** des schweizerischen Gesamtenergieverbrauchs erzielt werden kann.

2. Durchgeführte Forschungsarbeiten 1989 mit Ergebnissen

Bereits angelaufen sind die Projekte **Leichteletkrofahrzeuge** (Forschungsbeginn Anfang 1988) und **Swissmetro** (Forschungsbeginn Mitte 1989).

Das Projekt **Swissmobil** der Firma LARAG, Wil [1] umfasst die ganzheitliche Erforschung der Erfolgsbedingungen für ein Leichteletkromobil mit den Schwerpunkten Batteriesysteme, Antriebssysteme, Leichtbau und Herstellungsmöglichkeiten.

Die Erforschung und Suche nach geeigneten Batterien durch Testläufe, Stand- und Feldversuche hat bis Ende 1989 folgende Ergebnisse gebracht:

- NaS-Batterien sind bis auf weiteres nicht als Massenprodukte erhältlich, daher sehr teuer, aber auch bezüglich der Sicherheit (Hochtemperatur-Batterie!) noch nicht ausgereift,
- ZnBr-Batterien wären grundsätzlich für Elektrofahrzeuge geeignet; sie sind jedoch noch nicht ausgereift bezüglich der Zuverlässigkeit sowie der Lebensdauer und momentan noch viel zu teuer,
- NiCd-Batterien für schnellfahrende Elektrofahrzeuge befinden sich erst im Entwicklungsstadium. Neben den zu erwartenden Rohstoff- und Entsorgungsproblemen ist derzeit auch noch kein preiswertes Massenprodukt in Sichtweite.

Die Erforschung und Entwicklung neuer Antriebssysteme zeigt per Ende 1989 die folgenden Ergebnisse:

- Alle heute bekannten Antriebssysteme bedingen entweder Schaltgetriebe oder Untersetzungen,
- Die vermeintliche Überlegenheit von Asynchron-Antrieben ist noch nicht erwiesen, so dass auch die Weiterentwicklung von stufenlosen Gleichstrom-Antrieben in Form eines Baukasten-Systems verfolgt werden muss.

Durch die Fertigung von 4 Versuchsfahrzeugen in Leichtbauweise einerseits sowie aus den Ergebnissen der Untersuchungen über die Batterie und Antriebssysteme andererseits dürfte das künftige Elektromobil ein Gesamtgewicht von 650 bis 1100 kg erreichen.

Das Projekt **Swissmetro** [2] ist ein gemeinsames Forschungsvorhaben des BEW und des Dienstes für Gesamtverkehrsfragen. Forschungsstellen sind das LEME und das ITEP der ETH Lausanne. In einer Vorstudie werden für dieses für mittlere und längere Reiseentfernungen vorgesehene neuartige Verkehrssysteme einerseits die Marktchancen und andererseits die möglichen Auswirkungen (Benutzer, Betreiber, Volkswirtschaft, Umwelt, Energie, Raumplanung, Gesellschaft, usw.) untersucht. Bis Ende 1989 wurde vorerst der bestehende schweizerische Verkehrsmarkt analysiert.

3. Referenzen

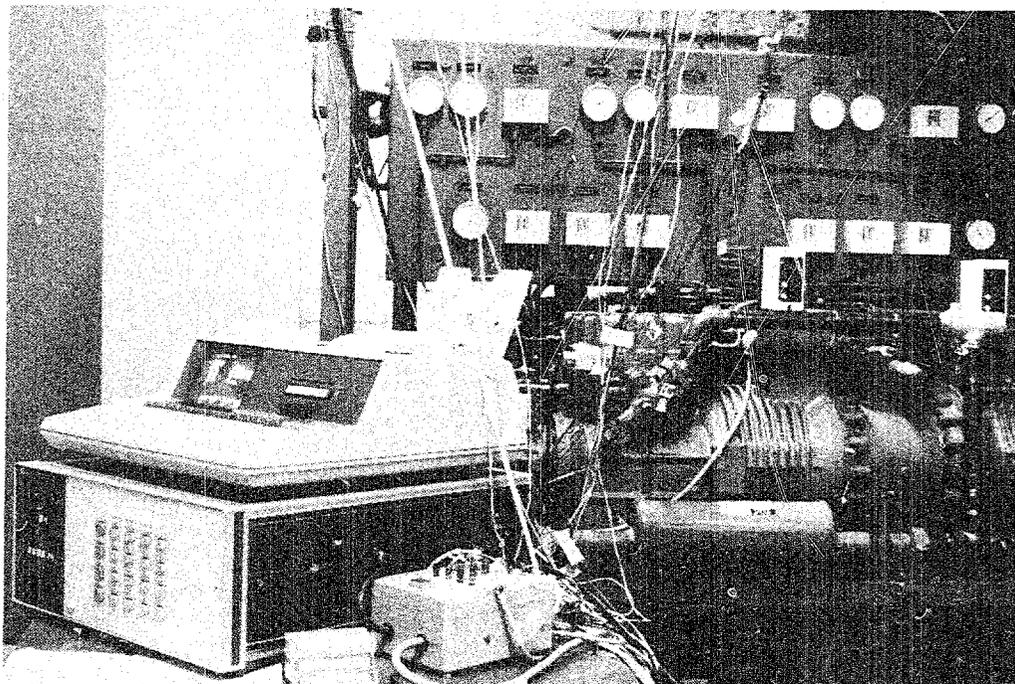
[1] J. Jäger/W. Koller, "JB89: *Leichtelektromobil*".

[2] J.D. Favraud, "JB89: *SWISSMETRO, Etude préliminaire sur la demande et l'insertion*".

UMGEBUNGS- UND ABWÄRMENUTZUNG, WÄRME-KRAFT-KOPPLUNG

Überblicksbericht
zum Forschungsprogramm 1989

Programmleiter: U. Schärer



Leistungsprüfung an Wärmepumpe im Normalbetrieb

Die Messung des Betriebsverhaltens von Wärmepumpen im "Alltag" gibt wichtige Hinweise für die Betriebsoptimierung, gleichzeitig aber auch Daten für die Weiterentwicklung von Komponenten und Systemen.

1. Ziele und Programmarbeiten im Ueberblick

Mit der Einordnung des Programmes in den Bereich "Rationelle Energienutzung" ist das Hauptziel gegeben: Durch Verbesserung der Technologien zur Nutzung von Umwelt- und Abwärme, durch Bereitstellung von Arbeitsgrundlagen zur optimalen Dimensionierung der entsprechenden Systeme sollen dem Anlage-Hersteller und -Planer Hilfsmittel geschaffen werden, welche ihm erlauben, technisch optimale und damit auch wirtschaftliche Systeme anzubieten.

Auch das Jahr 1989 stand im Zeichen der Wärmepumpen. Die Projekte dienten durchwegs dem mittelfristigen Ziel einer markanten Verbesserung der Jahresarbeitszahl, d.h. der Minimierung der zahlungspflichtigen Antriebsenergie für einen bestimmten Heizenergiebedarf.

Soll die Wärmepumpen-Technologie in weit grösserem Masse als heute angewendet werden, so stellt sich früher oder später nicht nur die Frage nach vorhandenen Wärmequellen, sondern vermehrt auch nach der Antriebsenergie. Auch in Zukunft dürfte - nicht zuletzt aus Umweltschutzgründen - Elektrizität dafür im Vordergrund stehen. Aus diesem Grunde wurde im Berichtsjahr die Eignung von Stirling-Wärme-Kraft-Kopplungsanlagen untersucht (weitere WKK-Technologien sind in den Programmen "Feuerung und Verbrennung" und "Erdgas-Brennstoffzellen" vorgestellt).

2. Die laufenden Projekte

Wärmequellen

Die wohl wichtigsten Untersuchungen in diesem Bereich wurden vom Kanton Bern mit seinem Programm **Wärmeentzug aus öffentlichen Gewässern** durchgeführt. Die Projekte **Wärmebilanz Grundwasser** [1] und **Grundwassertemperatur und Pflanzenwachstum** [2] wurden im Berichtsjahr abgeschlossen und zeigen, dass das Wärmeentnahmepotential aus Grundwasser wesentlich höher ist als bisher angenommen, ohne das Pflanzenwachstum über Grundwasserleitern zu beeinträchtigen. Sind auch die Ergebnisse aus dem Untersuchungsgebiet des mittleren Emmentals nicht ohne weiteres auf andere Grundwasservorkommen übertragbar, so stehen aber nun Grundlagen für die Untersuchung anderer Gebiete bereit - vor allem auch ein zuverlässiges Simulationsprogramm zur Abschätzung der Auswirkungen eines bestimmten Wärmeentzuges auf die Grundwassertemperatur.

Etwas spezielle, insbesondere für den Neubaubereich aber potentiell interessante Wärmequellen stellen unter dem Haus angeordnete **Geröllspeicher** [3] und **in die Fassade eingebaute Verdampfer** (System PHS, [4]) dar. Die entsprechenden Messprogramme zeigten vorerst ermutigende Resultate. Beim Geröllspeicher muss durch eine weitere Messkampagne der mögliche Einfluss des darunter liegenden, feuchten Erdreichs noch näher geklärt werden. Das System PHS seinerseits ist soweit untersucht, dass an die kommerzielle Verwertung gegangen werden kann.

Ebenso interessante Wärmequellen sind vertikale Erdsonden (bis ca. 150 m Tiefe) sowie die eigentliche geothermische Wärme (bis 2'000 m Tiefe oder mehr). Messprogramme an insgesamt **drei Erdsonden-Anlagen** [5] konnten im Berichtsjahr abgeschlossen werden (Elgg, Rorschacherberg, Frauenfeld). Die Messergebnisse und insbesondere die auf deren Grundlage erstellten Simulationsmodelle für das Langzeitverhalten haben Wesentliches dazu beigetragen, dass Erdsonden-Anlagen zuverlässig dimensioniert werden können (die Wärmeentnahmeleistung pro Meter Erdsonde beträgt je nach Beschaffenheit des Erdreichs ca. 40-70 W). Offen ist allerdings das Abkühl- und Regenerationsverhalten des Erdreiches, wenn mehrere Anlagen in unmittelbarer Nähe dem Untergrund Wärme entziehen ("Erdsonden-Felder") und sich gegenseitig beeinflussen. Der Kanton Bern und der Kanton Zürich diskutieren gegenwärtig eine entsprechende Untersuchung.

Was die Nutzbarmachung der "tiefen" Geothermie betrifft, wurden einerseits aus der **Gas-Explorationsbohrung Thun-1** (Bohrtiefe rund 6 km) alle relevanten Daten sichergestellt [6] und sollen zur Untersuchung der geothermischen Verhältnisse in diesem Tiefenbereich ausgewertet werden. Das

gleiche wird bei den **Sondierbohrungen der NAGRA** in der Nordschweiz gemacht [7]. Die Ergebnisse sollen insbesondere auch regional bewertet werden. Schliesslich wurden im Auftrag des Kantons Bern erste Berechnungen zur **Nutzung der Erdgasbohrung Teuffenthal** als Erdwärmesonde vorgenommen [8].

Um schliesslich erste Abschätzungen bezüglich der **Wirtschaftlichkeit eines auf Geothermie beruhenden Fernwärmenetzes** vornehmen zu können, wurde ein **Berechnungsprogramm** [9] entwickelt, das einen Wirtschaftlichkeitsvergleich mit anderen Heizungssystemen erlaubt.

Wärmepumpen

Das Verhältnis von lieferbarer Heizwärme zu aufgewendeter Antriebsenergie einer Wärmepumpen-Anlage, die Jahresarbeitszahl, hängt neben einer guten Wärmequelle (möglichst hohe, gleichbleibende Temperatur) von der zu liefernden Heiztemperatur und von der "Güte" der Maschine selber ab. Die notwendige Heiztemperatur variiert während einer Heizsaison beträchtlich (in Abhängigkeit der Aussentemperatur). Während heutige Wärmepumpen nur in "Ein-/Aus-Betrieb" laufen, verspricht man sich von drehzahlgeregelten Wärmepumpen eine substantielle Verbesserung der Jahresarbeitszahl. Solche Wärmepumpen sollen genau die Heiztemperatur erzeugen, welche bei einer bestimmten Aussentemperatur benötigt wird.

Solche **drehzahlgeregelte Wärmepumpen** waren und sind Gegenstand von zwei ineinander greifenden Projekten: der **Wärmepumpen-Optimierung** [10] und deren **Modellierung** [11]. Da ähnliche Untersuchungen auch im Ausland laufen, wird das Modellierungs-Projekt innerhalb der Internationalen Energieagentur IEA abgewickelt. Wir hoffen, aus diesen beiden Untersuchungen Kriterien für die beste Auswahl der Kompressoren und für die günstigste Regelungsstrategie zu erhalten.

Im Berichtsjahr abgeschlossen wurde ein sogenannt **einfaches Wärmepumpen-Simulationsprogramm "YUM"** [12], welches nun den Ingenieurbüros als Hilfsmittel für die zuverlässige Berechnung der Jahresarbeitszahl zur Verfügung steht. Dieses PC-Programm wird durch INFOSOLAR vertrieben. Es wurde zum Abschluss mit einem Modul für massenstromgeregelte Raumheizkörper ergänzt und mit ihm die Jahresarbeitszahl bei konstanter und gleitender Speichertankregelung berechnet. Mit diesen Erweiterungen wird das gleiche Ziel verfolgt wie bei den drehzahlgeregelten Wärmepumpen: Der Bereitstellung einer zu einem bestimmten Zeitpunkt gerade benötigten Heiztemperatur und damit schliesslich der Anhebung der Jahresarbeitszahl (In entsprechenden Simulationsrechnungen konnte der elektrische Energieverbrauch um ca. 9 % reduziert werden.).

Der **Weiterentwicklung des erwähnten einfachen Modelles** war ein viertes Projekt [13] gewidmet: Mit ihm wird nicht nur die Wärmepumpe als ganzes, sondern werden auch deren Komponenten in Modellen beschrieben werden - dies mit dem Ziel, sowohl die Komponenten als auch das daraus zusammengebaute System optimal zu dimensionieren. Neue Aktualität findet das Projekt dadurch, dass mittelfristig die heute verwendeten Kältemittel, chlorierte Fluorkohlenwasserstoffe (CFKW), durch Medien zu ersetzen sein werden, welche nicht zur Zerstörung der Ozonschicht beitragen. Neue Kältemittel werden jedoch Einfluss auf die System- und Komponenten-Dimensionierung haben. Das Projekt wurde als Schweizer-Beitrag zu einem Forschungsprogramm der IEA über CFKW-Ersatzstoffe in Wärmepumpen angemeldet.

Insbesondere bei grösseren Wärmepumpen-Anlagen werden - bei weiter verbesserten Jahresarbeitszahlen - die Wartungskosten eine nicht zu unterschätzende Rolle spielen. Um diese Kosten im Griff zu halten und zu minimieren, wurde im Berichtsjahr an einem **Expertensystem für präventive Wartung von Wärmepumpen** gearbeitet [14]. Das Expertensystem soll Anlagebetreibern helfen, notwendige Wartungsarbeiten im richtigen Zeitpunkt vornehmen zu können.

Eine neue Richtung für Verbrennungsmotorgetriebene Wärmepumpen zeigt das Projekt **Thermische Wärmepumpe mit Stirling-Antrieb und Resonanzrohr** [15] auf. Die aufgenommenen Entwicklungsarbeiten beruhen auf der Idee, den mit Dichtungsproblemen behafteten Verdrängerkolben einer

konventionellen Stirling-Maschine durch ein Resonanzrohr zu ersetzen, in dem das Arbeitsgas hin und her pulsiert. Anvisiert wird die Entwicklung eines 7 kW-Aggregates zu einem Funktionsmuster.

Wärmeabgabe

Je niedriger die Temperatur des Heizungskreislaufes ist, desto besser wird die Jahresarbeitszahl. Auch auf der Abnehmerseite wird deshalb nach neuen Lösungen für die Wärmeabgabe in die zu beheizenden Räume gesucht. Als eine der Möglichkeiten werden sogenannte **Strahlungswände** betrachtet, deren Temperatur nur wenig über der gewünschten Raumtemperatur liegt. Im Projekt CALOBUS [16] werden die bei entsprechend kleinen Temperaturdifferenzen zwischen Heizungswasser und Raumluft auftretenden Phänomene der Wärmeübertragung untersucht. Insbesondere sollen Tests mit verschiedenen Oberflächen und Beschichtungen Aufschluss über die Wärmeübergangszahlen und damit über das wesentlichste Dimensionierungskriterium Aufschluss geben. Sollten sich die Erwartungen bestätigen, so können solche Wärmetauscher für geringe Temperaturdifferenzen in gewissen Fällen auch ohne Wärmepumpen zur Nutzung von Abwärme, von Solarwärme oder gar in Verbindung mit einem saisonalen Wärmespeicher eingesetzt werden.

Wärme-Kraft-Kopplungs-Anlagen (WKK)

Stirling-Motoren - Verbrennungsmotoren mit externer Verbrennung - haben gegenüber konventionellen Verbrennungsmaschinen verschiedene Vorteile: Lärm- und Schadstoffemissionen sind u.a. geringer. Nachdem das bereits lange bekannte Prinzip bisher keinen wesentlichen Durchbruch geschafft hat, sind doch erste Maschinen aus Vorserien auf dem Markt. Um erste Erfahrungen zu gewinnen, sind gegenwärtig zwei Messprojekte im Gange: **Zwei im Autobahn-Werkhof Vulruz installierte, je einen Generator antreibende Stirling-Motoren** werden systematisch auf die Wirkungsgrade, Emissionswerte und Betriebszuverlässigkeit getestet [17]. Als besonderer Schwachpunkt haben sich bisher die Brennkammern erwiesen; sie sollen nächstens ersetzt werden.

Das zweite, noch immer in Gang befindliche Projekt wurde bereits im letzten Jahresbericht vorgestellt. Im Oeko-Zentrum Langenbruck wird die **Kombination eines Holzschnitzkessels mit einem Kurbelwellen-Stirling-Motor (3 kW) als Wärme-Kraft-Kopplungs-Anlage** betrieben [18] und bezüglich Wirkungsgraden, emittierten Schadstoffen untersucht werden. Leider wurde auch auch im Berichtsjahr der Stirling-Motor nicht geliefert, weil sich gemäss Lieferant immer wieder Modifikationen aufdrängten. Schwerpunkt blieben deshalb weitere feuerungstechnische Untersuchungen am Holzschnitzbrenner und der Verbrennungsregelung. Sollte der Stirling-Motor auch bis März 1990 nicht geliefert sein, müsste das Projekt leider abgebrochen werden.

3. Flankierende Projekte

In vielen Fällen können Wärmequellen sinnvollerweise nur genutzt werden, wenn ein Fernwärmenetz betrieben wird. Auf den für einen Abnehmer zu bezahlenden Wärmepreis haben nicht nur die Kapital-, sondern auch die Betriebskosten selber einen nicht zu unterschätzenden Einfluss. Ein Mittel zur Minimierung dieser Betriebskosten stellt eine Betriebsführung dar, welche dynamische Zustände im Netz berücksichtigt. Im Berichtsjahr wurde deshalb eine Vorstudie unternommen, die zeigen soll, ob und wie die **Simulation dynamischer Zustände eines Fernwärmenetzes** [19] als praktisches Hilfsmittel für die Betriebsführung machbar ist.

Der **Energieverbrauch von Tiefkühlanlagen** ist bedeutend: Für ca. 1,5 Mio m³ Lagervolumen werden 845 GWh/a aufgewendet. Ein entsprechend grosses Sparpotential darf vermutet werden - auch in den grossen Lagern (mehr als 1000 m³), obwohl sie mit 72 % des totalen Lagervolumens nur rund 7% der gesamten Energie im Tiefkühlbereich verbrauchen. Um eine erste Idee darüber zu erhalten, wurden im Berichtsjahr diese Kühlhäuser resp. deren spezifischer Energieverbrauch statistisch erfasst und nach

Lagerräumgrösse, Altersstruktur, Temperatur, Bauweise und Lagerumschlagsfrequenz ausgewertet [19]. Die Ergebnisse werden den Betrieben als Vergleichsbasis und hoffentlich Anreiz zur genaueren Analyse ihrer Objekte zur Verfügung gestellt [20].

1989 abgeschlossen wurde ferner das Messprojekt an einer industriellen **Entspannungs-Verdampfungsanlage** zur Abwärmenutzung aus Industrieabwasser [2]. Die Ergebnisse geben Hinweise für das Upscaling von Labor- auf Praxisanlagen.

Als Abschluss des bereits im letzten Jahresbericht erwähnten integralen **Wärmeversorgungssystems des Schulhauses Gumpenwiesen** wurde 1989 dessen für den Betrieb wesentlicher Elektrizitätsverbrauch detailliert erfasst und analysiert [21].

4. Bewertung und Ausblick

Wie die einzelnen Projekte zeigen, war auch 1989 die Forschung stark auf die **Wärmepumpen** ausgerichtet. Sie dient im Grunde genommen dem einfachen Ziel, die Wirtschaftlichkeit der Wärmepumpen attraktiver zu machen, d.h. deren Jahresarbeitszahlen zu verbessern (Senkung der Betriebskosten). Vermehrtes Augenmerk wird bei einer Weiterentwicklung des Programms auch den Möglichkeiten zur Senkung der spezifischen Investitionskosten zu schenken sein. Dazu bieten sich grundsätzlich zwei Möglichkeiten:

Herstellung in grösseren Serien (Klein-Wärmepumpen als Module) und Förderung von eigentlichen Wärmekollektiven (d.h. von grossen Wärmepumpen).

Wir hoffen ebenfalls, im Bereich der **Energieverwendung in der Industrie** mehr tun zu können. Der Kontakt mit dem Schweizerischen Verband der Energiebeauftragten im Betrieb ist aufgenommen, um die Forschungs- und Entwicklungsbedürfnisse der industriellen Praxis zu identifizieren und eine Zusammenarbeit zu erreichen.

Die **internationale Zusammenarbeit** wickelte sich auch 1989 innerhalb der Internationalen Energieagentur IEA ab. Wir haben uns an drei Wärmepumpen-Projekten beteiligt, weitere Beteiligungen sind in Vorbereitung. Es besteht die berechnete Hoffnung, dass 1990 durch die vorgesehene Bereinigung des IEA-Wärmepumpen-Programms die Zusammenarbeit zielgerichteter als bisher (und damit dynamischer) fortgesetzt werden kann. Wesentliche Impulse erhoffen wir uns im übrigen von der im März 1990 in Japan stattfindenden Wärmepumpen-Konferenz der IEA, welche mit einer intensiven Besichtigungsreise durch die wesentlichsten Forschungsstätten und Entwicklungsabteilungen der japanischen Wärmepumpen-Industrie, die weltweit führend ist, verbunden sein wird.

5. Referenzen

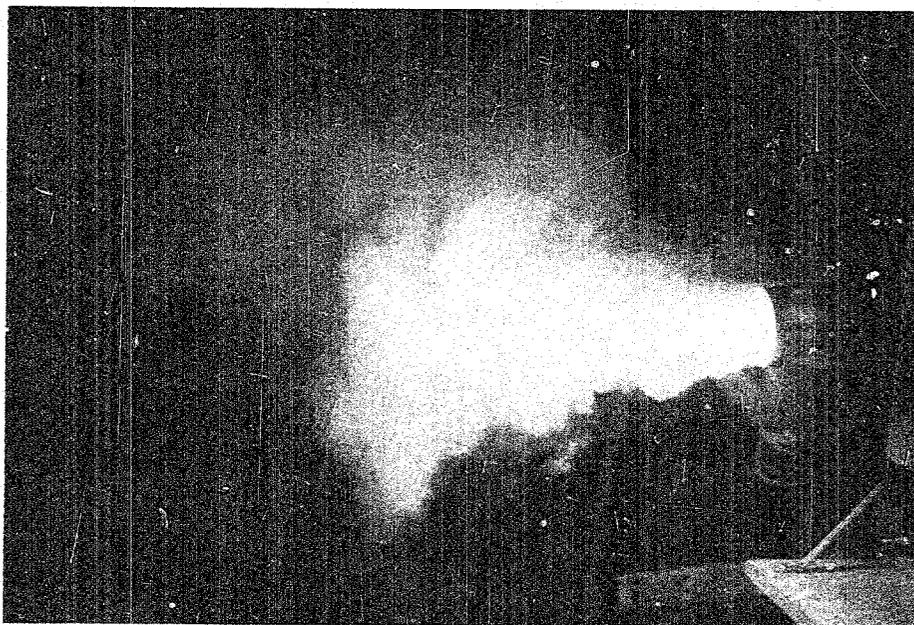
- [1] "Wärmebilanz Grundwasser", Wasser-&Energiewirtschaftsamt Kt. Bern (1989).
- [2] "Grundwassertemperatur und Pflanzenwachstum", Wasser-&Energiewirtschaftsamt Kt. Bern (1989).
- [3] R.J. Hopkirk, "JB89: Energiehaus Weggis: Wärmegewinnung aus Geröllspeicher"
- [4] J.V. Hurde, "JB89: Perpetuelles Heizungssystem PHS".
- [5] R.J. Hopkirk/W.J. Eugster, "Erwärmesonden-Heizanlagen: Durch Messungen und Berechnungen bestimmte Auslegungs- und Betriebsgrössen", Polydynamics Ltd (1989).
- [6] L. Rybach, "JB89: Erfassung und Auswertung geothermischer Daten der Bohrung Thun-1".
- [7] L. Rybach, "JB89: Erfassung und Auswertung der geothermischen Daten der NAGRA-Bohrungen".
- [8] R.J. Hopkirk/R. Burkart, "JB89: Nutzen und Grenzen der Geothermie für die Wärmeversorgung".
- [9] A. Mützenberg, "JB89: Nutzen und Grenzen der Geothermie für die Wärmeversorgung mit Fernwärmenetzen".
- [10] P. Hubacher/B. Dürr, "JB89: Wärmepumpen-Optimierung WPO; Messprogramm an drehzahlgeregelten Wärmepumpen".

- [11] T. Afjei, "JB89: Messungen an einer drehzahlregelten Wärmepumpe und Modellierung".
- [12] "Simulationsprogramm YUM", ETHZ (1989).
- [13] M.R. Conde, "JB89: Computersimulation von Luft-Wasser-Wärmepumpen".
- [14] D. Maurer, "JB89: Expertensystem für präventive Wartung".
- [15] J.P. Budliger, "JB89: Entwicklung einer thermischen Wärmepumpe mit Stirling-Antrieb und Resonanzrohr".
- [16] B. Saugy, "JB89: CALOBUS: Echangeurs de chaleur".
- [17] J. Audergon, "JB89: Intégration de deux groupes STIRLING à la centrale thermique de Vaulruz".
- [18] Ch. Gaegauf, "JB89: Wärme-Kraft-Kopplung mit holzgefeuerten Stirlingmotor".
- [19] M.J. Kunz/P.-A. Haldi, "JB89: Simulation dynamique d'un réseau de chauffage à distance".
- [20] B. Reist, "JB89: Kühllhäuser mit tiefem Energieverbrauch, Phase I".
- [21] "Untersuchungen an einer industriellen MSF-Anlage zum Eindampfen von Blutabwasser", ETHZ (1989).
- [22] "Schulhaus Gumpenwiesen: Untersuchung des Elektrizitätsverbrauchs", ETHZ (1989).

FEUERUNG UND VERBRENNUNG

Ueberblicksbericht
zum Forschungsprogramm 1989

Programmleiter: A. Hintermann



Aluminiumbrenner am Paul Scherrer Institut

Umsetzung der Idee *Thermochemische Energiespeicherung* in Aluminium: Ein zur Verbrennung von Aluminiumpulver umgebauter Industriebrenner im Leistungsbereich von 20 kW. Mit diesem Brenner gelang es erstmals, eine stabile, 40 cm lange Aluminiumflamme über längere Zeit frei im Raum aufrecht zu erhalten.

1. Übersicht

Infolge der wachsenden Sensibilisierung der Bevölkerung gegenüber Umweltaspekten und der Tatsache, dass die fossilen Energieträger rund 75% zum schweizerischen Gesamtenergiekonsum beitragen, kommt dem Forschungsprogramm "Feuerung und Verbrennung" eine besondere Bedeutung zu. Es befasst sich vorwiegend mit dem Studium der Verbrennungsvorgänge, der Schadstoffbildung während der Verbrennung sowie der Behandlung der Abgase.

Verbrennungsforschung ist gekennzeichnet durch ihre starke Interdisziplinarität. Sie schliesst nicht nur die Physik und den Chemismus der Verbrennungsvorgänge ein, sondern neben der ingenieurmässigen und konstruktiven Fertigung der notwendigen technischen Einrichtungen auch die Bereitstellung neuer Messmethoden zur Diagnostik der Verbrennungsvorgänge und der notwendigen Messanalytik zur Untersuchung der Abgase. Nicht zu vergessen sind dabei die numerischen Rechenmethoden, die vermehrt in der Verbrennungsforschung zum Einsatz gelangen, nicht nur, um konstruktive Probleme effizienter zu lösen sondern auch als gleichwertiger Ersatz von langwierigen Experimenten.

Das weitreichende Gebiet der Verbrennungsforschung kann in der Schweiz nur schwerpunktmässig abgedeckt werden. Das Forschungsprogramm zielt darauf ab, in diesen Schwerpunktbereichen Spitzenleistungen anzustreben, weshalb seitens des Programmleiters dem Einbezug der internationalen Forschung ein starkes Gewicht zugemessen wird.

Die Schwerpunkte des Forschungsprogramms "Feuerung und Verbrennung" konzentrieren sich auf verschiedene experimentelle Prüfstände wie dem Einzylinder Forschungsmotor, dem Versuchsstand für die katalytische Verbrennung, dem Aluminiumbrenner sowie dem industriellen 2 MW Reaktor zur Verbrennung von Billig-Flüssigkohle.

Eine weitere Kategorie von Schwerpunktsprojekten befasst sich mit übergreifenden Methoden, die sich auf alle Verbrennungstechnologien anwenden lassen. Zu diesen gehören Diagnostikverfahren auf Laserbasis, Messanalytik für Abgase wie auch numerische Rechenmethoden für die verschiedensten Verbrennungsvorgänge.

Diese Forschungsschwerpunkte sind zur Zeit im Auf- und Ausbau begriffen und sollen künftig gezielt ausgebaut und konsolidiert werden. Dem systematischen Einbezug der Industrie in diese Schwerpunktsbereiche wird besondere Bedeutung zugemessen, um eine möglichst rasche Umsetzung der Forschungsergebnisse in die Praxis zu gewährleisten.

Hochschulseitig wird Verbrennungsforschung hauptsächlich an der ETZ-Zürich und am Paul Scherrer Institut (PSI) in Würenlingen/Villigen betrieben, während in der Privatwirtschaft bedeutende Projekte bei grösseren Industriefirmen wie auch bei mittleren und kleineren Betrieben und Ingenieurbureaus mit öffentlichen Mitteln kofinanziert werden.

2. Anvisierte Zielpunkte für 1989

Hauptziele für das Programm "Feuerung und Verbrennung" im Berichtsjahr waren:

- Der Aufbau der notwendigen Infrastruktur am PSI und an der ETH-Zürich (Laboreinrichtungen, Evaluation, Bestellung und Inbetriebnahme von Forschungsapparaturen) in den verschiedenen Schwerpunktsgebieten.
- Das Einbringen von sechs laufenden Forschungsvorhaben in das Verbrennungsforschungsprogramm der Internationalen Energie Agentur, (IEA).
- Die Konsolidierung der laufenden Projekte (Theorie, Experiment, Schadstoffmessungen, usw.).

- Die Aufnahme neuer, ergänzender Projekte in das Programm.

Von einigen Verzögerungen abgesehen, sind die Ziele im wesentlichen erreicht worden. Das vom BEW bewilligte Industrieforschungsvorhaben betreffend eines oelbetriebenen Schwingfeuer-Heizwertgeräts wurde von der betreffenden Firma zurückgezogen.

3. Durchgeführte Arbeiten und erreichte Ergebnisse

Das **Laboratorium für Energiesysteme** der ETH-Zürich integrierte in seine bisherigen Forschungstätigkeiten die drei folgenden BEW-Projekte:

Bestimmung dreidimensionaler Temperaturfelder in Flammen mittels Holographie [1]

Dieses Mitte 1987 gestartete Projekt nähert sich seiner Endphase. Es beinhaltet die Entwicklung eines Schnellmessverfahrens für dreidimensionale Temperaturfelder in Flammen, das auf einer tomographischen Auswertung von holographischen Interferogrammen basiert. Kernstück des Messverfahrens ist ein pulsierter Rubinlaser (15/30ns). Die holographischen Bilder werden in zwei Schritten erzeugt (on/off Hologramm), wobei der erste Laserpuls durch die Flamme gelenkt wird und der zweite Puls geeignet ausserhalb des Flammenbereichs auf die Hologrammebene geleitet wird. Die mathematische Analyse der Interferenzen dieser beiden Bilder ergibt die gewünschte Temperaturverteilung.

Die Projektziele: Entwicklung der notwendigen Aufnahmetechnik für holographische Interferometrie und Entwicklung der notwendigen Software für eine tomographische Auswertung einer Serie von Interferogrammen, sind weitgehend erreicht worden. So wurden beispielsweise die Temperaturfelder von verschiedenen asymmetrischen Bunsenbrennerflammen rekonstruiert. Einige noch unverstandene Interferenzprobleme erfordern noch zusätzliche Abklärungen. Noch ausstehend ist die Kalibrierung der Methode an Wasserstoffflammen mittels Lasermesstechniken am PSI. Ferner sollen die heutigen Messungen auf grössere Flammen ausgedehnt werden um das Ausmessen von Temperaturfeldern in kommerziellen Gasbrennern zu ermöglichen. Zu einem späteren Zeitpunkt soll der optische Set-up erweitert werden, um simultane Hologramme aus verschiedenen Richtungen zu erhalten. Damit wird die Messung von asymmetrischen Temperaturfeldern sowie das Studium der zeitlichen 3D-Entwicklung von turbulenten Temperaturstrukturen ermöglicht.

Im Verbrennungsforschungsprogramm der IEA ist dieses Projekt auf starke Beachtung gestossen [2].

Experimentelle Untersuchungen in Flammen und deren Modellierung [3]

Im Hinblick auf die Entwicklung von schadstoffarmen Feuerungen im Heizungsbereich soll innerhalb dieses Projekts ein numerisches Werkzeug zur Simulation von turbulenten Diffusionsflammen entwickelt werden. Diese Modelle werden durch Messungen an einer Versuchs-Brennkammer validiert. Gemessene Werte von Temperatur-, Strömungsgeschwindigkeits- und Konzentrationsfeldern (CO , CO_2 , NO , O_2 etc.) werden dabei mit den numerisch berechneten verglichen. Im Rahmen des Projekts wurde eine Laser-Doppler-Anemometrie-Anlage (LDA) beschafft, die einen vertieften Einblick in das turbulente Verhalten der Strömung bieten soll.

Dieses Projekt wurde in das Verbrennungsforschungsprogramm der IEA eingebracht. Das dort vorhandene Know how im Bereich der numerischen Simulation kann direkt in das Projekt einfließen. Entsprechende Kontakte wurden geknüpft und die bisherigen Resultate miteinander verglichen [4].

Schnell-Messverfahren in Flammen [5]

Für die Entwicklung von Brennern mit minimalisiertem NO_x -Ausstoss spielt die Optimierung der Temperaturverteilung in der Flamme eine wesentliche Rolle. Ziel dieses Projekts ist es, ein Verfahren zu entwickeln, das durch Abbildung der Flamme in ausgesuchten Spektralbereichen diese Temperaturverteilung sichtbar macht. Damit sollte es möglich sein, die durch Brennermodifikationen bedingten Veränderungen zu beurteilen. Dieses Projekt ist in enger Zusammenarbeit mit der Brennerindustrie geplant worden. Es soll zu einem für die Industriebedürfnisse brauchbaren Messverfahren führen und als Werkzeug bei der Entwicklung von "Low NO_x -Brennern" dienen.

Das **Laboratorium für Verbrennungsmotoren** der ETH-Zürich verstärkte seine bisherigen Forschungstätigkeiten mit den zwei folgenden BEW-Projekten:

Turbulenzparameter von Strömungen [6]

Drei Hauptstossrichtungen kennzeichnen dieses grössere Forschungsvorhaben:

- Der Einzylinder-Forschungsmotor als Versuchsträger.
- Das Laserlabor für laserdiagnostische Systeme inklusive Datenerfassung.
- Die Implementierung von Rechencodes zur Simulation von instationären Strömungen (zu einem späteren Zeitpunkt soll auch die Reaktionskinetik einbezogen werden).

Der Aufbau der dazu notwendigen Infrastruktur erfolgte planmässig. Das 3-D Laserdoppleranemometer wurde geliefert und intensiv ausgetestet. Die Leistungsfähigkeit des Systems wurde durch Verwendung neuartiger Komponenten wie Lichtleiter für Transmissions- und Empfangsoptik und Signalprozessoren in Form von "Burst Spectrum Analysers" verbessert. Der Einzylinder-Forschungsmotor wurde gegen Ende 1989 mit allen Nebenaggregaten und Umrüstbausätzen geliefert. Die Inbetriebnahme des Laserlabors inklusive Reinraum-Luftkonditionierung und der notwendigen Hardware zur Datenerfassung aller laserdiagnostischen Experimente ist erst für 1990 vorgesehen.

Mit dem Code vom Imperial College (GB) konnten einfache Brennraumgeometrien versuchsweise gerechnet werden. Für komplexere Konfigurationen wie Quetschströmungen, asymmetrische Ventile und Kolbenmulden muss einerseits von der VAX 3600 auf die CRAY gewechselt werden und andererseits müssen Fragen der "fine-grid-generation" sowie der Turbulenzmodellierung im Detail noch geklärt werden.

Um Doppelspurigkeiten zu vermeiden, wurden die beiden Teilprojekte, "Lasermethoden zum Studium der Verbrennungsvorgänge in Motoren" [7] und "Turbulenzen in Verbrennungsmotoren" [8] in das Verbrennungsforschungsprogramm der IEA eingebracht.

Geometrische Partikel detektion von Russteilchen

Die Charakterisierung von Russpartikel in der dieselmotorischen Verbrennung ist noch lückenhaft. Besonders wichtig ist es, den zeitlichen Ablauf der Partikelentstehung und der Oxidation während des Verbrennungsprozess zu durchleuchten und zu verstehen. Ein wesentlicher Parameter ist die geometrische Form- und Grössenverteilung (Verfügbarkeit von aktiver Oberfläche) in Funktion einer Reihe von Betriebszuständen.

Dieses Projekt wurde im Oktober 1989 mit einer Laufzeit von drei Jahren gestartet. Während dieser Zeit soll eine geeignete laserunterstützte, berührungslose Messmethode entwickelt werden, die auf einen produktbezogenen Einsatz abzustimmen ist.

Am PSI sind mit Unterstützung des BEW die Schwerpunkte "Katalytische Verbrennung", "Lasordiagnostik" und "Abgasanalytik" im Aufbau begriffen. Die Integration dieser Schwerpunktsaktivitäten in verschiedene, in der Privatwirtschaft durchgeführte Projekte ist teilweise schon realisiert und wird künftig noch verstärkt werden.

Katalytische Verbrennung [9]

Zum Studium der katalytischen und der katalytisch unterstützten Verbrennung wurde eine Versuchsanlage im Leistungsbereich 2 - 30 kW aufgebaut, in der in verschiedenen Reaktorkombinationen (Festbettkatalysatoren, div. Monolithkatalysatoren) Methan und Wasserstoff bei einer Luftvorwärmung bis max 600°C katalytisch verbrennt werden können. Die Abgase werden auf ihren Gehalt an O₂, CO₂, CO, NO, NO₂, C_xH_y analysiert.

Infolge von Engpässen am PSI konnten noch keine Messungen vorgenommen werden. Hingegen zeigte eine Potentialanalyse, dass durch einen konsequenten Einsatz der katalytischen Verbrennung in der Schweiz die Emissionen wie folgt reduziert werden könnten [10]:

CO 40 %,

NO_x 14 %,

C_xH_y 27 %.

Parallel zum Anlagenbau wurde ein Rechenmodell, das den Temperaturverlauf des Gases und des Katalysators sowie den Konzentrationsverlauf des Brennstoffs in einem adiabatischen Reaktor bestimmt, ausgearbeitet. Dieses Modell soll bei den ersten Messungen validiert werden.

Laserdiagnostik [11]

Im Rahmen dieses Projekts werden bekannte Messmethoden wie CARS (Coherent Anti-Stokes Raman Scattering) und LIF (Laser-Induced Fluorescence) verfügbar gemacht und weiter entwickelt. Ziel dieser Lasermethoden ist, effiziente Methoden zur störungsfreien Messung von Temperaturfeldern in Flammen sowie von momentanen Stoffkonzentrationen zu entwickeln. Somit können wichtige Informationen wie beispielsweise die momentane Lage der Flammenfront gewonnen werden.

Anvisierte Ziele für das Berichtsjahr waren einerseits der Aufbau eines Breitband CARS-Spektrometers und andererseits der Aufbau eines Laser- und Detektionssystems für LIF-Messungen. Mit dem CARS-Spektrometer konnten in einem Graphitrohrföfen erste Messungen an H₂ bei Temperaturen bis zu 3000°K durchgeführt werden. Ebenfalls konnte gezeigt werden, dass der nichtresonante CARS-Untergrund, der die Empfindlichkeit der CARS-Messungen herabsetzt, durch phasengerechte Addition eines zweiten CARS-Signals unterdrückt werden kann [12]. Untersucht wurden ferner die Starkverschiebungen und Populationsänderungen bei hoher Laserintensität [13]. Wegen Raumproblemen am PSI konnte das LIF-Labor erst provisorisch aufgebaut werden.

Das Projekt ist stark in das Verbrennungsforschungsprogramm der IEA eingebettet und ist dort auf grosses Interesse gestossen [14], [15].

Thermochemische Energiespeicherung in Aluminium, Alu-Brenner [16, 17]

Aluminium als Speicherstoff zur saisonalen Speicherung von Sommerstromüberschüssen ist eine Möglichkeit, eine wirtschaftlich attraktive und ökologisch vertretbare Lösung des Elektrizitätsspeicherproblems zu finden. Der Entladungsprozess des Speicherzyklus über die Verbrennung von Aluminium wird mit dem Ziel untersucht, Prozess- und Heizwärme bereitzustellen.

Neben den Versuchen der Verbrennung von Alu-Pulver in Sauerstoff-Argongemischen im bestehenden Pulverbrennerprototyp wurde ein käuflicher Oelbrenner zur Verbrennung von Alu-Pulver umkonstruiert. Dieser Schritt weg vom Labor in Richtung technischer Realisierung war erfolgreich.

Damit konnte erstmals eine Aluminiumflamme (ohne Brenrohr, Leistung ca. 20 kW) frei in den Raum gestellt werden (vergl. Titelbild). Der modifizierte Oelbrenner weist nicht nur ein gutes Brennverhalten auf, seine Start-Stopp-Eigenschaften sind ebenfalls vorzüglich. Die direkte Zündung des Alupulvers (mit Zündfunken und ohne Gasflamme) mit der für Oelbrenner üblichen Ausrüstung funktioniert zufriedenstellend. Als wesentlich erwies sich die richtige Luftzuführung. Brennversuche bis zu einer Stunde Dauer wurden durchgeführt. Die Beherrschung der hohen Temperaturen im Brenrohr (2200°C) erwies sich als problemlos. Hingegen zeigte sich die kombinierte Wärmetausch/Pulverabscheidung in der gegenwärtigen Brennerkonfiguration schwieriger als erwartet und bedarf noch einer besseren Lösung.

Reduzierung von Stickoxiden in Abgasen [18]

Die Untersuchung der heterogenen katalytischen Reduktion von Stickoxiden mittels Harnstoff im Labormassstab und die anschliessende Ausrüstung eines Dieselmotor-Blockheizkraftwerks mit diesem Verfahren bilden die Ziele dieses im Frühjahr 1988 in Zusammenarbeit mit der Firma Dr. Eicher & Pauli AG gestarteten Projekts. Anfänglich war die Reduktion der Stickoxide mit Hilfe von Cyanursäure vorgesehen. Aufgrund neuerer Publikationen über Forschungsarbeiten in dieser Zielrichtung, die einige Nachteile der Cyanursäureentstickung aufdeckten, wurde die Projektziele neu auf die Harnstoffentstickung ausgerichtet.

Die PSI-Arbeiten im Rahmen dieser Zusammenarbeit konzentrieren sich auf die Bereitstellung der notwendigen Analytik, der Harnstoffpyrolyse sowie dem labormässigen Austesten der eingesetzten Katalysatoren. Um den Einsatz von Harnstoff in der Abgasentstickung zu untersuchen, musste die Abgasmessanalytik auch auf die Pyrolyseprodukte des Harnstoffs ausgedehnt werden. Im Temperaturbereich von 175 - 400°C existieren nur die drei Pyrolyseprodukte Ammoniak, Isocyanursäure und Blausäure. Wird Harnstoff in Rauchgasen mit hohen Temperaturen von 800 - 1000°C zur Entstickung eingedüst, erhöhen sich die Chancen zur Bildung von Lachgas. Das Ziel des Analytikteils des Projekts ist deshalb, die gasförmigen Komponenten Ammoniak, Isocyanursäure, Blausäure sowie Lachgas als mögliches Nebenprodukt der Entstickungsreaktion mit einer Nachweisgrenze von 1 ppm zu messen.

Die Analytikziele wurden weitgehend erreicht [19, 20]. Damit ist die Basis geschaffen, die Effizienzen wie auch die Langzeitverhalten der eingesetzten Katalysatoren untereinander zu vergleichen. Für praktische Einsätze der Analytik werden immer noch preisgünstige Sensoren für die NO_x/NH_3 -Messung gesucht.

Zur Zeit werden zunehmend neue Entstickungsanlagen mit Harnstoffeindüsung im Hochtemperaturbereich gebaut. Die PSI-Forscher empfehlen, die Lachgasbildung bei solchen Anlagen unbedingt zu messen.

In den folgenden, in der **Privatwirtschaft** ausgeführten BEW-Projekten strebt das PSI eine enge Zusammenarbeit mit eigenen, komplementären Projekten an, um wissenschaftliche Grundlagen für die entsprechenden privatwirtschaftlichen Projekte bereitzustellen.

Abgasreinigung von Dieselmotoren mit Cyanursäure bzw. Harnstoff [21]

Die Arbeiten der Firma Dr. Eicher & Pauli AG konzentrieren sich auf den Einsatz dieses Entstickungsverfahrens an einem Dieselmotor-Blockheizkraftwerk zwecks Umsetzung der am PSI gewonnenen Resultate in die Praxis [21]. Die wichtigsten Parameter, die die NO_x -Reduktion beeinflussen, sind die Abgastemperatur und die eingedüste Harnstoffmenge. Deshalb wurde eine Vorrichtung zur variablen Eindüsung von Harnstoff in den Abgasstrom konzipiert.

Im Berichtsjahr wurden ein Konzept zur Entstickung des Dieselmotor-Blockheizkraftwerks erarbeitet und Kontakte mit Katalysatorherstellern aufgenommen. Zwei Hersteller stellten ihre Produkte sowohl für die Laborversuche am PSI wie auch für den Versuchsdieselmotor zur Verfügung. Aufgrund der

positiven Laborversuche am PSI wurde am Dieselmotor auf die vorgesehene Teilentstickung verzichtet und direkt eine Vollenstickung angestrebt. Die ersten Versuche sind für 1990 vorgesehen.

Untersuchung des Langzeitverhaltens von Gasmotoren mit Katalysator [23]

Die Firma Eicher & Pauli AG startete dieses Projekt im April 1989 in der Absicht, die Schadstoffemissionen und Konversionsraten für NO und CO während 15000 Betriebsstunden von verschiedenen bestehenden Blockheizkraftwerken bis zu 500 kW Leistung und verschiedenen Katalysatorausführungen auszumessen. Dabei soll die Stabilität der Lambda-Sonde und der Regeleinrichtung sowie die Standzeiten für Katalysatoren und Lambda-Sonden ermittelt werden. Daraus sollen Richtlinien für Unterhalts- und Wartungsarbeiten insbesondere im Zusammenhang mit dem Katalysator abgeleitet werden.

Advanced Atmospheric Coal Firing System [24]

Mit diesem Industrieprojekt soll ein neues Feuerungskonzept zur Verbrennung von Kohle-Wasser-Gemischen (CWS) erforscht werden. Ziel ist, den Ausbrand zu verbessern und die rauchgasseitigen Emissionen abzusenken. Im Gegensatz zum heute üblichen CWS-Einsatz wird im Projekt die CWS kurz vor dem Verbrennen (1 - 2 Tage) aufbereitet, um somit eine wesentliche Kostenreduktion zu erreichen.

Der 2 MW-Reaktor wurde inklusive Montage der Leittechnik erstellt und die einzelnen Komponenten ausgetestet. Parallel zum Reaktorbau wurde das Konzept zur CWS-Aufbereitung samt CWS-Förderung im Masstab 1 : 1 erfolgreich erprobt [25]. Die ersten Versuche mit der Gesamtanlage werden 1990 erfolgen.

Grundlagenforschungsexperimente auf dem Gebiet der agglomerierenden CWS-Verbrennung werden als Ergänzung am PSI unternommen. Die Verbrennungseigenschaften von Einzel-CWS-Tropfen werden zwecks Optimierung des Ausbrandes und der Schadstoffminderung untersucht. Die dabei gewonnenen Erkenntnisse sollen zu einem besseren Verständnis der im Industrieprojekt ablaufenden Verbrennungsvorgänge beitragen.

4. Internationale Aktivitäten

Vor zehn Jahren wurde das IEA-Verbrennungsforschungsprogramm, das sich mit der Verbrennung von fossilen Energieträgern befasst, gestartet. Acht OECD Länder (CDN, D, I, J, N, S, GB, USA) und Frankreich tragen durch ihre Forschungsarbeiten zu diesem Programm bei. Unsere 1988 aufgenommenen Kontakte mit dem IEA-Combustion Programm wurden beidseitig als positiv eingestuft. Das langjährige Erfahrungspotential der IEA-Länder [26] versprach einen effizienten know how Transfer und einen beschleunigten Aufbau unserer Schwerpunktsaktivitäten. Seit Herbst 1989 ist die Schweiz der jüngste Teilnehmer dieses IEA-Programms.

Die Teilnahme unserer Forscher an den IEA Task-Leaders Meetings dieses IEA-Programms wurde von unseren Forschern als sehr positiv und wertvoll eingestuft. Neue Kontakte und Kollaborationen mit anderen Forschern wurden geschaffen. Ziel unserer Forscher ist, Erfahrungen einzuholen, aber auch möglichst bald mit eigenen Forschungen Spitzenleistungen in das IEA-Programm einzubringen. Zu diesem Zweck wurden die im Kapitel 2 erwähnten Projekte in die verschiedenen Teilprogramme des IEA-Combustion Programms eingebracht [2], [4], [7], [8], [14], [15].

Seitens des End-Use Working Party der IEA erhielten Norwegen und die Schweiz 1988 den Auftrag, das IEA-Combustion Programm einer kritischen Prüfung zu unterziehen. In ihrem diesbezüglichen Rapport [27] wurden die bisherigen Programmaktivitäten analysiert und folgende Empfehlungen für die Fortsetzung des Programms abgegeben:

- Die qualitativ hochstehende, jedoch sehr grundlagennahe Forschung soll beibehalten werden.
- Der bisher mangelhafte Industriebezug ist zu verbessern.
- Den Schadstoffaspekten soll vermehrte Bedeutung zugemessen werden.

5. Neue Forschungsarbeiten

Im Berichtsjahr wurde ein Vertrag zwischen ABB, ETH-Zürich und dem PSI ausgearbeitet, um ein gemeinschaftliches Forschungsprogramm für Hochdruckverbrennung in Angriff zu nehmen. Ein gemeinsamer **Hochdruckprüfstand**, genannt "DIVA" (Druck in der Verbrennungsanlage), soll 1990 in Baden gebaut werden. DIVA wurde für einen Leistungsbereich von 1,6 MW und für Drücke von 1 - 16 bar ausgelegt und soll mit modernsten Messeinrichtungen ausgestattet werden. Erste Experimente können 1991 ausgeführt werden. Durch diese Zusammenarbeit möchten die drei Partner ihre Ressourcen besser nutzen, den Informationsaustausch fördern und neue technische Konzepte in der Verbrennung an diesem Prüfstand austesten und bis zu technischen Anwendungen weiterentwickeln. DIVA wird ausserdem ein wichtiges Instrument zur praxisorientierten Ausbildung von Hochschulabsolventen darstellen. Der Prüfstand wird auch weiteren Partnern zur Benutzung offenstehen und wird somit ein tragendes Element in der beabsichtigten Integration von Hochschul- und Wirtschaftsforschung im Programm "Feuerung und Verbrennung" bilden.

"Low NO_x-Projekt": Diese sich in Vorbereitung befindliche ETH-Projekt hat zum Ziel, Grundlagenwissen für eine möglichst schadstoffarme Verbrennung fossiler Brennstoffe, vornehmlich für Feuerungen und zur Wärmeerzeugung in Gebäuden. Das Projekt gliedert sich in die drei Teile:

- Optimierung von Brennkammerströmungen und Flammenformen mittels numerischer Simulation.
- Experimentelle Untersuchungen an der ETH-Zürich.
- Experimentelle Untersuchungen durch die Industrie.

Um eine möglichst enge Zusammenarbeit mit der Industrie zu gewährleisten, wird für das Projekt ein Lenkungsausschuss durch die beteiligten Industrien gebildet. Das erarbeitete Wissen soll von der Brenner- und Kesselindustrie dahingehend verwendet werden, eine neue Generation von schadstoffarmen Brennern zu entwickeln.

Infolge der Zunahme der Forschungsprojekte im Bereich der Holzverbrennung und der Überlappung mit anderen Energieforschungsprogrammen sollen Forschungsschwerpunkte für die nächsten fünf Jahre im Holzverbrennungssektor definiert und deren Koordination mit den Programmen "Rationelle Energienutzung", "Feuerung und Verbrennung" und "Biomasse" sichergestellt werden.

6. Referenzen

- [1] H. Peter/J. Gass, "JB89: Bestimmung dreidimensionaler Temperaturfelder in Flammen mittels Holographie".
- [2] J. Gass, IEA Combustion, "Temperature Measurements in Flames by Holographic Interferometry".
- [3] D. Aiulfi/P. Ceschi/T. Hanlon/J. Gass, "JB89: Experimentelle Untersuchungen in Flammen".
- [4] J. Gass, IEA Combustion, "Flame Modelling and Comparative Measurements".
- [5] J. Gass/P. Stuber, "JB89: Schnell-Messverfahren in Flammen".
- [6] M. Eberle, "JB89: Turbulenzparameter von Strömungen".
- [7] K. Boulouchos, IEA Combustion, "Turbulence Parameters in the Combustion Chamber".
- [8] B. Ineichen, IEA Combustion, "Development of Laser Diagnostic Techniques for the Determination of Turbulence Intensities in Internal Combustion Engines".
- [9] P. Benz/S. Buser/A. Schlegel/T. Stetter, "JB89: Katalytische Verbrennung".
- [10] T. Stetter, "Potentialstudie zur katalytischen Verbrennung", PSI-TM-51-89-29.
- [11] T. Gerber, "JB89: Laserdiagnostik".

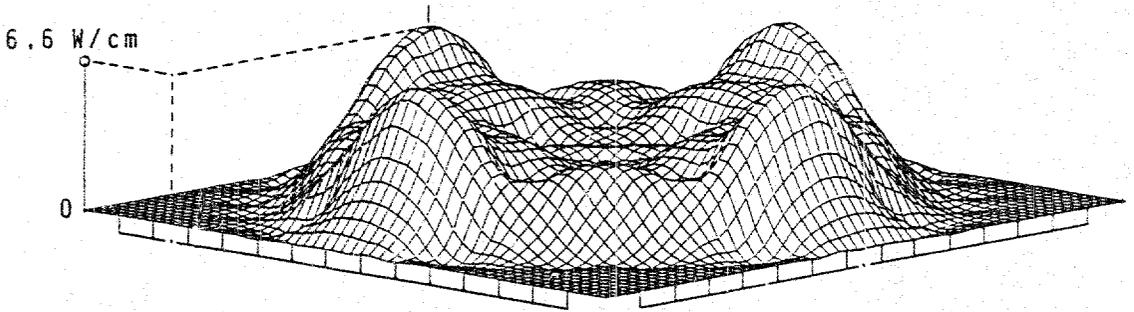
- [12] R. Bombach/B. Hemmerling/W. Hubschmid, "Third-Order Anisotropies in Cubic Crystals".
- [13] R. Bombach/B. Hemmerling/W. Hubschmid, "Saturation Effects and Stark Shift in Hydrogen Q-Band CARS Spectra".
- [14] T. Gerber, IEA-Combustion "Measurement of Temperature and Species Concentration in Combustion".
- [15] T. Gerber, IEA-Combustion "Measurements of Temperatures, Concentrations and Velocity Fields using Laser Induced Fluorescence".
- [16] J. Wochele, "JB89: Thermochemische Energiespeicherung in Aluminium, Alu-Brenner".
- [17] J. Wochele, "Messwertanzeige und Datenerfassung zum Alu-Brenner", PSI-TM-51-89-10.
- [18] M. Koebel, "JB89: Reduzierung von Stickoxiden in Abgasen".
- [19] M. Elsener/M. Koebel, "Analyse von Isocyanursäure, Ammoniak und Lachgas in Abgasen von Entstickungsprozessen", PSI-TM-51-89-21.
- [20] M. Koebel/M. Elsener, "Versuche zur thermischen Zersetzung von wässrigen Harnstofflösungen", PSI-TM-51-89-20.
- [21] H. P. Eicher, "JB89: Abgasreinigung von Dieselmotoren mit Cyanursäure bzw. Harnstoff".
- [22] H. P. Eicher, "Blockheizkraftwerke im Energiekreislauf, Gasbetriebene BHKW", Techn.Rundschau 5/1990, Seite 24-33.
- [23] H. P. Eicher, "JB89: Untersuchung des Langzeitverhaltens von Gasmotoren mit Katalysator".
- [24] B. Gysel, "JB89: AACFS (Advanced Atmospheric Coal Firing System)".
- [25] B. Gysel, "Projekt "AACFS" Teilbereich C: LCS-Anlage", Zwischenbericht 1989, Sulzer TE/0328-4.
- [26] B. Magnussen/K. Olshausen/A. Hintermann, "Report on Review of IEA Implementing Agreement on Conservation of Energy in Combustion" (1989).
- [27] IEA Annual Report 1988, Program of Research in Energy Conservation in Combustion

NUKLEARE SICHERHEITS- FORSCHUNG

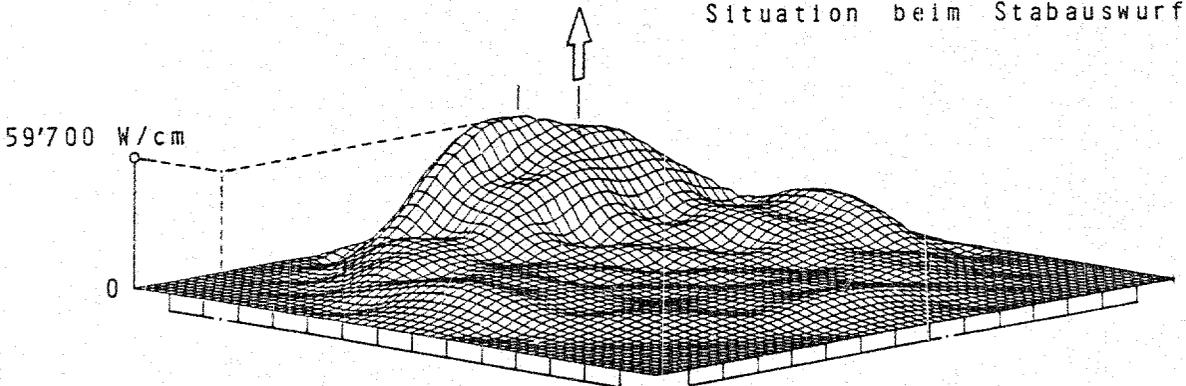
Uebersichtsbericht
zum Forschungsprogramm 1989

Programmleiter: S. Chakraborty

Wärmeproduktion im Brenn-
element vor dem Störfall



Situation beim Stabauswurf



Computer-Simulation von Störfällen in Schweizer Kernkraftwerken

Beim Auswurf des wirksamsten Regelstabes aus dem Reaktorkern steigt die Wärmeproduktion kurzzeitig stark an. Gemäss der PSI-Analyse werden dabei die Sicherheitslimiten der Anlage nicht überschritten. oben: Vor dem Eintritt des Störfalles ist die Wärmeproduktion bei Nulleistung symmetrisch über den Querschnitt verteilt.

unten: Situation für den Auswurf des Regelstabes (Pfeil) aus dem Reaktor im Zeitpunkt der höchsten Wärmeproduktion (Ausgangszustand: Nulleistung).

1. Inhalt des Berichtes

Dieser Rapport gibt einen Ueberblick über alle von BEW/HSK unterstützten Arbeiten, die in 3 Gruppen unterteilt sind:

- im PSI durchgeführte Arbeiten
- übrige durchgeführte Arbeiten
- Beteiligung an internationalen Forschungsprogrammen

Nachfolgend wird über einige Arbeiten, die erwähnenswerte Fortschritte erzielt haben, sowie Arbeiten, die 1989 abgeschlossen werden konnten, berichtet.

2. Abgeschlossene langjährige Forschungsprogramme

Mit Ende des Jahres 1989 lief das fünfjährige **Sicherheitsprogramm Heissdampfreaktor (HDR)** des Kernforschungszentrums Karlsruhe ab [3]. Im Auftrage des BEW/HSK nahm daran das PSI (vormals EIR) an Beanspruchungs- und Versagensuntersuchungen von grossen Reaktorkomponenten, zerstörungsfreien Prüfungen und strukturdynamischen Untersuchungen teil. Einige Institute und Industrie-Partner in der Schweiz haben unter Federführung des PSI an diesem Programm mitgewirkt. Besonders zu erwähnen sind die Leistungen des PSI an der Weiterentwicklung des Finite Element-Rechencodes für bruchmechanische Berechnungen und Validierung des Codes mit experimentellen Ergebnissen sowie an der Entwicklung eines Schallemissionsmesssystems für dreidimensionale Ortung von Schallemissionsereignissen (Risse) und für eine verbesserte Aussage über Entstehungsmechanismen der Schallemissionsquellen. An zwei weiteren Projekten (Erdbebenuntersuchung und Stossbeanspruchung) wurden Berechnungen durchgeführt, um zu untersuchen, im welchem Masse nichtlineare Effekte zur realitätsnahen Erfassung des Schwingungsverhaltens des Reaktorgebäudes berücksichtigt werden können. Zahlreiche Veröffentlichungen an internationalen Konferenzen sowie auch in Fachzeitschriften bezeugen, dass diese Forschungstätigkeit am PSI erfolgreich war. Das PSI ist durch diese Forschungsarbeiten grundsätzlich in der Lage, für die HSK Berechnungen für ähnliche Belastungen an schweizerischen KKW-Komponenten und lokale Ueberwachungen von bekannten Fehlstellen an schweizerischen KKW durchführen zu können.

Das internationale **OECD-LOFT Projekt** wurde nach sechs Jahren Forschung auf den Gebieten der Thermohydraulik von Kühlmittelverlust-Störfällen [4] sowie Spaltproduktfreisetzung sowie Transport nach schweren Unfällen Ende 1989 abgeschlossen. Vom 9.-11. Mai 1990 findet in Madrid eine internationale Konferenz statt, an der die Resultate des gesamten Forschungsprogrammes präsentiert werden. Die Schweiz hat unter der Leitung der HSK aktiv an diesem Programm mitgearbeitet. Ein Mitarbeiter des PSI hat in Idaho die zwei letzten Versuche mitgeplant und ein weiterer Mitarbeiter hat drei Jahre als Vorsitzender des Programmausschusses zum erfolgreichen Abschluss des Projektes entscheidend beigetragen. Für die realistische Beurteilung der Sicherheit von Kernkraftwerken hat somit die HSK Grundlagen nach dem neusten Stand der Forschung. Das PSI hat damit einen grossen Erfahrungsschatz gesammelt.

3. Doktorarbeiten

Eine Doktorarbeit am Laboratorium für Thermohydraulik der ETHZ befasste sich mit Rechenmodellen zur Ermittlung der Wiederbenetzungstemperatur von beheizten Oberflächen der Brennstäbe [7].

Eine weitere Doktorarbeit am Institut de Génie Atomique der EPFL behandelt das Thema Berechnung der kinetischen Parameter von Leichtwasserreaktoren und Anwendung auf das Kernkraftwerk Beznau [10].

4. Projekte im einzelnen

Simulationsmodelle zur Transienten-Analyse (STARS) [1]

Ziel des Projektes ist die mathematische Modellierung der Kernkraftwerke in der Schweiz, sowie die Erstellung und laufende Aktualisierung der für die Störfallanalyse erforderlichen nuklearen und anlagespezifischen Datensätze. Im Berichtsjahr wurden zwei auslegungsüberschreitende Szenarien (Steuerstabauswurf) als Grenzbetrachtung für das Kernkraftwerk Beznau untersucht. Die Szenarien gehen davon aus, dass ein oder mehrere Steuerstäbe vor Eintritt des Störfalles weiter als zulässig in den Kern eingefahren sind. Die Ergebnisse zeigen, dass auch unter den getroffenen extrem ungünstigen und unwahrscheinlichen Annahmen die sicherheitstechnisch relevanten Auslegungskriterien nicht verletzt wurden. Die wichtigsten Ergebnisse der 3-dimensionalen Störfallanalyse wurden am Second Technical Committee Meeting der IAEA über "Safety aspects of reactivity initiated accident" in Wien präsentiert. Es ist erfreulich zu berichten, dass das Projekt durch eine gut motivierte und erfahrene Mannschaft unterstützt wird.

Spannungsrissskorrosion von Reaktordruckbehälterstählen [12]

Das Institut für Metallforschung und Metallurgie der ETHZ erforscht die wichtigen Einflussgrößen auf das Wachstum von Spannungskorrosionsrissen in Reaktordruckbehälterstählen unter simulierten Reaktorkühlmittelbedingungen und unter stagnierenden Bedingungen. Das Institut hat aktiv mitgeholfen bei der Erstellung eines Anforderungsprofils und bei der Auswahl eines geeigneten Heisswasserkreislaufes, der im nächsten Jahr am PSI aufgebaut wird. Darüberhinaus wurden Gefügestand und mechanische Eigenschaften des Reaktorstahles geprüft und erste Vorversuche zur Spannungsrissskorrosion durchgeführt.

Schneller Brüter [5]

Das Forschungsthema dieses Projekts ist das thermomechanische Verhalten eines natriumgekühlten Brennelements bei einer totalen Blockage des Kühlmittels. Diese Arbeiten sind in ein grösseres Forschungsprogramm des Commissariat à l'Energie Atomique in Frankreich eingebettet. Es wurden mit den am PSI vorhandenen strukturmechanischen Rechenmethoden erste Analysen eines französischen "out-of-pile"-Experiments durchgeführt, bei welchem hexagonale Brennelementkästen des Reaktors Rapsodie unter kontrollierten Bedingungen elektrisch aufgeheizt und geschmolzen werden. Zwischen dem Experiment und der Computersimulation ergaben sich Unterschiede, die nun weiter untersucht werden müssen. Im weiteren befasst sich das Projekt mit der Ueberprüfung von reaktorphysikalischen Rechenmethoden und Neutronikdaten im Hinblick auf die Berechnung der wichtigen Sicherheitsparameter von schnellen Brütern.

LWR-Kontaminationskontrolle [2]

Das Forschungsprogramm LWR Kontaminationskontrolle beinhaltet die Entwicklung und Validierung eines Modells zur Beschreibung des Aktivitätstransports in Kühlkreisläufen von Kernkraftwerken. Der Schwebstoffloop konnte während einiger Monate bei Betriebsbedingungen (90 bar, 290°C) betrieben werden. Dies geschah zur Erprobung aller Systeme und zur Konditionierung (Oxidation) der inneren Oberfläche. Erfolgreich verliefen die Experimente zur Adsorption von Spalt- und Aktivierungsprodukten aus Hochtemperaturwasser (bis 300°C) an Eisen-, Zirkon- und Titanoxid. Gute Fortschritte wurden auf dem Gebiet der Wasseranalytik erzielt z.B. Messung des gelösten organischen Kohlenstoff-Gehaltes des Primärwassers des Kernkraftwerkes Leibstadt. Das systematische Angehen an die Erklärung der Phänomene der Ablagerung von Aktivierungsprodukten in Kühlkreisläufen ist ein guter Ansatz für den Erfolg.

Aeroradiometrische Messungen [11]

Die Forschungsgruppe Geothermik und Radiometrie des Instituts für Geophysik der ETHZ hat mit aeroradiometrischen Messungen (Gammaskpektrometrie) in der Umgebung der schweizerischen Kernanlagen begonnen. Bei der kartographischen Darstellung der Resultate steht die künstliche Radioaktivität im Vordergrund.

Entwicklung eines neuen Neutronen-Personendosimeters und Weiterentwicklung des vom PSI gebauten Rossi-Counter [8]

Im Hinblick auf den Einsatz des Polycarbonats Cr-39 als Neutronenpersonendosimeter wurde durch Kombinationen von chemischer und elektrochemischer Aetzung bei tiefen und hohen Frequenzen, verschiedenen Feldstärken und unterschiedlichen Aetzauern Spurendichte und Spurengrößen im Detektormaterial untersucht. Das zweistufige Aetzverfahren produziert bei gleicher Spurendichte grössere Spuren als das dreistufige Verfahren. Die im Rahmen eines EURADOS-CENDOS-Programm (European Research Project on Dosimetry - Collection and Evaluation of Neutron Dosimetry Data) mit monoenergetischen Neutronen bestrahlten Cr-39 Folien wurden mit diesen beiden Aetzbedingungen ausgewertet. Die bestimmten Empfindlichkeiten stimmen mit publizierten Ergebnissen überein.

5. Studien

Eine Studie befasst sich mit der gegenseitigen Beeinflussung benachbarter Längsrisse in Rohrbögen unter mechanischen Lasten. Hintergrund dieser Arbeit sind Versuche zum Anriss-, Risswachstums- und Leckageverhalten von Rohrbögen in Rohrleitungen infolge Innendruck und überlagerter zyklischer Biegung bei korrosionsfördernden Bedingungen [13].

Die Arbeit über "Fault and fracture systems in the crystalline basement of northern Switzerland and adjacent southern Schwarzwald" gibt einen Ueberblick über den strukturellen Aufbau des kristallinen Grundgebirges der Nordschweiz und diskutiert die Beziehungen zwischen den oberflächlich aufgeschlossenen Strukturen des Südschwarzwaldes und den Daten der Nagrabohrungen. Die in den Bohrungen erhobenen Daten werden im Bericht kritisch analysiert. Es zeigt sich, dass die Datenerhebung noch unvollständig ist und eine Korrelation zur Tektonik des Schwarzwaldes noch nicht vollumfänglich möglich ist [14].

In der Studie über die Parameterabhängigkeit der Dämpfung von Rohrleistungssystemen wurde eine neue Regelung für die Dämpfungswerte vorgeschlagen, die für den rechnerischen Nachweis der seismischen Sicherheit von Kernkraftwerks-Rohrleitungen zu verwenden sind [16].

Eine weitere Studie hat zum Ziel, einen Ueberblick über den aktuellen Stand der Starkbebenmesstechnik in den Bereichen Gerätespezifikation, Datenübertragung und Datenauswertung zu geben. Zudem soll ein Programmpaket auf PC-Basis zur Auswertung der Starkbeben Daten bereitgestellt werden. Dieses Projekt liefert die notwendigen Basisinformationen für die Projektierungsarbeiten für ein schweizerisches Starkbebenetz, welche anfangs 1990, nach längerem Unterbruch, wieder an die Hand genommen werden [9].

6. Internationale Projekte

Das internationale Forschungsprogramm Severe Accident Research Program (SAR) von der U.S. Nuclear Regulatory Commission (NRC), das sich mit der Untersuchung von Quellterm bei schweren Unfällen befasst, hat einen umfangreichen Computercode MELCOR auf der Basis der Modellentwicklungen mit entsprechenden Experimenten entwickelt und für den praktischen Einsatz freigegeben. Die HSK hat mit Hilfe amerikanischer Experten diesen Code implementiert und ist dabei, anlagenspezifische Quelltermanalysen durchzuführen [15].

Die Schweiz (vertreten durch die Gruppe der schweizerischen Kernkraftwerksleiter (GSKL) und HSK) beteiligt sich seit 1987 am International Piping Integrity Research Group (IPIRG)-Forschungsprogramm. Das IPIRG-Forschungsprogramm wurde von den USNRC im Jahre 1985 initiiert als Ergänzung bzw. Erweiterung ihres "Degraded Piping Program". Es handelt sich beim IPIRG-Forschungsprogramm um die Untersuchung des Bruchverhaltens von Rohrleitungen mit Rundrissen (Durchrisse und Oberflächenrisse) unter dynamischen Belastungen (Erdbeben). Im "Degraded Piping Program" der USNRC wurden nur Untersuchungen unter statischen Belastungen durchgeführt. Die Ergebnisse der Vorversuchsreihen haben folgende wichtige neue Erkenntnisse geliefert:

- Die dynamisch-zyklische Belastung erniedrigt die Bruchfähigkeit je nach Material-Typ in unterschiedlichem Masse.
- Die Anwendbarkeit der bruchmechanischen Analyse mittels J-Integral-Konzept ist für dynamisch-zyklische Belastung nicht ohne weiteres gegeben.
- Die früher in einem EPRI/NRC Piping and Fitting Reliability Program gefundene sogenannte "inherent dynamic safety factor" von 15 bis 30 für Rohre ohne Riss, hat sich für mit Rundrissen behafteten Rohre auf 1.07 bis 1.8 reduziert.

Im Berichtsjahr beteiligte sich die Schweiz an einem neuen OECD-Forschungsprogramm zur Untersuchung des Reaktordruckbehälterbodens (RDB) des Reaktors Three Mile Island 2 (TMI-VIP). Dabei geht es um die Gewinnung von Erkenntnissen über das Verhalten des RDB's bei Kernschmelzunfällen [6].

7. Referenzen

- [1] E. Knoglinger, "JB89: Simulationsmodelle zur Transienten-Analyse (STARS)".
- [2] E. Schenker, "JB89: LWR-Kontaminationskontrolle".
- [3] R. Wanner, "JB89: HDR-Sicherheitsprogramm Phase II und III".
- [4] S. Guentay, "JB89: OECD-Loss of Fluid Test (LOFT)".
- [5] P. Wydler, "JB89: Schneller Reaktor (Brüter)".
- [6] G. Bart, "JB89: Charakterisierung von TMI-Reaktorkern-Material im Rahmen eines OECD-Programmes".
- [7] G. Varadi/G. Yadigaroglu, "JB89: Wiederbenetzungsphänomene".
- [8] C. Wernli, "JB89: Entwicklung eines Neutronendosimeters und Weiterentwicklung des vom PSI gebauten Rossi-Counter".
- [9] Basler & Hofmann, "JB89: Bereitstellung von Grundlagen für die Registrierung und Auswertung von Starkbebenaten in der Schweiz".
- [10] C. Decurnex, "JB89: Evaluation des paramètres cinétiques des réacteurs à eau légère et application à la centrale nucléaire de Beznau".
- [11] L. Rybach, "JB89: Aeroradiometrische Messungen in der Umgebung der schweizerischen Kernanlagen".
- [12] R.M. Pedrazzoli/M.O. Speidel, "JB89: Spannungsrisskorrosion von Reaktordruckbehälterstählen".
- [13] SDK Ing., "JB89: Einfluss von Einfach- und Vielfach-Rissen unter mechanischen Beanspruchungen im Rohrbogen".
- [14] A.G. Milnes, "Fault and fracture systems in the crystalline basement of northern Switzerland and adjacent southern Schwarzwald" (1989).
- [15] ERI, "Technical support for implementation of severe accident risk assessment methods (MELCOR-Code) (1989)".
- [16] W. Odermatt, "JB89: Parameterabhängigkeit der Dämpfung von Rohrleitungssystemen".

Weitere verfügbare Jahresberichte, die im Ueberblicksbericht nicht erwähnt sind:

J.F. Jaeger, "JB89: Bestimmung von Abschirmfaktoren für ein Spital".

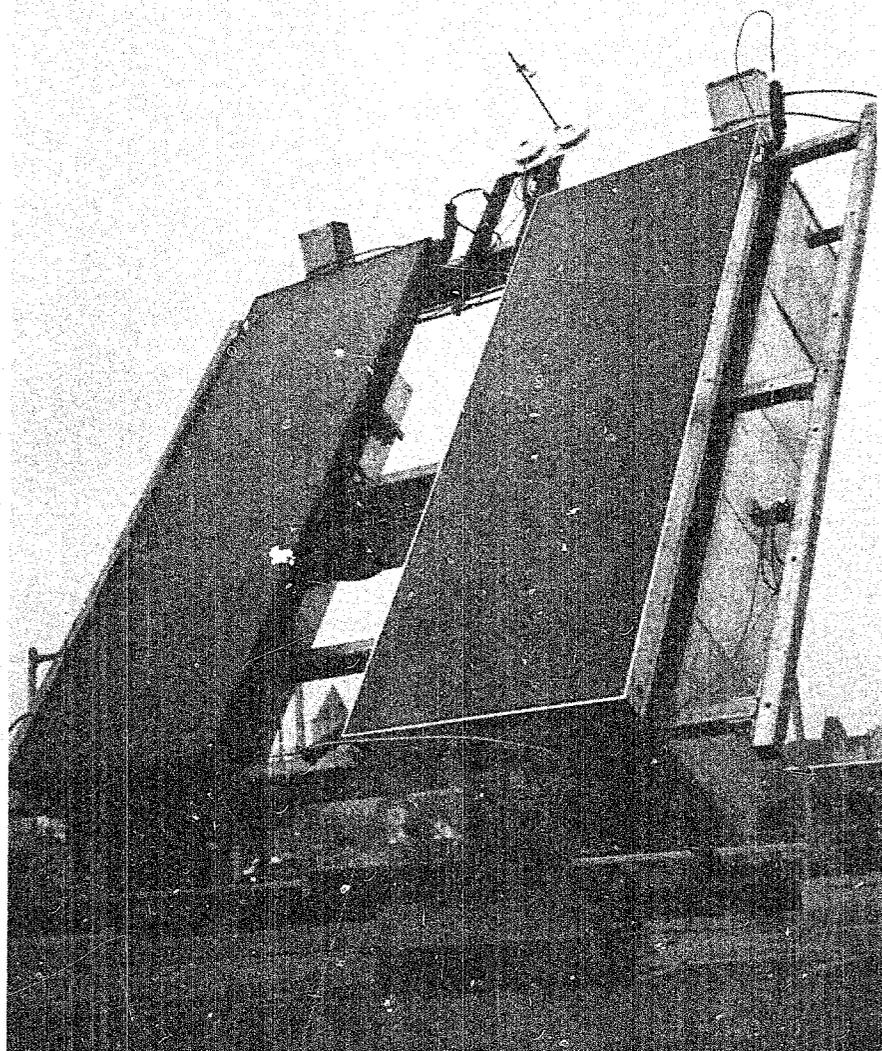
T. Hinton, "JB89: Radioökologische Studien und Validierung des Rechenprogramms ECOSYS für schweizerische Verhältnisse".

- F. Gassmann/R. Metzga**, "JB89: *Ausbreitung radioaktiver Stoffe bei KKW-Störfall während Schwachwindlagen für Standorte Mühleberg und Linde/Leibstadt*".
- X. Edelmann**, "JB89: *Teilnahme am Program for the Inspection of Steel Components (PISC-III)*".
- Colenco Ing.**, "JB89: *Studie über erweiterte Betrachtung von Operator-Aktionen in Risikoanalysen im Zusammenhang mit Accident Management*".
- E.H.K. Kempter**, "JB89: *Strukturelle Verhältnisse im Molassebecken der östlichen Schweiz*".

SOLAIRE THERMIQUE ET STOCKAGE DE CHALEUR

Rapport de synthèse
sur les activités 1989 du programme de recherche

Chef de programme: P. Bremer



Le nouveau stand d'essais des capteurs à l'Ecole technique supérieure intercantonale de Rapperswil.

1. Objectifs

Le programme de recherche met l'accent sur les points suivants:

- Compléter l'acquis pour le transfert des connaissances.
- Les nouveaux matériaux.
- Les éléments de conception avancées ou nouvelle.
- Les potentialités de la convection naturelle.

Les travaux exécutés en 1989 concernent essentiellement le premier point en vue du programme d'action PACER de l'Office fédéral des questions conjoncturelles consacré aux énergies renouvelables et qui débutera en 1991.

Le volet **nouveaux matériaux** fait partie du mandat confié à l'ETS de Rapperswil et se poursuit normalement.

Quant aux deux derniers points, ils seront pris en charge dans une nouvelle tâche de l'Agence Internationale de l'Energie (AIE) consacrée aux "Advanced Active Solar Energy Systems", dont les activités commenceront en 1990.

2. Les travaux effectués en 1989

La météorologie solaire

Dans le cadre des recherches de l'AIE, l'une des tâches est coordonnée par la Suisse et a pour but de déterminer les **techniques adéquates pour interpolation spatiale du rayonnement** à partir des réseaux nationaux ou régionaux de mesure. Les travaux préparatoires sont terminés. Il s'agissait d'abord de réunir toutes les données des pays participants (Suisse, Suède, Allemagne fédérale, 3 réseaux américains) en un fichier informatique commun et normalisé, puis de sélectionner les modèles d'interpolation pour évaluation. Parmi les 8 modèles retenus, la **méthode des géologues** (Kriegeage) proposée par la Suisse a été retenue. Pour l'évaluation qui va commencer, la collaboration internationale devient déterminante en ce que chaque participant analysera pour les autres une ou plusieurs méthodes avec le fichier commun [1].

Un autre projet est dévolu à l'établissement de **données météorologiques de référence** à l'attention des utilisateurs, notamment de logiciels d'analyse et de dimensionnement. Une enquête initiée par la Suisse et effectuée auprès d'utilisateurs potentiels dans les pays participants a confirmé ce besoin et permis de préciser les grandeurs physiques recherchées. Outre le rayonnement solaire, la température de l'air, l'on s'intéressera particulièrement aux **températures du sol à différentes profondeurs et du rayonnement infrarouge du ciel**, grandeurs déterminantes dans la calorimétrie d'un bâtiment. Dans ce contexte, il faut signaler l'aboutissement d'un projet NEFF sur l'application des **méthodes stochastiques pour la génération synthétique** de valeurs horaires du rayonnement et de température de l'air [2, 19].

Si les mesures du rayonnement (éclairage énergétique) émanant des services météorologiques suffisent pour les applications thermiques de l'énergie solaire, il n'en est pas de même lorsque l'intensité de la transformation énergétique dépend de la longueur d'onde, tout particulièrement dans les **conversions photovoltaïque et photochimique**. Dans une préétude, les besoins des chercheurs dans ces domaines ont été analysés et la faisabilité d'un **projet de mesure** du spectre solaire a été étudiée. Des besoins étant également ressentis au niveau international, une suite éventuelle est envisagée dans le cadre de l'AIE [3].

La procédure de calcul pour la détermination de l'influence de l'horizon sur le rayonnement est disponible sous forme informatique et sera intégrée dans la nouvelle version METEONORM pour PC [4].

Composants

Le fait marquant a été la **mise en service du nouveau stand d'essai** des capteurs au Laboratoire d'essais des composants, établi à PETS de Rapperswil. Ces installations sont probablement les plus modernes au monde. Entièrement automatisées, il est maintenant possible de déterminer les caractéristiques d'un capteur en quelques jours de mesures, alors qu'avec l'ancienne installation à l'Institut Paul Scherrer, il fallait plusieurs semaines. Les travaux concernant la longévité des absorbeurs et des isolations transparentes, les propriétés des caloporteurs, se poursuivent dans le cadre de l'AIE [5].

Une étude a permis de faire le point au sujet du **stockage par chaleur latente**. Il en ressort qu'une approche plus globale est nécessaire dans ce domaine et que des lacunes existent encore. Néanmoins, des produits fiables sont disponibles et sont notamment appliqués avec succès au stockage journalier dans le cas particulier du chauffage par le sol. Le phénomène encore mal maîtrisé de la surfusion (du retard de cristallisation, c'est-à-dire une conservation de l'énergie latente à température ambiante), permettrait de réduire les pertes dans le cas du stockage latent saisonnier et le handicap d'un faible nombre de cycles d'utilisation [6].

Le projet concernant les **caractéristiques de capteurs non couverts** souffre toujours d'un changement de personnel, qui devrait être prochainement résolu [7].

Pour les applications de l'énergie solaire fonctionnant à une **température de 600°C et plus** (centrales thermiques, procédés chimiques), le problème du stockage court terme doit être résolu d'abord de façon expérimentale. Une première approche testée à l'Institut Paul Scherrer est basée sur le stockage sensible dans des matériaux solides (porcelaine, magnésite, gravier de lave), le caloporteur étant de l'air chaud. Les premiers essais sur ces matériaux montrent une bonne stabilité thermique (jusqu'à 800°C) et mécanique. Ces recherches complètent d'autres travaux à l'échelle internationale: matériaux de stockage latent (Allemagne fédérale), sels de fusion haute température (USA) [8].

Application

L'étude comparative des deux installations solaires de production d'eau chaude et de chauffage des maisons multi-familiales de Dübendorf a fourni des résultats intéressants. *A surface de captage et consommation identiques, le rendement dépend essentiellement (jusqu'à 30 %) de la gestion du stock.* A ce point de vue, ni l'une ni l'autre des installations n'est optimale et toutes les deux peuvent être améliorées et/ou simplifiées. Cette étude a permis la mise au point de programmes de calcul et d'étude paramétriques performants [9].

Les premières mesures effectuées de janvier à juin 1989 sur 3 maisons familiales au Grand-Saconnex, projet qui faisait suite au précédent, confirment les résultats ci-dessus et montrent, en outre, que *le rendement des chaudières à mazout peut être influencé par le mode de gestion du système solaire*. Les mesures continuent jusqu'à l'été 1990 [10].

L'installation de 400 m² de capteurs évacués du projet **SOLARIN 2** produisant de la chaleur à haute température (~ 200°C) pour une fabrique de produits alimentaires, a été officiellement inaugurée le 10 novembre 1989 en présence des autorités cantonales bernoises. La campagne de mesure a débuté et se poursuivra toute l'année 1990. Ce projet a permis la mise au point de procédures d'optimisation technico-économiques d'installations solaires de ce type. Ainsi, le rendement du circuit solaire devrait atteindre 35 %, soit une augmentation de 9 % par rapport aux installations similaires existantes [11, 12].

Le projet du **Centre Industriel et Artisanal Marcinhès, Genève** (1'000 m² de capteurs, 20'000 m³ de stockage souterrain, solaire passif, pompe à chaleur) a subi des retards très importants dans la construction de l'immeuble. Les systèmes de mesures sont en place et les premières mesures (sur un bâtiment en fonctionnement partiel) sur le champ de capteur et la charge du stockage souterrain ont été effectuées et analysées. Les mesures complètes ne pourront commencer qu'à partir de l'été 1990 [13].

Les installations de chauffage à pompe à chaleur tirant leur chaleur du sol sont souvent complétées par un circuit à capteurs solaires réchauffant le sol pendant l'été. Une solution originale a été proposée pour une installation de ce type en construisant le capteur à même le sol sous une couche d'asphalte. Ce **capteur asphalte** est composé d'un serpentin de cuivre posé sur du tout-venant compacté et une couche en enrobé, le tout couvert d'une couche d'asphalte de 25 mm. Sa construction est terminée, la mise en service et le suivi des mesures ont débuté. Si les performances sont bonnes, ce procédé peut être généralisé [14].

Une première suisse, entièrement due à l'initiative privée, est la **maison familiale énergétiquement autonome JENNI**. 84 m² de capteurs chargent 3 cuves de stockage d'une contenance totale de 118 m³ et 43 m² de panneaux photovoltaïques délivrent leur courant à des batteries d'une capacité de 48 kWh. L'installation, complètement instrumentée, a été mise en service en juin 1989 et le suivi des mesures se fera sur 2 saisons au moins. A la fin décembre 1989, les niveaux de température des stocks dépassèrent les valeurs les plus optimistes et les batteries électriques étaient pleines. Est-ce le début de l'ère solaire 100 % [15].

Les mesures faites pendant une saison sur **5 installations solaires chauffant l'eau de piscines ouvertes** montrent que des *rendements voisins de 50 % peuvent être atteints* avec des capteurs non couverts. Néanmoins, la comparaison entre les valeurs mesurées et calculées n'est pas satisfaisante. Il s'avère que le coefficient de pertes des capteurs dépend de nombreux facteurs, notamment du vent, de l'humidité et de la technique de montage. Une analyse plus approfondie des mesures reste à faire [20].

La phase expérimentale du **projet SPEOS**, stockage saisonnier dans la nappe phréatique à une température de 50/70 °C, est terminée. Elle va être suivie d'une phase d'exploitation pilote pendant 3 ans. Le stock accumulera, à partir d'un chauffage urbain alimenté en gaz de boues d'épuration (STEP Lausanne), la chaleur estivale excédentaire et la fournira en hiver pour le chauffage de la salle omnisport de l'EPFL et de l'UNIL. Un élément nouveau, soit un échangeur de chaleur à lit fluidisé (détartrage mécanique) sera mis en service. Pendant cette phase, le suivi scientifique concernant l'impact biogéochimique sur la nappe phréatique sera maintenu [16, 24].

Logistique

Le projet **signature énergétique solaire (Kurztestmethode)** vise à développer une méthode permettant de déterminer la performance long terme d'une installation solaire sur la base d'une courte période de mesure. Parmi les diverses méthodes proposées, celle développée à l'Université de Munich permet la mesure in situ avec un minimum de points de mesure. Cette méthode est analysée dans un groupe de travail international ad hoc et le projet adaptera la méthode aux techniques utilisées en Suisse [17].

Le programme de **simulation d'installations solaires compactes** (production d'eau chaude et apport au chauffage) issu de ce projet a pu être comparé avec un programme de référence international. La différence entre les résultats des deux modèles est inférieure à 5 % [21, 22].

Les travaux dans le cadre AIE, consacrés au stockage solaire saisonnier sont terminés. Les outils (pour PC) **d'analyse économique et de dimensionnement** sont disponibles. Les études technico-économiques montrent que **le coût du kWh solaire dépend moins de la technique de stockage que de la taille des installations**. Ils s'établissent, par exemple, dans une fourchette de 0,08 à 0,12 Fr./kWh pour 200 logements à Zürich pour une couverture solaire de 70 %. C'est la meilleure rentabilité économique en énergétique solaire atteignable à ce jour. Il est essentiel que des projets pilotes soient réalisés dans un proche avenir [18]. Dans ce contexte, il faut signaler la parution de l'ouvrage "Wegleitung zur saisonalen Wärmespeicherung", traduction de l'original "Guide du stockage saisonnier" [22].

3. Activités internationales

Outre les séances de travail organisées dans le cadre des différents projets de l'AIE, la Suisse a participé activement à un séminaire réunissant les spécialistes de la modélisation mathématique de systèmes solaires. Le programme G³ présenté par l'Université de Genève, s'est révélé tout aussi précis que les programmes "lourds", et imbattable quant à la vitesse de calcul et à la simplicité d'emploi [21].

Le document "Inspection procedure for daily hot water systems", issu des travaux de l'AIE et dont la Suisse avait la responsabilité paraîtra en 1990 [23].

La Suisse participera également à un nouveau projet AIE visant l'échange d'expériences en matière de projets innovateurs dans le domaine de l'énergie solaire active. La première séance de travail aura lieu à Lausanne, en janvier 1990.

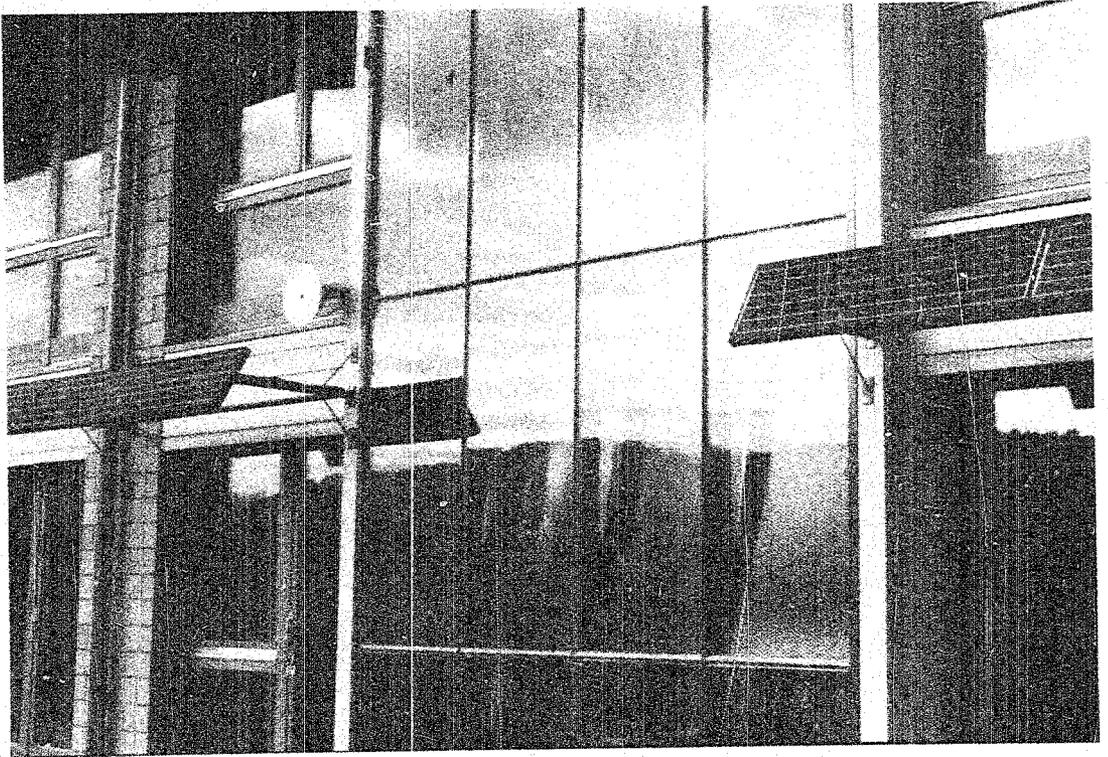
4. Références

- [1] A. Zelenka, "RA89: Techniques for Supplementing Network Data".
- [2] K. Mathis / T.W. Püntener, "RA89: Representative Design Years for Solar Energy Applications".
- [3] J.-R. Leidner, "RA89: Etude prospective sur la mesure du spectre solaire".
- [4] S. Kunz, "RA89: Berechnung des Horizonteinflusses auf die Globalstrahlung auf beliebig orientierte Flächen - Methodevaluationen".
- [5] U. Frei, "RA89: Leistungsfähigkeit und Lebensdauer von Solaranlagen".
- [6] L. Keller, "RA89: Etude rétrospective et prospective des possibilités techniques et économiques du stockage latent".
- [7] J. Keller, "RA89: Untersuchungen an unverglasten Kollektoren".
- [8] J. Keller / D. Wüillemin, "RA89: Speicherung solarer Hochtemperaturwärme".
- [9] P. Jaboyedoff, "RA89: Praxisgerechte Regeln zur optimalen Planung und Ausführung von Sonnenenergieanlagen".
- [10] O. Zahn, "RA89: Mise au point et test d'installations solaires à injection directe simplifiée".
- [11] J.V. Hurdes, "RA89: Solar erzeugte Prozesswärme (Solarin 2)".
- [12] O. Guisan, "RA89: Solarin 2, partie sous-traitée".
- [13] O. Guisan, "RA89: Intégration et optimisation de systèmes solaires actifs. Etude du Centre industriel et artisanal Marcinhès à Meyrin".
- [14] B. Matthey, "RA89: Analyse du bilan énergétique de l'installation héliogéothermique de la salle polyvalente de Cortaillod/NE".
- [15] K. Marti, "RA89: Energiemessungen am Solarhaus JENNI".
- [16] B. Saugy, "RA89: Programme de mesures lors de l'intégration de SPEOS dans un système de chauffage".
- [17] A. Eggenberger, "RA89: Kurztestmethode für Sonnenenergieanlagen (KTSA)".
- [18] P. Jaboyedoff, "RA89: Stockage saisonnier de chaleur".
- [19] J.-L. Scartezzini / F. Bottazzi / M. Nygard-Ferguson, "Application des méthodes stochastiques: dimensionnement et régulation" (projet NEFF 349/FN 2.331-0.86), EPFL (1989).
- [20] H. Hobi / H. Meyer / R. Schmid, "Wärmeerträge von Schwimmbadheizungen mit unverglasten Kollektoren" (1989).
- [21] W.S. Duff, "Model Testing Workshop", Colorado State U. (1989).
- [22] J.-C. Hadorn, "Wegleitung zur saisonalen Wärmespeicherung", SIA/BEW D 028d (1989).
- [23] U. Frei / J. Keller / R. Brunner, "Inspection Procedure for Daily Hot Water Heating Systems" (1990).
- [24] J.J. Miserez, "RA89: Chimie et microbiologie dans le domaine du stockage de l'énergie en nappe aquifère".

S O L A R A R C H I T E K T U R

Überblicksbericht
zum Forschungsprogramm 1989

Programmleiter: R. Hasings



Ausschnitt aus der Südfassade eines Messobjektes in Schüpfen

Ein Luftkollektor mit einer Höhe von zweieinhalb Geschossen zwischen den Fenstern der Südfassade liefert warme Luft, die durch einen auf vier Innenwände verteilten Latentspeicher transportiert wird. Photovoltaik-Paneele liefern den Strom für die Ventilatoren des Hybridsystems. Die Messungen an diesem Haus führten zu aufschlussreichen Ergebnissen.

1. Einleitung

Solararchitektur ist die Gestaltung eines Gebäudes unter intensiver Nutzung der Sonne als Wärme- und Lichtquelle so, dass ein behagliches Innenklima gesichert ist. Zusätzlicher Energieverbrauch soll möglichst gering gehalten werden. Dies benötigt eine sorgfältige Anpassung des Gebäudes an die lokalen Klimabedingungen und an die Bedürfnisse des Benutzers. Der Endeffekt ist eine reduzierte Belastung der Umwelt und eine Architektur, die sowohl aussen als auch innen hinsichtlich der Ästhetik sehr befriedigend wirken kann. Solararchitektur benötigt "knowhow" in der intensiven Tageslichtnutzung, in der Ausnutzung des Passiv-Sonnenenergiegewinns (möglichst viel Gewinn, effiziente Wärmeverteilung, wirksame Wärmespeicherung, minimale Wärmeverluste) und in der Handhabung des sommerlichen Ueberhitzungsschutzes.

Das Programm Solararchitektur befasst sich mit der Identifizierung von Wissenslücken, der Lancierung neuer Forschungsprojekte (unter Berücksichtigung der Forschung im Ausland) und der Verbreitung des Wissens.

2. Anvisierte Zielpunkte für 1989

Das Ziel für 1989 war die Intensivierung der Forschung auf drei Hauptgebieten. Dies erfolgte in enger Zusammenarbeit mit Forschungsinstituten im Ausland (im Rahmen der Internationalen Energie-Agentur IEA).

- Intensive Tageslichtnutzung: Weiterführung der Arbeit mit Computermodellen [4] und Start experimenteller Forschung [6].
- Passive Sonnenenergienutzung in Nichtwohngebäuden: Messen mehrerer Gebäude [9], Entwicklung von zwei neuen Modulen für Computermodelle [5, 9] und Leitung von Forschung auf internationaler Ebene durch die Schweiz [17].
- Solarhäuser der nächsten Generation: Veranstaltung eines Workshops und Zusammenarbeit innerhalb des neubegonnenen IEA Solar Projekts [19].

3. Durchgeführte Arbeiten und Erreichte Ergebnisse

Von den 19 beschriebenen Forschungsprojekten dieses BEW-Programmes wurden im Jahr 1989 acht Projekte neu gestartet und ein Projekt abgeschlossen.

Komponenten

Der Bereich Komponenten handelt von drei verschiedenen Bauteilen, die als Fassadenelemente Solarenergiegewinne im grossen Stil versprechen.

Das Projekt "**Vakuumisoliertes Lichtelement**" [1] von E. Bächli, Endingen, hat Ende 1989 seinen formalen Abschluss gefunden. Es wurden weitere kleine Prototypen mit der bisher allein erfolgreichen Methode für einen vakuumdichten, flexiblen Randverbund hergestellt. Die Heliumdichtheit für kleine Prototypen ist erwiesen. Die Herstellung grösserer Vakuum-Fenster mit anvisiertem k-Wert von 0,3 bis 0,6 W/m² K und ihre Langzeituntersuchung ist bisher ausgeblieben. Schwierigkeiten zwischen Lizenznehmer und Erfinder sind dafür verantwortlich, dass trotz enormem Anwendungspotential z.Zt. keine Fortsetzung geplant ist und grosse Verzögerungen gegenüber dem vorgegebenen Zeitplan aufgetreten sind. Dafür sind von Herrn Bächli bereits Lösungsansätze für noch ausstehende Teilprobleme gefunden worden. Die Entwicklung von Vakuumfenstern mit Wärmedämmeigenschaften von Isolationsmaterial wird weltweit auch in den USA und in Australien verfolgt. Gemäss unserer Information ist der Stand der von E. Bächli erzielten Ergebnisse vergleichbar mit demjenigen der australischen Forschergruppe.

Das Projekt **Transparente Isolation** [2] der Firma Schweizer AG, Hedingen, (P. Schneider) soll Grundlagen und Empfehlungen für Anwendungen von TI-Materialien auf Aussenwänden erarbeiten. 1989 wurde die Ueberlegenheit des wabenförmigen Materials gegenüber der neuen P-Folie erwiesen. Ueberhitzungsschutz mit ästhetisch akzeptablen Fassadenelementen aus Streckmetall oder gestanztem Blech ist möglich. Leider ist aber die Transmission im Winter zu stark beeinträchtigt. Messdaten des

Prüfstandes am Oekozentrum Langenbruck dienen der Validierung des Programmes HELIOS-TI (Th. Frank, EMPA, Dübendorf) womit nun ein brauchbares Programm für Optimierungsstudien zur Verfügung steht. Alterungserscheinungen am TI-Material selbst konnten bisher keine festgestellt werden (Tests am IK-Technikum, Rapperswil).

Luftabsaug-Fassaden [3] (Peter-Consulting, Zürich) nutzen die Lufterwärmung im Nahbereich einer sonnenbestrahlten Wand. Diese Luft wird parallel zur Fassadenfläche abgesaugt, entweder mit freiem Warmluftfluss bis zum Absaugkanal oder hinter einer perforierten Fassadenplatte. In einer Potentialstudie soll untersucht werden, was energetisch und wirtschaftlich von einer optimierten Technik zu erwarten ist. Bisher liegen sehr ermutigende Messergebnisse an 1,8 x 2,5 m² grossen Labormodellen über Wirkungsgrade unter verschiedensten Bedingungen, auch bezüglich Windeinfluss, vor (ausgeführt am Nat. Solar Test Facility, Toronto). Ferner wurde bereits vorhandenes Wissen gesammelt und ausgewertet sowie begleitende Untersuchungen mit dem Rechenprogramm TRNSYS (Sorane SA, Lausanne) durchgeführt.

Systeme

Schwerpunkte im Bereich Systeme waren intensive Tageslichtnutzung, Fensterkollektoren und ergänzende Arbeit um die Bedeutung interner Wärmeproduktion (künstliche Beleuchtung, Geräte und Menschen) für die Ausnutzung der Sonnenenergie.

Verschiedene Arten lichtlenkender Systeme ergeben **Möglichkeiten der Tageslichtnutzung** [4], die an der EMPA von N. Hopkirk mittels Computersimulationen untersucht werden. Zur Quantifizierung der Wechselwirkung zwischen natürlichem Lichtangebot und Energieverbrauch von Beleuchtung, Klima- und Heizanlagen dient ein Programmpaket, das dank IEA Zusammenarbeit zur Verfügung steht. Es handelt sich um einen Link des sehr umfangreichen Modells DOE-2 mit dem detaillierten Tageslichtmodell SUPERLITE.

Thermische Modellierung des Fensterkollektors [5] war bis heute nur mit sehr grossem Aufwand und entsprechenden Kosten grob machbar, obwohl bereits einige Häuser mit solchen Systemen geplant und gebaut worden sind. Die Firma Basler & Hofmann AG, Zürich, (Ch. Filleux, M. Hänni) hat einen neuen Rechenmodul zum weit verbreiteten Simulationsprogramm TRNSYS geschrieben. Dieses Werkzeug erlaubte die Durchführung von Parameterstudien, aus denen nun Planungsrichtlinien herauskristallisiert werden können. Eine Veröffentlichung im Jahre 1990 ist vorgesehen.

Fürs Projekt **Laboratoire de lumière naturelle et Analyse de systèmes d'éclairage naturel latéral** [6] (J.-L. Scartezzini, LESO-PB, EPF-Lausanne) liegt ein detaillierter Arbeitsplan vor, der auch die Koordination mit komplementären Projekten im umfassenden Rahmen der Tageslichtforschung berücksichtigt.

Interne Lasten in Nicht-Wohngebäuden [7] reduzieren den nützlichen Wärmebeitrag der Sonne, nur wird ihre Höhe oft stark überschätzt. Häufig werden Daten für interne Lasten, die zwecks Begründung einer Klimaanlage zusammengestellt wurden, auch für die Abschätzung der Ausnutzung von Sonnenenergiegewinn gebraucht. Die Firma Dr. Eicher u. Pauli AG, Liestal, hat Stichprobenmessungen für je 1-2 Wochen im Winter und im Sommer an drei Bürohäusern, einem Schulhaus und zwei Lagergebäuden durchgeführt. Die Resultate sind bemerkenswert, z.B. war die maximale effektiv gebrauchte Leistung ein Viertel bis halb so gross wie die in den Büros installierte Leistung. Das Verhältnis könnte künftig sogar noch kleiner werden, wenn nichtgebrauchte Geräte und Beleuchtung automatisch abgeschaltet werden. Mit abnehmendem Stromverbrauch wird die Bedeutung der Sonnenenergiegewinne in Bürogebäuden eine zunehmend wichtige Rolle spielen.

Diese **Bedeutung der internen Lasten** [8] wird mittels des Computermodells SUNCODE in einem im Dezember gestarteten Projekt erfasst. Die gemessenen internen Lasten werden als Eingabe für das Modell gebraucht, um die effektiv wirksame Raumerwärmung durch die Sonne zu berechnen. Nun werden Variationen in der Fenstergrösse, Verglasungsart und Speicherfähigkeit untersucht. Erste Ergebnisse zeigen, dass mit Standardlasten auch im Tiefwinter Erwärmung durch Sonnenenergie nützlich ist.

Gebäude

Vier Messobjekte [9], sehr unterschiedlich von der Nutzung her und mit verschiedenen Solarsystemen ausgerüstet, wurden unter der Koordination der Firma Amena AG, Schlieren, (A. Gütermann) gemessen. Die Arbeit wurde als schweizerischer Beitrag zu IEA Solar Projekt auch international bekannt.

- Das Bürohaus Haas+Partner AG, Jona, besitzt ein Fensterkollektorsystem, verbunden mit einem Geröllspeicher. Nord- und Westfassade des Hauses sind erdgeschützt, das Dach ist erdüberdeckt. Messungen unter der Leitung von K. Haas, sowie ergänzende Computersimulationen durch St. Albrecht und W. Gygli (EMPA-erg) haben gezeigt, dass ein kleinerer, besser isolierter Speicher von Vorteil wäre. Die sehr tiefe Heizenergiekennzahl von um die 60 MJ/m²a wurde bestätigt. Ein Schlussbericht über die Ergebnisse aus beiden Messjahren und aus den Simulationen wird (von D. Brühweiler) anfangs 1990 abgegeben.
- Das Fabrikgebäude Meteolabor AG, Wetzikon, mit vorgelagertem Gewächshaus und Luftkollektoren in Verbindung mit Hohlraumbetonböden erweist sich als grosser Erfolg. Ein Schlussbericht wurde (von P. Ruppert) abgegeben.
- Das Stahllager Kägi+Co, Winterthur, hat das einfachste Solarsystem. Unter einem von der Sonne erwärmten Blechstahldach wird Warmluft abgesaugt und durch Kanäle in den Keller geblasen. Erste Messergebnisse (die 2. Messperiode wird 1990 abgeschlossen) weisen auf einen Erfolg hin. Die Korrosion des dort gelagerten Stahls als Folge der Temperaturen unter dem Taupunkt wurde verhindert. Die Häufigkeit von Erkältung der Mitarbeiter infolge zu grosser Temperaturunterschiede zwischen Erdgeschoss und Keller hat deutlich abgenommen.
- La Serre solaire de la Faculté des lettres de la Nouvelle Université de Neuchâtel ist ein dreistöckiges Atrium und beinhaltet eine Cafeteria. Behaglichkeit ist deshalb ein wichtiges Thema. Das Verhalten dieses Atriums wurde anhand von Messungen zwischen Jan. 88 und Juli 89 wie auch mittels Computersimulationen beurteilt. Vor allem die Kombination von Beschattung und Belüftung bringt eine erhebliche Komfortsteigerung. Die Firma Sorane SA (P. Jaboyedoff) wird anfangs 1990 einen Schlussbericht abgeben.

Eine Fallstudie **optimierte Bürogebäude** [10] wurde in einer Teamarbeit von Experten der Bereiche Tageslicht, Aktive und Passive Solarsysteme, Photovoltaiksysteme, Saisonalspeichersysteme und Architektur bearbeitet. Ideen wurden in einer intensiven zweitägigen Arbeitsklausur in Gersau konkretisiert. Die Firma INTEP, Zürich (R. Stulz) hat die Gruppe geleitet und ist für die Dokumentation zuständig. Die Problemdarstellung wurde auch von drei Studenten für die Diplomarbeit des Nachdiplomstudiums Energie an der Ingenieurschule beider Basel verwendet.

Umsetzung

Für die allgemeine Öffentlichkeit, für Architekten und für Forscher wurden verschiedene Umsetzungsprojekte begonnen:

Eine neue Ausgabe des **Guide solaire passif** [11] (Projekt von LESO-PB, EPFL) wird nächstens in wesentlich überarbeiteter Form unter dem neuen Titel "Le soleil: chaleur et lumière dans le bâtiment" als BEW/SIA-Dokumentation erscheinen.

Eine **Sonnenfibel** [12] beschreibt die Grundprinzipien passiver Sonnenenergienutzung anhand neuester Erfahrungen, verfasst von einem Expertenteam. Es soll von den öffentlichen Energiefachstellen abgegeben werden und ersetzt eine ähnliche Broschüre des BEW von 1981. Am Jahresende wurde der Text an die KNS zur Genehmigung abgegeben.

Aus dem IEA-Dokument "**Case Studies of Passive Solar Commercial Buildings**" [13], das 45 Projekte vorstellt, wurde eine Auswahl von 10 Projekten getroffen. Ihre Darstellung wird gezielt auf schweizerische Architekten und Bauherren als Leser umformatiert und übersetzt. Die Arbeit wird vom Büro Pinna Süssstrunk Schwarzenbach, Fällanden, durchgeführt und soll Ende 1990 abgeschlossen sein.

Der **Synthesebericht über zwei Messkampagnen in Wald (ZH) und Schüpfen (BE)** [14] (M. Kunz, Intep) will die interessantesten Ergebnisse von zwei Fachberichten als Erfahrungen und

Empfehlungen für Architekten mit wenig Zeit zugänglich machen. Eine vollständige Entwurfsfassung liegt vor.

Die Erfassung der Forschungsprojekte zur passiven Sonnenenergienutzung in der Schweiz 1980-1989 [15] durch Frau S. Schäfer wird Schwerpunkte und Lücken in diesem Forschungsbereich sichtbar machen und vor allem auch durch Hinweise hinsichtlich der Verfügbarkeit der Forschungsergebnisse nützlich sein. Die Materialbeschaffung (ca. 160 Projekttitel) ist weitgehend abgeschlossen, die Verarbeitung zu übersichtlich strukturierten, griffigen Darstellungen auf einheitlichem Formblatt in vollem Gange.

Das Rechenprogramm zur SIA-Doku D 010 [16] verbindet die im Handbuch beschriebene Methode zur Berechnung monatlicher Energiebilanzen mit der Meteo-Norm-Software und ist zur Zeit bei einem ausgewählten Personenkreis in Erprobung. Ab April 1990 dürfte das Programm inkl. Bedienungsanleitung gegen eine Schutzgebühr (Selbstkosten) erhältlich sein.

Internationale Zusammenarbeit

Das BEW-Programm Solararchitektur ist sehr stark mit ähnlicher Forschungsarbeit im Ausland verknüpft. Es ist direkt an drei Projekten der Internationalen Energie-Agentur (IEA) mitbeteiligt.

Das 1. Projekt [17] umfasst die Untersuchung von Bürohäusern, Läden, Schulen usw. mittels Messkampagnen und Simulation der Sonnenenergienutzung bezüglich Wärme und Licht. Im Jahr 1989 wurde ein Bericht über Fallstudien genehmigt, über Messmethoden ein Arbeitsdokument geschrieben und ein Workshop in der Schweiz durchgeführt, die Erarbeitung von Kurzmessberichten von über 20 Messprojekten begonnen, weitere Fortschritte an einem Handbuch gemacht und ein Workshop über Expertensysteme in Dänemark veranstaltet. (Internationale Leitung und schweizerische Kontaktperson: R. Hastings.)

Das 2. Projekt [18] beschäftigt sich mit der Validierung und Erweiterung von Computermodellen. Drei Schwerpunkte für die Verbesserung von Modellen wurden festgelegt: neuartige Verglasungssysteme, Tageslichtsysteme und Atrien. Ein detailliertes Forschungsprogramm wurde auf internationaler Ebene erarbeitet und genehmigt, ein Plan für die schweizerische Beteiligung ist in Bearbeitung (Kontaktperson: J.-L. Scartezini).

Das 3. Projekt [19] hat Planung, Bauen und Bewertung fortgeschrittener Solarhäuser zur Aufgabe. Im Jahr 1989 ist eine Vorbereitungsphase erfolgreich abgeschlossen und das Projekt mit 13 teilnehmenden Ländern offiziell begonnen worden. Als erster schweizerischer Beitrag wurde über eine Ueberbauung von R. Kriesi berichtet. Die Schweiz, leitend in einem der drei Arbeitsbereiche, hat den ersten Bericht zusammengestellt. Darin werden Bauprojekte von allen teilnehmenden Ländern vorgestellt. Als schweizerischer Beitrag zu diesem Projekt sind zwei bis drei Messobjekte und eine führende Funktion in Abfassung und Herausgabe eines Handbuches vorgesehen (Kontaktperson: R. Hastings).

4. Programmleitung

Die Programmleitung, bestehend aus R. Hastings und F. Reufer, hat 19 Projekte begleitet. Zur Förderung der Kommunikation zwischen den Forschern wurden zwei Tagungen organisiert. An der ETH Zürich fand im März ein Erfahrungsaustausch über Solarhäuser der nächsten Generation statt. Im November trafen sich alle im Programm beteiligten Projektleiter zu einer Tagung auf Schloss Hünigen. Zusätzlich fand im September als Auftrag an die EPF-Lausanne ein Atelier "La Mesure dans le Bâtiment" in Chexbres statt.

Mehrere Vorträge und Papers wurde an schweizerischen und internationalen Kongressen gehalten und veröffentlicht. Als Wichtigste wären zu erwähnen: Bi-Annual Congress der International Solar Energy Society (Kobe, J) und Workshop "On the Way to Zero Energy Buildings (Klagenfurt, A).

Expertentätigkeit der Programmleitung bestand in aktiver Mitarbeit in der Eidg. Fachkommission für die Nutzung der Sonnenenergie (KNS) sowie in Begleitung der Planung von verschiedenen Bauprojekten.

5. Referenzen

- [1] E. Bächli, "JB89: *Vakuumsoliertes Lichtelement*".
- [2] P. Schneider/K. Wellinger/B. Schläpfer, "JB89: *Transparente Isolation*".
- [3] Rolf W. Peter, "JB89: *Potentialstudie bezüglich Luftabsaug-Fassaden*".
- [4] N. Hopkirk, "JB89: *Möglichkeiten der Tageslichtnutzung*".
- [5] Ch. Filleux & M. Hänni, "JB89: *Thermische Modellierung des Fensterkollektors für konvektive Systeme*".
- [6] J.-L. Scartezzini, "JB89: *Laboratoire de lumière naturelle, Analyse de systèmes d'éclairage naturel latéral*".
- [7] Hp. Eicher, "JB89: *Interne Lasten in Nicht-Wohngebäuden*".
- [8] Hp. Eicher, "JB89: *Die Bedeutung der internen Lasten für die passive Sonnenenergienutzung und das sommerliche Raumklima*".
- [9] A. Gütermann, "JB89: *Messungen an vier Nicht-Wohngebäuden mit unterschiedlichen Solarsystemen*".
- [10] R. Stulz, "JB89: *Fallstudie, optimierte Bürogebäude, Teil Passiv Solar*".
- [11] A. Faist, "JB89: *Guide solaire passif*".
- [12] R. Hastings, "JB89: *Sonnenfibel*".
- [13] Ch. Süsstrunk, "JB89: *Case Studies of Passive and Hybrid Solar Commercial Buildings, Uebertragung auf die Schweiz*".
- [14] M. Kunz, "JB89: *Synthesebericht über zwei Messungskampagnen in Wald (ZH) und Schüpfen (BE)*".
- [15] S. Schäfer, "JB89: *Erfassung der Forschungsprojekte zur passiven Sonnenenergienutzung in der Schweiz 1980-1989*".
- [16] Th. Baumgartner, "JB89: *Rechenprogramm zu BEW/SLA-Dokument D 010*".
- [17] R. Hastings, "JB89: *IEA Task - Passive Solar Commercial Buildings*".
- [18] J.-L. Scartezzini, "JB89: *IEA Task - Building Energy Analysis and Design Tools for Solar Energy Applications*".
- [19] R. Hastings, "JB89: *IEA Task - Advanced Solar Houses*".

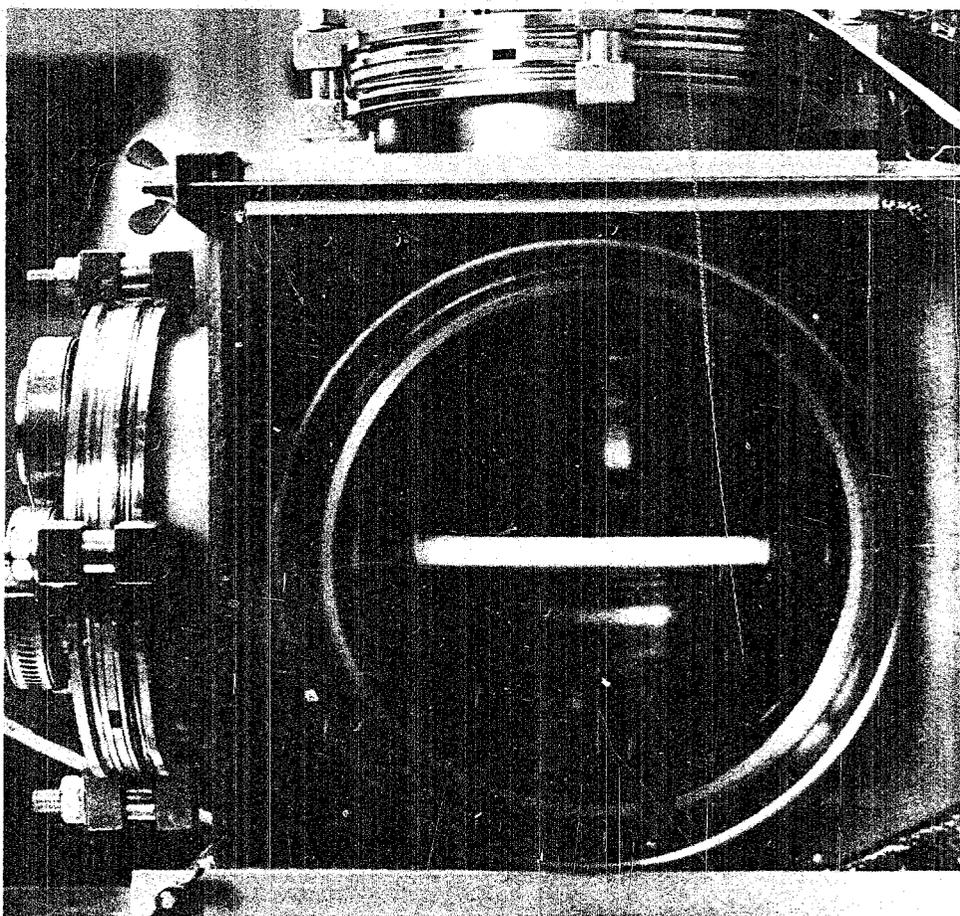
6. Neue Forschungsarbeiten

Verschiedene Ideen für neue Projekte haben bereits Gestalt angenommen. Im Projekt "Anteil grauer Energie an Niedrigenergiehäusern" (LESO-PB) wird der Gesamtenergieverbrauch von Erstellung bis und mit Abbruch von Gebäuden untersucht werden. Im Bereich Tageslichtnutzung werden in Genf Messungen durchgeführt und ein meteorologisches Modell entwickelt werden. Die Arbeit mit Simulationsmodellen im Jahre 1989 hat gezeigt, dass noch nicht alle wichtigen neuartigen Tageslichtsysteme eingegeben werden können. Dazu ist eine Erweiterung von Superlite/ Daylink/DOE2 an der EMPA vorgesehen. Eine Solarhausschau soll in Form einer Broschüre eine grosse Auswahl verschiedener Haustypen und Solarsysteme für jedermann bekanntmachen.

P H O T O V O L T A Ï Q U E

Rapport de synthèse
sur les activités 1989 du programme de recherche

Chef de programme : Chr. de Reyff



Enceinte à vide pour la déposition de couches minces :

La bande lumineuse au milieu constitue le plasma, formé essentiellement d'électrons à haute énergie et d'ions. La déposition par plasma est un procédé-clé pour la fabrication de cellules solaires en silicium amorphe, qui fait l'objet de recherches à l'Institut de Microtechnique (IMT) de l'Université de Neuchâtel.

1. Introduction

Le programme de recherche en énergie d'origine photovoltaïque, le **PV-CH**, s'est consolidé au cours de 1989. Sa conception et son accompagnement sont réalisés par un groupe d'experts en photovoltaïque. Ce dernier, outre ses deux réunions annuelles ordinaires, a pour mission de suivre, d'encadrer, d'examiner et de coordonner les projets de recherches, soit soumis, avant leur adoption, soit avancés, en cours d'exécution, et soit terminés, pour favoriser le transfert des connaissances acquises.

2. Objectifs

Les objectifs à long termes du **PV-CH** sont concrétisés par le défi des "4-D" :

- **dépasser** un rendement de 18 % ;
- **dépasser** une durée de vie réelle de 20 ans ;
- **descendre** le prix de l'installation à moins de 5 Fr/W ainsi que le prix de revient à environ 0,35 Fr/kWh;
- **descendre** le temps de remboursement énergétique en dessous de deux ans et atteindre un effet surgénérateur d'énergie d'environ 20.

Pour atteindre ces objectifs les trois voies ci-dessous seront suivies :

- améliorer le rendement et diminuer le coût des cellules photovoltaïques, soit en agissant sur la **technologie** et la conception-même des cellules, soit en incorporant une structure de piégeage de la lumière ("light trapping") ;
- améliorer les caractéristiques des **onduleurs** aussi bien pour les petites puissances (3kW) que pour les puissances moyennes (50 à 100 kW), en augmentant la fiabilité, la tolérance électromagnétique (EMV) et le profil de la courbe de rendement pour le domaine des faibles puissances d'entrées (typiquement sous une irradiance de moins de 200 W/m²) et en minimisant les harmoniques parasites ;
- améliorer le **comportement global d'installations** complètes, généralement couplées au réseau électrique public, en étudiant les paramètres déterminants, aussi bien par une analyse très fine et suivie continuellement pour certains sites bien choisis, que par une expérimentation diversifiée ; ceci afin d'identifier, par exemple, les effets du rayonnement diffus, de l'albedo, de la température, du cycle des saisons, etc. sur les rendements des divers types de cellules.

3. Collaborations internationales

Plusieurs des projets présentés ci-dessous sont réalisés en cultivant un échange d'informations avec des instituts de recherche étrangers : l'Institut de Microtechnique (IMT) de l'Université de Neuchâtel, le Laboratoire RCA de l'Institut Paul Scherrer (PSI) à Zurich, le groupe TISO de la *Scuola Tecnica Superiore* (STS) de Lugano-Trevano, le Centre Universitaire d'Etude des Problèmes de l'Energie (CUEPE) de l'Université de Genève, ainsi que les firmes Invertomatic S.A. à Riazino et Thomas Nordmann Consulting (TNC) à Coire. Un membre du groupe TISO fait partie de l'*European Working Group On Photovoltaic Plant Monitoring*, qui se réunit au Centre Commun de Recherches de la Communauté Européenne à Ispra en Italie, où se trouve également le Laboratoire de mesures (*ESTI : European Solar Test Installation*).

Plusieurs des mandataires de projet de recherche ont participé avec succès à la 9e Conférence photovoltaïque européenne à Freiburg-im-Breisgau en septembre 1989 ; une dizaine de contributions, conférences ou "posters", ont été présentées par la Suisse. La valeur de ces contributions a été telle que la Commission des Communautés Européennes a proposé à notre pays de recevoir la 11e Conférence en automne 1992.

De son côté, l'Agence Internationale de l'Energie (AIE) a décidé la mise sur pied d'une nouvelle tâche dans son Programme *Solar Heating And Cooling*, portant le nom de *Photovoltaics in Buildings*. La Suisse s'est déclarée prête à être le pays coordinateur pour la sous-tâche *PV-Building Integration*, domaine où notre pays est déjà actif. Ainsi l'intégration du photovoltaïque à l'architecture sera dès 1990 une quatrième voie qu'entend poursuivre le programme PV-CH.

4. Travaux effectués et résultats atteints en 1989

Technologie des cellules photovoltaïques

a) Cellules photovoltaïques en silicium amorphe [1]

Le groupe du Prof. Shah, à l'IMT, a commencé en 1986 à déposer des couches minces de silicium amorphe dans un plasma sous un champ électrique de haute fréquence au moyen d'un procédé spécial appelé "VHF-GD (very high frequency glow discharge) technique". Le matériau ainsi obtenu se comporte différemment du silicium amorphe obtenu par le procédé traditionnel à basse fréquence. Potentiellement, le silicium amorphe est le matériau qui permettra de construire des cellules photovoltaïques au prix le plus bas. Ce nouveau procédé devra contribuer à l'abaissement des coûts de production et des temps de remboursement énergétique. L'accueil actuel reste encore le faible rendement de conversion de la lumière en électricité et surtout sa détérioration et son instabilité dans le temps. Les buts fixés pour 1989 ont été les suivants :

- caractérisation des couches déposées avec cette nouvelle technique VHF, selon les paramètres de dépôt (température, fréquence, etc.) ;
- compréhension des facteurs limitatifs du rendement ;
- extension de la technique à d'autres types de couches (dopées, microcristallines, à alliages, etc.) ;
- examen des couches d'interface, sources principales des instabilités ;

Les travaux effectués, en partie en collaboration internationale, ont été les suivants:

- dépôt de couches intrinsèques de silicium amorphe entre 50 et 250 °C et caractérisation de ces couches;
- dépôt de couches microcristallines et examen de leurs propriétés;
- examen de l'homogénéité des couches de surface et d'interface;
- préparation de cellules solaires en variant systématiquement les paramètres de dimensionnement;
- construction d'un agencement de mesure pour déterminer, à partir de la réponse spectrale, le profil d'épaisseur des processus de transport;
- construction et mise en oeuvre d'autres méthodes de caractérisation pour le transport électronique;
- développement d'un modèle théorique pour les processus limitants dans les cellules solaires;

Les résultats atteints en 1989 sont les suivants:

- dépôt facilité et de qualité supérieure, grâce à la méthode VHF, de couches de silicium microcristallin, possédant une haute conductivité (100 S/cm);
- mise en évidence de l'influence favorable d'une température basse (< 200 °C) qui a permis d'améliorer les propriétés du matériau, conduisant par là à un procédé moins consommateur d'énergie que la technologie des filières cristallines;
- mesure sous illumination du facteur limitant que constitue le transport des "trous" dans le silicium amorphe ; ceci a permis de mieux comprendre les propriétés de transport du silicium amorphe, dans la perspective d'atteindre dans l'avenir autant d'exactitude que dans le cas de celles du silicium cristallin déjà connues à ce jour;
- étape nouvelle dans l'élaboration d'une théorie complète des cellules photovoltaïques à jonctions p-i-n, dans le but de permettre une élévation du rendement-limite stabilisé après dégradation;
- fabrication de cellules photovoltaïques ayant une aire d'environ 1 cm² avec 5,9 % de rendement, sous une illumination de 100 mW/cm², ayant des couches p et n microcristallines dont les épaisseurs

sont encore à optimiser. La tension atteinte à circuit ouvert (U_{oc}) est de 0,865 V, ce qui est déjà élevé, alors que ne sont pas encore mises en jeu des couches p en alliages de SiC. Il reste à expliquer pourquoi le courant de court-circuit ($I_{sc} = 0,0112 \text{ mA/cm}^2$) et le facteur de remplissage ($FF = 0,61$) sont encore assez bas.

b) Détermination de l'efficacité de cellules photovoltaïques avec et sans "light trapping" [2]

Le travail du Laboratoire RCA/PSI, a débuté le 1er décembre 1988. Lors de l'utilisation de silicium polycristallin ayant des propriétés électroniques moyennes, il serait intéressant d'améliorer le rendement électrique en appliquant une technique de piégeage de la lumière. Le projet, prévu en quatre étapes, a envisagé les deux premiers buts suivants : vérification que l'absorption de lumière est améliorée au moyen d'une structuration adéquate, d'une part, et détermination et comparaison du rendement d'une cellule

mince avec et sans "light trapping", d'autre part. Pour 1989 ces deux buts ont été cernés plus précisément sur une structuration au moyen d'un réseau confectionné sur des disques minces de silicium et sur une amélioration du rendement lors de l'utilisation de cellules minces ($< 50 \mu\text{m}$) pourvues de "light trapping". De plus, il a été prévu de réaliser des premières expériences dans la technologie de fabrication de cellules photovoltaïques complètes, ainsi que dans la technique de mesure pour la détermination de paramètres importants. La lumière de grande longueur d'onde, au lieu de ressortir par le fond de la cellule, est diffractée vers l'intérieur de la cellule et peut ainsi être captée pour former des paires "électrons-trous". Un revêtement antiréfléchissant (AR) sur la face exposée à la lumière empêche les pertes par réflexion. Les deux dispositifs, couche AR et réseau de diffraction, devront permettre une utilisation optimale de la lumière solaire.

Les travaux effectués en 1989 ont été les suivants :

- Une étude théorique a montré qu'un "light-trapping" efficace peut être réalisé déjà avec un réseau uni-dimensionnel de lignes de $0,310 \mu\text{m}$ de période et de $0,080 \mu\text{m}$ de profondeur. Un réseau de période double, soit $0,620 \mu\text{m}$, et de $0,065 \mu\text{m}$ de profondeur est tout aussi efficace. Une structure asymétrique produit un "light-trapping" qui est particulièrement adapté à la composante diffuse de l'irradiation ; celle-ci peut représenter jusqu'à 50 % de l'irradiation totale. Une cellule photovoltaïque de seulement $40 \mu\text{m}$ d'épaisseur pourvue de ce système de "light trapping" est équivalente à une cellule qui en est dépourvue, mais épaisse de $200 \mu\text{m}$, pour autant que le "light trapping" soit parfait et n'ait pas d'influence sur les recombinaisons à son interface. Le gain de matière et donc d'énergie pour la fabrication des cristaux est donc d'un facteur 5.
- Des cellules photovoltaïques de $70 \mu\text{m}$ d'épaisseur sont en préparation avec et sans structure de "light trapping". Actuellement certains des processus d'élaboration sont contrôlés et d'autres sont en voie de l'être.
- La technologie pour la préparation du réseau dans le domaine submicronique a été mise sur pied et les méthodes de mesure ont été élaborées pour le contrôle et la caractérisation du réseau. L'efficacité du réseau est déterminée soit par des méthodes calorimétriques, soit par mesure de la lumière diffusée. Toute une série de bancs de mesures électriques ont été également construits durant cette année.

Les résultats obtenus en 1989 sont les suivants: Il a été montré que cette méthode de "light trapping" avec un réseau submicronique est correcte selon la théorie puisqu'on gagne un facteur de 4 à 5 dans l'épaisseur et dans la matière première ; de plus elle est compatible avec les cellules minces. Les travaux montrant que le rendement de telles cellules est bel et bien amélioré sont en cours.

c) Propriétés des plasmas de silane pour le dépôt de couches de silicium amorphe [3]

Le 1er juin 1989 le Centre de Recherches en Physique des Plasmas (CRPP) de l'EPF de Lausanne a été chargé d'un projet de recherche de deux ans permettant de contribuer à la compréhension des phénomènes intervenant dans la formation des couches minces de silicium amorphe déposées à partir d'un plasma en radio-fréquence par la technique VHF. Le but est d'étudier les paramètres du plasma obtenu à partir du gaz silane et d'établir des corrélations entre ces derniers paramètres et

ceux définissant les qualités du matériau, tel celui utilisé à l'IMT pour la fabrication de cellules photovoltaïques en silicium amorphe.

La période relativement brève de recension a permis de procéder à la construction d'une salle d'expérience, à la fabrication d'un réacteur identique à ceux de l'IMT et au montage des sondes de diagnostic. Les premiers plasmas ont été produits le 28 novembre 1989. Parmi les moyens diagnostiques on attend beaucoup de l'interférométrie par micro-ondes, de la fluorescence induite par Laser (LIF), de la spectrométrie de masse, et des différentes méthodes spectroscopiques d'émission optique. Toutes ces sondes devront déterminer avec une grande précision la répartition des vitesses et des concentrations des différentes composantes du plasma : particules neutres résiduelles, ions, radicaux et ions radicalaires.

Finalement, signalons deux autres projets de dépôt de matériaux semiconducteurs en vue de préparer des cellules photovoltaïques, travaux financés par le Fonds National pour la recherche énergétique (NEFF) : au Laboratoire de Chimie technique de l'ETH à Zurich, un groupe de recherche dépose du silicium par une voie électrocatalytique [4] ; d'autre part, l'*Arbeitsgemeinschaft für Industrielle Forschung* (AFIF) à l'ETH de Zurich également, prépare des couches minces de tellurure de cadmium (CdTe) monocristallin.

Onduleurs

Les onduleurs photovoltaïques accessibles sur le marché suisse n'ont pas encore toutes les caractéristiques et qualités requises. Il est souhaitable que soient réalisés des appareils hautement fiables, aussi bien dans la gamme des 3 kW que dans celle des puissances moyennes entre 50 et 100 kW.

a) Asservissement par microprocesseur de l'onduleur "SOLCON" de 3 kW et essais sur le site TISO [5, 6]

La première partie de ces travaux a été menée à bien du 1er janvier 1988 au 30 septembre 1989 à l'ETS de Bienne, alors que la seconde partie a débuté le 1er octobre 1989 pour s'étendre sur deux ans, principalement sur le site TISO de la *Scuola Tecnica Superiore* à Trevano-Lugano. Durant le premier semestre de 1989 la partie logicielle a été achevée, en particulier le réglage du "MPP (maximal power point) tracking", la communication avec un PC et la routine d'erreurs. Le rapport final est maintenant disponible. Le rapport annuel de 1988 contient l'essentiel du descriptif du système développé à Bienne.

Une phase de test a déjà débuté en mars 1989 sur le site TISO où une puissance de 3,2 kW a été atteinte. En fin 1989 a été entreprise la phase préparatoire pour suivre le comportement du SOLCON durant deux cycles saisonniers. Les premiers résultats obtenus révèlent un fonctionnement sans défaut aussi bien de l'électronique de puissance que de celle d'asservissement. Toutes les fonctions de surveillance se déroulent selon le cahier des charges. Le diagramme logique est confirmé par les premiers résultats expérimentaux.

b) Importance du rendement des convertisseurs sur la production d'énergie d'une centrale [7, 8]

Le 1er avril 1989, Linton Technology recevait un mandat de six mois pour étudier l'impact du rendement de conversion des onduleurs photovoltaïques sur la production d'énergie. L'étude avait pour but d'estimer l'importance quantitative du rendement plus ou moins élevé d'un onduleur sous une charge partielle.

A partir de données d'irradiation enregistrées sur trois sites et relevées durant sept ans, des classes d'irradiation sont préparées. Les densités d'énergies obtenues pour deux types d'onduleurs sont calculées en tenant compte de la forme de la courbe du rendement en fonction de la puissance d'entrée. Les pertes supplémentaires du "moins bon" onduleur sont aussi données en fonction des classes de densités d'énergie. Les coûts mis en jeu sont aussi envisagés.

Les conclusions pour la Suisse sont les suivantes :

- L'intensité de l'irradiation solaire est inférieure à 200 W/m^2 durant 50 % des durées d'irradiation ;
- Par contre plus de 80 % de l'énergie due à l'irradiation sont produits à des niveaux d'irradiation supérieurs à 200 W/m^2 ;
- Si l'on compare les pertes dues aux plus faibles rendements des onduleurs dans le domaine s'étendant entre 0 et 20 % de la puissance d'entrée, les pertes ajoutées dans ce même domaine, en cas de mauvais profil, varient seulement de 3 à 5 % ;
- Pour une installation de 3 kW, si le prix du kWh acheté par le réseau au producteur décentralisé est de 0,12 Fr., la perte dans le "mauvais" cas serait de quelque deux cents francs en dix ans ; c'est le surplus de prix qu'il ne faudrait pas dépasser pour acquérir le "meilleur" onduleur (du point de vue de la forme du profil pour ces faibles puissances d'entrée), toutes autres caractéristiques et qualités étant égales, par ailleurs. Le rapport final existe, ais n'est pas encore définitif.

c) Nouvel onduleur dans la gamme des 50 à 100 kW ayant un rapport coût/efficacité optimal. [9]

Ce projet, financé par le NEFF, court de mars 1989 à mai 1991. C'est la firme Invertomatic S.A. à Riazino qui l'a entrepris, en formant une communauté de travail avec Alpha Real et l'AFIF, à Zurich. Le but est d'arriver à construire deux prototypes d'onduleurs photovoltaïques de 50 et 100 kW de puissance. La partie touchant la réalisation de la simulation d'un champ de cellules photovoltaïques pour de telles puissances est confiée à l'AFIF. Le début effectif des activités le 1er septembre 1989, après une période de planification de toutes les étapes nécessaires et la recherche d'un personnel adéquat, a déjà permis le développement du générateur de puissance en collaboration avec une firme américaine en vue de tester le futur onduleur. C'est en 1990 que sera prêt le premier prototype de l'onduleur photovoltaïque *IMT50* et en 1991 celui de *l'IMT100*.

Finalement, un projet sur l'alimentation du réseau avec un onduleur à 3 phases de 20 kW est soutenu par la Commission pour l'Encouragement de la Recherche Scientifique (CERS) auprès d'Ascom Hasler AG, à Berne, de la *Stiftung und Zentrum für angepasste Technologie und Sozialökologie*, à Langenbrück, et de l'Ecole d'Ingénieurs de Burgdorf.

Comportement global d'installations

a) TISO : installation photovoltaïque expérimentale avec des modules en silicium amorphe [10]

Ce projet confié au *Dipartimento dell'ambiente* se déroule depuis octobre 1987 sur le site TISO à la *Scuola Tecnica Superiore* de Trevano-Lugano. Il a comme objectif l'étude du comportement d'une installation photovoltaïque de modules en silicium amorphe d'une puissance de 4 kW. Cette recherche permet l'étude de l'évolution dans le temps du rendement des modules en fonction de la température, de l'irradiation et du vieillissement. Les travaux ont consisté dans la mise au point d'un banc d'essai pour l'expérimentation et l'exécution de mesures systématiques sur certains modules choisis. Le champ de modules en silicium amorphe comprend 96 modules d'Arco Solar, 48 modules de Chronar et 22 modules de Solarex, ces derniers avec un cadre en matière synthétique. Parmi les 48 modules de Chronar, 26 modules défectueux ont dû être remplacés par un autre type, à cause de problèmes d'isolation entre le cadre en aluminium et les cellules. Des mesures systématiques ont été entreprises sur des modules-échantillons grâce au banc d'essai dont un circuit électronique de régulation et de mesure maintient le module à son point de puissance maximale (MPP). L'acquisition de données se fait en continu et sa gestion numérique est assurée par le centre de calcul de l'Ecole. Les caractéristiques des modules sont mesurées ensuite au Laboratoire de mesure ESTI à Ispra. Les trois types de modules montrent des rendements différents et des diminutions de rendement différentes, cependant rapides, durant les tous premiers 6 à 12 jours d'irradiation (soit 15 à 30 kWh/m²). Ceci dénote une différence dans les techniques de fabrication adoptées.

Quant aux mesures sur l'installation de 4 kW, elles ont été effectuées, d'une part, sous condition normalisée sur trois modules de chaque type, qui ont subi une diminution de rendement allant de 28 à 34 % après 967 kWh/m² d'irradiation, et, d'autre part, sous des conditions ambiantes réelles. On a observé une forte diminution du rendement en période hivernale, suivie d'une légère régénération durant l'été, à son tour suivie d'une nouvelle diminution au début de l'hiver suivant. Cette évolution du rendement est donc un comportement opposé à celui des modules en silicium cristallin où une baisse de la température favorise une élévation du rendement. En été, le rendement des cellules en silicium amorphe est plus élevé et quasi constant pour toute valeur d'irradiation ; en hiver, il est plus bas à faible irradiation et croît fortement avec elle. Quant aux nouveaux modules de Chronar, après 30 jours d'irradiation (soit 74,9 kWh/m²), leur rendement a diminué de 15 %.

Un collaborateur du site TISO est membre du groupe de travail *European Working Group on Photovoltaic Plant Monitoring* et collabore à la définition des procédures de mesures des paramètres à enregistrer dans le contexte des projets photovoltaïques de la CE.

b) Installations pilotes sur les réseaux routiers et ferroviaires : les premiers 100 kW [11, 12, 13]

Après l'évaluation du potentiel photovoltaïque réalisable le long des autoroutes et des lignes de chemins de fer, la firme TNC à Coire a entrepris dès 1988 une campagne de mesures qui vient de s'achever. Le but en est l'évaluation préliminaire des quatre premiers sites retenus pour la construction d'installations pilotes. Les puissances électriques effectivement mesurées sont comparées aux résultats des simulations par ordinateur réalisées par la firme Meteotest à Berne. Les quatre sites sont Felsberg, Splügen, Mesocco et Magadino sur lesquels ont été acquis en 1989 tout un jeu de données expérimentales. La comparaison des valeurs mesurées et des simulations numériques montre que les pronostics sont trop élevés. Ceci est dû, d'une part, à la négligence de la variation du rendement des panneaux photovoltaïques avec la température, et, d'autre part, à la différence entre les valeurs climatiques moyennes et les valeurs réelles durant la période de mesure.

De plus, dès juin 1988 la firme TNC a installé, sur mandat de la Confédération, un champ photovoltaïque de 3 kW sur le toit de la gare CFF de Coire, complété par une série de sondes de mesures. Le but est d'acquérir le savoir-faire nécessaire dans la technique de mesure pour transposer celle-ci aux installations de 100 kW. L'installation a commencé à fournir du courant dès le 8 décembre 1988. Les données électriques et météorologiques sont mesurées depuis lors. Leur évaluation se fait mensuellement ainsi que leur transmission régulière au Centre commun de recherche (CCR) de la CE à Ispra.

Finalement, la firme TNC a reçu le mandat pour la planification, la construction et la mise en route de la première installation suisse de 100 kW reliée au réseau. Sa particularité est de ne nécessiter que l'infra-structure existante puisque les éléments de support sont les parois anti-bruit de l'autoroute N13 à Felsberg (GR). En huit semaines l'installation a été construite et, dès novembre 1989, elle a pu être reliée au réseau électrique. Un système de mesure et d'acquisition de données est en voie d'être installé le long des quelque 800 mètres du champ photovoltaïque. Toute l'installation va être suivie dans la durée, au moins jusqu'à fin 1991.

c) Influence de l'albedo sur une production d'électricité photovoltaïque dans les Alpes [14, 15]

Sur mandat de l'OFEN, l'Institut Paul Scherrer (PSI) à Villigen, en collaboration avec les *Titlisbahnen*, la firme Fabrimex et la firme Alpha Real, poursuit une étude de quatre ans qui a débuté le 1er juin 1988. Le but est de quantifier expérimentalement le surplus d'énergie reçue sur des plans inclinés, grâce à la réflexion du sol et de la neige, en vue de la réalisation de futures installations photovoltaïques dans les régions alpines. Ceci devra permettre de fixer l'angle d'inclinaison optimal des modules photovoltaïques pour une production d'électricité maximale dans la durée. L'installation de 2,5 kW, formée de panneaux d'inclinaison réglable, se trouve à 2430 m d'altitude sur la paroi sud-ouest de la station intermédiaire du téléphérique du Titlis, et ce depuis

l'été 1988. Des méthodes développées au PSI pour la mesure du rayonnement réfléchi, au moyen d'albedomètres et de pyranomètres à écran d'horizon, ont été mises en oeuvre sur ce site. L'onduleur est muni d'un wattmètre également développé au PSI. Tous les canaux de mesure sont opérationnels depuis le 25 janvier 1989. Les premières mesures d'albedo ont été faites en avril 1989. Depuis septembre un modem assure le transfert rapide au PSI et permet de réinitialiser le "datalogger" à distance en cas de cessation d'acquisition de données, causée par les nombreux orages de la région.

La part de l'albedo est, en moyenne mensuelle, de 35 % avec une valeur extrême de 44 %. Une première conclusion à tirer de cette année de mesures est que le site de base du Titlis n'est pas idéal du fait d'un horizon trop élevé au sud et d'un trou d'ombre présent devant les modules photovoltaïques justement durant les mois intéressants de novembre à février. L'arrangement en trois rangées superposées n'est pas sans défaut non plus puisque, dans la position d'été, il y a ombrage des rangées supérieures sur les rangées inférieures ! Une inclinaison optimale reste à trouver. Des mesures seraient à faire avec d'autres solarimètres au sommet du Titlis (3030 m).

d) Examen du fonctionnement d'installations reliées au réseau dans diverses régions climatiques [16, 17]

La firme Alpha Real a été chargée le 1er septembre 1988 d'installer et de mesurer jusqu'à fin février 1991 cinq installations photovoltaïques domestiques, pourvues d'appareils de mesure. Il s'agit d'acquérir les données de production de ces installations et de les comparer aux résultats des modèles de simulation basés sur les données météorologiques. Le rapport entre la consommation propre et le renvoi au réseau public est aussi mesuré pour deux maisons familiales. Aux quatre endroits suivants : Mönchaltorf (ZH), Hintereg (ZH), Liestal (BL) et Locarno (TI), s'est ajouté, dès la fin octobre 1989, Wabern (BE) avec une installation pilote et de démonstration de la Confédération d'une puissance de 10 kW (90 m²) sur le toit de l'Office fédéral de métrologie (OFMET). Une énergie électrique équivalente à celle produite par cette dernière, soit environ 11'000 kWh/an, pourra être reprise n'importe où sur le réseau pour alimenter des véhicules électriques, par exemple, l'équivalent d'un tram en ville de Berne durant deux semaines par année.

Sur chaque site, huit senseurs transmettent leurs mesures à un "datalogger" qui les saisit toutes les 10 sec et les moyenne toutes les 10 min. La moisson quotidienne est envoyée au milieu de la nuit directement sur l'ordinateur d'Alpha Real à Zurich. Là se fait le tri statistique et l'évaluation de ces données ainsi que leur comparaison aux valeurs de l'Institut suisse de météorologie, basées sur les relevés météorologiques. Des

corrélations sont ainsi mises en évidence entre l'irradiance et la puissance en cc, entre la puissance en ca et la puissance en cc ; ce qui permet de donner l'efficacité de l'onduleur en fonction de la puissance en cc. Le rapport intermédiaire est disponible.

e) Station météorologique dédiée aux centrales solaires [18]

Ce projet qui a débuté le 1er août 1987 vient de se terminer. Il va constituer la thèse de doctorat de B. Hofer dans le cadre des travaux du PSI. Le but pour 1989 a été d'assurer un fonctionnement autonome de l'installation de mesures. Un programme de simulation ainsi qu'un programme d'évaluation pour les données à haute résolution ont été élaborés. Les données sont directement gérées sur PC et peuvent être éditées de façon graphique.

Les résultats enregistrés en janvier et début février 1989 sont quantitativement comparables à ce qui est attendu pour les mois d'été, à cause de la situation d'inversion de température favorable au site de Laj Alv. Comparé aux valeurs enregistrées à Villigen, le rayonnement global normal a été 7 fois supérieur et le rayonnement direct normal 12 fois supérieur sur le site de Laj Alv. Ce potentiel de rayonnement en hiver est particulièrement intéressant. Ainsi l'on songe à réaliser une centrale de 50 à 100 kW dans le voisinage de la station météo. Le rapport final et la thèse sont attendus.

f) Analyse et simulation de l'installation de la Gewerblich-Industrielle Berufsschule Bern [19, 20]

Cette installation de 2 kW a été directement (galvaniquement) reliée au réseau de 600 V des transports urbains bernois de novembre 1988 à juillet 1989, selon un projet commun de la firme Electrowatt et de la Société électrique de la ville de Berne.

L'étude a porté sur l'efficacité d'un tel apport d'électricité directement sous forme de courant continu. C'est donc le réseau qui pilote le champ photovoltaïque en imposant sa tension instantanée. Le résultat final est que le couplage galvanique ne serait pas amélioré par l'usage d'un dispositif de *MPP-tracking* coûteux qui ne serait intéressant que durant les mois d'hiver. Le rendement global avec un tel instrument intermédiaire n'égalerait celui sans instrument qu'à condition que celui-ci ait un rendement propre de 96,7 % ; ce qui est loin d'être actuel. Commercialement parlant, le couplage direct s'impose donc. Le rapport final est disponible.

g) Alimentation photovoltaïque de 2,2 kW pour les Transports Publics Genevois [21]

Le Groupe de Physique Appliquée et le Centre Universitaire d'Etude des Problèmes de l'Energie de l'Université de Genève entreprennent depuis le 1er mai 1989 une étude d'un système photovoltaïque de 2,2 kW alimentant directement les lignes de contact des Transports Publics Genevois, sous 600 V cc. La production prévue est de 2,7 MWh/an, soit celle d'un tram durant 3 jours environ.

Cette étude est faite en vue d'une éventuelle installation de 200 à 500 kW dont on attend une production annuelle de 600 MWh au maximum, soit la consommation de deux trams par an. On retient donc la correspondance entre un tram et 250 kW (ce qui donne 300 MWh sous 1200 heures d'irradiation par an), soit actuellement 2000 m² de cellules photovoltaïques de 12,5 % d'efficacité, ou, dans le futur, 1250 m² avec une efficacité de 20 %. Avant l'installation proprement dite de ces 2,2 kW, qui sera effectuée au début 1990, il a fallu étudier des problèmes particuliers d'ombrage sur le site retenu. Ainsi tout le projet se trouve retardé d'août jusqu'à fin 1990.

h) Mesures comparées des onduleurs SI-3000 et SOLCON [22]

Ce projet de recherche à l'Ecole d'Ingénieurs de Burgdorf vient de commencer le 1er décembre 1989 et s'étendra jusqu'en avril 1991. Son but est la comparaison de deux onduleurs de 3 kW accessibles sur le marché afin de vérifier leur efficacité en fonction de la puissance d'entrée, d'analyser leurs harmoniques sur le réseau, de mesurer les tensions parasites et, finalement, de tester leur stabilité aux signaux d'asservissement du réseau, leur comportement en cas d'effondrement du réseau, ainsi que leur tolérance électromagnétique (EMV), au moyen d'un banc d'essai spécial.

Les travaux sur le SI-3000 ont déjà été entrepris grâce à l'aide des Etablissements industriels de Burgdorf, des Forces motrices bernoises et des Services électriques de la ville de Berne. Les premiers tests sur le SOLCON ont débuté. L'état encore provisoire de la question se trouve présenté dans les actes du congrès *Photovoltaik-Nutzung 1990*, organisé par la SOFAS à Zurich le 20 janvier 1990.

i) Evaluation des recherches sur les systèmes photovoltaïques [23]

Le 1er septembre 1988, le *Dipartimento dell'ambiente* à Bellinzona recevait le mandat de coopérer avec l'OFEN pour l'évaluation des offres de recherche, la coordination et la consolidation du programme de recherches PV-CH, étant donnée la grande expérience acquise sur le site TISO.

Ce dernier est en contact régulier avec le Centre Commun de Recherche de la CE à Ispra en Italie et envoie un délégué à l'*European Working Group on Photovoltaic Plant Monitoring*. Ce Groupe de travail européen a pour mission de définir les procédures et de préparer les documents concernant le "monitoring" des installations. Il édicte des directives pour l'acquisition des données. La nécessité d'un relevé du spectre solaire reste une question non résolue à ce jour. Le problème de senseurs fiables et à bas prix est aussi débattu. Leur mise en application devra recourir aux fibres optiques puisque

souvent les systèmes d'acquisition de données sont éloignés des lieux de mesure et que ceux-ci se trouvent quelque fois en zone soumise à des perturbations électriques dues aux câblages et à la présence d'onduleurs.

Il est prévu d'établir au TISO une *Centrale suisse d'acquisition de données dans le domaine photovoltaïque*. Ce centre pourra établir une sorte d'homologation suisse pour les composantes photovoltaïques ; une mission de standardisation lui sera ainsi dévolue.

Pour ce qui est des installations pilotes et de démonstration, la Confédération a soutenu les études préliminaires, menées par Electrowatt Ingénieurs-Conseils S.A. (EWI) à Zurich, pour une installation de 19 kW sur la gare CFF d'Olten, dont la réalisation se fera prochainement, et pour une installation de production d'hydrogène par électrolyse de l'eau à partir d'électricité d'origine photovoltaïque, à la Station de mesures de Payerne de l'Institut suisse de Météorologie (ISM) ; c'est le projet HYDROSOL qui devrait utiliser la technique d'électrolyse Membrel, mise au point par ABB à Zurich. L'hydrogène produit devra permettre de gonfler les ballons des sondes stratosphériques. Ce projet est fait en collaboration avec le Programme "Hydrogène". Ainsi qu'il a déjà été mentionné plus haut, la Confédération a réalisé le premier tronçon de 100 kW de générateurs photovoltaïques le long de l'autoroute N13 à Felsberg (GR) ainsi qu'une installation de 10 kW à Wabern (BE) sur le toit de l'OFMET. Finalement, mentionnons encore une étude préliminaire menée par le Canton de Bâle-Ville en vue d'installer entre 84 et 232 kW de générateurs photovoltaïques sur un tronçon d'autoroute couvert.

5. Références

- [1] A. Shah, "RA89: Solarzellen aus amorphem Silizium".
- [2] H. Kiess, "RA89: Bestimmung und Vergleich des Wirkungsgrades von Solarzellen mit und ohne "light trapping".
- [3] F. Troyon, "RA89: Propriétés plasma-physiques des plasmas RF de silane prépa.és en vue du dépôt de couches de silicium amorphe".
- [4] H.R. Grüniger/D. Sutter/C. Zeyer, "Neuer Herstellungsverfahren für Silizium-Folien", in: **Photovoltaik-Nutzung 1990**, S. 97-102.
- [5] V. Crastan, "RA89: Mikroprozessorsteuerung für netzgekoppelten Solarwechselrichter - Testversuche des 3-kW-SOLCON-Wechselrichters unter realen Arbeitsbedingungen an der PV-Forschungsanlage TISO".
- [6] V. Crastan, "Mikroprozessorsteuerung für netzgekoppelten Solarwechselrichter", Schlussbericht (Mai 1989).
- [7] W. Linton, "RA89: Importance Of PV-Inverter Efficiencies - Importance du rendement de convertisseurs photovoltaïques" (texte en anglais ou en français).
- [8] W. Linton/J. R. Leidner, "Impact Of Inverter Efficiencies On Photovoltaic Array Energy Production", Final Report (1st. draft Report, December 1989).
- [9] C. Giovannini, "RA89: Solarwechselrichter mit Netzeinspeisung im 50-kW-Bereich".
- [10] M. Camani/P. Ceppi/D. Chianese, "RA89: TISO, Impianto Fotovoltaico Sperimentale A Moduli Amorfi".
- [11] Th. Bähler/Th. Nordmann, "RA89: Weiterführung der laufenden PV-Messkampagne für den Bau von PV-Pilotinstallationen".
- [12] F. Meier/Th. Nordmann, "RA89: 3-kW-Pilot- und Demonstrationsanlagen".
- [13] R. Hächler/Th. Nordmann, "RA89: PV-100-kW-Netzverbundanlage N13, Domat/Ems".
- [14] W. Durisch/M. Brack/W. Bulgheroni/D. Wuillemin, "RA89: Albedoeinfluss auf Photovoltaikanlage in den Alpen".
- [15] W. Durisch/M. Brack/W. Bulgheroni/E. Gähwiler, "Albedo Measurements And System Performance Of A Grid-Connected Photovoltaic Plant In The Swiss Alps", Document PSI-TM-51-89-28 (November 1989).
- [16] M. Real/E. Anderegg/R. Moser, "RA89: Betriebsauswertung netzgebundener Solarzellenanlagen in verschiedenen klimatischen Regionen der Schweiz".

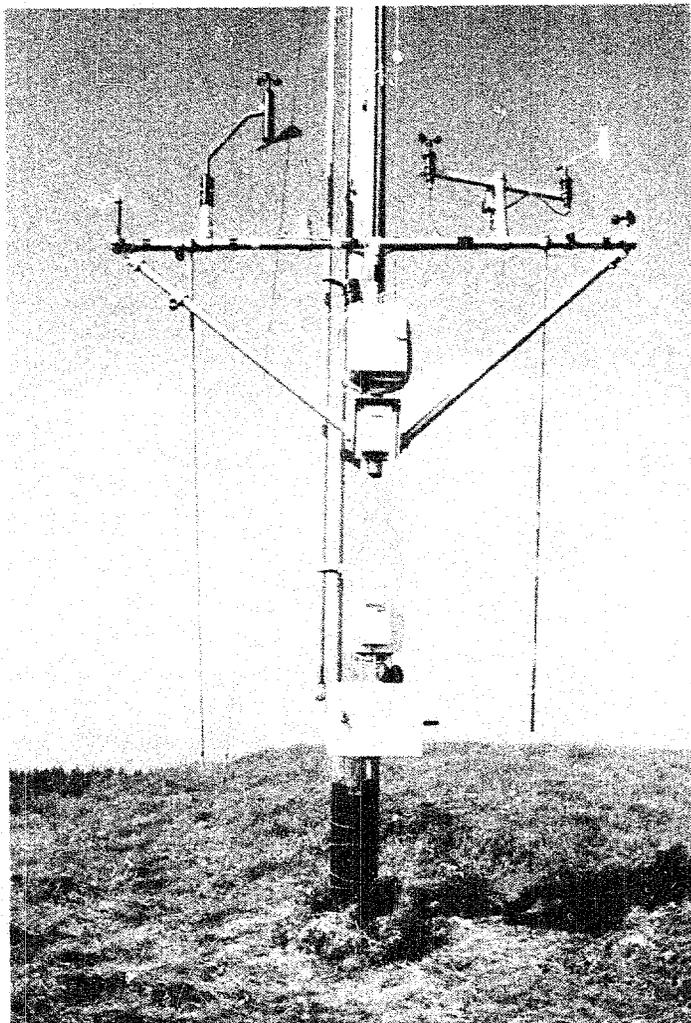
- [17] E. Anderegg/R. Moser/G. Schucan/M. Real, "Betriebsauswertung netzgebundener Solarzellenanlagen in verschiedenen klimatischen Regionen der Schweiz", Zwischenbericht (Oktober 1989).
- [18] B. Hofer, "RA89: Solarkraftwerksspezifische Meteodaten".
- [19] R. Bärtschi, "RA89: Messtechnische Analyse und Simulation der Photovoltaik-Pilotanlage GIBB".
- [20] R. Bärtschi/H. Precht/A. Huser, "Messtechnische Analyse und Simulation der Photovoltaik-Pilotanlage GIBB", Schlussbericht (September 1989).
- [21] O. Guisan, "RA89: Alimentation photovoltaïque de 2,2 kW pour les TPG à Genève".
- [22] H. Häberlin, "RA89: Vergleichsmessungen an den Photovoltaik-Wechselrichtern SI-3000 und SOLCON".
- [23] P. Ceppi, "RA89: TISO : valutazione e sorveglianza di lavori nel settore dei sistemi fotovoltaici".

Note : Les comptes-rendus du congrès "Photovoltaik-Nutzung 1990" (tenu à Zurich le 20 janvier 1990) ont paru dans "SLA/BEW Dokumentation D 049" et peuvent être obtenus chez INFOSOLAR, 5200 Brugg. Mentionnons aussi les "Proceedings of the 9th European Photovoltaic Solar Energy Conference", Freiburg, FRG, 25-29 September 1989, Kluwer Academic Publishers, 1989.

ENERGIE EOLIENNE

Rapport de synthèse
sur les activités 1989 du programme de recherche

Chef de programme : L. Dubal



La mesure du vent

La mesure de l'enventement est un des pas décisifs pour déterminer si un site-candidat est propice ou non pour une installation éolienne. La photo montre le stand d'essai de l'ETS-Bienne pour la comparaison des performances de divers systèmes de mesure.

1. Objectifs du programme

Si la rentabilité économique d'une installation pour la conversion d'une énergie renouvelable doit dans chaque cas être étudiée soigneusement, en pratique, lorsque le site est propice, les énergies hydraulique et éolienne, elles, produisent l'électricité la meilleure marché. Pour l'implantation de systèmes éoliens décentralisés, les caractéristiques idéales des sites les plus favorables sont encore assez mal connues. Il est donc nécessaire qu'un des axes directeurs de ce programme soit la préparation d'un manuel METEONORM-vent devant fournir aux ingénieurs la méthodologie leur permettant d'évaluer de manière efficace et économique si un site est propice ou non. La qualité de l'enventement d'un site n'est de fait qu'un aspect. La condition pour qu'une turbine éolienne s'intègre harmonieusement dans notre paysage, est que sa hauteur n'exécède pas 30 mètres. Par ailleurs, comme les installations éoliennes fonctionnent "au fil du vent", un déphasage par rapport à la demande rend nécessaire de combiner cette source d'énergie avec d'autres, capables de faire l'appoint dans les périodes de calme. La solution la mieux étudiée est l'intégration dans le réseau. Aussi le second axe directeur de ce programme est l'étude d'un système éolien hybride innovatif. Il s'agit d'un système équipé d'une turbine éolienne à axe vertical (type Darrieus) de 160 kW, d'un générateur à biogaz de 110 kW ayant le rôle de pilote et d'une charge de ballast, pour stabiliser la fréquence.

2. Mise en oeuvre et résultats obtenus

Pour mener à bien l'élaboration du manuel METEONORM-vent et la modélisation d'un système vent-biogaz, l'OFEN a confié des mandats de recherche au Laboratoire d'électromécanique de l'EPFL-Lausanne, à la maison Météotest-Berne, à l'Institut de Géographie de l'Uni-FR, à l'Oekozentrum-Langenbruck, à la maison Alpha Real et au Centre de Recherche Energétique-Martigny, alors que le Canton de Berne confiait un mandat de recherche à l'ETS-Bienne. Précisons que le deuxième axe du programme n'a pu être réalisé que grâce à la Commune de Martigny qui a équipé sa station d'épuration des eaux d'une installation vent-biogaz, et l'a mise à disposition du projet de recherche de la Confédération.

L'ensemble de ce programme a été, dès son lancement, coordonné avec les activités de l'Agence internationale de l'énergie (AIE) dans ce domaine.

Manuel METEONORM-vent :

Les difficultés liées à la préparation d'un manuel sur un domaine où les recherches sont en cours ont été sous-estimées. L'an dernier, il semblait encore possible de publier ce manuel à fin 1989, alors qu'à cette date, grâce à l'engagement résolu de l'ensemble des mandataires, on est parvenu à assembler une première ébauche, qu'il s'agira encore d'épurer, et de traduire. Mentionnons ici que le "Wind-Diesel Guide-Book, Siting and Implementation" qui, lui, a été préparé dans le cadre AIE a subi, pour les mêmes raisons, le même retard !

a) Prédications énergétiques des installations éoliennes [1]

L'analyse des données récoltées sur des installations a permis une première comparaison avec les modèles mathématiques simulant les comportements statique, dynamique et transitoire de ces mêmes installations.

b) Typologie des sites propices [2]

L'analyse des conditions de ventilation des divers ensembles topographiques suisses a abouti à l'élaboration d'une carte, d'un tableau synthétique et d'une méthodologie d'utilisation permettant une première appréciation d'un site éolien potentiel.

c) Modélisation des sites éoliens [3]

Le modèle de calcul de l'enventement d'un site par extrapolation à partir de stations de référence a pu être amélioré par l'introduction des données provenant des sondages à haute altitude de Payerne. Bien que limités à deux par jour, ces sondages livrent une information qui d'ores et déjà apparaît comme un élément-clé. La méthode minimale reste encore à établir.

Concernant l'intensité de la turbulence, il a été possible de démontrer qu'un bon indicateur en est la vitesse relative des rafales; le facteur de proportionnalité étant de 1/3. Cette découverte est importante car la rafale est mesurée par les stations automatiques ANETZ.

d) Critères pour l'évaluation d'un site [4]

La vue d'ensemble des problèmes intervenant dans l'évaluation d'un site a été établie. L'étude du rôle des turbulences sur le fonctionnement des éoliennes a passé à une phase de quantification. La mise en pratique de la méthode a été éprouvée sur quelques sites-candidats.

Installation vent-biogaz [5]

Après une série d'essais, il a été possible d'effectuer pendant plus d'une heure une mise en filot de la STEP, c'est-à-dire d'alimenter l'ensemble des moteurs et autres équipements de la station d'épuration à l'aide du système vent-biogaz. Avant de mener à bien la campagne de mesure prévue, il est cependant encore nécessaire d'automatiser les commandes.

La turbine éolienne, qui a dû être limitée en vitesse, devrait, après modifications, pouvoir à nouveau fonctionner à pleine puissance.

Le moteur à biogaz a dû être fréquemment interrompu, le pouvoir calorifique du gaz devenant trop bas lors du chargement de certains résidus industriels. Des mesures de la quantité et de la qualité du gaz ont été effectuées, pendant le meilleur remède à appliquer reste encore à trouver.

Activités du secteur industriel [6, 7]

Il est à relever que la maison ABB s'est vu confier la tâche d'équiper en générateur synchrone et onduleur 40 turbines éoliennes autrichiennes destinées à la Californie, et dont la puissance des plus grosses atteint 600 kW. Par ailleurs, la maison Sulzer-Escher-Wyss fournira une hélice de 32 mètres pour une turbine éolienne italienne.

3. Collaboration internationale

La Suisse a poursuivi sa collaboration au projet de recherche sur les systèmes éoliens décentralisés sous l'égide de l'AIIE. Ce projet arrivant à terme dès la (prochaine) publication du "guide-book", la collaboration se poursuivra sous la forme d'ateliers.

4. Information et diffusion des résultats

La publication du manuel Météonorm-Vent, ainsi que l'inauguration de l'installation "îlot vent-biogaz" feront l'objet de conférences de presse.

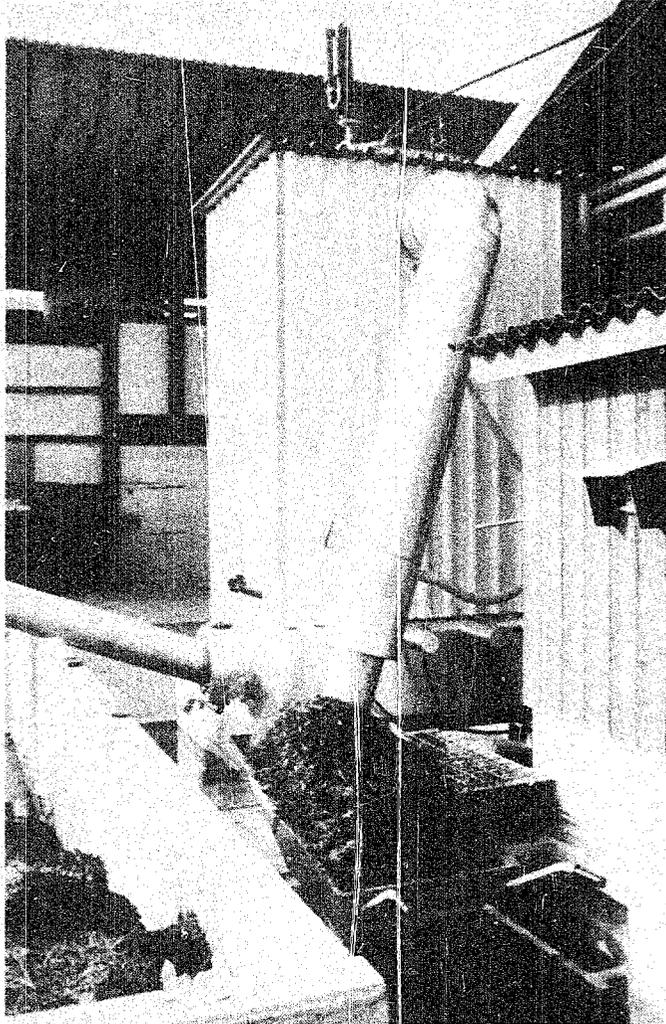
5. Références

- [1] J.P.Ludwig, "RA89: Sites éoliens: description standard et modélisation"
- [2] M. Roten, "RA89: Sites éoliens: Reconnaissance des sites propices"
- [3] R. Horbaty, "RA89: Kriterien zur Standortevaluation"
- [4] S.Kunz, "RA89: Modellierung von Standorten für Windanlagen"
- [5] Y. Ducki, "RA89: Cogénération Vent-Biogaz en îlot"
- [6] "Windkraftanlagen für Kalifornien", ABB Technik 8/9/89,p.47
- [7] "Aeritalia und Sulzer-Escher Wyss setzen auf Windkraft", Techn.Rundschau 5 (1990) 14

BIOMASSE

Rapport de synthèse
sur les activités 1989 du programme de recherche

Chef de programme : Michel Roux



Installation de démonstration pour digérer du fumier solide en continu.

Situé à la Station de recherches de Tānikon (TG), ce digesteur de taille moyenne contient 7 tonnes de fumier et produit 8 m^3 de biogaz par jour. Le fumier est déversé d'une brouette dans un système à piston (en bas, à droite) qui le pousse dans le digesteur isolé et chauffé (au centre). Il le traverse en une trentaine de jours à 50°C . Le biogaz est analysé dans une cabine de mesures avant d'être brûlé en chaudière.

1. Objectif du programme

L'objectif général du programme est la mise en valeur du potentiel énergétique de la biomasse indigène. Selon une définition "la biomasse est constituée par tout ce qui dérive directement ou indirectement de la photosynthèse des plantes". Cela comprend entre autres arbres, plantes terrestres et aquatiques, résidus agricoles et forestiers, fumiers, déchets solides, eaux usées. Le programme toutefois se limite principalement à la biomasse de déchets, c'est-à-dire la matière organique qui ne peut pas être utilisée pour un usage noble (nourriture, construction, industrie).

Les objectifs prévus pour 1989, étaient:

- recenser l'inventaire de la biomasse d'origine urbaine, industrielle et alimentaire et calculer son potentiel en matière organique.
- définir les caractéristiques d'un **petit digesteur** de fumier.
- déterminer la composition des **déchets municipaux**, triés à la source (sac vert) dans trois communes.
- préparer le transfert du **traitement enzymatique** de la lignocellulose au programme Biotechnologie en cours de création.

2. Travaux en cours et résultats

Neuf projets sont actuellement soutenus financièrement par l'OFEN dans le cadre du programme Biomasse. Ils portent sur la production de biogaz, la gazéification du bois, la récupération de la chaleur dégagée lors du compostage et les émissions d'un moteur alimenté à l'alcool.

Production de biogaz

a) à partir de **fumier solide**

Le fumier solide, c'est-à-dire les déjections solides et liquides des bovins mélangées à une forte proportion de litière pailleuse, ne se laisse pas facilement manipuler. Il se rencontre cependant dans la grande majorité des exploitations agricoles. Pour en tirer du biogaz, le digesteur doit satisfaire à certaines exigences, tant sur le plan technique et biologique que sur le plan de l'équipement disponible à la ferme.

- Au vu de l'intérêt de développer une méthode permettant de **digérer en continu le fumier solide**, la FAT (Station de recherches de Tänikon) a passé, après de longs tests en laboratoire, à la réalisation d'une installation de **démonstration** d'une contenance de 7 m^3 [1], telle que représentée en page de garde. Cette installation fonctionne maintenant de façon satisfaisante, après avoir subi de nombreuses modifications par rapport aux plans primitifs. Des améliorations doivent encore lui être apportées et une série de tests entrepris afin d'obtenir une digestion complète du substrat et sa bonne marche quelle que soit la composition du fumier utilisé.
- La FAT procède également au développement et à des tests sur un système expérimental de **canal étanche de digestion** horizontal d'un volume de 400 l . [1]. Du fumier solide, placé dans un train de paniers, se déplace dans sa phase liquide durant une trentaine de jours le long des 6 m . du canal et se décompose en biogaz. Bien que cette technique semble valable, la production de gaz baisse toutefois anormalement dans le temps. Des appareils de mesures adéquats devront permettre d'expliquer les raisons de ce blocage.
- Le bureau **EREP SA** (Etudes et applications d'énergies renouvelables et d'épuration), à Aclens, a reçu à fin 1989 le mandat de planifier et de définir un concept d'installation à **biogaz** alimenté en **discontinu** [2] (par fournées ou charges alternées). Elle est destinée aux exploitations agricoles de moyenne grandeur. Dans une première phase, cette recherche doit montrer la

simplicité du procédé, sa faible sensibilité aux fluctuations des paramètres de digestion et le coût modéré obtenu par une conception modulaire. Si ces objectifs sont atteints, une installation en grandeur réelle sera construite.

b) à partir de fumier liquide

- Une étude de la FAT, publiée en 1984, montrait que 18'000 exploitations agricoles suisses présentaient des conditions satisfaisantes pour recevoir une installation de biogaz; or le recensement de 1988 n'en dénombre que 142. Une explication à ce manque d'intérêt réside dans les coûts encore élevés d'investissement et dans la relative complexité des divers procédés connus. C'est la raison pour laquelle la FAT a été mandatée en automne 1989 pour concevoir une **installation entièrement nouvelle**, de coûts acceptables et facile à exploiter [3]. La définition des critères que devra satisfaire l'installation et les conditions que devront remplir ses divers composants ont été établies par les six experts d'un groupe d'accompagnement.

c) à partir de déchets organiques

Les déchets organiques urbains et industriels ne peuvent être éliminés sans un traitement préalable : tri et recyclage dans le meilleur des cas, le plus fréquemment incinération, souvent transformation en compost et récemment digestion en biogaz. Or l'urgence d'un retour au cycle biologique des matières organiques dans une société malade de ses déchets impose de prendre rapidement une décision avant qu'une option inadéquate ne se répande dans les communes.

- La **Communauté de travail Bioénergie "Arbi/Probag"**, à Maschwanden et Dietikon (ZH), s'est proposée d'évaluer les aspects techniques et économiques de la **digestion des déchets en anaérobie** (en l'absence d'air) [4]. Elle a pour cela analysé la composition des **déchets urbains**, ceux des **industries alimentaires** et des **parcs et jardins** en Suisse. Elle en a fait la part de ce qui pourrait être transformé en biogaz, en compost ou être recyclé et arrive à une production potentielle de biogaz équivalent à 1,3 PJ/an, soit environ 15% du potentiel qui pourrait être tiré du fumier. Une installation expérimentale, construite chez un entrepreneur sur la base de celles testées à l'étranger, servira à évaluer la qualité de la digestion de déchets de diverses compositions.

Gazéification du bois

Si les gazogènes des années 30 et 40 fonctionnaient avec des blocs de bois, le matériau qu'il s'agit de mettre en valeur aujourd'hui, tel que bois déchiqueté et sciure, présente une granulométrie beaucoup plus fine. Le "coeur" et le silo du gazogène doivent en conséquence être adaptés.

Dans un autre domaine, une énorme quantité (700'000 m³/an) de "vieux" bois provenant de la démolition et des industries du meuble et de l'emballage ne trouvent pas preneur et doivent être éliminés. Le problème ici réside dans les impuretés chimiques et minérales que contiennent ces déchets.

- **Ensofor SA** (société anonyme pour la valorisation des énergies solaire et forestière), à Curio a construit et mis en marche un **gazogène à contre-courant** (gaz et bois se déplacent en sens inverse) adapté à la fine granulométrie du bois déchiqueté [5]. Elle va procéder aux tests d'allumage automatique, de récupération du gaz et des cendres et de recirculation des particules imbrûlées. En parallèle, cette société développe un gazogène à co-courant, dont le gaz sera destiné à l'emploi dans des moteurs.
- La **Communauté de travail Holzvergasung-Altholz**, à Maschwanden, se propose de construire en Suisse un **gazogène de puissance utilisant le vieux bois** [6]. Dans une première phase, elle participe aux mesures des émissions polluantes et à l'optimisation d'une installation pilote en Allemagne fédérale. Le fonctionnement de cette dernière a atteint un stade suffisant pour utiliser le gaz produit comme agent de chaleur. Un développement au niveau de la purification des gaz est encore nécessaire pour son emploi comme carburant pour moteurs.

Compost avec récupération de chaleur

La maturation de compost à partir de matières végétales ou de bois déchiqueté prend beaucoup de place et exige une manutention fastidieuse. De plus la chaleur dégagée se dissipe en pure perte dans l'atmosphère.

- Le projet "Energia Verde" de la société **Ensofor SA** développe un système à cuve fermée et isolée, dont le remplissage et l'extraction de la matière végétale sont contrôlés automatiquement et qui **utilise la chaleur produite par le compostage** dans une pompe à chaleur [7]. Les tests préliminaires en cours portent sur le débit d'air à travers la matière sèche, l'influence de l'humidité, l'efficacité du brasseur, la position pour soutirer la chaleur et la texture de la matière transformée. Cette société bénéficie des conseils d'un groupe d'experts suisses et étranger.

Tracteur diesel à carburant alcools

L'alcool peut représenter une alternative, d'une part en cas de crise dans l'approvisionnement du pays en carburants, car cet alcool peut être produit à partir de la biomasse indigène, d'autre part parce que ses émissions polluantes devraient être plus faibles que celles d'un carburant diesel. La majorité des tracteurs agricoles en Suisse sont équipés de moteur diesel. Les caractéristiques d'autocombustion de ces moteurs ne sont cependant pas favorables à l'emploi d'alcool, c'est pourquoi des additifs doivent leur être adjoints.

- La **Fondation Agrogen**, à Fribourg, a mis au point une **technique permettant de transformer** de façon réversible et à peu de frais **un moteur diesel existant** pour le faire fonctionner à l'alcool [8]. Au cours de 1989, un tracteur ainsi équipé a passé des tests au banc d'essai et sur le terrain avec différents mélanges d'alcools et d'additifs. L'analyse des mesures de puissance, de consommation, de comportement et de composition des gaz d'échappement, avec et sans catalyseur, ainsi qu'en comparaison avec un moteur diesel est pratiquement terminée.

3. Autres travaux de recherche

De nombreux projets soutenus par d'autres sources fédérales ou cantonales ou encore par des fonds semi-publics couvrent des recherches sur les technologies de conversion de la biomasse, certains domaines de la biotechnologie et l'agriculture. Ils seront ici mentionnés sommairement.

Chaudières à bois

Douze projets traitent des divers aspects de la combustion de bois dans des chaudières. L'accent porte sur les émissions d'oxydes d'azote [9], le réglage automatique, électronique ou par sonde O₂, l'optimisation de la combustion, entre autres dans de petits foyers, la modulation de puissance, l'appoint par du gaz naturel et l'homologation de chaudières. Ces recherches se déroulent à l'Institut de techniques énergétiques à l'EPFZ, à l'Université de Neuchâtel, à l'Oekozentrum Langenbruck, à l'Association pour le développement des énergies renouvelables (ADER) et pour la plupart d'entre eux dans des bureaux privés. L'Office pour les installations techniques du Canton de Zurich développe un concept pour la valorisation du bois de démolition [10].

Biotechnologie

L'Université du Canton de Zurich et l'Institut de biotechnologie de l'EPFZ s'intéressent à la conversion d'énergies par des microorganismes et à la dégradation biologique des boues excédentaires.

Agriculture

Le gros projet concernant le premier inventaire national des forêts (1982-1986) a donné lieu à une publication en 1988. De plus petits projets portent sur les moyens de rendre autonome l'agriculture en énergie, les carburants à base de colza, de topinambour ou de fumier, ainsi que sur la qualité des fumiers bovins évacués mécaniquement. Ces recherches sont conduites par la FAT et l'ADER (l'Association pour le développement des énergies renouvelables).

4. Collaboration internationale

AIE

- Depuis août 1989, la Suisse participe à 2 projets du **Programme Bioenergy** de l'Agence internationale de l'énergie. Ils concernent la collaboration et la coordination des projets nationaux respectivement dans le domaine de l'approvisionnement en biomasse à partir de forêts traditionnelles (par opposition aux "plantages énergétiques") et dans celui des diverses méthodes avancées pour convertir la biomasse. Le programme Bioenergy court jusqu'à fin 1991. Comme dans tous les programmes de l'AIE, l'échange d'information se réalise de façon mutuelle au niveau des experts et sur des projets choisis "à la carte".

Manifestations

- Du 7 au 9 novembre 1989 s'est tenu à Bâle le 42^{ème} **Congrès international de l'"Arbeitskreis für die Nutzbarmachung von Siedlungsabfällen (ANS)"**. Il était placé sous le patronage de l'OFEN et organisé par la toute récente section suisse de ce groupe, présidée par le directeur de Probag. Le thème du congrès "**Digestion des déchets organiques solides : possibilités et limites de la production de biogaz**" a permis à la Communauté Arbi/Probag d'acquérir des connaissances et de connaître les résultats de mesures de première main réalisées par les meilleurs experts étrangers actuels sur leurs installations expérimentales et pilotes. Une publication de l'ANS rassemble tous les exposés de ce congrès [11].

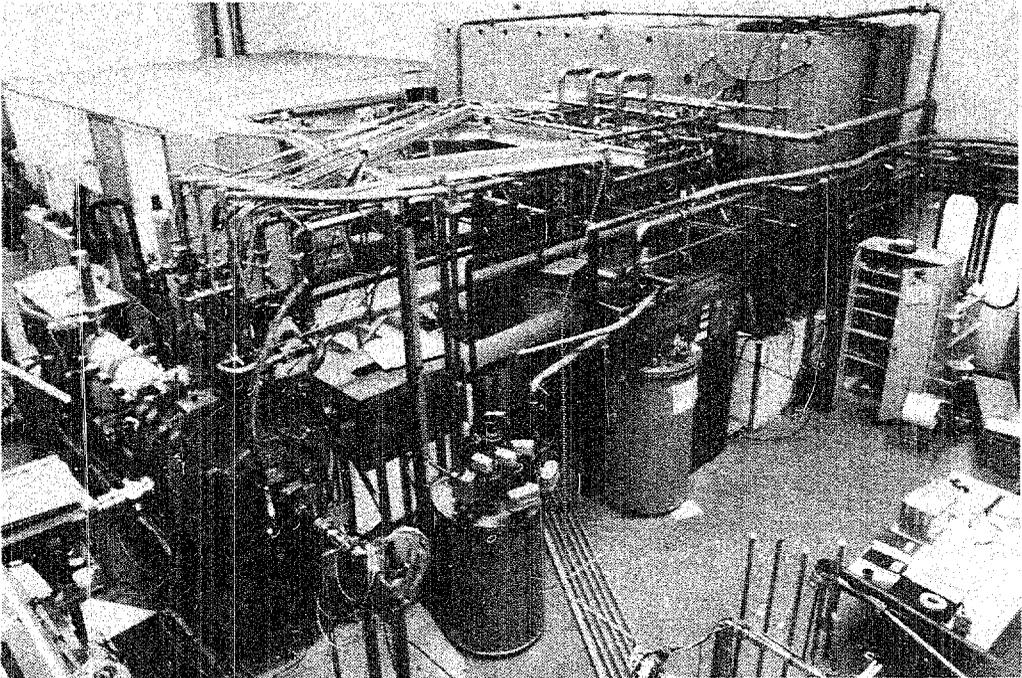
5. Références

- [1] A. Wellinger, "RA89: Demonstrationsanlage zur Biogasproduktion aus Festmist".
- [2] Y. Membrez, "RA89: Méthanisation en discontinu".
- [3] K. Egger, "RA89: Kleine, schlüsselfertige Biogasanlage, Phase I".
- [4] W. Edelmann, "RA89: Vergärung fester organischer Abfallstoffe".
- [5] L. Jaccard, "RA89: Gazogènes à bois".
- [6] R. Bühler, "RA89: Holzvergasung-Altholz".
- [7] L. Jaccard, "RA89: Energia Verde".
- [8] U. C. Knopf, "RA89: Alkohol-Motoren-Technologie".
- [9] T. Nussbaumer, "Stickoxyde bei der Holzverbrennung", Heizung & Klima 12, 1988.
- [10] Arbeitsgemeinschaft Altholzkonzept Kanton Zürich, "Konzeptstudie Altholzverwertung Kanton Zürich", Zwischenbericht August 1989, Direktion der öffentlichen Bauten Kanton Zürich.
- [11] Arbeitskreis für die Nutzbarmachung von Siedlungsabfällen (ANS), "Vergärung fester organischer Abfälle, Möglichkeiten und Biogasgewinnung", Info Band Heft 16.

KONTROLLIERTE KERNFUSION

Uebersichtsbericht
zum Forschungsprogramm 1989

Programmleiter: P. Zinsli



Versuchsanbau zum quasioptischen Gyrotron an der EPF-Lausanne

1. Uebersicht

Die Fusionsforschung in der Schweiz ist Teil der internationalen Fusionsforschung. Das Programm der Schweiz bearbeitet einen kleinen, spezialisierten Teil davon und ist durch Abkommen in verschiedene internationale Programme integriert. Schweizerische Experten arbeiteten auch 1989 an der Definition und der Durchführung dieser übergreifenden Programme mit.

Die im Rahmen des Forschungsprogramms des Bundes durchgeführten Arbeiten sind ihrerseits ein kleiner Teil der Forschungsanstrengungen schweizerischer Institute. Diese Mittel werden hauptsächlich im Rahmen internationaler Verpflichtungen und zur raschen Setzung von Schwerpunkten eingesetzt. Sie werden subsidiär zu den Mitteln anderer Forschungsförderungsorgane genutzt.

Die internationale Zusammenarbeit findet vor allem im Rahmen der Vereinbarung der Schweiz mit Euratom statt, welche ein Grundlagenprogramm, ein Technologieprogramm (unter Einschluss der Arbeiten an NET, dem Next European Torus in Garching/Deutschland) und die Nutzung des JET (Joint European Torus in Culham/Grossbritannien) einschliesst. Weltweit koordinierte Technologieentwicklung findet im Rahmen der Abkommen der Internationalen Energieagentur IEA statt, während Planungsarbeiten zu ITER (International Thermonuclear Experimental Reactor) im Rahmen der IAEA (International Atomic Energy Agency, Wien) laufen.

Im Bereich der Planung und Koordination wurde 1989 der Assoziationsvertrag mit Euratom für die Periode 1989-1992 erneuert, und der Beitritt zum Rahmenabkommen Euratom-Japan im Bereich der kontrollierten Kernfusion beschlossen.

2. Stand und Resultate der internationalen Zusammenarbeit

JET hat sich 1989 als weltweit führende Fusionsforschungsanlage bestätigt. In der nun erreichten Ausbaustufe, in welcher der Einbau der Zusatzheizung für das Plasma weitgehend abgeschlossen ist und durch Einführung von Beryllium auf der Innenwand des Tokamaks die Verunreinigung des Plasmas stark reduziert werden konnte, hat JET sein Hauptziel, die wissenschaftliche Demonstration der grundsätzlichen Einsetzbarkeit der Fusion als Energiequelle, gezeigt. Das Ziel der Fusionsforschung, die Zündung einer Fusionsreaktion, ist mit einem Zustand des Plasmas erreichbar, der (jedenfalls in einem instationären Zustand) weniger als um einen Faktor 10 von den heute in JET erreichten Parameterwerten entfernt ist, während in den 70-iger Jahren noch ein Faktor 25'000 fehlte. Die 'Breakeven'-Bedingung, eine Zwischenstufe, in welcher im Plasma soviel Energie produziert wird wie dem Plasma zugeführt wird, erfordert sogar nur noch weniger als eine Verdoppelung des Wertes des entscheidenden Parameters. JET wird sich in den nächsten Jahren jedoch auf das grundlegende Problem der Kontrolle von Plasma-Verunreinigungen und später auf den Einsatz von Tritium als Grundlage für den Bau der nächsten Generation von Forschungsanlagen (ITER/NET) konzentrieren. Es muss betont werden, dass ungeachtet der Erfolge des Jahres 1989 grosse, insbesondere auch technologische Probleme noch zu lösen sind.

Im Rahmen der IEA wurde mit Beteiligung der Schweiz 1989 das Projekt LCT (Large Coil Task), welches viele neue Erkenntnisse für den Bau grosser supraleitender Magnetspulen ergab, offiziell abgeschlossen. Arbeiten im Bereich von Fusionsmaterialien wurden in internationaler Abstimmung an nationalen Bestrahlungsanlagen weitergeführt und ein Projekt über wirtschaftliche und oekologische Aspekte der Fusion wurde vorbereitet.

Die konzeptionellen Arbeiten an ITER wurden, nachdem man sich über die Grundparameter der Auslegung geeinigt hatte, innerhalb eines zentralen Teams in Garching und an den Heimlaboratorien in USA, Japan, UdSSR und Europa weitergeführt. Bereits sind auch erste Vorstellungen darüber entwickelt, wie die Arbeiten nach Abschluss der sog. 'Conceptual Design Phase' Ende 1990 weitergeführt

werden könnten. Prof. Troyon, Direktor des CRPP der EPF-Lausanne, ist einer der drei europäischen Experten des wissenschaftlichen Beirats von ITER.

Die **Entdeckung** der kalten Fusion im Frühjahr 1989 wurde vor allem ein Medienereignis, konnte in einer weltweiten Überprüfung jedoch nicht bestätigt werden. Offen ist heute nur noch die Frage, ob überhaupt ein Effekt vorliege; die vorgeschlagene Methode der kalten Fusion in einer Elektrolysezelle als Energiequelle erscheint als undurchführbar.

3. Forschungsarbeiten in der Schweiz 1989

Die Arbeiten in der Schweiz wurden im wesentlichen am Centre de Recherche en Physique des Plasmas an der EPF-Lausanne, am Paul Scherrer Institut, Villigen und an den Universitäten Zürich (Anorganisch-Chemisches Institut, ACI) und Basel (Institut für Physik, IFP) durchgeführt.

Am CRPP, dem Zentrum der schweizerischen Fusionsforschung, wurde die experimentelle Forschung am bestehenden Tokamak TCA weitergeführt (insbesondere Arbeiten mit weiterentwickelten Diagnostika, neue Untersuchungen zur Alfvén-Wellen-Heizung und Beschichtung des TCA mit Borkarbid) und der Aufbau des neuen Tokamaks TCV, der Ende 1991 seinen Betrieb aufnehmen wird, vorangetrieben. Eine starke Theoriegruppe entwickelte Programme zur Plasmastabilität weiter und erarbeitete Grundlagen sowohl für JET und NET/ITER wie auch für Methoden der Radiofrequenzheizung. Die experimentelle Entwicklung der Radiofrequenzheizung mit konventionellen und quasioptischen Gyrotrons wurde weitergeführt. Für Details verweisen wir auf den Jahresbericht des CRPP.

Am Paul Scherrer Institut, dem Zentrum der schweizerischen Fusionstechnologieforschung, wurde die dritte Ausbaustufe der Supraleiter-Testanlage Sultan III weiter aufgebaut, welche ab 1991 im Rahmen des Euratom-Programms zum Test von Leitern für die NET-Magnetspulen eingesetzt werden wird. Dazu war insbesondere eine 9 und eine 12 Tesla Spule zu entwickeln, in Auftrag zu geben und zu testen sowie der Gesamtumbau der Anlage ('Splitting') vorzubereiten. Da internationale Partner die von ihnen vorgesehenen Spulen-Technologien teils nicht zu entwickeln vermochten, wird das PSI nun auch deren Arbeitspakete, die Herstellung von zwei weiteren Spulen, übernehmen. In der Anlage PIREX (Proton Irradiation Experiment) wurden, ebenfalls im Rahmen des Euratom-Technologieprogramms, verschiedene Strukturmaterialien, so Stahl, Aluminium und Molybdän, bestrahlt und anschliessend auf Spannungseigenschaften und Ermüdung getestet.

Fusionsrelevante Arbeiten wurden 1989 ebenfalls in der Neutronik-Gruppe des PSI (so Arbeiten zur Neutronenbestrahlung in NET), am Institut für angewandte Physik der Universität Bern (Laser-Material-Wechselwirkung) und an der Anlage Lotus des Institut de génie atomique der EPF-Lausanne (Bestrahlung von Blanket-Elementen, Theorie der Trägheitsfusion) durchgeführt.

4. Ziele und Ergebnisse

Unter folgenden vier Vereinbarungen wurden Forschungsarbeiten durchgeführt:

IEA Programme of Research and Development on Plasma/Wall-Interaction in Textor (je ein Vertrag mit dem ACI/Universität Zürich, Prof. S. Veprek und dem PSI, Herr G. Stiefel).

Das Ziel dieser Arbeiten zur Reduktion der Verunreinigungen des Plasmas durch Entwicklung und Untersuchung von Beschichtungen der Reaktorwand war 1989 die Verbesserung der Grundlagen der Borkarbid-Beschichtungs-Methode, welche 1988 erstmals und erfolgreich eingesetzt worden war, die Erweiterung der Methode auf tiefe Temperaturen und die Übertragung der Technologie des ACI an das PSI, das CRPP und die Universität Basel.

Die Arbeiten am ACI konnten abgeschlossen werden [1] und sind mit dem Weggang von Prof. Veprek nach München nun beendet. Der Einbau von Verunreinigungen in die Borkarbid-Schicht wurde im Detail abgeklärt und das Wasserstoffrecycling dieser neuen Beschichtungen mit dem Plasma untersucht. Der Tokamak TCA des CRPP konnte im Oktober 1989 bei Temperaturen unterhalb 100 Grad Celsius erfolgreich beschichtet werden. Die Zusammenarbeit mit der Anlage Textor in Jülich beschränkte sich auf den Erfahrungsaustausch über Beschichtungen mit Borkarbid, welche aufgrund der Entwicklungen von ACI und PSI nun im Textor angewendet werden.

Am PSI wurden nach einem längeren Unterbruch die experimentellen Beschichtungs-Einrichtungen wieder in Betrieb genommen und soweit umgebaut, dass 1990 die vorgesehenen systematischen Arbeiten aufgenommen werden können [2].

Herstellung und Charakterisierung dünner Schichten und anderer Materialien für Fusionsreaktoren (Vertrag mit dem Institut für Physik der Universität Basel, PD Dr. P. Oelhafen) [3].

Das Ziel der Arbeiten 1989 war der Aufbau der Infrastruktur für die insitu-Herstellung dünner Schichten sowie erste Untersuchungen von Proben. Es wurde eine Präparationskammer an der ESCA-Anlage des Instituts installiert und im November mit bisher nicht-toxischen Prozessgasen in Betrieb genommen. Die Beschichtungstechnologie des ACI konnte weitgehend übernommen werden. Erste Messungen wurden an Bor und Borkarbid durchgeführt. Die erhaltenen spektroskopischen Referenzdaten sind eine Grundlage für die künftige Untersuchung der wenig bekannten Bindungsverhältnisse zwischen Bor und Kohlenstoff. Proben aus der Beschichtung des TCA wurden auf ihre chemische Zusammensetzung untersucht. Dabei tauchte ein bisher ungelöstes Problem des Verhaltens der Schichten gegenüber Sauerstoff auf: Experimentell zeigt sich im Plasma bei Borkarbid-Beschichtung der Wand ein signifikanter Rückgang der Sauerstoff-Verunreinigung, in den Untersuchungen der Schichten konnte jedoch kein messbarer Anteil von Sauerstoff in der Schicht festgestellt werden.

Construction de gyrotrons de haute puissance destinés au chauffage des plasmas thermonucléaires (Vereinbarung mit dem CRPP-Lausanne, Prof. A. Heym) [4].

Die Vereinbarung ermöglichte die Anschaffung dringend benötigter Komponenten im Rahmen des grossen Gyrotron-Entwicklungsprogramms des CRPP. 1989 wurde in diesem Programm ein konventionelles Gyrotron bei einer Frequenz von 39 GHz am CRPP weiterentwickelt und bei ABB hergestellt. Die Tests sollen im Januar 1990 aufgenommen werden. Die Experimente am quasioptischen Gyrotron bei 100GHz ergaben eine Leistung von 90 kW mit einem Wirkungsgrad von 12%. Dieser Wirkungsgrad soll in nächster Zeit durch verschiedene Methoden erhöht werden. Durch Betrieb bei höheren harmonischen Frequenzen soll die Frequenz in einen Bereich erhöht werden, in welchem konventionelle Gyrotrons nicht mehr einzusetzen sind.

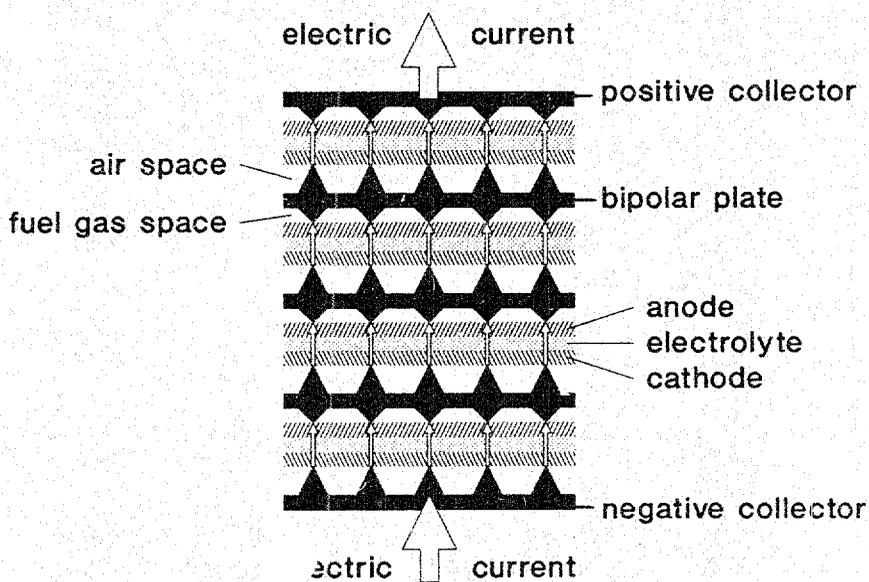
5. Referenzen

- [1] Prof. Dr. S. Vepřek, "JB89: IEA Implementing Agreement for a Programme of Research and Development on Plasma-Wall Interaction in Textor" (1989).
- [2] U. Stiefel, "JB89: Plasma-Wand-Wechselwirkung in Anlagen für kontrollierte Kernfusion".
- [3] PD Dr. P. Oelhafen, "JB89: Herstellung und Charakterisierung dünner Schichten und anderer Materialien für Fusionsreaktoren".
- [4] Dr. M.Q. Tran, "JB89: Construction de gyrotrons de haute puissance destinés au chauffage des plasmas thermonucléaires".

PILES AU GAZ NATUREL

Rapport de synthèse
sur les activités 1989 du programme de recherche

Chef de programme : L. Dubal



Configuration de base de la pile céramique *Pégasus* de la maison ABB :

Le module de 1 kW sera composé de 4 batteries de 60 éléments-plan de 20 cm².

En médaillon:

William Robert GROVE (1811-1896), l'inventeur de la pile voltaïque à gaz

1. Objectifs du programme

Ce programme de recherche vise à la maîtrise des technologies de pointe permettant la **conversion du gaz naturel en électricité**. L'**objectif énergétique** poursuivi est la substitution, d'ici la fin du siècle, du procédé chaleur-force classique.

Il y a juste 150 ans cette année que William Robert Grove inventa la "Batterie voltaïque à gaz"[1]. Les gaz étaient élémentaires et purs (de l'hydrogène et de l'oxygène), l'électrolyte corrosif (de l'acide sulfurique dilué), et les électrodes chères (du platine). Ce n'est que depuis peu que la science des matériaux offre des alternatives permettant d'envisager une application industrielle, utilisant des gaz ordinaires (le gaz naturel et l'air), un électrolyte non-corrosif (la zircone), et des électrodes bon marché (manganite, cermet de nickel et acier).

Ainsi la **pile céramique au gaz naturel** apparaît comme le procédé de conversion le mieux placé pour promouvoir *l'ère du méthane*, c'est-à-dire l'utilisation rationnelle et propre (sans NOX !) des énormes réserves mondiales de gaz naturel.

2. Mise en oeuvre

La Suisse est particulièrement bien placée pour prendre une part active à ce type de recherche. Le savoir-faire nécessaire en technologie des céramiques, en stylisme ("design") de piles céramiques, en optimisation d'échangeurs de chaleur et de gestion de systèmes électrochimiques est disponible, et l'intérêt industriel est manifeste.

Le programme de l'OFEN a été lancé en 1988. S'appuyant sur un groupe de travail dynamique qui assure en particulier une co-option industrielle, ce programme a déjà abouti à la mise sur pied d'une intense activité de recherche, dont les premiers résultats sont très encourageants.

Afin de mieux intégrer nos efforts de recherche avec ceux effectués à l'étranger, l'OFEN a proposé dans le cadre de la collaboration internationale dans la recherche sous l'égide de l'IAIE (Agence Internationale de l'Energie), un projet intitulé "Modelling & Evaluation of Advanced Solid Oxide Fuel Cells", qui devrait débiter fin avril 1990. Les recherches brevetables ne seront, bien sûr, pas internationalisées.

Les activités de recherche sont orientées selon deux axes directeurs, à savoir "Modélisation" et "Evaluation".

"Modélisation"

Par modélisation, nous entendons les outils pour la compréhension détaillée des mécanismes impliqués aux niveaux de l'électrolyte, des électrodes, du reformage du gaz naturel, du recyclage de la chaleur, du transfert et de la conversion de l'électricité. Ce volet comprend:

- des **modèles mathématiques modulaires** permettant la conduite d'expériences **numériques** nécessaires à l'**optimisation** des solutions technologiques prometteuses;
- des modèles de laboratoire permettant la conduite des expériences nécessaires à la **validation** des modèles mathématiques
- l'établissement d'une banque de **données expérimentales de référence**.

"Evaluation"

Ce volet comprend:

- l'exploration de nouveaux **procédés de fabrication** offrant davantage de degrés de liberté à la stylistique,
- la **stylistique innovante** de composants et de systèmes,
- l'élaboration d'une **filière suisse** évolutive avec démonstration de faisabilité jusqu'à la réalisation de modèles fonctionnels avancés,
- l'élaboration de **méthodes** d'évaluation de composants et systèmes et l'application conséquente de ces méthodes.

3. Travaux effectués et résultats obtenus

Volet "Modélisation"

Un atelier [2] sur la modélisation a été organisé à Charmey avec 49 participants (dont 22 suisses) de 10 pays. Il a permis entre autres d'établir le contact avec la communauté des chercheurs dans ce domaine de recherche, de jeter les bases pour un projet de collaboration AIE et d'affirmer le rôle de leader de notre pays. Un recueil "Facts & Figures"[3] a été préparé à l'intention des participants. Par ailleurs, la préparation d'un second workshop, en 1990, est déjà bien avancée.

Le Groupe d'Applications Scientifiques sur Ordinateurs Vectoriels (GASOV) de l'EPF-Lausanne [4] a proposé une stratégie pour le développement d'un programme de simulation numérique. Le système complet d'une installation avec piles céramiques au gaz naturel a été décomposé en modules. Chaque module utilise comme paramètres d'entrée un certain nombre de conditions aux limites (telles que la géométrie, le flux de chaleur, etc) générées soit par d'autres modules, soit estimées d'après la base de données expérimentales. Par exemple, la modélisation numérique du contact électrique sur un élément de pile [5] a permis l'évaluation quantitative du rôle de la distribution spatiale de la surface de contact sur l'intensité du courant: elle est plus grande (de 25% dans le cas traité), si les contacts sont formés de plusieurs parties disjointes.

Suite à une proposition de M. Tannenberger, l'Institut de Chimie physique de l'EPF-Lausanne accueille un travail de thèse sur la modélisation expérimentale de la **réduction de l'oxygène à la cathode**. Le futur doctorant a pu bénéficier d'un stage industriel dans le groupe CERAMEL de la maison ABB-Baden. Un mini-symposium a été organisé pour janvier 1990, afin de faire le point des connaissances sur ce problème, et de cibler au mieux les expériences les plus urgentes à exécuter.

Volet "Evaluation"

a) Procédé de fabrication

Coulage de bande [6]

La phase exploratoire devait tenter de réaliser des électrolytes et des cathodes de planéité et de dimension données. Ceci revient à maîtriser les paramètres déterminant l'important retrait au frittage (de l'ordre de 25% !) d'une céramique (zircone) mince et étanche, et d'une autre (manganite), poreuse. Les essais effectués sous la direction de M. Issartel à Battelle-Genève ont démontré la possibilité de fabriquer des couches hétérogènes co-frittées dont la différence de retrait jusqu'à 1500°C n'excède pas 1,5%.

Les couches denses de zircon, obtenues à partir de poudres japonaises, ont, en première analyse, les propriétés souhaitées. L'approfondissement de cette étude sera fait, dans la mesure du possible, à l'aide des poudres de zircon d'Alusuisse-Lonza.

La porosité des couches de manganite peut être variée de manière contrôlée par l'adjonction de poudre de carbone, mais cette variation affecte le retrait. D'autre part, l'écoulement de gaz dans le plan de la couche (malgré une porosité ouverte de l'ordre de 30%) est plus faible que souhaité. Il est donc prévoyant d'envisager des alternatives au co-frittage, par exemple, le frittage préalable de la zircon, suivi d'une cuisson ultérieure de l'ensemble électrolyte-cathode. La manganite est alors déposée sous forme de suspension étalée par centrifugation, ou encore sous forme de bande "verte" (encore souple). Pour le dépôt de l'anode en cermet-nickel, plusieurs solutions sont considérées.

Le précieux savoir-faire acquis dans ce projet a déjà trouvé une application pour le projet du modèle fonctionnel "Pegasus".

Projection sous vide au chalumeau à plasma [7]

Alors que jusqu'à présent les couches **électrochimiquement actives** des piles céramiques ont eu à jouer un rôle **structurel**, M. Tannenberger a proposé que soit tenté le **découplage** de ces fonctions. La première étape a été de pulvériser au plasma sur un cadre métallique (résistant aux températures élevées) un électrolyte-zircon, mince et étanche. Cette approche hybride "métal-céramique" offre ainsi une alternative au "tout céramique".

Pour des surfaces de plus de 10 mm^2 , c'est-à-dire de taille très largement supérieure aux pores des électrodes envisagées, le taux maximum autorisé pour l'écoulement des gaz n'a pas été dépassé. Cette limite maximum avait été fixée à un taux 40 fois inférieur à celui obtenu pour une couche de zircon déposée par projection au plasma (mais sur support céramique poreux) à l'Université de Tsukuba, au Japon.

Les essais de dépôts ont été effectués sous la direction de M. Gruner, sur des installations VPS (Vakuum Plasma Spritzen) de la maison Plasma-Technik-Wohlen, et les mesures effectuées sous la direction de M. Tannenberger, au CSEM-Neuchâtel. Tous les objectifs de la phase exploratoire ayant été atteints, l'étape suivante est à l'étude.

b) Stylique

Structure tubulaire

Bien que la structure plane semble s'imposer de plus en plus, l'OFEN a confié à la maison Westinghouse le soin d'élaborer la **conception préalable d'un générateur de 25 kW** à éléments tubulaires "tout céramique" [8].

L'idée de départ était qu'étant donné l'avance (relative) de cette firme, il serait possible, sans attendre les résultats d'une filiale suisse, d'expérimenter sur un système complet. Cependant, en l'absence d'une offre réaliste de la maison Westinghouse pour la livraison de ce générateur et l'absence de savoir-faire réellement nouveau pour notre industrie, cette étude ne débouchera pas sur une réalisation. Elle offre cependant un point de comparaison des performances (théoriques).

Par ailleurs, ce projet a été accompagné par M. Diethelm, de la maison Sulzer, qui a pu ainsi conforter son propre programme de simulation numérique du bilan énergétique d'un générateur [9] en comparant ses résultats avec ceux de Westinghouse. Ce programme a pu trouver une application dans le projet de stylique "Pégasus".

Structure plane (projet "Pégasus")

Août 1988, M. Bossel, de la maison ABB, avait informé le groupe de travail du lancement du projet Céramel. Ce projet visait, sur la base du savoir-faire de la maison ABB, à la réalisation en 18 mois d'une pile de petite puissance de structure plane-bipolaire innovante, capable d'alimenter une source lumineuse bien visible. Suite aux progrès rapides obtenus dans le cadre du programme de l'OFEN, la maison ABB a proposé cet été à l'OFEN d'étudier la possibilité de réaliser le modèle fonctionnel d'une pile à gaz naturel de 1 kW de conception suisse, le projet "Pégasus" [10]. Cette pile serait basée sur une version particulière du concept Céramel, à savoir une structure hybride bipolaire céramique - métal. Le projet proposé est structuré en 4 phases, à savoir : I) faisabilité, II) fabrication et livraison, III) évaluation par la Confédération, et IV) modèle avancé.

Le mandat de l'OFEN pour la phase I porte en particulier sur :

- la démonstration du principe du générateur Pégasus sur une batterie de 5 éléments en série, devant fournir pendant au moins 100 heures une puissance de 1,5 kWDC/m² pour un flux de gaz d'environ 4 kWPCS/m².
- la preuve de la stabilité structurelle des parties chaudes, sur la base d'au moins 10 cycles en température de 20 à 900°C.
- la mesure de la dégradation de la résistance de contact en atmosphère réductrice et oxydante à 900°C.

Le 11 décembre, Battelle-Genève livrait les 25 premiers éléments semi-finis (électrolyte-cathode). Une semaine plus tard, le Prof. Gauckler, de l'ETHZ, en avait déjà effectué une caractérisation détaillée. Il reste encore à y déposer une anode pour tester les performances en batterie. Les supports céramiques qui eux aussi ont été livrés le 11 décembre n'ont pas encore pu être soumis aux 10 cycles thermiques requis.

Le mandat de l'OFEN n'ayant pu être donné que fin septembre, il fallait attendre que la totalité des objectifs de cette phase exploratoire ne serait pas atteinte le 13 décembre, date de la réunion du groupe de travail. La décision concernant la phase II a donc été remise à début 1990.

Mentionnons encore qu'en date du 4 décembre, le groupe de M. Bossel est parvenu à produire 9,5 Watt-DC à l'aide d'une batterie de 10 éléments (de fabrication étrangère), placée dans un four et alimentée au méthane. La température effective des éléments n'a pas été mesurée, mais la densité de puissance de 0,84 kW/m² est celle que la modélisation numérique prévoit à 800°C. Le 18 décembre finalement, un générateur, composé de 4 batteries de 20 éléments chacune, a produit *sans chauffage auxiliaire* 70 Watt-DC, alimentant trois douzaines d'ampoules 2 W en série: M. Bossel venait de gagner le pari lancé 18 mois plus tôt.

c) Tests et essais

Comme la phase III du projet "Pégasus" prévoit une évaluation du générateur, si les objectifs de la phase I sont atteints, il faudra développer une méthodologie et l'instrumentation nécessaire. Aussi il est envisagé d'implanter l'année prochaine au PSI-Villigen une activité de tests et d'essais. Cette activité s'inscrit parfaitement dans le projet de collaboration internationale proposé par la Suisse [11].

Mentionnons encore ici que dans le cadre de la phase I du projet Pégasus, M. Bossel a développé un mini-banc d'essai, de conception très originale.

4. Collaboration internationale

L'initiative de l'OFEN d'organiser en juillet 1989 un atelier AIE sur la modélisation des piles céramiques a donné une impulsion décisive à la collaboration internationale dans ce domaine. Un projet de recherche, de caractère générique, a pu être défini et devrait être intégré au Programme AIE en matière de piles à combustible avancées. Cependant, suite aux hésitations des USA, l'Accord d'exécution relatif à ce programme n'a pas pu être signé en 1989. L'OFEN a donc proposé de repousser à fin avril 1990 le début du projet sur les piles céramiques. L'OFEN a d'autre part proposé d'assumer la tâche d'"Operating Agent" de ce projet.

L'invitation faite aux partenaires européens de participer au mini-symposium de janvier 1990, et la préparation d'un second workshop AIE sur la modélisation, à Hertenstein, en juin 1990 sont des prestations supplémentaires de la Suisse en vue de renforcer la collaboration internationale.

5. Information

Le groupe de travail et les divers groupes ad hoc d'accompagnement des projets ont permis l'information en continu de tous les milieux concernés par ce programme. Par ailleurs, grâce au service ENET, il suffit dorénavant de taper *ENET# sur le Videotex et de sélectionner le projet n°8990013 pour avoir une version concentrée, mais mise à jour du présent rapport.

6. Références

- [1] W.R. Grove, "On the Combination of Gases by Platinum, P.S. Jan. 1839", *Phil. Mag.* 14 (1839) 129-130, et "On a Gaseous Voltaic Battery", *Phil. Mag.* 21 (1842) 417-420.
- [2] *Proceedings of the IEA Workshop on mathematical modelling*, Charmey, July 2-6, 1989, "Natural Gas Fuelled Solid Oxide Fuel Cells & Systems", OFEN (Sept. 1, 1989).
- [3] U. Bossel & J. Ferguson, "Facts & Figures", OFEN (July 2, 1989)
- [4] R. Gruber, "RA89: Simulation numérique d'une pile céramique au gaz naturel".
- [5] M. Flück, "Courant dans une plaque mince", EPFL (Oct. 24, 1989) "Computation of electric current in a thin plate" EPFL (Dec. 8, 89).
- [6] J.P. Issartel, "RA89: Faisabilité d'une batterie de piles bipolaires par tape-casting"
- [7] H. Gruner, "RA89: Gasdichte Zirkonschichten auf metallischen Trägern"
- [8] S.E. Veyo, "25 kW SOFC Generation System Conceptual Design Report", Westinghouse (May 1989).
- [9] R. Diethelm, "Energiebilanzen mit Programm SOFC", Sulzer (14 Juni, 1989).
- [10] U. Bossel, "RA89: PEGASUS, Funktionsmuster einer netzgekoppelten 1 kW Brennstoffzelle für Erdgasbetrieb mit bipolarer Keramik/Metall-Hybridstruktur".
- [11] Voir [2], page 244.

ELEKTROCHEMIE

Uebersichtsbericht
zum Forschungsprogramm 1989

Programmleiter: O. Haas



Spitzenstromausgleichs-Anlage in Chino

Diese 10 MW-Anlage mit Bleibatterien in Chino, Kalifornien, kann bis 40 MWh speichern. Der AC-AC-Wirkungsgrad beträgt minimal 68%, maximal 73%. Anlagekosten: 1370 \$/kW. Der dezentrale Spitzenstromausgleich mit Batterien könnte in der Schweiz dazu beitragen, dass die elektrische Energie besser genutzt wird und weniger Hochspannungsleitungen gebaut werden müssten.

1. Bedeutung der elektrochemischen Energiespeicherung

Die elektrochemische Energiespeicherung ist heute bereits als Notstromversorgung in vielen Bereichen nicht mehr wegzudenken. Computeranlagen, Spitäler und grosse Hotels sind auf ein schnell einsatzfähiges Backup-System mit Batterien angewiesen. Weitaus die meisten Batterien werden aber immer noch als Starterbatterien in Autos und in der Unterhaltungselektronik eingesetzt. Allein in den USA werden heute pro Jahr für ca. 8 Mia Fr. Batterien hergestellt. Für den Spitzenstromausgleich und das Elektromobil öffnet sich ein neues Anwendungsgebiet. In den USA schätzt man den "Load-Leveling"-Bedarf auf 10 GW und den Spitzenstrombedarf auf 50 GW und hofft, dass anfangs des nächsten Jahrhunderts ca. 10 Mio Elektroautos zur Verbesserung der Luftqualität beitragen werden. Während für den Spitzenstromausgleich die Energie- und Leistungsdichte des Bleiakкумуляtors in vielen Fällen ausreicht (siehe Figur auf Titelseite: 10MW, 40MWh Demonstrationsanlage Chino, Kalifornien), sind diese Kenngrößen für das Elektromobil wesentlich zu tief. Neue leistungsfähigere Batterien und Brennstoffzellen sind für diese Anwendung unumgänglich.

2. Ziel und Stand der Arbeiten 1989

Nachdem ein ausführliches Programm definiert wurde, stand 1989 vor allem der Aufbau eines geeigneten Forscherteams im Vordergrund. Wie aus dem Forschungsprogramm hervorgeht, sollen in den nächsten 2-3 Jahren Grundlagenforschungsarbeiten an neuen Elektrodenmaterialien und Elektrolyten durchgeführt werden. Im Laufe des Jahres konnten insgesamt 15 kleine Forschergruppen aus verschiedenen Forschungslabors zu einem Team mit gemeinsamen Zielen zusammengeschlossen werden.

Im Rahmen des Forschungsschwerpunktes **Leitende Polymere, Redoxpolymere, Membranen, Polyelektrolyte** konnten insgesamt 9 kleinere Verträge abgeschlossen werden. Dazu kommt noch ein vom Nationalfonds finanziertes Projekt, das am Paul Scherrer Institut durchgeführt wird. Bei diesen Projekten geht es einerseits um die **Herstellung** dieser Materialien [2, 8, 9, 12, 13, 14] und andererseits um die **Entwicklung neuer Methoden zur Untersuchung** dieser Materialien ([11, 15] und NF-Projekt 20-5424.87). Dabei stehen besonders die In situ-Methoden wie z.B. elektrochemische Impedanz-Spektroskopie (Uni Bern und PSI), In situ-Rastertunnelmikroskopie (Uni Bern) und die optischen Untersuchungsmethoden (PSI), sowie die Untersuchungen mit der Quartz-Mikrowaage und der "Probe-Beam Deflection"-Methode (PSI) im Vordergrund. Einige dieser Methoden konnten im Verlaufe des Jahres 1989 bereits zur Untersuchung von Polyanilin, poly-1-Hydroxyphenazin und Polyvinylpyridin mit eingebauten anorganischen Redoxzentren eingesetzt werden.

Zum Thema **Elektrodenmaterialien** mit sehr hoher Energiedichte (z.B. Al, Mg, Li) wird bis jetzt ein Projekt [5] unterstützt. Dazu kommt ein am PSI bearbeitetes Projekt, welches vom NEFF (Projekt 382) und PSI **gemeinsam** finanziert wird.

Vier Projekte behandeln das Thema **Elektrokatalyse**. Dabei wird die elektrokatalytische Reduktion von Sauerstoff [2, 6], Stickstoff [7] und Kohlendioxid [6] untersucht.

Das Thema elektrochemische **Modellierung** von Elektrodenprozessen und ganzen elektrochemischen Systemen wird in vier Projekten bearbeitet [3, 4, 10] und ein vom Paul Scherrer Institut selbst finanziertes Projekt).

Die meisten Arbeiten haben erst 1989 begonnen. Fortschrittsberichte über diese Projekte können deshalb erst im nächsten Jahresbericht erfolgen. Die seit längerer Zeit laufenden Arbeiten über die Methanol/Luft-Brennstoffzelle sind im [2] ausführlich beschrieben. Für dieses Projekt ist die Herstellung einer katalysatorbeschichteten, sehr dünnen Palladium/Silber-Membran wichtig. Es gelang im vergangenen Jahr, Palladium und Silber in definierter Zusammensetzung auf einen Messingträger elektrochemisch abzuscheiden. Diese Folie muss nun noch mit Katalysatoren beschichtet werden.

Am PSI wurden erste Versuche mit Aluminium/Sauerstoff-Batterien durchgeführt. Es zeigt sich, dass mit diesem System sehr energiedichte Zellen gebaut werden können. Eine Verbesserung der Energieausbeute ist jedoch noch anzustreben. Hoffnungsvoll sind auch die Arbeiten mit Redox-Polymeren, welche in Zusammenarbeit mit der ETH-Lausanne [8] durchgeführt wurden. Es zeigt sich, dass die Eigenschaften von Polyanilin entscheidend verbessert werden können, wenn das Polymer mit para-Phenylendiamin vernetzt wird.

Neben diesen Projekten gibt es auch in den Programmen **Wasserstoff, Erdgas Brennstoffzellen und Photochemie** Projekte, die in das Gebiet der Elektrochemie hineinragen. Die Programmleitung steht mit diesen Projekten in Kontakt.

3. Information

Damit die einzelnen Forscher von der Arbeit anderer Projekte möglichst viel profitieren können, wird 1990 für jedes Schwerpunktsthema ein Workshop organisiert. In diesen Workshops sollen die erzielten Resultate diskutiert und die zukünftigen Arbeiten koordiniert werden.

Daneben werden von der Programmleitung pro Jahr ein bis zwei Symposien "Elektrochemische Energiespeicherung" organisiert. Das nächste Symposium wird dem Thema Membranen und Separatoren gewidmet sein. Die Einladungen zu diesen Symposien werden jeweils an alle uns bekannten Personen, Firmen und Institute verschickt, die in den letzten Jahren Interesse an der elektrochemischen Energiespeicherung bekundet haben. Den Projektleitern werden auch laufend die wichtigsten Informationen von besuchten Konferenzen zugeschickt.

4. Internationale Kontakte

In der Internationalen Energie-Agentur (IEA) wird ein Projekt über Membranen für Brennstoffzellen und Elektrolyseure in Angriff genommen. In diesem Projekt sind auch die schweizerischen Arbeiten involviert [14]. 1990 wird in Prag ein FECS Workshop stattfinden, an dem der Programmleiter als Delegierter des Schweizerischen Komitees für Chemie teilnehmen wird. Ziel dieses Workshops ist die Verstärkung der europäischen Zusammenarbeit auf dem Gebiet der Elektrochemie. Daneben bestehen auch kleine Austausch- und Zusammenarbeitsprogramme mit dem Pierre Marie Curie Institute, Paris, der Technischen Universität Wien sowie mit dem Lawrence Berkeley Laboratory in Kalifornien, von wo wir auch ständig die neuesten Berichte und Forschungsprogramme des U.S. Department of Energy erhalten.

5. Referenzen

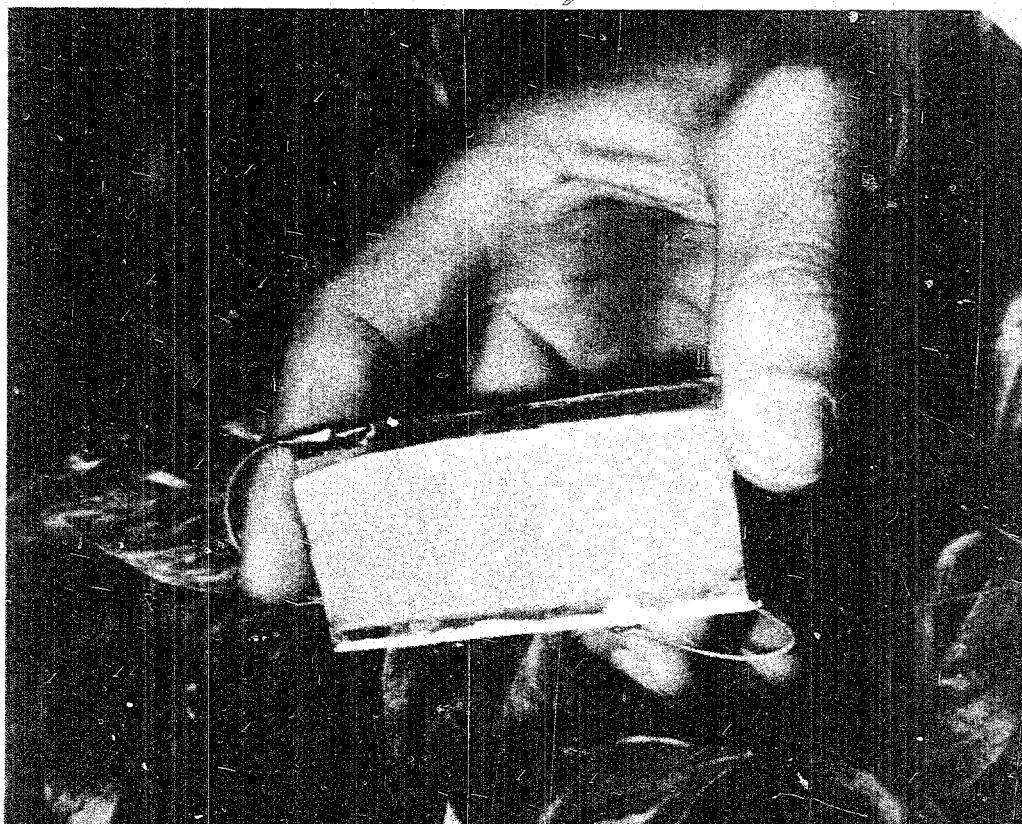
- [1] H. Grüniger, "JB89: *Elektrolytische Kohlendioxidreduktion*".
- [2] W. Richarz, "JB89: *Alkalische Methanol/Luft-Brennstoffzelle*".
- [3] C. Daul, "JB89: *Numerical description of non-stationary processes at polymer-coated electrodes*".
- [4] D. Landolt, "JB89: *Modellierung von elektrochemischen Systemen angewandt auf die Abscheidung und Auflösung von Metallen*".
- [5] F.P. Emmenegger, "JB89: *Beeinflussung des Redoxpotentials von Aluminium in Raumtemperatur-Schmelzen*".
- [6] B. Kräutler, "JB89: *Elektrophile, monomere und dimere Metalloporphyrine als Oberflächenkatalysatoren*".
- [7] J. Augustynski, "JB89: *Fixation de l'azote moléculaire par réduction électrochimique*".
- [8] M. Grätzel, "JB89: *Conductive polymers for rechargeable batteries*".
- [9] C.W. Schläpfer, "JB89: *Polymere als Lösungsmittel in elektrochemischen Zellen*".
- [10] H. Froidevaux, "JB89: *Modélisation d'un réacteur électrochimique et vérification expérimentale*".
- [11] E. Schmidt, "JB89: *Elektrochemische Impedanz-Spektroskopie an stromleitenden und Redox-Polymeren*".

- [12] M. Koudelka, "JB89: *Préparation et caractérisation de catalyseurs dispersés dans des couches des polymères conducteurs*".
- [13] K. Müller, "JB89: *Polymer-Anode für Polymer-Polymer-Batterie*".
- [14] G.G. Scherer, "JB89: *Neuartige Membranen für saure Brennstoffzellen und Wasserelektrolyseure*".
- [15] H. Kiess, "JB89: *Simultanuntersuchungen der optischen Absorption und Voltammogramme von leitenden Polymeren und Redoxpolymeren*".

P H O T O C H I M I E

Rapport de synthèse
sur les travaux de recherche 1989

Chef de programme: J.C. Courvoisier



Cellule photoélectrochimique

Cette cellule à oxyde de titane activée par une couche photochrome a été réalisée par le groupe du Prof. M. Grätzel à l'EPF Lausanne. Leur rendement mesuré était de 5,3% au soleil pour une surface active de 16 cm².

1. Introduction

Le but général des travaux du groupe Photochimie est de découvrir une ou des méthodes permettant de transformer l'énergie solaire en énergie chimique permettant un stockage d'assez longue durée (plus de six mois au moins). Les plantes accomplissent cette transformation, mais le rendement de substance chimique produite est très faible (environ 0,1%). De plus les molécules végétales sont très complexes et les substances synthétisées naturellement peuvent avoir des usages plus nobles que la simple combustion pour fournir de la chaleur. La photochimie est une discipline jeune, son domaine est très vaste; et la connaissance y est encore très incomplète.

Notre but est de trouver une ou des voies, susceptibles de développement industriel ultérieur, permettant, à partir de matière première abondante et bon marché et d'énergie solaire, de produire des substances chimiques facilement stockables et susceptibles de restituer l'énergie emmagasinée sans polluer l'environnement (dans toute la mesure du possible), à un coût économiquement acceptable. Nous nous concentrons, en conséquence, sur l'hydrolyse de l'eau pour la production d'hydrogène, sur la réduction du CO_2 pour obtenir le méthanol par exemple et sur la fixation de l'azote atmosphérique aboutissant par exemple à la synthèse de l'ammoniac.

2. Travaux en cours en 1989

Ecole Polytechnique Fédérale de Zürich

Le Dr. H. Von Känel, chef de projet, vise à la décomposition de l'eau par absorption de la lumière dans un semi-conducteur spécifique (ZnP_2 ou SnZnP_2) où un potentiel électrique est produit sous l'influence de la lumière à partir duquel la décomposition de l'eau en hydrogène et oxygène est réalisée. Le problème à résoudre consiste à protéger les surfaces des électrodes en semi-conducteur de telle sorte qu'elles ne soient pas attaquées par l'oxygène et/ou l'hydrogène produits. Il s'agissait, cette année, d'améliorer l'activité catalytique d'une couche de platine déposée sur le semi-conducteur et d'étudier les conditions de dépôt d'une couche protectrice de ces surfaces par une substance à la fois électriquement conductrice et transparente à la lumière solaire (SnO_2) [1].

Université de Berne

Le Prof. G. Calzaferri s'efforce de réaliser la photolyse de l'eau et la réduction du CO_2 en capturant la lumière dans des flots microscopiques d'argent enclos dans une "cage" céramique (zéolithe). Ces structures ainsi chargées en énergie sont capables de libérer l'oxygène composant l'eau, comme cela a été démontré par le groupe de Berne. La libération d'hydrogène, d'autre part, est réalisable à partir de complexes moléculaires de rhénium entre autres. L'objectif de cette année était d'approfondir la connaissance des phénomènes élémentaires en vue de coupler organiquement les deux parts de la réaction (libération d'oxygène et d'hydrogène) et éventuellement d'utiliser l'hydrogène pour réduire le CO_2 en CO [2].

Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne

Le Prof. M. Grätzel a pour objectif de réaliser un prototype de laboratoire de batterie photo-électrochimique d'un rendement de conversion de l'énergie solaire en énergie électrique de 8 à 10%, au moyen d'un absorbeur en TiO_2 dont la surface est sensibilisée par une couche adéquate jouant le rôle d'anode, la contre-électrode étant constituée d'un verre conducteur chargé d'un catalyseur, ou de carbone vitreux. Le but du travail en 1989 était d'approfondir et d'étendre la connaissance des couches chromophores déposées sur le TiO_2 , d'en déterminer la stabilité chimique, de maîtriser les conditions de dépôt du TiO_2 de grande surface spécifique sur des substrats transparents conducteurs et de définir les axes de recherches à suivre en 1990 afin d'améliorer dans toute la mesure du possible le rendement du système [3].

Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne

Sous la direction du Prof. M. Grätzel et du Dr. A.J. McEvoy, Mr C. Revilliod conduit un travail de doctorat intitulé "Réactions photocatalytiques sur des surfaces actives de semi-conducteurs". Cette recherche vise à élucider les paramètres cinétiques de diverses réactions chimiques sous l'influence

d'une irradiation de lumière concentrée. Le but du travail en 1989 consistait en une étude détaillée de la réaction de l'hydrogène avec le CO_2 pour produire du méthane et une expérience préliminaire en vue de conduire ultérieurement la décomposition photocatalytique de substances polluantes telles que le chlorobenzène et le toluène [4].

Université de Genève

Le Prof. J. Augustynski a soumis une proposition acceptée en fin d'année 1989 visant à réaliser la réduction du CO_2 par électrolyse assistée d'irradiation par un flux de photons visibles et ultra-violet.

3. Résultats obtenus en 1989

Dans l'ensemble, les résultats des groupes impliqués dans le programme de photochimie ont été conformes aux plans qui avaient été proposés. Comme il faut s'y attendre dans un domaine de recherche avancé, pour ne pas dire fondamental, où les incertitudes scientifiques se compliquent de problèmes technologiques, les progrès ne sont pas monotones, certains sujets progressent pendant la période envisagée de façon spectaculaire, alors que d'autres exigent momentanément un effort soutenu pour un progrès moins visible mais nécessaire pour le succès final de l'effort.

A Zürich, le dépôt de couches conductrices transparentes sur les substrats semi-conducteurs ZnP_2 et SnZnP_2 est bien contrôlé, il reste toutefois à maîtriser la jonction Shottky de surface, c'est-à-dire les conditions d'interface couche-d'oxyde/semi-conducteur.

L'étude des conditions de corrosion des semi-conducteurs sous forme de poudre a été entreprise, y compris celle du rôle du catalyseur qui devrait réduire, voire supprimer, cette réaction parasite.

A Berne, le concept devant mener à la photolyse de l'eau et à la réduction du CO_2 a été développé, particulièrement en vue de supprimer la réaction parasite de désactivation des composés excités par la lumière. Le travail a mené à la conception d'une sorte de membrane séparant les deux parties de la réaction, production d'oxygène d'un côté et réduction de l'ion hydrogène de l'autre. Le problème est bien posé et les conditions que la membrane doit remplir ne semblent pas hors de portée. Le groupe est prêt à attaquer l'étape décisive, mais aussi très difficile, du programme qui consiste à coupler chimiquement les deux parties de la réaction (libération d'oxygène d'une part et d'hydrogène de l'autre). Les méthodes spectroscopiques d'analyse des phénomènes impliqués, notamment aux limites entre phases ont été mises au point et serviront à la compréhension des expériences. Enfin, un concept a été proposé de photolyse de l'eau à partir de cellules photovoltaïques connectées en série. Cette voie pourrait faire l'objet d'un développement par un groupe spécialisé dans la technologie des cellules au silicium.

A Lausanne, le travail d'approfondissement des résultats obtenus précédemment sur les couches de TiO_2 activées en surface par des composés photosensibles a fait des grands progrès. La stabilité chimique des couches photochromes a été établie, ce qui est essentiel pour la conception d'un développement pratique. La maîtrise des conditions de réalisation de couches reproductibles de grande surface spécifique de TiO_2 a été acquise; on a pu également déposer ces couches sur des électrodes transparentes, permettant ainsi un éclairage de la cellule par l'extérieur. Enfin le rendement a été porté à 5,3%. Les conditions à remplir pour augmenter ce rendement jusqu'à 8-10% ont été définies et montrent que l'objectif n'est pas hors de portée. Il faut dès maintenant envisager ce que pourrait être un programme de développement conduisant à la production industrielle d'une cellule bon marché. La technique de fabrication des dispositifs à cristaux liquides doit vraisemblablement s'adapter à une telle production et permettre des progrès rapides. La recherche en vue de mettre en évidence l'influence de la lumière sur la méthanation du CO_2 et la décomposition photocatalytique du chlorobenzène et du toluène a progressé de façon satisfaisante. Cette décomposition est particulièrement intéressante pour la destruction de déchets polluants sans formation de composés indésirables. Les résultats obtenus cette année sont encourageants et justifient la poursuite des travaux en 1990.

A Genève, le travail n'a commencé qu'à la fin de l'année en cours et a consisté en préparation du système d'expérimentation et en synthèse de certains composés photo-électro-catalytiques qui feront l'objet de la recherche proprement dite.

4. Collaboration internationale

Tous les travaux entrepris dans le programme Photochimie le sont dans le cadre d'un échange scientifique actif avec la communauté internationale. Cela a été particulièrement manifeste lors du "Workshop" organisé par le Prof. Calzaferri, président de la section suisse de l'European Photochemistry Association à Adelboden du 2 au 4 octobre 1989. Des représentants des groupes actifs dans les mêmes domaines que ceux qui sont traités dans notre programme Photochimie se sont retrouvés dans l'Oberland Bernois venant d'Allemagne, d'Italie, d'Angleterre, d'Irak et de Suisse (une rencontre semblable avait eu lieu à Berne avec les chercheurs français en 1988). De plus, les responsables des recherches décrites dans ce rapport jouissent d'une notoriété internationale ce qui leur vaut d'être invités à de nombreuses manifestations, congrès, conférences, etc. aussi bien en Europe qu'aux Etats Unis ou au Japon.

Quatorze publications sont apparues en 1989 sur les travaux du programme et six autres sont soumises ou sont en cours de publication.

5. Références

- [1] H. von Känel, "RA89: *Entwicklung polykristalliner Elektroden für die Photoelektrolyse vom Wasser*".
- [2] G. Calzaferri, "RA89: *Photochemische und Photoelektrochemische Umwandlung und Speicherung von Sonnenenergie*".
- [3] M. Grätzel, "RA89: *Conversion d'énergie solaire par des piles photoélectrochimique régénératrices et par des systèmes photocatalytiques*".
- [4] M. Grätzel, "RA89: *Réactions photochimiques sur des surfaces activées de semi-conducteurs*".

6. Conclusion

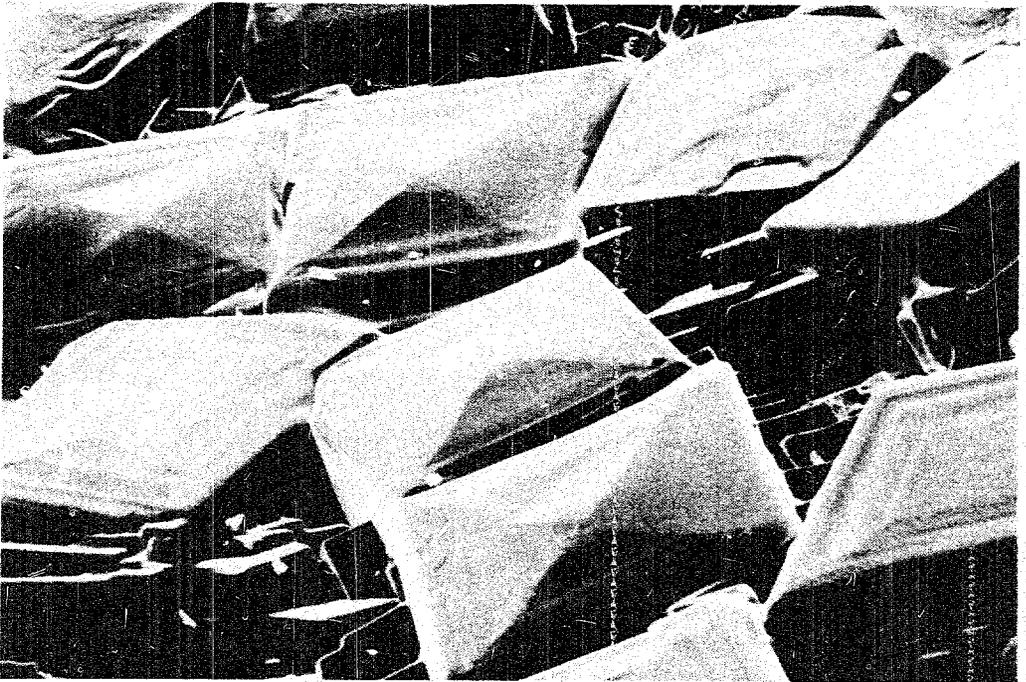
Il ne faut pas se cacher que le programme Photochimie est ambitieux. Toutefois l'enjeu du stockage prolongé (stockage saisonnier au moins) est d'une importance telle que l'effort consenti est amplement justifié. Mais, pour atteindre les objectifs que nous nous sommes fixés, il faut beaucoup de compétence scientifique, de créativité et de persévérance. Ces qualités sont réunies dans les équipes qui participent au programme. Il est normal que certaines recherches atteignent des résultats spectaculaires tandis que d'autres réunissent soigneusement les conditions qui leur permettront, l'an prochain ou l'année suivante, de franchir une nouvelle étape décisive.

Nous ne perdons pas de vue que le programme ne pourra pas être qualifié de succès tant que des applications pratiques n'auront pas vu le jour. C'est pourquoi, dès que les résultats le permettent, c'est le cas pour une des lignes poursuivie, nous nous efforçons de prévoir ce qui pourrait être un effort de développement, quelles sont les conditions à remplir pour l'aborder et qui sont les partenaires qui pourraient être amenés à y participer. Relevons enfin le très bon niveau de collaboration atteint entre les participants au programme.

T H E R M O C H E M I E

Ueberblicksbericht
zum Forschungsprogramm 1989

Programmleiter: A. Reller



Aluminiumoxid

Rasterelektronenmikroskopische Aufnahme von im Sonnenofen des PSI aufgeschmolzenem und rekristallisiertem Aluminiumoxid ($T_m = 2045^\circ\text{C}$). Aufnahme von R. Widmer (PSI/RCA).

1. Stand der Aktivitäten in der Schweiz

Die Erarbeitung der Grundlagen des Zusammenwirkens von Thermochemie und Photochemie bei hohen Temperaturen stellt ein zentrales Anliegen der Forschungstätigkeiten auf dem Gebiet der chemischen Speicherung von qualitativ hochstehender Sonnenenergie (geringe Entropiedichte) dar.

Theoretische Studien

An der Universität Basel wurden in Zusammenarbeit mit dem PSI quantenchemische Berechnungen an zweiatomigen Modellverbindungen (Moleküle wie LiH, etc.) durchgeführt [2]. Die Resultate lassen darauf schliessen, dass bei Dissoziationsvorgängen von Verbindungen mit relativ tiefliegenden elektronischen Zuständen neben thermischen beträchtliche, durch photochemische Mechanismen induzierte, energetische Beiträge zu erwarten sind. Die Berechnungen sollen nun auf dreiatomige Moleküle erweitert werden. Inwiefern die zu erwartenden Resultate für reale Prozesse wie die Reduktion von Metalloxiden im Sonnenofen etc. relevant sind, muss in Korrelation mit den zur Zeit laufenden experimentellen Studien abgeklärt werden.

Experimentelle Studien

Die experimentellen Studien umfassen einerseits die Konstruktion und den Betrieb von Reaktor- und Speichersystemen, in denen unter hohem thermischem und Photonen-Flux chemische Umsetzungen kontrolliert durchgeführt werden können oder aber Energie durch direkte Absorption gespeichert werden kann, andererseits die Spezifikation und Charakterisierung von Prozessen, die eine chemische Speicherung von Sonnenenergie in einem Primärschritt und/oder in Folgeschritten erlaubt, sowie von Speichermaterialien zur direkten Absorption von Sonnenenergie.

Am PSI wurden im vergangenen Jahr Messungen der absoluten Intensitätsverteilung der Sonnenstrahlung durchgeführt [3]. Diese Arbeiten haben zum Ziel, unter Verwendung eines Bildverarbeitungssystems die Winkelverteilung der Sonnenstrahlung über längere Zeit zu erfassen und das monatliche Potential der konzentrierbaren Strahlung im Mittelland und in den Alpen abzuschätzen. Für den Betrieb des Sonnenofens unabdingbare simultane radiometrische Messungen der Bestrahlungsstärke und der Temperatur wurden durchgeführt. Es zeigte sich, dass für die Durchführung von thermo/photochemischen Umsetzungen das Absorptions- bzw. Emissionsverhalten der eingesetzten Materialien von sehr grosser Bedeutung sein wird. In einem an der Uni Basel laufenden Projekt wird das Absorptionsvermögen im Bereich des Sonnenspektrums sowie das Emissionsvermögen im infraroten Bereich von Absorptionsschichten optimiert [4]. Ziel dieser Tätigkeiten ist, einerseits Schichten mit günstigen optischen Eigenschaften bei den in Receiversystemen vorgesehenen Arbeitstemperaturen zu erzeugen, andererseits deren thermische und chemische Stabilität sowie deren mechanische Haftung zu optimieren. Die Resultate sollen die Entwicklung von optisch selektiven Schichten für Anwendungen in der Hochtemperatur-Solartechnologie erlauben. Im vergangenen Jahr wurde die Apparatur zur Abscheidung derartiger Schichten mittels Sputter-Verfahren und Plasma unterstützter CVD (chemical vapor deposition) aufgebaut und in Betrieb genommen.

Ebenfalls am PSI wurde die Entwicklung von Solarreaktoren zur chemischen Umwandlung pulverförmiger Stoffe in einem Strahlungsfeld hoher Leistungsdichte weiterverfolgt [5]. Die Infrastruktur, d.h. die Inbetriebnahme und Justierung des Parabolkonzentrators konnte soweit vorangetrieben werden, dass während einiger Monate erfolgreich experimentiert werden konnte, d.h. chemische Testreaktionen bezüglich Temperaturabhängigkeit und Mechanismus charakterisiert werden konnten. Die zusammen mit dem Anorganisch-chemischen Institut der Uni Zürich erarbeiteten Resultate der Untersuchungen an festkörperchemischen Umwandlungen zeigten, dass in der genannten Anlage Temperaturen in der Grössenordnung von 2000°C erreicht werden (Schmelzen von Aluminiumoxid). Wie schon in früheren Berichten erwähnt, stellen sich unter diesen Bedingungen sehr grosse materialspezifische Probleme (Stabilität von Tiegeln, Receivermaterialien, etc.). Die hohe Energiedichte erlaubt jedoch, Synthesen von z.B. keramischen Werkstoffen bei sehr hohen

Temperaturen in vergleichsweise sehr kurzen Zeiten durchzuführen, was einer Erweiterung des Potentials dieses Sonnenofens gleichkommt.

In einem weiteren am PSI laufenden Projekt wurden Materialien bezüglich ihrer Eignung als Wärmespeicher bei hohen Temperaturen in Schütttspeichern charakterisiert [6]. Auch hier stellten sich materialtechnische Probleme. Trotzdem konnten die Konstruktion von verbesserten Schütttspeichern sowie die Spezifizierung von verwendbaren Speichermaterialien vorangetrieben werden. Ein Speicherexperiment in grösserem Massstab wird angestrebt (evt. Grosseperiment in internationaler Zusammenarbeit).

Während die genannten Projekte vor allem der Konzentration und Speicherung bzw. direkten Umwandlung von Sonnenenergie gewidmet sind, laufen zurzeit weitere Arbeiten, die zum Ziel haben, in etwas niedrigeren Temperaturbereichen chemische Prozesse kontrolliert ablaufen zu lassen. Auch hier wird einerseits die "Hardware" in Form eines Reaktors mit katalytisch aktiven Beschichtungen entwickelt (Privatindustrie) [1], andererseits die heterogen-katalytisch aktiven Grundlagen für eine optimale Prozessführung erarbeitet (Technische Chemie, ETH Zürich) [7]. Als Prozess steht die Reduktion von Kohlendioxid mit Wasserstoff zu Methanol im Zentrum. Da die obengenannten Hochtemperatur-Prozesse einerseits durch das Brennen von Kalk den für die Zementindustrie wichtigen Grundstoff CaO sowie Kohlendioxid als gasförmiges Produkt liefern, andererseits mittels heterogener Festkörperreaktionen Wasser in Wasserstoff und Sauerstoff gespalten werden soll (unter Beteiligung reversibler Redoxprozesse von Metalloxiden), sind diese Tieftemperaturprozesse komplementär sowie energetisch und ökologisch erwünscht.

2. Planung / Ausblick

Für das Jahr 1990 sind folgende Aktivitäten geplant:

Die theoretischen Studien betreffend des Zusammenwirkens von Photochemie und Thermochemie sollen anhand von quantenchemischen Berechnungen an dreiatomigen Molekülen weitergetrieben werden. Darüberhinaus wird am Anorganisch-chemischen Institut der Universität Zürich in den ersten Monaten 1990 eine kombinierte Anlage bestehend aus einem Thermoanalysegerät und einer Lichtquelle (Xenon-Lampensystem, 1 kW Leistung aufgebaut, die es erlauben soll, den Einfluss eines Photonen-Flux auf ausgewählte Festkörperreaktionen zu überprüfen.

Anhand von thermodynamischen Berechnungen (insbesondere Phasenanalyse) soll die Evaluation der im Sonnenofen durchführbaren bzw. durchzuführenden Prozesse (vor allem photo- und thermochemisch induzierte Redoxprozesse von Metalloxiden) unterstützt werden. Es ist vorgesehen, diese Untersuchungen in internationaler Zusammenarbeit mit in der IEA laufenden Projekten anzugehen.

Die Steuerung und der Betrieb des Konzentratoren-/Receiversystems am PSI sollen optimiert werden, sodass unter den gegebenen meteorologischen Voraussetzungen Serien von Experimenten ausgeführt werden können. Dies beinhaltet auch den Einsatz von Reaktorsystemen, die eine kontinuierliche Prozessführung erlauben.

Die Entwicklung von geschlossenen Reaktorsystemen soll an die Hand genommen werden. Derartige Systeme erlauben es, in mittleren Temperaturbereichen unter definierter, z.B. inerte Gasatmosphäre zu arbeiten, oder aber die während eines Prozesses entstehenden gasförmigen Produkte für eine eventuelle Weiterverwendung zu gewinnen (z.B. CO₂ aus der Zersetzung von Kalk) und in einem gekoppelten Reaktorsystem katalytisch umzusetzen.

Ein Schwerpunkt der (organisatorischen) Tätigkeiten soll die Koordination derjenigen Projekte bilden, die der Erzeugung bzw. Rückgewinnung von CO₂ und der anschliessenden Umsetzung in verwendbare Kohlenstoffverbindungen wie Methanol gewidmet sind.

3. Praxisbezug / Technische Anwendungen

Die im Programm Thermochemie zusammengefassten Projekte sind erst seit vergleichsweise kurzer Zeit in Bearbeitung. Trotzdem ist zu erwarten, dass neben generellen Fortschritten bezüglich der chemischen Speicherung von Sonnenenergie "Nebenprodukte" anfallen, die für anderweitige technische Anwendungen von Bedeutung sein können. Es sei an dieser Stellen insbesondere erwähnt.

- Optisch selektiv absorbierende dünne Schichten
- Reaktortechnische und -betriebliche Entwicklungen
- Selektive Katalysatoren für die Reduktion von CO₂
- Materialwissenschaftliche Entwicklungen, Hochtemperatur- Keramik.

4. Umsetzung / Information

Die Resultate aus den Tätigkeiten der laufenden Projekte sind in den Jahresberichten sowie aus Publikationen in Fachzeitschriften einsehbar.

Im kommenden Frühling wird ein Informationsaustausch zwischen den am Programm Thermochemie Beteiligten in Form eines Workshops an der Universität Zürich-Irchel organisiert. Diese Zusammenkunft soll vor allem auch der Koordination der verschiedenen Tätigkeiten und des Ausarbeitens weiterer Zielsetzungen dienen.

Ebenfalls für den kommenden Frühling ist eine Sitzung geplant, in der alle am CO₂-Problem arbeitenden Gruppen vertreten sein sollen. Ziel soll sein, die Aktivitäten auf diesem Gebiet forschungsmässig und finanziell (Zuordnung der Projekte zu den Programmen) optimal zu koordinieren.

5. Internationale Kontakte

Die zur Zeit laufenden Arbeiten des Programms Thermochemie sind mit den Aktivitäten von ausländischen Gruppen sowie mit den Programmen der IEA (International Energy Agency) koordiniert. Diese Koordination umfasst einerseits einen regen Gedankenaustausch, andererseits direkte Zusammenarbeit insbesondere mit der DLR (Deutsche Forschungsanstalt für Luft- und Raumfahrt), den Sandia National Laboratories (USA) sowie den Gruppen von Prof. A. Hunt, LLB, Berkeley, USA und Prof. E. Rosen, Universität Umea, Schweden.

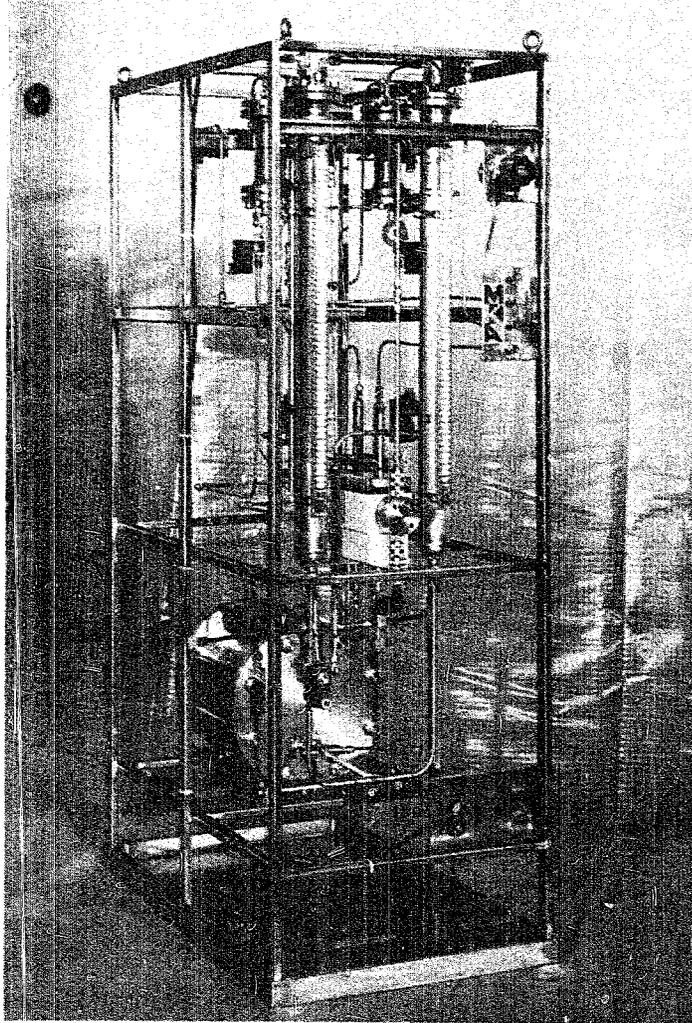
6. Referenzen

- [1] M. Posnansky/P. Brunner, "JB89: Grundlagen für die Konzeption und den Bau von Strahlungsreaktoren für thermochemische Prozesse".
- [2] H. Ries, "JB89: Thermo-/Photochemische Reaktionen zur chemischen Speicherung konzentrierter Solarstrahlung bei hohen Temperaturen".
- [3] M. Schubnell, "JB89: Messungen der Intensitätsverteilung der Sonnenstrahlung in dem für Konzentratoren wesentlichen Winkelbereich (Sunshape)".
- [4] P. Oelhafen, "JB89: Selektive Schichten in der Hochtemperatursolartechnologie".
- [5] J. Keller/A. Imhof, "JB89: Solarreaktoren zur chemischen Umwandlung pulverförmiger Stoffe in einem Strahlungsfeld hoher Leistungsdichte".
- [6] J. Keller/D. Wuillemin, "JB89: Speicherung solarer Hochtemperaturwärme".
- [7] A. Baiker, "JB89: Katalytische Synthese von Methanol ausgehend von mineralischen Kohlendioxid-Quellen".

W A S S E R S T O F F

Ueberblicksbericht
zum Forschungsprogramm 1989

Programmleiter: Th. H. Schucan



The hydrogen generator constructed for the solarmobile project

Hydrogen unit based on Metkon Alyzer (R) water electrolysis cells designed for 30 bar operation. The electrolysis cell module is located in the lower part of an open stainless steel structure holding all the equipment dealing with the process operation and control. In particular the two vertical vessels provided with liquid level indicator separate the electrolyte respectively from hydrogen and oxygen. Two gas filters are located behind the vessels and the demineralized water feeding pump between the vessels.

1. Anvisierte Zielpunkte für 1989

Die Hauptziele für das Programm Wasserstoff im Jahre 1989 waren:

- die Formulierung eines kohärenten, auf die Bedürfnisse der Schweiz ausgerichteten Energie-Forschungsprogramms Wasserstoff,
- die Auswahl der ins Programm aufzunehmenden Projekte,
- Start und Begleitung der ausgewählten Projekte,
- Verhandlungen über künftig aufzunehmende Projekte.

Der Wasserstoff verdankt seine prominente Rolle in der Diskussion über Energieversorgungssysteme der Zukunft vor allem der Tatsache, dass er ein chemischer Sekundärenergieträger ist, welcher einerseits aus praktisch allen bekannten Primärenergieträgern herstellbar und andererseits für eine grosse Vielfalt von Anwendungen nutzbar ist. Die Herstellung, die Nutzung und als Bindeglied die Speicherung (inkl. Transport) sind deshalb die drei Hauptgebiete für die Forschungs- und Entwicklungsarbeiten im Gebiet der Wasserstoff-Technologie. Davon ausgehend wurden für das Schweizerische Energieforschungsprogramm Wasserstoff die folgenden drei Schwerpunkte gesetzt:

- Die Entwicklung von **Hochdruck-Elektrolyseuren** bis zur Demonstrationsreife,
- Die Weiterentwicklung der drei verschiedenen Speichermethoden (Bindung in festen metallischen oder in flüssigen organischen Hydriden, oder **Speicherung** als tiefgekühlter Flüssigwasserstoff),
- Die Weiterentwicklung von **Gesamtsystemen** (d.h. von Systemen, in welchen Erzeugung, Speicherung und Nutzung aufeinander abgestimmt sind) in Zusammenarbeit zwischen Industrie und Hochschulen unter Berücksichtigung der für die Schweiz spezifischen Erfordernisse.

Summarisch wurden für 1989 folgende Ziele für die drei Schwerpunktsbereiche gesetzt:

Im Schwerpunkt **Hochdruck-Elektrolyseuren** sollten zwei verschiedene Schweizer Firmen mit den Projektarbeiten zur Entwicklung von Elektrolyseuren (d.h. Anlagen zur Erzeugung von Wasserstoff aus Wasser mit Hilfe von elektrischem Strom) beginnen, bei welchen der Wasserstoff unter einem Druck von 30 bar (oder höher) erzeugt wird. Dadurch wird die energetische Gesamteffizienz deutlich verbessert und die Gesamtsysteme in der Regel vereinfacht. Die beiden Projekte sollten Ende 1989 gestartet werden und im Laufe des Jahres 1990 zu ersten Resultaten führen.

Im Schwerpunkt **Speicherung** steht die Untersuchung der Möglichkeit einer Metallhydrid-Elektrode im Vordergrund. Eine solche Elektrode könnte die Grundlage bilden für die Konstruktion einer wiederaufladbaren Nickel-Hydrid-Batterie. Diese wiederum könnte die heute wegen ihrer Giftigkeit unter Beschuss geratenen Nickel-Cadmium-Batterien ersetzen. In zwei Forschungsinstituten war die Aufnahme diesbezüglicher Projektarbeiten geplant mit der Auflage, jeweils nach einem Jahr auch industrielle Partner zur Beteiligung an den Projekten zu motivieren.

Die Aufnahme von zwei Projekten zur Speicherung von Wasserstoff in festen metallischen Hydriden (mit dem Ziel, einen höheren gewichtsbezogenen Wasserstoff-Gehalt zu erreichen) bzw. in der Form von tiefgekühlter Flüssigkeit (mit dem Ziel, den beträchtlichen, für die Verflüssigung benötigten Energieaufwand besser auszunützen oder zu vermindern) war vorgesehen, um auch auf diesen beiden Gebieten den Anschluss an die internationalen Aktivitäten sicherzustellen.

Das Konzept der Speicherung von Wasserstoff in der Form von flüssigen organischen Hydriden (Methylzyklohexan-Toluol-Zyklus, MTH) ist weitgehend in der Schweiz entwickelt worden. Es ist gegenüber den anderen Methoden vor allem für die Langzeit-Speicherung geeignet. Die Weiterentwicklung der entsprechenden Speichertechnik im engeren Sinne war innerhalb dieses Schwerpunktsbereichs vorgesehen, während die Realisierung des Gesamtkonzepts dem dritten Bereich zuzuordnen ist.

Im Schwerpunkt **Gesamtsysteme** bestand in Vorbereitung und Beginn der Durchführung von drei Wasserstoff-Energie-Nutzungs-Systemen verschiedener Art und Grösse. In einem Vorprojekt sollte abgeklärt werden, ob eine kleine dezentrale Demonstrationsanlage im Leistungsbereich von einigen Kilowatt in der Schweiz ein sinnvolles Pilot-Projekt ist. Die beiden 1989 begonnenen Projekte betreffen die Nutzung von Wasserstoff im Verkehr. Im einen wird ein Wasserstoff-Solarmobil entwickelt. Dies ist so zu verstehen, dass in einer stationären, aber transportierbaren Elektrolyse-Station Wasserstoff mit Hilfe von solar erzeugtem Strom hergestellt und in Druckspeicher abgefüllt wird, um anschliessend zum Antrieb eines Solarmobils genutzt zu werden. Im zweiten wird untersucht, wie sich die Schweiz am internationalen Euro-Quebec-Hydro-Hydrogen Pilot Project EQHHP mit einem Schweizer Teilprojekt beteiligen kann, in welchem der Wasserstoff-Antrieb von fünf Autobussen in einer Schweizer Stadt demonstriert wird.

2. Durchgeführte Arbeiten und erreichte Ergebnisse 1989

Das schweizerische Energieforschungsprogramm Wasserstoff wurde zu Beginn des Jahres 1989 im Detail ausgearbeitet. Nach einer Vorselektion wurden am 5. April 12 Vorschläge für Einzelprojekte präsentiert. In Absprache mit dem Expertenkreis wurden 9 zur Ausführung angenommen, 1 zur Überarbeitung empfohlen und 2 abgelehnt. In allen drei Schwerpunktbereichen wurden im Laufe des Jahres Projekte begonnen. Die wichtigsten der 1989 durchgeführten Arbeiten und die erreichten Resultate werden hier nach Schwerpunkten geordnet zusammengestellt:

Hochdruck-Elektrolyseure

Von der Firma Metkon, Mendrisio wird untersucht, wie die von ihr entwickelten und patentierten **Alyzer-Elektrolyse-Zellen** mechanisch verstärkt werden müssen, damit sie Wasserstoff bei einem Druck von 30 bar erzeugen können. 1989 wurde die theoretische Modellierung durchgeführt und die mechanische Prüfungsprozedur vorbereitet. Für alle betrachteten Zellengrössen konnte errechnet werden, dass die benötigte Druckfestigkeit mit vernünftigen Dicken der Strukturverstärkung erreicht werden kann [5]. Diese Resultate können anfang 1990 der experimentellen Überprüfung und der Kontrolle durch die Genehmigungsbehörde unterworfen werden.

Auf ein parallel durch die Firma ABB, Baden durchzuführendes Projekt musste unmittelbar vor Vertragsabschluss verzichtet werden, weil die Firma auf Ende 1989 nach 90-jähriger erfolgreicher Tätigkeit leider alle Aktivitäten im Bereich der Elektrolyse einstellt.

In einem vom Nationaler Energie-Forschungs-Fonds, NEFF, unterstützten Projekt hat die ABB im Laufe des Berichtsjahres den Test eines Membrel-Elektrolyseurs bei simuliertem Solarbetrieb vorbereitet und darüberhinaus an technischen Verbesserungen bzw. Verbilligungen des Elektrolyseurs gearbeitet.

Einige Projekte, die sich mit der direkten Erzeugung von Wasserstoff aus Wasser mit Hilfe von Sonnenlicht (mit photochemischen, photokatalytischen oder photobiologischen Methoden) befassen, sind in den begleitenden Forschungsprogrammen Photochemie und Elektrochemie enthalten.

Speicherung

In drei Projekten (Universität Fribourg [1], Genève [3] und Institut Battelle-Genève [2]) wurden im Berichtsjahr die Herstellung und Kompaktierung der benötigten Hydrid-Pulver untersucht und Testvorrichtungen für ihre kritischen Eigenschaften gebaut oder vorbereitet. Im Vordergrund standen dabei die Verminderung der an den Elektroden auftretenden Korrosion und die an deren Oberflächen festgestellte Sauerstoff-Bildung. Einige **Metallhydrid-Elektroden** wurden bereits zyklisch getestet, und seit Mitte Oktober läuft eine Kleinbatterie mit einer Lanthan-Nickel-Elektrode. Weitere Untersuchungen mit dem Ziel, leichte und billige Metallhydride zu finden, die sich entsprechend besser

für die Speicherung von Wasserstoff eignen, wurden im Rahmen eines NEFF-Projekts an der Universität Fribourg fortgesetzt.

Wenn in einem System zur energetischen Nutzung von Wasserstoff die Speicherung in Form von Flüssigwasserstoff erfolgt, wird die energetische Gesamteffizienz massgeblich durch den für die Verflüssigung einzusetzenden Energieaufwand beeinflusst (ca. 30-40 % des Energie-Inhalts werden für diesen Zweck zusätzlich benötigt). Detaillierte Erforschung des damit verbundenen Mechanismus der **Ortho-Para-Umwandlung** ist deshalb von besonderem Interesse. In einem Projekt bei der Firma Sulzer, Winterthur wurde deshalb 1989 die Messung der Ortho- und Para-Konzentration verbessert, und ein handelsüblicher Katalysator für die Umwandlung wurde im Detail analysiert [4].

Die am Paul Scherrer Institut in Aussicht genommenen Arbeiten zur weiteren Verbesserung der Effizienz und Selektivität von Dehydrierungs-Katalysatoren im Zusammenhang mit dem vor allem in der Schweiz entwickelten Speicherkonzept (System MTH) konnten im Berichtsjahr nicht aufgenommen werden, weil der dafür benötigte Labor-Raum erst 1990 zur Verfügung stehen wird.

Gesamtsysteme

In diesem Bereich sind 1989 drei Projekte in Angriff genommen oder abgeschlossen worden:

Abgeschlossen wurde das Vorprojekt "**Solare Wasserstoff-Pilotanlage für dezentrale Energiesysteme**". Darin wurde abgeklärt, ob es im heutigen Zeitpunkt sinnvoll und wünschbar ist, in der Schweiz ein kleines solares Wasserstoff-Demonstrationsprojekt (mit einer Leistung von etwa einem Kilowatt) zu realisieren, welches aus einem Solarzellengenerator, einem Elektrolyseur, einem Wasserstoffzwischenpeicher und einer Brennstoffzelle zur Nutzung des gespeicherten Wasserstoffes zusammengesetzt ist. Es erwies sich zwar, dass ein solches System heute machbar ist, aber der Vergleich der Kosten mit dem möglichen Lerneffekt führte dazu, dass es heute nicht konkretisiert wird [8].

Im Projekt **Wasserstoff-Solarmobil** wurden im Berichtsjahr erste Prototypen für die Elektrolyse-Station, den Kompressor und die auf dem Fahrzeug befindlichen Druckspeicher erstellt bzw. angeschafft, und der Motor eines Solarmobils wurde auf Wasserstoff-Antrieb umgerüstet [6].

Im dritten Projekt wurden die technischen und die organisatorischen Randbedingungen für die Schweizer Beteiligung am **Euro-Quebec-Hydro-Hydrogen Pilot Project** ausgearbeitet und festgelegt [7].

Im Rahmen der Förderung von Pilot- und Demonstrations-Projekten im Energiebereich für Bundesbauten wurden im Berichtsjahr zwei Projekte unterstützt, welche auf die praktische Nutzung von Wasserstoff in der Schweiz zielen: In einem Vorprojekt wird untersucht, ob und unter welchen Bedingungen der für die **Wettersonden-Ballone** in Payerne benötigte Wasserstoff mit Hilfe von solar erzeugtem Strom aus Wasser hergestellt werden könnte, anstatt wie bisher aus Gas-Druckflaschen. In einem ersten Schritt wurden von der Elektrowatt Ingenieurunternehmung in Zusammenarbeit mit der Firma ABB die solar- und elektrotechnischen Spezifikationen, ausgehend von gemessenen Einstrahlungsmessungen, untersucht. Es besteht Grund zur Hoffnung, dass dieses Vorprojekt trotz des Ausscheidens der ABB im Laufe des Jahres 1990 weitergeführt werden und in einen konkreten Projektvorschlag ausmünden kann. Das zweite Projekt betrifft die Weiterentwicklung des am Paul Scherrer Institut in Zusammenarbeit mit der ETH Zürich und mit der Privatindustrie entwickelten **Wasserstoff-Lastwagens**. Verbesserung und Vereinfachung wurden hier dadurch erzielt, dass die bisher eingesetzten Flambrenner durch katalytische Verbrennung von Wasserstoff ersetzt werden konnten. Die für das Berichtsjahr vorgesehene Fertigstellung einer neuen Dehydrieranlage für den Betrieb des Lastwagens hat sich leider (aus vorwiegend nicht-technischen Gründen) verzögert. Durch den Einbezug einer neuen schweizerischen Partnerfirma konnte jedoch die Situation Ende des Jahres bereinigt werden.

3. Internationaler Kontext

In der Internationalen Energie-Agentur (IEA) werden zurzeit im Bereich Wasserstoff drei Projekte durchgeführt. In allen drei (Wasserstoffherzeugung, Speicherung, Umwandlung und Sicherheit; technologisch-ökonomische Suche nach kurzfristig relevanten Nischen) ist die Schweiz mit Projekten aus dem oben skizzierten Programm aktiv beteiligt.

Die Arbeiten am heutigen PSI haben wesentlich dazu beigetragen, dass das hier entwickelte Speicherkonzept nach einer gründlichen Evaluierung neben der Speicherung in flüssiger Form im Rahmen eines von der EG initiierten internationalen Demonstrationsprojekts weiterverfolgt wird, in welchem Wasserstoff in Kanada erzeugt und zum Zweck der energetischen Nutzung in Europa über den Atlantik transportiert werden soll. Dementsprechend ist die Schweiz auch zur Teilnahme an diesem Grossprojekt eingeladen worden. Ein wasserstoffbezogenes Projekt ist auch im Rahmen des europäischen Forschungsprogramms EUREKA von der Schweiz (PSI) initiiert worden und in Zusammenarbeit mit der Bundesrepublik Deutschland (Daimler-Benz) zur Durchführung vorgesehen.

Auch im Bereich der Erzeugung von Wasserstoff werden die in der Schweiz stattfindenden Entwicklungen international mit grossem Interesse verfolgt. Beide in diesem Bereich tätigen Firmen haben im Berichtsjahr Elektrolyse-Anlagen ins Ausland verkauft, und die Metkon SA steht in bezug auf ihre Forschungs- und Entwicklungsarbeiten in engem Kontakt und Erfahrungsaustausch mit anderen führenden europäischen Herstellern.

Eine von der Firma Sulzer, Winterthur zusammen mit BOC, Cryoplants gebaute Anlage zur Verflüssigung von Wasserstoff wird derzeit in Kanada installiert. Damit ist die Voraussetzung dafür gegeben, dass die im Forschungsprogramm Wasserstoff erarbeiteten Resultate auch an einer Grossanlage bestätigt oder weiterverbessert werden können.

4. Neue Forschungsarbeiten

Das im Bereich der Erzeugung von Wasserstoff laufende Projekt zur Entwicklung von Hochdruck-Elektrolyseuren kann in sinnvoller Weise ergänzt und erweitert werden durch die Untersuchung der Betriebsmöglichkeit bei höheren Temperaturen. Dies bedingt eine intensive Suche nach besser geeignetem Material für die Konstruktion der Basis-Zellen.

Obwohl die beiden fahrzeugbezogenen Projekte ganz verschiedener Natur sind, zeichnet sich bei beiden ab, dass sich die Verwendung eines Verbrennungsmotors in einem zukünftigen System als begrenzender Faktor auswirken könnte. Es wird deshalb neben Weiterentwicklungs- und Verbesserungsvorschlägen auch abzuklären sein, ob und unter welchen Umständen ein Übergang zu Brennstoffzellen mit Elektromotor oder zu kombinierten Systemen technisch und wirtschaftlich sinnvoll ist.

Neben der oben erwähnten Speicherung von Wasserstoff in flüssigen organischen Hydriden (nach dem System MTH) könnte unter bestimmten Umständen auch die Speicherung in der Form von Methanol für die saisonale Speicherung von Wasserstoff (d.h. von der Erzeugung im Sommer bis zur Nutzung im Winter) in Frage kommen. Dies hängt allerdings davon ab, ob es möglich ist, die verschiedenen Teilschritte so zusammensetzen, dass in der Bilanz des Gesamtsystems keine Emissionen von CO₂ auftreten. Im weiteren ist auch abzuklären, ob eine Anlage zur Synthese von Methanol im kleinen Massstab technisch sinnvoll und ökonomisch vernünftig ist. Eine Reihe von diesbezüglichen Projektvorschlägen für verschiedene Teilschritte wird zurzeit in der Schweiz diskutiert und aufeinander abgestimmt.

5. Referenzen

- [1] L. Schlapbach, "JB89: Metallhydride als Elektroden in Batterien".
- [2] R. Schmitt, "JB89: Metallhydrid-Anode für Nickel-Hydrid-Batterie".

- [3] K. Yvon, "JB89: Synthèse et caractérisation de nouveaux hydrures métalliques ternaires et quaternaires".
- [4] B. Ziegler, "JB89: H_2 Ortho-Para-Konversion".
- [5] G.C. Sioli, "JB89: Zellen für Hochdruckwasserelektrolyse".
- [6] G.C. Sioli, "JB89: Wasserstoff Solarmobil".
- [7] Th. H. Schucan, "JB89: Beteiligung der Schweiz am "Euro-Québec-Hydro-Hydrogen Pilot Project".
- [8] M. Real, "Vorprojekt Solarer Wasserstoff für dezentralen Einsatz in Kleinanlagen", Alpha Real (1989).

ELEKTRIZITÄT

Uebersichtsbericht
zum Forschungsprogramm 1989

Programmleiter: R. Brüniger



Alte Druckleitungen des Kraftwerks Lüen

Moderne Technik in alten Wasserkraftwerken am Beispiel des Kraftwerks Lüen im Schanfigg mit einer installierten Leistung von ca. 4500 kW. Die Erneuerung der Druckleitung im Jahre 1989 hatte eine Produktionssteigerung von 5% bei gleicher Wassermenge zur Folge. Mit der bevorstehenden Teil-Erneuerung des Maschinenparkes wird eine weitere Leistungs- und Produktionssteigerung von 8% - 10% erwartet.

1. Vorbemerkung

Dieses Forschungsprogramm ist noch in Vorbereitung. Es ist vorgesehen, bis Mitte August 1990 ein entsprechendes Forschungskonzept auszuarbeiten.

2. Anvisierte Zielpunkte

Die oberste Zielsetzung des vorliegenden Forschungsprogrammes beinhaltet die Erarbeitung von neuen Erkenntnissen im Bereich **Elektrizität**, um zur langfristigen, rationellen, wirtschaftlichen und umweltgerechten Deckung des Energiebedarfs unserer Gesellschaft beitragen zu können. Die Erarbeitung von Erkenntnissen soll dabei weniger durch Grundlagen- als durch angewandte Forschung vorangetrieben werden. Es ist vorgesehen, schwergewichtig die praxisorientierte Forschung zu intensivieren, um den wichtigen Umsetzungsprozess der Forschungsergebnisse in konkrete Anwendungen zu beschleunigen.

Das Forschungsprogramm Elektrizität umfasst im wesentlichen die Teilgebiete **Erzeugung, Speicherung, Uebertragung, Verteilung und rationelle Anwendung** von elektrischer Energie.

Auf den Gebieten der elektrischen Erzeugung, Uebertragung und Verteilung kann die Anwendung neuer Technologien, speziell unter Einbezug neuer Erkenntnisse im Bereiche der computerunterstützten Steuerung und Regelung sowie der Materialwissenschaften, einen Beitrag zur Verlust-Minimierung und zur Erzeugungs- und Verteilungs-Optimierung leisten.

Den Gebieten der Erzeugung und der Speicherung von elektrischer Energie ist gemeinsam, dass stets eine Energieumwandlung (elektrische Energie in mechanische oder chemische Energie und umgekehrt, Sonnen- und Windenergie in elektrische Energie, etc.) stattfindet. Neue Forschungsprojekte werden sich deshalb nicht nur auf Technologie-Aspekte der Elektrizität konzentrieren. Vielmehr sind auch gebietsübergreifende Gesamtbetrachtungen anzustellen, die unter anderem neue Erkenntnisse auf spezifischen Forschungsgebieten wie z.B. der Solartechnologie oder der Wasserstoff-Technologie miteinbeziehen.

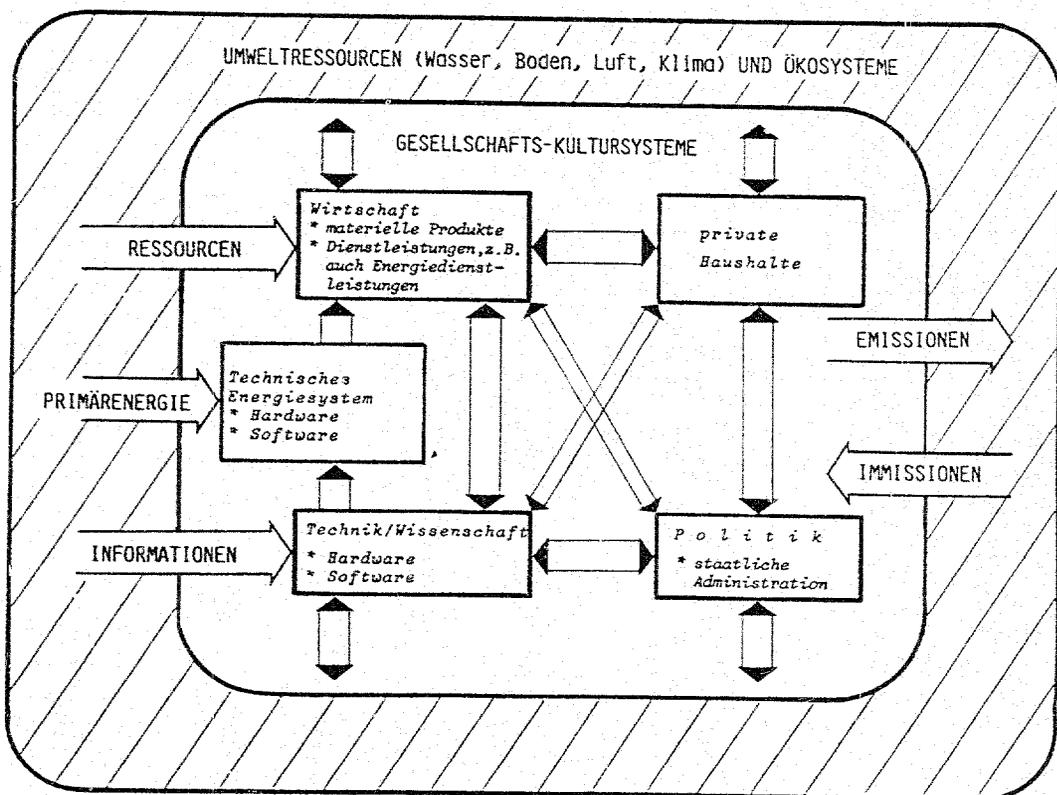
Das Gebiete der Anwendung von elektrischer Energie schliesslich stellt durch die grosse Vielfalt an elektrischen Endgeräten und der äusserst heterogenen Verbraucherstruktur ein vielschichtiges Forschungsfeld dar.

Um das gesamte Forschungsprogramm auf den aktuellen Erkenntnisstand abzustimmen und systematisch voranzutreiben, wird angestrebt, die bis heute durch Industrie sowie öffentliche und private Institutionen (nationale und internationale) erarbeiteten Forschungsergebnisse aufzunehmen. Damit soll sichergestellt werden, dass mit neuen Forschungsprojekten gezielt vorhandene Erkenntnislücken gefüllt werden.

SOZIOÖKONOMIE

Uebersichtsbericht
zum Forschungsprogramm 1989

Programmleiter: M. Renggli



Beziehungsschema einer Sozioökonomischen Umfrage

Quelle: KITec AG, Basel: Delphi-Umfrage über Energieszenarien

1. Forschungsbereiche

Von hoher Priorität ist die Verbesserung der **Datenbeschaffung**. Zu fördern ist die Weiterentwicklung von **Modellen und Methoden**. Daneben verlangen die aktuell dringenden Probleme anwendungsorientierte Forschungen: vor allem braucht es weiterhin **Evaluationen von energiepolitischen Instrumenten und Massnahmen**, Untersuchungen über die **Vollzugs- und Erfolgskontrolle der Energiepolitik** sowie die Klärung von Interdependenzen zwischen der schweizerischen Energiepolitik und Entwicklungen vor allem in den Bereichen **Umwelt, Verkehr und europäischer Integration**.

Wichtig ist, dass in den nächsten Jahren die sozioökonomische Energieforschung verstetigt wird. Dies ist eine Forderung, die bereits in der Folge der früheren Arbeiten erhoben worden ist [1]. Die bisherigen Forschungen waren zeitlich immer begrenzt und standen meistens unter starkem Termindruck. Viele Forschungslücken sind deshalb seit Jahren offengeblieben.

2. Abgeschlossene und für 1990 geplante Arbeiten

Das Forschungsprogramm begann 1989. In der ersten Jahreshälfte wurde ein Konzept entworfen. Mitte Jahr wurde eine Begleitgruppe einberufen, welcher Wirtschafts- und Sozialwissenschaftler sowie ein Vertreter der Kantone angehören. In der zweiten Jahreshälfte konnte mit der Realisierung einzelner Projekt begonnen werden, wobei der Koordination mit andern nationalen und internationalen Vorhaben in diesem Bereich grosse Aufmerksamkeit zukam.

Zur Verbesserung der Datenlage und der Kenntnisse über Wirkungszusammenhänge wurde die ETH Zürich (Forschungsgruppe Energieanalysen des Institutes für elektrische Energieübertragung und Hochspannungstechnik) beauftragt, die Entwicklung der **Elektrizitätsnachfrage im Dienstleistungssektor** der Stadt Zürich zu untersuchen und anhand von Modellen zu erklären. Am Projekt beteiligt sich auch die Elektrizitätswirtschaft. Andere Nachfragebereiche und Energieträger werden ebenfalls noch zu untersuchen sein.

Für die **ökonomischen Energienachfragemodelle** des Centre universitaire d'étude des problèmes de l'énergie, Université de Genève (CUEPE), wurde 1989 eine benutzerfreundliche Software hergestellt. Für 1990 ist geplant, die häufig verwendeten ökonomischen Modelle anhand der neusten Statistiken auf den neusten Stand zu bringen. Die Entwicklung von benutzerfreundlichen **Bottom-up-Modellen** wurde 1989 eingeleitet. Ferner wurde vereinbart, dass die für alle Bottom-up-Modelle benötigten Daten, insbesondere über die energietechnischen Wirkungsgrade von Bauten, Anlagen, Geräten und Fahrzeugen, durch das CUEPE periodisch aufdatiert werden sollen. Für 1990 sind am CUEPE zwei Tagungen vorgesehen, an welchen auch ausserhalb der Universität Genf entstandene Energiemodelle vorgestellt werden sollen. Die Möglichkeiten von Weiterentwicklungen sind bei dieser Gelegenheit zu diskutieren. Für 1990 ist beabsichtigt, einzelne Projekte zur **Evaluation von energiepolitischen Massnahmen** zu konkretisieren. Dasselbe gilt für Arbeiten im Bereich der **Vollzugs- und Erfolgskontrolle**. Eine Pilotstudie im Auftrag der Arbeitsgruppe für Gesetzesevaluation des Bundesamtes für Justiz (AGEVAL) und weitere Untersuchungen, wie beispielsweise jene der Kantone Zürich und Basel-Land über den Vollzug der Energiegesetzgebung, sind die Ausgangsbasis für diese Arbeiten.

Die **Interdependenzen zwischen Energie, Verkehr und Umwelt** sind zur Zeit Gegenstand einer COST-Aktion der Europäischen Gemeinschaften (rationeller Energieeinsatz im interregionalen Verkehr), an welcher sich die Schweiz beteiligt. Interdependenzen im Verkehrssektor werden demnächst aus dem Blickwinkel der Energiepolitik im Rahmen der Internationalen Energieagentur auf Initiative der Schweiz näher untersucht.

Besonders aktuell sind Untersuchungen über die Möglichkeiten und Auswirkungen verschiedener **energiepolitischer Strategien zur Stabilisierung oder Reduktion der Kohlendioxidemissionen**. Zu dieser Frage gibt es bereits eine Reihe von internationalen Studien. Als erster Schritt ist für die Schweiz eine

Aufdatierung bestehender Grundlagen zu dieser Frage vorgesehen, welche 1991 allenfalls zu vertiefen sein werden. Diese Arbeiten sollen vor allem auch der vom Bundesrat im November 1989 eingesetzten interdepartementalen Arbeitsgruppe "Klima" dienen.

Nach Möglichkeit werden 1990 weitere Forschungsthemen aufgegriffen. Die Arbeitskapazitäten für ein wesentlich breiteres Programm sind jedoch sowohl seitens der Programmleitung wie bei den potentiellen Forschern begrenzt, so dass sich die Bildung von Schwerpunkten und ein schrittweises Vorgehen zwangsläufig aufdrängen.

[1] Insbesondere:

- Eidgenössische Kommission für die Gesamtenergiekonzeption (1974-78),
- Nationales Forschungsprogramm 44 (Energie: Sozioökonomische Forschungen im Konsumbereich; 1982-87),
- Expertengruppe Energieszenarien (Möglichkeiten, Voraussetzungen und Konsequenzen eines Ausstiegs der Schweiz aus der Kernenergie; 1987/88)

TECHNOLOGIE-TRANSFER

Uebersichtsbericht
zu den Aktivitäten 1989

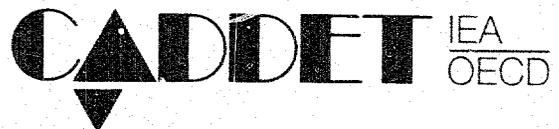
Leitung: J. Gfeller



The logo consists of the letters 'ENET' in a bold, blocky, sans-serif font. The 'E' and 'N' are connected, and the 'T' has a distinctive shape.

*6789#

Bundesamt für Energiewirtschaft



INTERNATIONAL ENERGY AGENCY
ORGANISATION FOR ECONOMIC CO-OPERATION AND DEVELOPMENT

Die "Visitenkarten" der im Energiebereich wichtigsten Umsetzungstellen.

1. Uebersicht

Die Umsetzung der Forschungsergebnisse in die Praxis steht im Pflichtenheft jedes Programmleiters. Deren diesbezügliche Aktivitäten sind in den einzelnen Forschungsprogramm-Berichten beschrieben. Den Programmleitern - und andern interessierten Stellen - stehen für die Umsetzungsarbeiten hauptsächlich die vier nachfolgend beschriebenen Institutionen zur Unterstützung bereit.

2. CADDET und INFOENERGIE

Die Schweiz ist Gründungsmitglied von CADDET (Center for the Analysis and Dissemination of Demonstrated Energy Technologies). Das Zentrum in Sittard (NL) sammelt Informationen über Pilot- und Demonstrationsanlagen der Mitgliederländer (CDN, CH, DK, I, J, N, NL, NZ, S, SF, UK, USA), hat bereits mehrere Dutzend Kurzbeschriebe von Anlagen herausgegeben und befasst sich auch mit der Beurteilung des Standes der Technik einzelner ausgewählter Gebiete. Das schweizerische Pendant ist INFOENERGIE, eine Informationsstelle über Pilot- und Demonstrationsanlagen für rationelle Energieanwendung. Zur besseren Umsetzung in der Schweiz hat INFOENERGIE verschiedene (englische) CADDET-Publikationen auf deutsch übersetzt, französische und italienische Versionen werden 1990 folgen. INFOENERGIE hat in den bisher anderthalb Jahren seiner Tätigkeit u.a. eine Datenbank aufgebaut, ein Bulletin herausgegeben, die Dokumentation **Abwärmenutzung in Industrie und Gewerbe** fertiggestellt sowie verschiedene Kurzbeschriebe von Anlagen herausgegeben. Neben der Stelle in Brugg wurde im Herbst 1989 eine weitere Stelle in Tänikon eröffnet, die Eröffnung der Stellen in Colombier und Bellinzona auf 1.1.1990 wurde vorbereitet.

3. ETDE

Im Herbst 1989 ist die Schweiz der ETDE (Energy Technology Data Exchange) der IEA beigetreten. Die ETDE-Datenbank enthält Autor, Titel, Stichworte und eine Zusammenfassung energierelevanter Publikationen (Bücher, Forschungsberichte, Zeitschriftenartikel) der Teilnehmerländer: CDN, D, DK, E, F, J, N, NL, S, SF, UK, USA und neuerdings CH. Anfragen betreffend Literaturrecherchen können an die Bibliothek des Paul Scherrer Institut, Würenlingen, geleitet werden.

4. ENET

ENET wurde im Sommer 1988 beim Bundesamt für Energiewirtschaft installiert. Die Aufgabe von ENET ist in erster Linie die Förderung des nationalen Informationsaustausches im Energiesektor, insbesondere auch in der Energieforschung. Diese Informations- und Umsetzungsstelle ist 1989 weiter ausgebaut worden und besitzt jetzt nebst einem umfangreichen Videotex-Angebot eine praktisch vollständige Bibliothek der Berichte von Forschungsprojekten im Energiesektor. ENET ist in ständigem Kontakt mit den Forschungs-Programmlleitern und unterstützt sie bei der Planung und Durchführung von Seminarien und Tagungen. Zudem werden regelmässig die ENET-News herausgegeben, welche bereits rund 2'000, hauptsächlich an der Energieforschung interessierte, Abonnenten zählt. 1990 soll für ENET in erster Linie ein Jahr der Konsolidierung werden.

ADRESSES DES CHEFS DE PROGRAMME
ADRESSEN DER PROGRAMMLEITER

Utilisation rationnelle de l'énergie dans les bâtiments
Rationelle Energienutzung in Gebäuden
Markus ZIMMERMANN, dipl. Arch. ETH, KWH/EMPA, 8600 Dübendorf
Tel 01 / 823 41 78

Utilisation rationnelle de l'énergie dans les transports
Rationelle Energienutzung im Verkehr
Bruno ALBRECHT, dipl. Bau-Ing. ETH, Büro Albrecht + Partner AG
Waldstätterstrasse 9, 6003 Luzern
Tel 041 / 23 90 92

Valorisation de la chaleur ambiante, rejets thermiques & installations chaleur-force
Umgebungs- & Abwärmenutzung, Wärme-Kraft-Kopplung
Ulrich SCHÄERER, dipl. Masch.-Ing. HTL, BEW, 3003 Bern
Tel 031 / 61 56 59

Combustion
Feuerung & Verbrennung
Alphons HINTERMANN, Dr., dipl. Phys. ETH, BEW, 3003 Bern
Tel 031 / 61 56 54

Sécurité des installations nucléaires
Nukleare Sicherheitsforschung
Sabyasachi CHAKRABORTY, dipl. Phys., HSK, 5303 Würenlingen
Tel 056 / 99 39 36

Solaire thermique & stockage de chaleur
Aktive Solarnutzung & Wärmespeicherung
Pierre BREMER, dipl. ing. méc. EPF, SEDE S.A., 1800 Vevey
Tél 021 / 921 05 15

Architecture solaire
Solararchitektur
Robert HASTINGS, Arch., M. Sc., HBT/ETH-Hönggerberg, 8093 Zürich
Tel 01 / 377 28 48

Energie photovoltaïque
Photovoltaik
Christophe de REYFF, Dr, phys.-chim., OFEN, 3003 Berne
Tél 031 / 61 56 66

Energie éolienne
Wind
Léo DUBAL, Dr, phys., OFEN, 3003 Berne
Tél 031 / 61 56 44

Biomasse

Biomasse

Michel ROUX, dipl. ing. él. EPF, OFEN, 3003 Berne

Tél 031 / 61 56 24

Fusion nucléaire contrôlée

Kontrollierte Kernfusion

Paul ZINSLI, Dr., Phys., BBW, 3003 Bern

Tel 031 / 61 96 53

Piles au gaz naturel

Erdgas-Brennstoffzellen

Léo DUBAL, Dr, phys., OFEN, 3003 Berne

Tél 031 / 61 56 44

Electrochimie

Elektrochemie

Otto HAAS, Dr., Chem., P.S.I., 5232 Villigen PSI

Tel 056 / 99 24 72

Photochimie

Photochemie

Jean-Claude COURVOISIER, Dr, phys., 13 Fr.-Jacquier, 1225 Chêne-Bourg

Tél 022 / 49 38 49

Thermochimie

Thermochemie

Armin RELLER, Dr., Chem., A.C.I., Winterthurerstr.190, 8057 Zürich

Tel 01 / 257 46 17

Hydrogène

Wasserstoff

Thomas SCHUCAN, Dr., Phys., P.S.I., 5232 Villigen PSI

Tel 056 / 99 27 43

Electricité

Elektrizität

Roland BRÜNIGER, dipl. El.-Ing. ETH/BWI, Oberseglingerstr. 2, 8193 Eglisau

Tel 01 / 867 22 42 (ab 20.4.90)

Socioéconomie

Sozioökonomie

Martin RENGGLI, lic. rer. pol., BEW, 3003 Bern

Tel 031 / 61 56 33

Transfert de technologies

Technologie- Transfer

Jürg GFELLER, dipl. Masch.-Ing. ETH, BEW, 3003 Bern

Tel 031/ 61 56 62

Renseignements généraux sur la recherche énergétique

Allgemeine Auskünfte über die Energieforschung

Gerhard SCHRIBER, Dr., Phys., BEW, 3003 Bern

Tel 031 / 61 56 58