

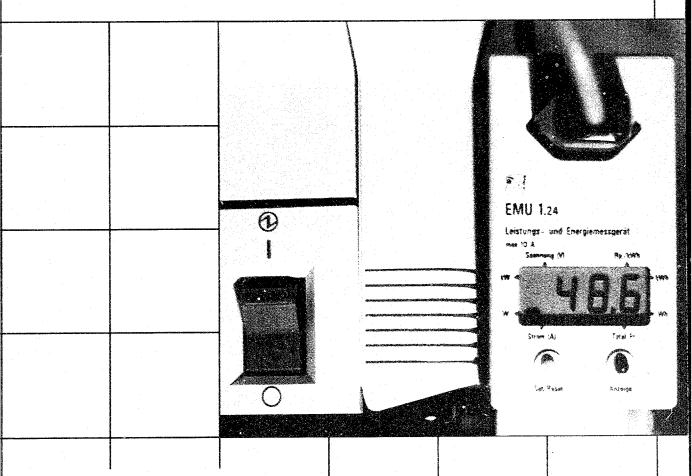
Office fédéral de l'energie Bundesamt für Energiewirtschaft

Recherche énergétique

Energie-Forschung

1990

Rapports de synthèse des chefs de programme Überblicksberichte der Programmleiter



«Beaucoup de watts pour rien»

RECHERCHE ÉNERGÉTIQUE

1 9 9 0

ENERGIE-FORSCHUNG

Rapports de synthèse des chefs de programme

Ueberblicksberichte der Programmleiter

Table / Inhalt

		Page /		/ Seite	
Avant-propos / Vorwort			3		
Fortschritte der Energieforschung 1990			5		
Rationelle Energienutzung in Gebäuden			7		
Rationelle Energienutzung im Verkehr			15		
Umgebungs- & Abwärmenutzung, Wärme	-Kraft-Kopplung		23		
Feuerung & Verbrennung			31		
Nukleare Sicherheitsforschung			43		
			73		

Solaire thermique et stockag	ge de chaleur	51
		57
Solararchitektur		37
Énergie photovoltaïque		65
Énergie éolienne		77
		0.1
Biomasse		81
		. 05
Kontrollierte Kernfusion		87
		0.2
Piles au gaz naturel		93
		101
Elektrochemie		101
		107
Photochimie		107
		113
Thermochemie		113
VV7		119
Wasserstoff		117
TILLE A PLOADA		125
Elektrizität		125
Cariantamamia		133
Sozioökonomie		133
Technologie - Transfer		139
reciniologie - Transiei		137
Annexe / Anhang		
Adresses des chefs de progr	amme / Adressen der Programmleiter	141

AVANT-PROPOS

En 1990, la valeur des mandats délivrés par l'Office fédéral de l'énergie a atteint 30,1 millions de francs, dont 2,8 millions pour des installations de démonstration en vue de l'amélioration énergétique des bâtiments de la Confédération. Ce sont en tout plus de 300 projets qui ont pu ainsi être soutenus financièrement. 40 % du financement concernait des mandats confiés directement à des firmes privées. Par ailleurs, l'OFEN s'est efforcé de maintenir un certain équilibre entre régions linguistiques, ainsi plus d'un quart des montants ont été dirigés vers les régions d'expression latine.

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. Bien que ces rapports couvrent la totalité des activités connues en Suisse dans chaque domaine, il est clair que le centre d'attention reste les projets dont le financement est couvert, en tout ou en partie, par l'OFEN.

Chaque rapport de synthèse peut être reproduit à la condition d'en mentionner la source. Les rapports annuels (RA), 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 (adresse en annexe).

L'illustration de la couverture reprend celle du rapport de synthèse du programme de recherche "Electricité" qui vient de démarrer. L'exemple choisi montre que la recherche peut, à court terme, contribuer à une amélioration de notre économie énergétique.

VORWORT

1990 wurden von Bundesamt für Energiewirtschaft (BEW) Forschungsaufträge im Umfang von 30,1 Mio Fr. erteilt. Darin eingeschlossen sind 2,8 Mio Fr. für bundeseigene Demonstrationsanlagen. Über 300 Projekte wurden damit unterstützt, 40 % davon direkt an Privatfirmen vergeben. Das BEW bemühte sich dabei um eine angemessene Berücksichtigung der Sprachregionen: Mehr als ein Viertel der Aufträge wurden im lateinischen Gebiet der Schweiz bearbeitet.

Der vorliegende Band enthält die Berichte über die einzelnen Forschungsprogramme, verfasst von deren Leitern. Er richtet sich an alle, die sich einen Überblick über Ziele und durchgeführte Forschungsarbeiten verschaffen wollen. Die Berichte enthalten alle auf dem entsprechenden Gebiet bekannten Aktivitäten in der Schweiz. Im Vordergrund stehen dabei aber doch diejenigen Projekte, welche ganz oder teilweise durch das BEW finanziert worden sind.

Die Übersichts-Berichte der Programmleiter können - unter Angabe der Quelle - ganz oder teilweise reproduziert werden. Die einzelnen Jahresberichte (JB) der in den Übersichten erwähnten Energieforschungprojekte sind bei ENET (c/o BEW, 3003 Bern) oder beim betreffenden Programmeleiter erhältlich (siehe Adressverzeichnis im Anhang).

Die Illustration auf dem Umschlag wurde dem Bericht über das neu begonnene Forschungsprogram "Elektrizität" entnommen. Das dargestellte Beispiel zeigt, dass die Forschung auch kurzfristig an eine Verbesserung unserer Energiewirtschaft beitragen kann.

FORTSCHRITTE DER ENERGIEFORSCHUNG 1990

Gerhard Schriber, Leiter der Sektion Energieforschung, BEW

Rund 650 Wissenschaftler und Ingenieure arbeiten in der Schweiz auf dem Gebiet der Energieforschung der öffentlichen Hand. Sie befassen sich mit über 500 Einzelprojekten, welche in 20 Forschungsprogrammen zusammengefasst sind. Diese verteilen sich wie folgt auf die einzelnen Energiebereiche:

- Rationelle Nutzung: 3 Programme (Gebäude, Verkehr, Umgebungswärme)

- Fossile Energien: 1 Programm (Feuerung und Verbrennung)

- Kernspaltung: 2 Programme (Nukleare Sicherheit; neue Reaktorkonzepte)

- Erneuerbare Energien: 7 Programme (Solarwärme, Solararchitektur, Photovoltaik, Photochemie,

Thermochemie, Windenergie, Biomasse)

Fusion: 1 Programm (Kontrollierte Kernfusion)

- Unterstützende Techniken: 6 Programme (Brennstoffzellen, Elektrochemie, Wasserstoff, Elektrizität,

Sozioökonomie, Technologie-Transfer).

Die Anzahl der Programme je Forschungsbereich ist ein Hinweis dafür, wo der Bund die Schwerpunkte gesetzt hat. Er hat sich dabei abgestützt auf die Empfehlungen der Eidg. Energieforschungskommission (CORE).

Der Grösstteil der Forschungsarbeiten ist mit internationalen Programmen verknüpft. Insbesondere die Internationale Energie-Agentur IEA bildet dabei einen bewährten Rahmen. Eher mühsam (mit Ausnahme der Fusionsforschung) gestaltet sich momentan noch die Teilnahme an den Energieforschungsprogrammen der Europäischen Gemeinschaft EG.

Der grosse Einsatz der Forscher führt regelmässig auf allen Gebieten zu grösseren und kleineren Fortschritten. Es sei jedoch erwähnt, dass diese auch mitgeprägt werden vom Engagement der betreffenden Programmleiter. Im folgenden wird auf eine kleine Auswahl von Forschungsergebnissen 1990 hingewiesen, welche meines Erachtens als besonders beachtenswert einzustufen sind.

- Nach mehrjährigen Abklärungen liegen nun verlässliche Aussagen über den Einfluss von Energiesparmassiahmen auf die Radonkonzentration der Innenluft vor. Zwar gibt es Gegenden in der Schweiz (Alpengebiet), welche zu relativ hohen Radonbelastungen in Wohnräumen führen. Es zeigen sich jedoch keine Anhaltspunkte für eine Erhöhung des Radonpegels nach Abdichtung der Gebäudehülle.
- Für den Einsatz in Elektromobilen ist die Entwickung eines leichten (32 kg) aber kräftigen (16 kW) stufenlosen Antriebmotors weit fortgeschritten. (Andererseits ist es aber leider noch nicht gelungen, die 10 schweizerischen Elektromobil-Entwickler zu gemeinsamem Vorgeben zusammenzubringen.)
- Von einem völlig anderen Motor konnte ein Funktionsmuster vorgestellt werden: Es handelt sich um ein neues Wärmepumpenkonzept mit Stirling-Antrieb und Resonanzrohr. Dieser für verschiedene Brennstoffarten geeignete Antrieb ist wesentlich geräuschärmer, sauberer und unterhaltsfreundlicher als die herkömmlichen Verbrennungsmotoren. Er ist bereit für eine Übernahme durch die Industrie.
- Im Programm nukleare Sicherheit konnte eine Anlage für detaillierte Untersuchungen des Transports und der Ablagerung radioaktiver Stoffe im Reaktorkreislauf in Betrieb genommen werden. Die ersten Ergebnisse mit Proben aus einem schweizerischen Kernkraftwerk zeigen bereits interessante neue Erkenntnisse, die allerdings noch erhärtet werden müssen.

- Die Praxis der solaren Wärmeerzeugung kann noch wesentlich verbessert werden. Dies gilt für die Bereitstellung meteorologischer Planungsdaten ebenso wie für den Kollektorbau und für die optimale Auslegung von Anlagen. Dieser Schluss lässt sich aus den 1990 gesamthaft gewonnenen Forschungsergebnissen auf diesem Gebiet ziehen. Die daraus folgenden notwendigen Aktionen sind in die Wege geleitet.
- Die Simulation verschiedener Tageslicht- und Lichtlenkungssysteme für Büroräume und Schulen zeigt, dass mit automatischen, stufenlosen Beleuchtungsschaltungen über 40 % Strom eingespart werden kann. Es gilt nun, diese Resultate in praktischen Anlagen auch zu demonstrieren.
- Ein in der Schweiz entwickeltes optisches System (Light trapping) ermöglicht es, den Wirkungsgrad von Solarzellen für die Stromerzeugung zu verdoppeln. Noch sind einige Optimierungsschritte zu vollziehen, aber die Suche nach einem interessierten Industriepartner hat bereits begonnen.
- In der METEONORM-Reihe konnte das Handbuch für die Windenergienutzung veröffentlicht werden. Es enthält die Resultate und Empfehlungen aus den umfangreichen Untersuchungen der letzten fünf Jahre. Das Forschungsprogramm Wind tritt damit in die Demonstrationsphase über.
- Mit einer Pilotanlage kann täglich die erhebliche Menge von 350 L Biogas pro kg Festmist aus der Landwirtschaft produziert werden. Aber auch die Vergärung und Kompostierung organischer Abfälle von den Haushalten und der Industrie liefert Biogas. Eine detaillierte Abklärung hat ergeben, dass das nutzbare Potential in der Schweiz (1,6 PJ/a) in der gleichen Grössenordnung ist wie dasjenige der Landwirtschaft.
- Die Energieforschung bringt immer wieder Ergebnisse, welche auch für andere Wissenschaftszweige interessant sind. So ist es Physikern am Fusionslabor der ETH-Lausanne gelungen das schnellste Computerprogramm der Welt zu entwickeln. Es kann pro Sekunde weit mehr als 1 Milliarde Gleitkommarechnungen abarbeiten. Das Programm TERPSICHORE berechnet das Verhalten von Plasmateilchen unter verschiedenen Magnetfeldkonfigurationen.
- Ein internationales Symposium in Davos hat bestätigt, dass die Schweizer Forscher auf dem Gebiet der Solarchemie an vorderster Front mithalten können. Praktische Anwendungen sind allerdings erst längerfristig zu erwarten.

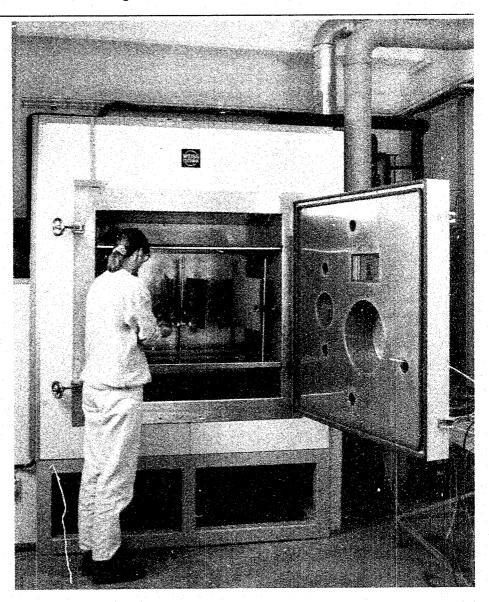
Der Umsetzung der vielen Erkenntnisse aus der Energieforschung wurde 1990 grosse Bedeutung geschenkt. Über 25 grössere Seminarien und Fachtagungen haben stattgefunden. Auch wurde verstärktes Gewicht auf den Einbezug der Privat-Industrie in die Forschung der öffentlichen Hand gelegt. Das aktive Zugehen auf die Industrie hat sich bewährt, und diese hat sich erfreulich offen gezeigt. Dieser Brückenschlag zwischen der öffentlichen Hand und der Privatwirtschaft soll 1991 weiter ausgebaut werden.

RATIONELLE ENERGIENUTZUNG

IN GEBÄUDEN

Überblicksbericht zum Forschungsprogramm 1990

Programmleiter: Markus Zimmermann



Prüfzelle für Schadstoffemissionen

Die 1m³ Prüfzelle an der EMPA-Dübendorf, mit welcher Ausgasungen von Baustoffen untersucht werden. Das Projekt "Schadstoffemissionen von Baustoffen" ist eines der Projekte, welches versucht, die Aspekte des Energiesparens und der Ökologie miteinander zu verbinden.

1. Programmübersicht

Das Forschungsprogramm "Rationelle Energienutzung in Gebäuden" hat zum Ziel, das Gebäude als energetisches System gesamtheitlich zu optimieren. Einzelne Komponenten werden zum Teil im Rahmen von anderen Forschungsprogrammen untersucht. Sobald Anwendungen von neuartigen Komponenten in Sicht sind, können sie im Rahmen des Programmes "Rationelle Energienutzung in Gebäuden" in das Gebäudesystem integriert werden.

Das Forschungsprogramm "Rationelle Energienutzung in Gebäuden" legt deshalb ein besonderes Gewicht auf Planungsunterlagen und -hilfsmittel. Aber auch Untersuchungen zu Haustechniksystemen haben eine besondere Bedeutung.

Die Koordination mit den anderen Forschungsprogrammen des BEW ist über die Programmleiter gewährleistet. Daneben findet auch eine enge Zusammenarbeit mit der übrigen, nicht oder nur teilweise durch das BEW finanzierten Energieforschung statt. Beispiele sind das Forschungsprogramm ERL (Energierelevante Luftströmungen in Gebäuden) für die nationale Zusammenarbeit und das IEA Forschungs-Programm "Energy Conservation in Buildings and Community Systems" als internationale Zusammenarbeit.

2. Anvisierte Zielpunkte 1990

Die Ziele für 1990 waren:

- Weiterbildung der Projektleiter in Bezug auf Projektführung und Umsetzung,
- Definition der neuen Programmschwerpunkte für die Jahre 92-95,
- Erarbeitung der Grundlagen für optimierte, hochwärmedämmende Wand- und Dachkonstruktionen und Fensterrahmen,
- Koordination der Luftströmungsprojekte im Hinblick auf die Umsetzung der Ergebnisse Ende 92.

3. Durchgeführte Arbeiten und erreichte Ergebnisse

Für die Weiterbildung der Projektleiter wurden in Zusammenarbeit mit den Impulsprogrammen des BFK zwei zweitägige Seminare durchgeführt. Eingeladen waren auch die Leiter von Energieforschungsprojekten des NEFF und der Hochschulen im Bereich der rationellen Energienutzung. Schwerpunkte der Seminare waren die Projektführung (Zeit- und Kostenplanung, Projektorganisation), Umsetzungsstrategien und Referatstechnik.

Heute besteht das vom BEW finanzierte Forschungsprogramm aus :

- 3 abgeschlossenen Projekten,
- 19 laufenden Projekten, wovon vier 1990 neu gestartet wurden.

Wegen der immer grösser werdenden Anzahl Projekte werden hier nur die Schwerpunkte und die wichtigen Ergebnisse aufgeführt.

"Planungshilfsmittel"

In diesen Bereich fallen computerunterstützte Rechen- und Simulationsmodelle, aber auch Planungsunterlagen und Handbücher.

Bei letzteren wurde aufgrund der bereits 1989 abgeschlossenen Arbeiten über Energiemanagement in Spitälern ein Handbuch erarbeitet [17], mit welchem die Erkenntnisse ab 1991 verbreitet werden sollen. Noch laufend ist jedoch das Projekt EFFENS [1], welches die effiziente Energienutzung in Schulen fördern soll. Die Untersuchungen sind auch hier weitgehend abgeschlossen. Sie haben gezeigt, dass moderne Schulen ausgezeichnete Demonstrationsbauten mit niedrigem Energieverbrauch sein können (E < 200 MJ/m² a), dass aber die Luft- und Lichtqualität in vielen Schulen noch unbefriedigend ist. Eine erste Informationstagung wurde im Mai 90 durchgeführt [18]. Ein Handbuch für Planer, eine Behördenbroschüre und eine Dokumentation mit guten Fallbeispielen ist in Ausarbeitung.

Ähnliche Unterlagen sind von anderen Forschungsarbeiten über Wohn- und Geschäftshäuser schon vorhanden. Vereinzelte Untersuchungen befassen sich mit Lagerhäusern. Dagegen fehlen heute noch entsprechende Unterlagen über Bauten des Gastgewerbes und der Industrie.

Bei den computerunterstützten Rechen- und Simulationsmodellen steht eindeutig das Projekt "Energierelevante Anwendungen integraler Ingenieursysteme" [2] im Vordergrund. Dieses, in Zusammenarbeit mit dem PSI-Villigen und der Privatwirtschaft durchgeführte Projekt beabsichtigt die Schaffung eines Software-Paketes für die integrale Planung. Aus dem Energiebereich sollen drei Anwendungen integriert werden:

- die Rohmetzberechnung,
- die Berechnung des Wärmeleistungsbedarfes,
- die Kapselung des dynamischen Simulationsprogrammes TRNSYS.

Die Arbeiten sind bereits weit fortgeschritten und erfolgversprechend. Die Schweiz leistet auf dem Gebiet auch international gesehen Pionierarbeit. Trotz einiger Schwierigkeiten mit eingekaufter Software sollten die ArbeitenEnde 92 abgeschlossen werden können. Danach wird voraussichtlich eine Erweiterung der Anwendungen erfolgen.

Generell besteht heute der Trend, Simulationsprogramme, die bis anhin vor allem Wissenschaftlern vorbehalten waren, vermehrt auch in der Praxis einzusetzen. Dazu müssen die Anwendungen der Programme besser evaluiert und die Benutzeroberfläche verbessert werden. In diesem Bereich wurden 1990 Arbeiten für den Kühllastnachweis und für die Anwendung von Simulationsprogrammen bei Gebäudesanierungen im Rahmen eines IEA-Projektes [3] begonnen.

Weniger erfolgversprechend sind die bisherigen Arbeiten im Bereich der Expertsysteme. Bevor eigene Projekte auf diesem Gebiet gestartet werden, sind weitere, grundlegende Vorarbeiten zu leisten. Ein internationaler Workshop über "Computer Building Representation" wurde bereits in der Schweiz durchgeführt. Ein zweiter Workshop ist 1991 gemeinsam mit Frankreich geplant.

"Gebäudehülle"

Im Rahmen des Forschungsprogrammes sind im Bereich "Gebäudehülle" drei interessante Projekte in Bearbeitung:

Die ersten zwei Projekte - Hochwärmedämmende Wand- und Dachkonstruktionen / Hochwärmedämmende Fensterrahmen - versuchen bautechnische Lösungen zu finden, die den Anforderungen des Wärmeschutzes langfristig zu genügen vermögen.

Beim Projekt der Wand- und Dachkonstruktionen [4] wurde ein Ideenwettbewerb durchgeführt. Von den 29 eingegangenen Vorschlägen (alle mit k-Werten < 0,2 W/m² K) werden die 5 prämierten und die 3 angekauften Lösungen an der SWISSBAU 91 ein erstes Mal der Öffentlichkeit vorgestellt. Nach umfassenden bauphysikalischen Prüfungen an der EMPA-Dübendorf werden die Ergebnisse dokumentiert und 1991 veröffentlicht.

Das Projekt "Hochwärmedämmende Fensterrahmen" [5] untersucht neue Lösungen für die heute thermisch schwächste Stelle der Gebäudehülle. Die Zwischenergebnisse haben gezeigt, dass mit Holz- und Holz/Metall-konstruktionen das Ziel von k = 1 W/m² K für Fensterrahmen ungefähr erreicht werden kann. Dagegen scheiden Metall- und vermutlich auch Kunststoffkonstruktionen aus, sofern nicht völlig neuartige Rahmenkonzepte realisiert werden. Die Untersuchungen haben aber auch gezeigt, dass dem Randverbund des Glases beim hochisolierenden Fenster eine enorme Bedeutung zukommt. Zukünftige Fensterkonstruktionen werden deshalb nicht darum herumkommen, den extrem gut leitenden Aluminiumsteg durch andere Materialien — wie beispielsweise isolierende Kunststoffe — zu ersetzen.

Das dritte Projekt [6] befasst sich nur indirekt mit energetischen Aspekten. Um den Aussenluftwechsel in Gebäuden so niedrig wie möglich halten zu können, sollten Baustoffe verwendet werden, die möglichst geringe Schadstoffemissionen aufweisen. Das Projekt erarbeitet deshalb eine Testmethode, die sich für den Nachweis von Ausgasungen eignet. Erste Versuche konnten in der neu erstellten Testzelle (siehe Titelseite) bereits durchgeführt werden. Das Projekt hat eine sehr hohe Aktualität. Einerseits ergänzt es die vielfältigen Anstrengungen die heute in der Schweiz im Bereich "gesamtenergetisch und ökologisch optimiertes Bauen" unternommen werden, andererseits ist bereits ein Anschlussprojekt der EMPA-Dübendorf in Vorbereitung. Letzeres soll zeigen, wie stark die Emissionen von Baustoffen von Temperatur-, Feuchtigkeits- und Luftdruckschwankungen abhängen.

Abschliessend muss für den Bereich "Gebäudehülle" auch erwähnt werden, dass die Bauindustrie einiges unternimmt, um ihre Konstruktionen und Materialien zu verbessern. Einen Schwerpunkt bilden heute Untersuchungen mit FCKW-freien Polystyrol- und Polyurethanschäumen sowie mit Zelluloseflocken aus Recycling-Prozessen.

"Haustechnik"

Im Bereich "Haustechnik" findet eine rege Forschungstätigkeit statt. Einerseits besteht in der Haustechnik noch ein grosses Energiesparpotential, andererseits weist das Gebiet noch viele Entwicklungsmöglichkeiten auf.

Im Vordergrund der schweizerischen Forschungsanstengungen steht heute das Projekt *ERL* [7] [8] [19], welches die energierelevanten Luftströmungen in und um das Gebäude untersucht und eine internationale Zusammenarbeit in verschiedenen Teilprojekten ermöglicht [11] [12] [13]. Damit beinhaltet es auch Aspekte, die nicht direkt mit der Haustechnik sondem mit Luftströmungen als solche zusammenhängen. Das Projekt welches Ende 92 zu einem vorläufigen Abschluss kommen soll, umfasst drei Bereiche:

A: Luftströmungen im Raum (z. B. infolge Lüftungsanlage)

B: Luftaustausch im Gebäude

C: Lüftungssysteme

Die Arbeiten zu den Bereichen A und B haben grosse Fortschritte bei der Simulation von Luftströmungen ermöglicht. Es hat sich aber gezeigt, dass gute Resultate, die mit gemessenen Luftströmungen übereinstimmen, auch einen enomen Rechenaufwand bedingen. Es müssen noch Wege gesucht werden, wie diese Simulations-möglichkeiten der Praxis besser zugänglich gemacht werden können.

Bei den Lüftungsystemen wurden vor allem "sanfte Lüftungen" (Quell- und Verdrängungslüftungen) untersucht. Die daraus resultierenden Planungsunterlagen werden in Zukunft den vermehrten Einsatz dieser energiesparenden und effizienten Systeme fördern.

Im Bereich Lüftung ebenfalls zu erwähnen ist das bis heute vom NEFF finanzierte Projekt "Erdwärmenutzung für die Raumklimatisierung", welches am 6. Status-Seminar über Energieforschung im Hochbau [20] präsentiert wurde. Das untersuchte Lüftungssystem saugt die Aussenluft über Kanäle im Erdreich an und erwärmt die Zuluft dadurch im Winter um ca. 5 K und kühlt sie im Sommer um ca. 10 K. Das erfolgversprechende Konzept soll noch weiter untersucht und insbesondere zur passiven Kühlung von Bürobauten in Planungsunterlagen dokumentiert werden.

Weitere Projekte im Bereich "Haustechnik" befassen sich mit Regelstrategien für Fussbodenheizungen [9] sowie mit dem dem Brandverhalten von Kleinholzfeuerungen [10]. Die Arbeiten an Kleinholzfeuerungen haben gezeigt, dass der Schadstoffauswurf beim Anfeuern sehr hoch, beim Ausbrand jedoch gering ist. Es werden nun am Oekozentrum in Langenbruck Lösungen für ein besseres Anfeuerungsverhalten gesucht.

Das Projekt "Wasser- und Energieverbrauch von Armaturen" hat Unterschiede von rund 40 % beim Warmwasserverbrauch verschiedener Armaturen aufgezeigt. Die Arbeiten sind abgeschlossen und werden demnächst veröffentlicht [21]. Eine Zusammenfassung wurde bereitsam 6. Status-Seminar präsentiert [20].

Das Radon Projekt [14] ist abgeschlossen worden.

4. Internationale Zusammenarbeit

Das Forschungsprogramm "Rationelle Energienutzung in Gebäuden" ist eng mit dem IEA Forschungsprogramm "Energy Conservation in Buildings and Community Systems" verbunden [24-30]. Damit ist eine sehr gute Zusammenarbeit mit allen wichtigen west-europäischen Ländern, sowie mit USA, Kanada und Japan gewährleistet.

Im Moment ist die Schweiz an vier Projekten dieses IEA-Programmes beteiligt:

-Air Infiltration and Ventilation Centre [11], [25] bis [30]

-Demand Controlled Ventilating Systems [12], [31]

-Air Flow Patterns (internationale Leitung durch die Schweiz) [13]

-Thermal Modelling [3]

Drei weitere, neue Projektbeteiligungen sind in Aussicht:

-Heat, Air and Moisture Transport through Envelopes

-Multizone Airflow Modelling

-Real Time Simulation of HVAC-Systems

Im weiteren ist die EMPA-Dübendorf direkt an die internationale Energy Technology Date Exchange-Datenbank und die Airbase-Datenbank angeschlossen. Damit können für die Forscher jederzeit internationale Literaturrecherchen durchgeführt werden.

5. Ausblick

Wichtigstes Ziel für 1991 ist die Überarbeitung des Forschungsprogrammes un die Definition der Forschungsschwerpunkte für die Periode 92-95. Ein entsprechender Konzeptentwurf wird der Eidg. Energieforschungskommission im Januar 91 vorgestellt. Darin sind im Programm "Rationelle Energienutzung in Gebäuden" folgende Schwerpunkte vorgesehen:

Bereich Planungsgrundlagen:

- Fortführung der bestehenden Arbeiten für anwendungsorientierte, integrale Planungshilfsmittel.

Rereich Gehändehülle:

- Untersuchung und Weiterentwicklung oekologischer Wand- und Dachkonstruktionen mit hohem Wärmedämmvermögen.

Bereich Lüftung:

 Anwendung des "ERL-Wissens" in Forschung und Praxis, insbesondere zur Bestimmung von Luftströmungen in grossen Hallen.

Bereich Kälte:

- Durchführung des Forschungsprogrammes "Vermeidung von Kühllast - Passive Kühlung".

Nebst diesen Schwerpunkten sollen jedoch immer auch gute Einzelprojekte gefördert werden.

Bei der Durchführung der Forschungsprojekte soll das BEW-Programm als Katalysator wirken, indem es Initiativen ergreift, bei der Durchführung der Projekte aber auch andere Trägerschaften (NEFF, Kantone, Private) und die internationale Forschung (IEA) mit einbezieht.

6. Projektliste

- [1] B. Wick, Ing. Büro, Widen: "Effiziente Energienutzung in Schulhäusern (EFFENS)". (JB)
- [2] A. Duppenthaler/R. Mantel, CLICK INFORMATIC, Basel: "Energierelevante Anwendungen integraler Ingenieursysteme". (JB)
- [3] P. Jaboyedoff, SORANE, Lausanne et G. Zweifel, EMPA-Dübendorf: "Thermal Simulation". (JB)
- [4] Th. Frank, EMPA, Dübendorf: "Hochwärmedämmende Wand- und Dachkonstruktionen". (JB)
- [5] H. Emmer/J. Konzbuhl, EMMER HASS PFENNINGER, Münchenstein: "Hochwärmedämmende ensterrahmen". (JB)
- [6] R. Gehrig, PSI-Villigen: "Schadstoffemissionsverhalten von Baustoffen". (JB)
- [7] F. Widder, PSI-Villigen: "Energierelevante Luftströmungen in Gebäuden (ERL)". (JB)
- [8] J. van der Maas, LESO/ EPF-Lausanne: "Étude de la thermocinétique des échanges d'air dans le bâtiment (ERL)". (JB)
- [9] K. Fort, Dr. K. FORT, Volketswil: "Optimaler Betrieb von Fussbodenheizungen". (JB)
- [10] Ch. Gaegauf, OEKOZENTRUM, Langenbruck: "Gasbrenner-unterstützte Kleinholzfeurerungen". (JB)
- [11] P. Hartmann, EMPA, Dübendorf: "IEA Annex 5: Air Infiltration and Ventilation Centre". (JB)
- [12] Ch. Filleux, BASLER & HOFMANN, Zürich: "IEA Annex 18: Demand Controlled Ventilating Systems". (JB)
- [13] A. Moser, ETH-Zürich: "IEA Annex 20: Air Flow Patterns within Buildings". (JB)
- [14] R. Crameri, PS!-Villigen: "Radon im Inneren von Wohnbauten". (JB)
- [15] Th. Cerkez, LMPA-Dübendorf: "Energierelevante Typenprüfung für Oel- und Gasheizkessel mit Gebläsebranza". (JB)
- [16] B. Wicz, Ing.-Büro, Widen: "Wärmeabfluss ins Erdreich". (JB)
- (JB) Jal.resbericht 1990 vorhanden

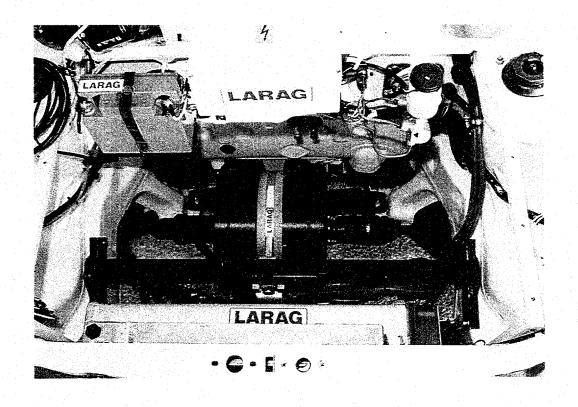
7. Referenzen

- [17] P. Chuard et al., SORANE, Lausanne: "Manuel d'exploitation des installations dans les hôpitaux. Notionpratique des gestions énergétiques", Sorane, 1990.
- [18] B. Wick et al., Ing.-Büro, Widen: "Effiziente Energienutzung in Schulen", Tagungsunterlage EMPA-KWH, 1990.
- [19] F. Widder et al., PSI-Villigen: "Forschungsprogramm Energierelevante Luftströmungen in Gehäuden" Tagungsunterlagen 4. ERL-Status-Seminar, 1990.
- [20] 6. Schweizerisches Status-Seminar: "Energieforschung im Hochbau", Tagungsband, EMPA-KWH, 1990.
- [21] H. Hediger: "Wasser- und Energieverbrauch von Mischarmaturen", Forschungsbericht, 1990.
- [22] M. Zimmermann et al., EMPA/KWH, Dübendorf: "Projektleitungs-Seminar", Seminar-Unterlage, 1990
- [23] J. Hertig et al., LASEN/IREC/EPF-Lausanne: "Une typologie exploratoire des bâtiments",1990.
- [24] H. Hens: "IEA Annex 14: Condensation and Energy-Guidlines & Practice", IEA, 1990.
- [25] "Recent Additions to Airbase Nr. 47, 48, 49", AIVC, 1990.
- [26] "TN 27, Infiltration and leakage paths in single family houses a multizone infiltration case study", AIVC, 1990.
- [27] "TN 28, A guide to air change efficiency", AIVC, 1990.
- [28] "TN 29, Fundamentals of the Multizone Air Flow Model COMIS", AIVC, 1990.
- [29] "TN 30, A Review of Building Airtightness and Ventilation Standards, AIVC, 1990.
- [30] "TN 31, Survey of Current Research into Air Infiltration and Related Air Quality Problems in Buildings", AIVC, 1990.
- [31] W. Raatschen et al.: "IEA Annex 18: Demand Controlled Ventilaiting Systems State of the Art Review", IEA, 1990.

RATIONELLE ENERGIENUTZUNG IM VERKEHR

Überblicksbericht zum Forschungsprogramm 1990

Programmleiter: Bruno Albrecht



Swissmobil

Neu entwickelter stufenloser Magnet-Synchron-Doppelmotorantrieb aus Stahl - Alu - CFK mit hohem Drehmoment und elektronischer Differential-Funktion.

1. Anvisierte Zielpunkte für 1990

In dem Ende 1989 von der CORE und vom BEWgutgeheissenen Forschungsprogramm "Rationelle Energienutzung im Verkehr" sind bis 1992 folgende allgemeine Programmschwerpunkte im Hinblick auf eine Minimierung des schweizerischen Gesamtenergieverbrauchs enthalten:

- Verbesserte Energiewirkungsgrade beim motorisierten Individualverkehr mit Hilfe von technischen und verkehrs-organisatorischen Massnahmen; z. B. durch treibstoffsparende und umweltschonende Motorfahrzeuge, Elektro- und Hybridfahrzeuge, höhere Auslastung der Personenwagen, Energierückspeicherung, usw.
- Wesensgerechtere und rationellere Abwicklung des Güterverkehrs mit Hilfe von technischen und logistischen Massnahmen; z. B. durch Leerfahrtenoptimierung, Einsatz von Automatik und Informatik beim kombinierten Verkehr, usw.
- Verbesserte Energiewirkungsgrade beim öffentlichen Personenverkehr auf der Schiene und der Strasse; z. B.
 durch Energierückgewinnung und -speicherung, neue Betriebsformen für den öffentlichen Verkehr,
 Fahrzeug-Leichtbau, usw.
- Entwicklung und Anwendung von neuartigen Technologien beim Personen- und Gütertransport (Swissmetro, Direkt-Elektroantrieb für den Strassenfernverkehr, Produkterohrleitungen, usw.)
- Verfeinerung der energiestatistischen Grundlagen

Hauptziel 1990 war die Weiterführung der bereits früher begonnenen sowie die Initialisierung neuer, erfolgversprechenden Projekte. Aufgrund der heutigen Endenergieverbräuche im Bereich "Verkehr" wurden die 1990 neu eingeleiteten Projekte für die Forschung und Entwicklung von technischen Komponenten beim motorisierten Individualverkehr angesiedelt.

2. Durchgeführte Forschungsarbeiten und erreichte Ergebnisse

"Antrieb und Sicherheit von Kleinelektromobilen im Rahmen der Entwicklung des Swissmobils" [1]

Dieses bereits anfang 1988 begonnene Projekt der Firma LARAG in Wil hat als Zielsetzung die ganzheitliche Erforschung der Erfolgsbedingungen für ein Leichtelektromobil mit den Schwerpunkten Batteriesysteme, Antriebssysteme, Leichtbau und Herstellungsmöglichkeiten.

Die Entwicklung neuer Antriebssysteme zeigt per Ende 1990 die folgenden Ergebnisse:

- Ein Vergleich aller bis heute verwendeten Antriebssysteme hat gezeigt, das alle Konzepte ihre spezifischen Vor- und Nachteile haben und entweder Schaltgetriebe oder ein- bis zweistufige Untersetzungen benötigen. Dakeines dieser Antriebssysteme ein Optimum darstellt, wurde ein neues Antriebskonzept entwickelt.
- Der neuentwickelte stufenlose Antrieb besteht aus 2 Magnet-Synchronmotoren mit hohem Drehmoment in kompakter gewichtssparender Bauart, welche eine Minimierung der mechanischen Verluste ergibt (Wegfall von jeglichen Untersetzungen wie Riemenantrieb, Getriebe und Differential). Die Zieldaten von 16 kW Leistung und 600 Nm Drehmoment wurde mit einem Motorengewicht von 32 kg erreicht. Für eine kostengünstige Serienfertigung von Motor und Steuerung sind allerdings noch Weiterentwicklungen notwendig.
- Es wurde eine kompakte Elektronik mit Mikroprozessor und vollständigem Instrumentenpanel mit verschiedenen Digitalanzeigen für Energieverbrauch und -inhalt, Geschwindigkeit, Motor- und Batterietemperatur, Totalisator, Rekuperation, usw, entwickelt, aber noch nicht optimiert.

Die Erforschung und Suche nach geeigneten Batterien zeigt Ende 1990 folgende Ergebnisse:

- Blei-Trockenbatterien sind trotz noch nicht befriedigender Lebensdauererfahrungen mittelfristig vom Preis her die einzige Variante für Elektro-Personenwagen.
- NaS-Batterien sind vorläufig für Personenwagen zu teuer, weisen eine zu kleine Lebensdauer auf und sind wegen der erforderlichen Betriebstemperatur von 300 Grad Celsius ohne permanente Stromversorgung nicht betreibbar. Die NaS-Batterietests mit dem Elektro-City-Bus sind noch im Gange.
- 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.
- NiCa-Batterien sind ebenfalls sehr teuer und verursachen grosse Entsorgungsprobleme. Fahrtests haben gezeigt, dass die notwendige zentrale Wasserversorgung und die Temperaturüberwachung sehr aufwendig ist.

Die Leichtbauentwicklung hat bis Ende 1990 folgende Ergebnisse gebracht:

- Es wurden verschiedene Prototypen mit den Materialien Stahl, Leichtmetall und Kunststoff hergestellt. Für Grosserien von Karosserie-Neukonstruktionen sind sehr grosse Investitionen notwendig, da insbesondere geeignete Verfahrenstechniken für die Konstruktion einer volltragenden, langlebigen und crashfesten Kunststoffkarosserie benötigt werden.
- Automobil-Karosserien und Fahrwerke aus der Grosserie sind preisgünstig aber im Eigengewicht hoch und inbezug auf die Batterieanordnung ohne wesentliche Änderungen nicht geeignet.
- Der Einfachheit halber wurde zuerst der LAREL Typ 304, ein 1150 kg schweres Elektromobil mit Kunststoffkarosserie und danach mit denselben Komponenten ein swissmobilähnliches Leichtelektromobil gebaut. Diese beiden Fahrzeuge sowie ein Transporter und ein City-Bus wurden im Herbst an der ET 90 in Basel vorgestellt. Während der LAREL 304 bezüglich Fahrkomfort und Leistungen beeindruckt, ist das leichtere Fahrzeug mit dem heutigen technischen Stand noch nicht ausgereift und verlangt eine intensive Fortsetzung der Entwicklungsanstrengungen.

"Forschungsarbeiten an Fahrzellen zu Elektrofahrzeug" [2]

Dieses Projekt der MINIMO in Menzingen umfasst die Herstellung einer selbsttragenden Fahrzeugschale aus Kunststoff, die bei kleinstem Gewicht eine maximale Festigkeit, Stabilität, Sicherheit, Langlebigkeit und Recyclingtauglichkeit bietet.

Hierfür wurden nacheinander zwei Prototypen einer Kunststoff-Fahrzelle in Zweischalenbauweise gebaut und praktisch getestet.

Konkret wurden folgende Hauptziele erreicht:

- Realisierung eines Vierradfahrzeugs mit einer Kunststoff-Fahrzelle in Zweischalenbauweise für 2 Personen und 1 Kind sowie beschränkter Zuladung
- Längs angeordneter, integrierter und vollständig geschlossener Batteriekanal
- Realisierung eines Fahrzellengewichts von 96 kg
- Wesentliche Verbesserung der Steiffheit bei gleichem Gewicht
- Verringerung der Aussen- und Innengeräusche (Lärmwerte von 66 dB(A))
- Gute Korrosionsbeständigkeit

 Eignung des gewählten Produktionsverfahrens für eine Kleinserienproduktion dank einfach gelöster Produktionsabläufe und Realisierung grosser Einzelteile.

Aufgrund der bisherigen Arbeiten zeichnen sich folgende weiteren notwendigen Forschungs- und Entwicklungsanstrengungen ab:

- Erhöhung der Fahrzeugsicherheit durch Verbesserung der Knautschzonen front- und heckseitig
- Optimierung der Befestigungspunkte der Sicherheitsgurten
- Verlässliche Aussagen bezüglich Temperatur- und Langzeitverhalten der Fahrzeugzelle aus Langzeitversuchen.

"Forschungs- und Entwicklungsstand der schweizerischen Elektromobile"

Ein wichtiges Ziel seitens der Programmleitung war die Ermittlung des aktuellen Forschungs- und Entwicklungsbedarfs bei Elektrofahrzeugen.

Die Schweiz hat bei der Entwicklung von Leichtelektromobilen und deren Komponenten seit einigen Jahren einen guten Namen. Der Sieg des "Spirit of Biel" an der Solar Challenge 1990 in Australien bestätigt als jüngstes Beispiel diesen Erfolgskurs.

Die 1990 geführten Gespräche mit schweizerischen Herstellern von Elektromobilen haben gezeigt, dass bis heute interessante Ideen und Forschungsarbeiten realisiert wurden und mit dem Bau von zahlreichen Prototypen ein beachtliches Knowhow vorhanden ist.

Dabei sind zwei verschiedene Entwicklungsphilosophien feststellbar:

- Elektromobile mit Karosserien aus der bestehenden Grosserienfabrikation, d. h. auf Elektrotraktion umgerüstete Kleinautos
- Leichtelektromobile mit Karosserien-Neukonstruktionen und Komponenten-Neuentwicklungen.

Die meisten heute auf dem Markt befindlichen Fahrzeugmodelle gehören in die erste Kategorie. Dies deutet darauf hin, dass es einfacher und auch kostengünstiger ist, Fahrzeuge auf Elektroantrieb umzurüsten, als Leichtelektromobile neu zu entwickeln. Dabei müssen jedoch technische Kompromisse eingegangen und somit Qualitätseinbussen betreffend Leistung und Energieverbrauch in Kauf genommen werden.

Bei den Leichtelektromobilen mit Karosserie-Neukonstruktionen sind interessante Prototypen in Entwicklung, die einer neuen Fahrzeugkultur entstammen und leistungs- und energiemässig tendenziell besser abschneiden. Die Entwicklung von optimalen, serientauglichen Prototypen und deren Produktionsanlagen ist jedoch finanziell sehr aufwendig. Auch auf der technischen Seite wird noch sehr viel Forschungs- und Entwicklungsarbeit benötigt, um schliesslich ein alltagstaugliches, energie- und umweltfreundliches und von der Bevölkerung als Alternative zum herkömmlichen Personenwagen betrachtetes Produkt zu erhalten. Generell kann man folgende Entwicklungsbereiche definieren:

- Optimierung von Leichtbau-Karosserien in Kunststoff und Metall bezüglich Sicherheitsanforderungen und Langzeitverhalten
- Weiterentwicklung des Batteriemanagements mit verschiedenen Batterietypen
- Weiterentwicklung von Antriebssystemen in Gleichstrom- und Asynchrontechnik
- Optimierung von mechanischen Komponenten im Leichtbau
- Radoptimierung (Felge/Reifen)

Um in absehbarer Zeit zur erfolgreichen Markteinführung eines alltagstauglichen, qualitativ hochstehenden Elektromobils zu gelangen, müssten hierfür die fähigsten Kräfte gebündelt werden können.

Als weitere wichtige realisierte, laufende und geplante Projektsind zu erwähnen:

- CITY-MOBIL der Firma HORLACHER
- PICCOLO der Firma BUCHER LEICHTBAU
- ESORO III des Solarteams Höngg
- SOLEC RIVA der SOLEC
- PINGUIN 8 der FRIEDEZ SOLAR
- Elektrokleinbus der SOLCAR
- SPIRIT OF BIEL der HTL-Biel
- SWATCH MOBIL der SMH

Mit der Lancierung des Projektes "Swatch Mobil" durch die SMH ist das erste Mal ein Grosskonzern in die Elektromobilbranche eingestiegen. Dies kann das Entwicklungstempo beschleunigen und eventuell eine Signalwirkung auf finanzkräftige Promotoren ausüben.

Die Vereinigung Schweizerischer Verkehrsingenieure (SVI) hat 1990 eine Studie "Einsatzkonzepte und Integrationsprobleme der Elektromobile" in Auftrag gegeben.

"Forschungs und Entwicklungsstand der ausländischen Elektromobile"

Es wird weltweit mehr oder weniger intensiv an Elektrofahrzeugen gearbeitet. Als Beispiele von aktuellen ausländischen Fahrzeugentwicklungen können genannt werden [5] :

- Fiat Panda Elletra (I)
- Torpedo, Firma Torpedo (I)
- Nuova 3P, Firma PGE (I)
- Impact, General Motors (USA)
- Volvo Environmental Concept Car (S)
- Peugeot J5 Electric Van (F)
- Electric G-Van, Vehma International (USA)
- Uniques Mobility M-90 (USA)
- C.A.T. LA 301 (GB/USA)

An grösseren Forschungsprogrammen und Studien laufen derzeit :

- U.S. Electric & Hybrid Vehicle Programm (DSEP)
- SEP 6, Entwicklung eines 4-Personen-Elektromobils, Los Angeles
- The environmental impact of electric vehicles covering materials supply, air pollution electromagnetic interference, noise and safety factors, related to cost benefits for Europe as a whole (A. Aldous, Electric Vehicle Development Group, London)
- Low emission urban hybrid vehicle (E. Durelli, Genova Ricerche)

- Analysis of design and operation of environmentally friendly battery and hybrid powered cars, vans and small general purpose vehicles (J. Dunn, University of Birmingham)
- Elektrofahrzeuge mit Batterien und ihr Einfluss auf die Umwelt (F. Werner, Mercedes-Benz)
- Zu einer weiten Verbreitung von Elektrofahrzeugen gehört auch die Verfügbarkeit von leistungsfähigen
 Batterien. Neben den bereits in Entwicklung und Erprobung befindlichen NaS-, ZnBr- und NiCd-Batterien
 könnten allenfalls hierfür in Zukunft auch Festpolymer-Elektrolyte / Lithium-Batterien in Frage kommen [8]

"Verbrauchsminimales Leichtautomobil mit Erdgas-Magermotor" [3]

Das im Herbst 1990 eingeleitete Projekt des Zentralschweizerischen Technikums Horw-Luzern umfasst die Herstellung eines verbrauchs- und emissionsarmen Leichtautomobils mit einem Erdgas-Magermotor sowie die Definition der technischen Mindestanforderungen für eine neue Fahrzeugkategorie "Leichtautomobile".

Die erste Ergebnisse dieses Projektes sind:

- Der Magerbetrieb mit Gas wird an einem Einzylinder-Versuchsmotor auf dem Prüfstand untersucht und optimiert und somit Treibstoffverbrauch und Stickoxidemissionen minimiert. Die Einstellungen des Zündzeitpunktes für den emissions- und verbrauchsminimalen Betrieb sind nun bekannt.
- Es wurde mit der Umrüstung des Pilotfahrzeugs Daihatsu Cuore begonnen. Anstelle des Benzintanks wurde eine Wanne für einen 20 Liter Erdgas-Druckbehälter eingebaut. Zur Erhöhung des Verdichtungsverhältnisses wurde der Motor vollständig demontiert, so dass die Kolben ersetzt werden können.

"Schnellbahn Swissmetro" [4]

Dieses Projekt ist ein gemeinsames Forschungsvorhaben des Dienstes für Gesamtverkehrsfragen und des BEW. Forschungsstellen sind das LEME und das ITEP der ETH-Lausanne. In einer seit Mitte 1989 laufenden Vorstudie werden für dieses für mittlere und längere Reiseentfernungen vorgesehene neuartige Verkehrssystem einerseits die Marktchancen und andererseits die möglichen Auswirkungen untersucht. Bis Ende 1990 wurden folgende Abklärungen durchgeführt:

- Nachfrageszenarien für die Jahre 1988 (Ist-Zustand), 2010 und 2040
- Ermittlung von geeigneten Betriebskonzeptvarianten
- Studien zur Vakuum-, Magnetschwebe- und Linearmotortechnik
- Trassestudien
- Studien zu den Bau- und Betriebskosten
- Ermittlung der Auswirkungen auf Benutzer, Volkswirtschaft, Umwelt, Energie, Raumplanung, Gesellschaft, usw.

Diese Vorstudie wird im Frühjahr 1991 abgeschlossen. Aufgrund ihrer Ergebnisse wird über das weitere Vorgehen zu entscheiden sein.

3. Internationale Zusammenarbeit

Auf internationaler Ebene befassen sich mit dem Gebiet "Energie und Verkehr" vor allem die Internationale Energie Agentur (IEA) und die Europäische Gemeinschaft mit dem Projekt "Europäische Zusammenarbeit auf dem Gebiet der wissenschaftlichen und technischen Forschung (COST)". Eine IEA-Expertengruppe hat 1990 hierzu den Bericht "Energie und Umwelt: Antworten des Verkehrs" [6] ausgearbeitet. Auf europäischer Ebene ist eine neue COST-Aktion "Verbesserung der Luftqualität in den Städten" [7] in Vorbereitung, worin auch energiesparende und umweltverträgliche Verkehrsmittel eine wichtige Rolle spielen werden. Die Schweiz ist an diesen internationalen Aktivitäten beteiligt.

4. Geplante Forschungsarbeiten 1991

Als neue Projekte sind für 1991 von der Programmleitung vorgesehen:

- Entwicklung, Erprobung und Optimierung eines umweltschonenden Antriebskonzeptes für das Ökomobil Hybrid III B der ETH-Zürich mit geringstem Energieverbrauch und minimalsten Emissionen
- Vorbereitung und Einleitung des interdisziplinären Projektes Leichtmobil CH 2000 mit Berücksichtigung und Koordination der bisherigen Forschungsarbeiten
- Optimierung eines Elektromofas
- Leerfahrtenopimierung beim Strassengüterverkehr durch Einsatz neuer Technologien
- Fallstudie zur Ermittlung des Energiesparpotentials und der umweltspezifischen Auswirkungen durch gemeinsame Nutzung von Personenwagen (z. B. Autoteilet, Stattauto).

5. Liste der Projekte

- [1] J. Jäger, W. Koller, LARAG, Wil: "Forschungsprojekt Leichtelektromobil". (JB)
- [2] G. Nievergelt, MINIMO, Menzingen: "STM Solar Team Menzingen". (JB)
- [3] W. Janach, ZTL, Horw: "Erdgas-Magermotor". (JB)
- [4] J. D. Favraud, LEME / ITEP, EPF-Lausanne: "Swissmetro". (JB)
- * (JB) Jahresbericht 1990 vorhanden

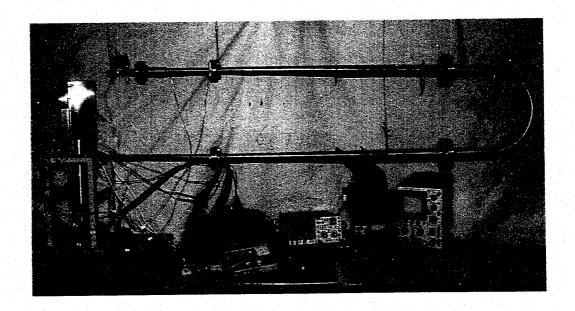
6. Referenzen

- [5] "Electric Vehicle Progress", The Year in Review, December 1990.
- [6] IEA, Energy and the Environment: "Transport System Responses in the OECD", Assessment of Energy Technology Priority Areas, Transport Technologies, Doc. Nr. 7, 1990.
- [7] OECD-Group on Urban Affairs: "Verbesserung der Luftqualität in Städten", November 1990.
- [8] M. Gauthier, A. Bélanger, B. Kapfer, G. Vassort, M. Armand, Uni-Grenoble (F): "Solid Polymer Electrolyte (SPE) Lithium Batteries".

UMGEBUNGS- UND ABWÄRMENUTZUNG, WÄRME-KRAFT-KOPPLUNG

Überblicksbericht zum Forschungsprogramm 1990

Programmleiter: Ulrich Schärer



Funktionsmuster einer Stirling-Wärmepumpe mit Resonanzrohr

Am Motorteil der neuen Wärmepumpen-Konzeption werden die theoretischen Überlegungen bestätigt und das Betriebsverhalten systematisch ausgemessen (Firma TELMECO, Genève).

1. Die Programmziele und das neue Umfeld

Zunächst sei an die Hauptziele des Programms erinnert: an sich bekannten Technologien zur Verwertung von Umwelt- und Abwärme zum Durchbruch auf dem Markt verhelfen. Die entsprechenden Potentiale sind beträchtlich — wenn nicht überhaupt die wichtigsten Optionen zur Erreichung einer CO₂-Stabilisierung in den nächsten zehn Jahren. Mit der Annahme des Energienutzungsbeschlusses (ENB) und im Zusammenhang mit dem angekündigten Programm "Energie 2000" Ende 1990 wird das Programm noch stärker als bisher in die Energiepolitik eingebunden. Gleichzeitig werden seine Ziele durch neu mögliche, nicht forschungsmässige Förderungsmassnahmen verstärkt.

Die Richtigkeit der zwei bisherigen, hauptsächlichen Stossrichtungen des Forschungsprogramms wird damit bestätigt : es geht erstens um die Verbesserung der Leistungszahl von Wärmepumpen resp. der Nutzungsgrade von Wärmerückgewinnungssystemen (WRG) und Wärme-Kraft-Kopplungsanlagen (WKK) als Mittel zur Senkung der Betriebskosten, zweitens um die Verminderung oder mindestens Stabilisierung der Investitions- und damit Kapitalkosten dieser Systeme.

Waren bislang Forschung und Entwicklung alleinige Mittel, um solchen Technologien zum Marktdurchbruch zu verhelfen, so sind sie nun im neuen Umfeld eingebettet und erlangen durch die Möglichkeiten von ENB und "Energie 2000" mehr Gewicht.

Ziele 1990

- Weiterführung der Projekte im Bereich "konventioneller" Wärmepumpensysteme. Sie dienen der Verbesserung der Jahresleistungszahl — wir erhoffen uns etwa 50 % Verbesserung in den nächsten fünf Jahren — resp. der zuverlässigen Dimensionierung;
- Abschluss der ersten Entwicklungsphase einer Stirling-Wärmepumpe neuer Konzeption;
- Die sich aus dem notwendigen Ersatz von Chlorierten Fluor- Kohlenwasserstoffen (CFKW) als Kältemittelergebenden Konsequenzen auf die Konstruktion von Wärmepumpen abklären;
- Mittel zur optimalen Dimensionierung und Betriebsweise von Wärme-Kraft-Kopplungsanlagen (WKK) —
 als Stromlieferanten für Wärmepumpen erarbeiten;
- Betriebserfahrungen mit Stirling-WKK sammeln;
- Die an der Weiterentwicklung der Wärmepumpentechnologie interessierten Kreise in der Schweiz zur stärkeren Mitwirkung bewegen;
- Auf eine bessere Zieldefinition des "Implementing Agreement on Advanced Heat Pumps" der Internationalen Energieagentur IEA hinwirken.

Die gesetzten Jahresziele konnten grösstenteils erreicht werden.

Hervorzuheben ist die erfreuliche Tatsache, dass im Berichtsjahr in der Schweizer Wärmepumpenszene einiges in Bewegung geraten ist: so wird sich die Wärmepumpenwirtschaft am künftigen F+E-Programm mit eigenen Projektvorschlägen beteiligen. Die Elektrizitätswirtschaft hat ein Marketingkonzept in Angriff genommen und will den Anwendungsberatern der Werke vermehrt Wärmepumpen-Informationen liefern. Der Kanton Zürich wird — zusammen mit der NOK — als Mittel der Förderung und Qualitätssicherung ein Testzentrum für Wärmepumpen bauen und betreiben. All diese "Aufbrüche" lassen zusammen mit dem Energienutzungsbeschluss einen optimistischen Blick auf die Zukunft zu.

2. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse 1990

"Wärmepumpen"

Im Schwerpunktbereich Wärmepumpen wurde an verschiedenen Mosaiksteinen zur Gestaltung des Gesamtbildes gearbeitet, das schliesslich Wärmepumpen mit gegenüber heute wesentlich besserer Energieausbeute auf dem Markt zeigen soll. Im folgenden werden die Arbeiten in den drei Teilgebieten Wärmequellen, Systeme / Komponenten / Betriebsoptimierung, Wärmeabnehmer (Senke), vorgestellt.

a) Wärmequellen:

Nachdem die Untersuchungen des Kantons Bern über Wärmenutzungspotentiale des Grundwassers als Wärmequelle abgeschlossen sind, ist ein neues, bereits im letzten Bericht erwähntes Projekt in Vorbereitung. Mit ihm soll die gegenseitige Beeinflussung mehrerer in Sondenfeldern angeordneter Erdwärmesonden [1] detailliert und über mehrere Heizperioden hinweg beobachtet werden. Ergebnis werden Dimensionierungsrichtlinien und -kennzahlen für solche Sondenfelder sein. Diese können vermehrt Bedeutung für Wärmepumpen grösserer Leistung (für Wärmekollektive oder grössere Bauten) erlangen. Die Versuchsanlage ist bei der HTL Burgdorf geplant und wird nach Projektabschluss dieser Ingenieurschule zu Ausbildungzwecken — und natürlich zur Beheizung der Gebäude — weiter zur Verfügung stehen.

In eine ähnliche Richtung zielt das Ende des Berichtsjahres begonnene Projekt zur Feststellung der minimal einzuhaltenden Grenzabstände zwischen Erdwärmesonden auf zwei verschiedenen Grundstücken [2] — eine für die Planung wichtige Frage nicht nur im Hinblick auf die Vermeidung einer unzulässigen Abkühlung des Erdreichs in solchen Fällen, sondern nicht zuletzt auch zur Verhinderung allfälliger Streitigkeiten zwischen Anlagebesitzern ("Wärmeklau").

Die Ergebnisse der bereits im letzten Bericht als abgeschlossen gemeldeten Messprogramme an drei Erdwärmsondenanlagen wurden im Berichtsjahr in einer zusammenfassenden Publikation des BEW veröffentlicht [16].

Erdwärmesonden verdienen zu Recht besondere Aufmerksamkeit: Erdwärme ist wegen ihrer relativ hohen und über die ganze Heizsaison nur leicht abnehmenden Temperatur (in einer Tiefe von 50 m typischerweise etwa von 12 auf 9 °C, bleibende Langzeit-Abnahme gegenüber dem Start ca. 1 °C) eine hervorragende Wärmequelle. Diese Vorteile werden jedoch nur bei richtiger Dimensionierung über längere Zeit erhalten. Deshalb ist eine sorgfältige Auslegung aufgrund gesicherter Kenndaten wichtig.

Tiefe Geothermie wäre natürlich eine noch bessere Wärmequelle als die mit Erdwärmesonden erschliessbare "untiefe Geothermie". Die Eidg. Kommission für Geothermie und unterirdische Wärmespeicherung befasst sich seit langem mit den geologischen Aspekten einer Erschliessung. Da jedoch die Wirtschaftlichkeit einer Geothermie-Anlage wesentlich auch von den Wärmeverteilungskosten abhängt, wurde im Rahmen des vorliegenden Programms ein Berechnungsprogramm für die Abschätzung der Wirtschaftlichkeit von kompletten Geothermie-Systemen (Bohrungen, Wärmeverteilsystem und Wärmepumpen) in Auftrag gegeben. Eine erste Phase ist 1989 abgeschlossen und Fachleuten vorgestellt worden. Aufgrund von deren Anregungen wurde im Berichtsjahr eine Verfeinerung des PC-Programms vorgenommen [3].

Die bereits im vorhergehenden Jahresbericht vorgestellte Untersuchung eines unter dem Hausfundament angelegten Geröllspeichers (Wärmequelle für eine Luft / Wasser-Wärmepumpe) konnte wegen des milden letzten Winters nicht wie vorgesehen zu Ende geführt werden. Der Winter 90 / 91 muss nun Klarheit über den Wärmetransport zu diesem Speicher bringen. Weitere Ausführungen über Wärmespeicherung im Boden sind im Bericht zum Programm "aktive Solamutzung" zu finden.

Luft bietet als Wärmequelle im übrigen keine besonderen Schwierigkeiten. Das Problem ist anlageseitig: die Vereisung der Wärmepumpen-Verdampfer bei der Gefriergrenze resp. der Energieaufwand zur Abtauung, die mit ungünstigem Abtausystem beträchtlich auf die Jahresleistungszahl drücken kann. Diesem Problem muss durch eine geeignete Regelung Rechnung getragen werden — ein auch in den weiter unten erwähnten Simulationsprojekten behandelter Aspekt.

b) Wärmepumpensystem / Komponenten / Betriebsoptimierung:

1990 wurde vor allem an Werkzeugen zur Bestimmung der optimalen Wärmepumpe weitergearbeitet. Es geht dabei um das bereits im letzten Jahresbericht vorgestellte, auf PC zugeschnittene Simulationsprogramm "HPDesign" [4], das nicht nur das System als Ganzes beschreibt, sondern auch die einzelnen Komponenten und deren Zusammenspiel im Betrieb modelliert. Während das letztes Jahr abgeschlossene, der Praxis als PC-Programm zur Verfügung stehende sog. einfache Modell eine zuverlässige Wirtschaftlichkeitsrechnung erlaubt, soll das komplexere "HP-Design" die optimale Dimensionierung von Wärmepumpen mit Luft oder Wasser als Quelle und Wärmesenke sicherstellen. Besondere Bedeutung erhält diese von einer Gruppe aus der Praxis begleitetete Arbeit im Hinblick auf neue Kältemittel als Ersatz der CFKW. Wir hoffen, der Praxis ein Werkzeug zur Verfügung stellen zu können, das unter anderem auch eine rasche Anpassung an neue Stoffcharakteristiken erlauben wird.

Von stufenlos drehzahlgeregelten Wärmepumpen verspricht man sich eine Verbesserung der jährlichen Energieausbeute (Leistungszahl) bis zu 15% gegenüber den heute angebotenen Wärmepumpen mit "Ein / Aus"-Betrieb. Ein Projekt befasst sich deshalb mit systematischen Messungen einer drehzahlgeregelten Wärmepumpe und deren Modellierung [5] mit dem Ziel, die geeigneten Komponenten (Kompressoren) und Regelstrategien identifizieren zu können. Die auf dem Prüfstand stehende Wärmepumpe hat einen sog. Scroll-Kompressor.

Ergänzt wird diese Arbeit durch das vom NEFF finanzierte Projekt "Wärmepumpenoptimierung" [6]. Es hat zum Ziel, die für eine stufenlose Drehzahlregelung am besten geeigneten, auf dem Markt erhältlichen Komponenten, insbesondere Kompressoren, zu evaluieren, Kompressoren mit auch bei Teillast gutem Wirkungs- und Liefergrad. Dabei werden auch andere Rotationskompressoren als die Scrolls getestet.

Um den optimalen Betrieb von Wärmepumpenanlagen bei geringsten Betriebskosten zu unterstützen, wird an einem Expertensystem zur präventiven Wartung und Alarminterpretation [7] gearbeitet.

Ein neues Wärmepumpenkonzept wird mit dem Projekt "Thermische Wärmepumpe mit Stirling-Antrieb und Resonauzrohr" [8] untersucht. Die 1990 abgeschlossene Phase 1 mit einem Funktionsmuster des Motorteils (s.Abb. Titelseite) bestätigte die vorhergegangenen theoretischen Untersuchungen über das Verhalten der beiden Schwingungssysteme Freikolben und Resonanzrohr. Es wird nun darum gehen, den Wärmepumpenteil anzufügen und das System zu optimieren. Gelingt dies den Erwartungen entsprechend, so kann eine thermische Wärmepumpe zur Verfügung stehen, welche eine energetisch interessante Option zu Wärmepumpen mit konventionellen Verbrennungsmotoren darstellt, verschiedene Nachteile dieser Systeme dabei vermeidet (Lärm, Schadstoff-Emissionen, Unterhalt etc.) und bezüglich Brennstoff flexibel ist. Das Problem wird sein, eine Industrie für die Serien-Entwicklung zu gewinnen.

c) Wärmeabnehmer ("Senke"):

Die Leistungszahl einer Wärmepumpe wird bekanntlich im wesentlichen bestimmt durch die Temperaturdifferenz zwischen Wärmequelle und Wärmeabnehmer: je kleiner sie ist, desto höher die Energieausbeute. Die Temperatur des Wärmeverteilsystems solldte also möglichst wenig über der gewünschten Raumtemperatur liegen. Dieser Forderung kommen natürlich Fussbodenheizungen entgegen. Eine andere Möglichkeit sind grossflächige "Radiatoren". In diese Richtung zielen die sog. Strahlungswände, die nicht vorwiegend konvektive Wärme abgeben, sondern einen relativ hohen Strahlungsanteil aufweisen. Mit dem Projekt "CALOBUS" [9] wurden Wärmetransportphänomene bei geringen Temperaturdifferenzen (Wärmeübergänge luft- und wasserseitig bei verschieden gestalteten Oberflächen) solcher Wände untersucht. Mit den Ergebnissen können sie nun zuverlässig dimensioniert werden. Potentielle Anwendungen sind nicht nur Wärmepumpen-, sondern ebenso Solar-Heizungen und saisonale Wärmespeicher. "CALOBUS-Wände" sind bereits in einigen Gebäuden erfolgreich in Betrieb.

"Wärme-Kraft-Kopplung WKK"

Für den Einsatz von Wärmepumpen darf der Antriebsstrom trotz Kernenergie-Moratorium kein Engpass werden. Dezentrale WKK bieten sich als Stromlieferanten an. Mit der Kombination Wärmepumpen / WKK können immer noch beträchtliche Mengen fossiler Brennstoffe gespart werden (Treibhausproblem). Bearbeitet werden diesem Ziel entsprechend folgende zwei Themen: die Entwicklung eines Expertensystems zur präventiven Wartung und Alarminterpretation [10] sowie die systematische Untersuchung der eine dynamische Betriebsweise von WKK [11] bestimmenden Parameter. Aus dem letztgenannten Projekt sollen entsprechende Steuerungsstrategien

abgeleitet werden können. Beide Projekte werden Werkzeuge für die optimierte Dimensionierung und Betriebsweise, damit zur Minimierung des Betriebsaufwandes liefern.

Als Optionen zu WKK mit konventionellen Verbrennungsmotoren bieten sich grundsätzlich Stirling-Motoren an. Um Erfahrungen mit verschiedenen Produkten zu gewinnen, werden einige Pilotanlagen betrieben: zwei Anlagen in Vaulruz [12], ein gleiches Produkt am Schweiz. Institut für Berufspädsagogik (SIBP) und ein kleinerer Motor anderer Herkunft am ÖKOZENTRUM Langenbruck — dieser in Verbindung mit einem Holzschnitzelkessel [13]. Die vom Prinzip her zu erwartenden Vorteile von Stirling-Motoren (geringer Geräuschpegel, niedrige Schadstoffemissionen) konnten durch die bisherigen Messungen an diesen Anlagen leider nicht bestätigt werden. Sie sind auch noch mit einigen "Kinderkrankheiten" behaftet, die einen Dauerbetrieb bisher verhinderten. S. a. Programme "Verbrennung" und "Brennstoffzellen".

"Dynamischer Betrieb von Fernwärmesystemen"

Im Zusammenhang mit der Nutzung von Wärme aus Kehrichtverbrennungsanlagen KVA, künftig allenfalls auch aus grossen WKK-Anlagen, ist die Dimensionierung und optimale Betriebsweise von Wärmeverteilnetzen wichtig. Dynamischen Betriebszuständen konnte bis heute nicht genügend Beachtung geschenkt werden, weil entweder die entsprechenden Berechungsgrundlagen fehlten, in der Handhabung zu kompliziert waren oder die Wirklichkeit zu wenig gut abbildeten. Mit dem Projekt "Simulation dynamique du comportement d'un réseau de chauffage à distance" [14] wird versucht, diese Lücke zu schliessen. Erste Vergleiche des entwickelten Modells mit Messungen in einem Fernwärmenetz lassen die Fortsetzung als sinnvoll erscheinen.

3. Umsetzung der Ergebnisse

Aus dem vorherigen Kapitel wird klar, dass viele der Projekte im wesentlichen Werkzeuge zu einer verbesserten Planung und Dimensionierung von Anlagen zur Nutzung von Umgebungs- und Abwärme liefern sollen. Diese Werkzeuge müssen von der Praxis dann aber auch übernommen werden. Erste Voraussetzung dazu ist deren Akzeptanz. Sie zu erreichen ist nicht leicht. Deshalb wird nach Möglichkeit versucht, bereits während der Bearbeitung der Projekte Fachleute aus der Praxis beizuziehen, die sie kritisch begleiten. Die Erfahrung zeigt, dass damit die EDV-Programme auch benutzerfreundlicher und realitätsnaher werden.

Natürlich erfolgt die Umsetzung auch über die "normalen" Kanäle : Jahres- und Schlussberichte, ENET / VTX, Veröffentlichungen in Fachzeitschriften.

Erfreulich lässt sich die Zusammenarbeit mit dem Impulsprogramm RAVEL an: ein Teil der dort vorgesehenen Weiterbildungsthemen wird auf der Grundlage von F+E-Ergebnissen dieses Programm erarbeitet und vermittelt werden. Zu erwähnen ist insbesondere auch das im Februar 1990 veranstaltete Seminar "Wärmepumpen-Forschung in der Schweiz: Wohin?". Zwar war es nicht direkt der Umsetzung von bestimmten Projekten gewidmet, aber es steht für den Beginn einer viel engeren Zusammenarbeit zwischen Forschungsstellen und Wärmepumpenindustrie — bei der Definition und gemeinsamen Abwicklung von F+E-Projekten ebenso wie bei deren Umsetzung in Marktprodukte. Von nun an sollen an jährlichen Seminaren jeweilige Zwischenbilanzen gezogen, die gemeinsamen Ziele überprüft und neu festgelegt werden. Wir erhoffen uns von diesem Forum wesentliche Impulse über die Forschungs- und Entwicklungsbelange hinaus.

4. Internationale Zusammenarheit

Herausragendes Ereignis 1990 war sicher der dritte Wärmepumpen-Weltkongress unter der Aegide der Internationalen Energieagentur (IEA) vom März in Japan. Auch die Schweizer Teilnehmer haben viele Anregungen für die Entwicklung in der Schweiz nachhause gebracht. Dies ist in ihrem gemeinsamen Bericht [15] nachzulesen, der entsprechende Vorschläge enthält.

Dass 1990 auch international viel in Fluss geraten ist, zeigt zum Beispiel die im Schosse des Heat Pump Center der IEA neu gegründete Gesellschaft "International Heat Pump Promotion Center" (IPC). Diese Organisation richtet sich vor allem an die Wärmepumpenindustrie und die Elektrizitätsunternehmungen. Als Auftakt zu einer hoffentlich starken Förderungstätigkeit durch diese Kreise wurde vom IPC in Graz einen Workshop veranstaltet. Erfreulicherweise hat auch die Schweizer Elektrizitätswirtschaft lebhaftes Interesse an IPC gezeigt und am Workshop durch einen Vortrag des Geschäftsführers der INFEL / KRE mitgewirkt.

Daneben waren wir auch 1990 an Wärmepumpen-Forschungsprojekten der IEA beteiligt (Simulation) und haben uns für die Mitwirkung an neuen angemeldet (Auswirkungen neuer Kältemittel). Zudem haben erste Gespräche mit einigen europäischen Ländern stattgefunden, um spezifisch interessierende Themen gemeinsam zu bearbeiten: so steht gegenwärtig ein Vorschlag zur Entwicklung eines europäischen, ausschliesslich auf drehzahlvariable Wärmepumpen zugeschnittenen Inverters zur Diskussion.

Insgesamt darf die internationale Zusammenarbeit als befriedigend bezeichnet werden, wenn auch durchaus mehr möglich wäre. Vielfach scheitert ein engeres Zusammengehen aber an kommerziellen Partikularinteressen (ein auch innerhalb der Schweiz nicht ganz unbekannter Hemmschuh ...).

5. Geplante Arbeiten 1991

Neben der Weiterführung der meisten unter Kapitel 2 aufgeführten Projekte sollen — im Sinne auch des Programms für die nächsten Jahre — insbesondere gemeinsam mit der Arbeitsgemeinschaft Wärmepumpen A.W.P. formulierte Projekte begonnen werden:

- Die Entwicklung einer Klein-Wärmepumpe vor allem für den Sanierungsmarkt: thermische Leistung ca. 6
 ... 10 kW, Wärmequelle Luft (Vermarktung gefördert durch Kanton Zürich und NOK);
- Messkampagne an der als Prototyp bereits vorhandenen Diffusions- Absorptions-Wärmepumpe (DAWP);
- Die Lösung der immer wichtiger werdenden Einbindungsprobleme von Wärmepumpen und WKK-Anlagen in
 das hydraulische System zusammen mit dem SWKI, RAVEL, dem Kanton Zürich u. a. interessierten
 Stellen. Wünschbar wäre insbesondere eine aktive Beteiligung der Regelindustrie;
- Besonders aufmerksam verfolgt werden muss die internationale Entwicklung auf dem Gebiet von CFKW-Ersatzstoffen für Wärmepumpen und Kältemaschinen;
- Die nächste Phase zur Entwicklung der Stirling-Wärmepumpe mit Resonanzrohr muss initiiert werden wenn immer möglich mit einer interessierten Industrie.

Der eingangs erwähnte Energienutzungsbeschluss wird uns nun die Mittel geben, um eigentliche Produkteentwicklungen zu fördem, vor allem aber auch Pilot- und Demonstrationsprojekte zu unterstützen — eine bisher besonders empfindliche Lücke zur Umsetzung von Forschung und Entwicklung. In diesem Zusammenhang hoffen wir, auch auf dem Gebiet der Wärmerückgewinnung in der Industrie vermehrt aktiv werden zu können.

6. Liste der Projekte

- [1] Kanton Bern: "Thermoprogramm Erdsonden", Vorprojekt.
- [2] R. J. Hopkirk, POLYDYNAMICS, Zürich: "Minimale Grenzabstände von Erdwärmesonden".
- [3] A. Mützenberg / D. Roux, Ing.-Gemeinschaft, Buchs (SG) / Genève: "Wirtschaftlichkeitsvergleich von Wärmeversorgungssystemen mit Geothermie mittels PC". (JB)
- [4] M. R. Conde, ETH-Zürich: "Simulationsmodell zur Unterstützung der Entwicklung besserer Wärmepumpen". (JB)
- [5] Th. Afjei, ETH-Zürich: "Messungen einer drehzahlgeregelten Wärmepumpe und Modellierung". (JB)
- [6] ENFOG, Gossau: "Wärmepumpenoptimierung WPO, Phase 2".

- [7] D. Maurer, ETH-Zürich: "Expertensystem zur präventiven Wartung von Wärmepumpen". (JB)
- [8] J. P. Budliger, TELMECO, Genève: "Entwicklung einer thermischen Wärmepumpe mit Stirling-Motor und Resonanzzohr". (JB)
- [9] B. Saugy, CREM, Martigny: "CALOBUS Echangeurs de chaleur". (JB +SB)
- [10] P. Neuenschwander, ETH-Zürich: "Expertensystem für präventive Wartung und Alarminterpretation in der Haustechnik: Phase 2, Blockheizkraftwerke". (JB)
- [11] M. Stalder, DR. EICHER & PAULI, Liestal: "Dynamische Betriebsweise von WKK-Anlagen, Phase I". (JB)
- [12] J. Audergon, GEIMESA, Fribourg: "Intégration de deux groupes Stirling à la centrale thermique de Vaulruz". (JB)
- [13] Ch. Gaegauf, ÖKOZENTRUM, Langenbruck: "Schnitzelfeuerung und Stirling-Motor". (JB)
- [14] M. J. Kunz / P.-A. Haldi, EPF-Lausanne: "Simulation dynamique du comportement d'un réseau de chauffage à distance". (JB)
- (JB) Jahresbericht 1990 vorhanden
 (SB) Schlussbericht vorhanden

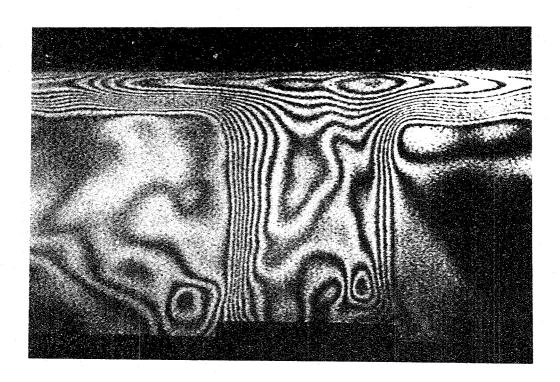
7. Referenzen

- [15] "The 3rd International Energy Agency Heat Pump Conference, Tokyo, 5.-16. März 1990", Reisebericht der Schweizer Teilnehmer, erhältlich beim Programmleiter.
- [16] "Erdwärmesonden-Heizanlagen: durch Messungen und Berechnungen bestimmte Auslegungs- und Betriebsgrössen", BEW-Studie Nr. 46, 1990.

FEUERUNG UND VERBRENNUNG

Ueberblicksbericht zum Forschungsprogramm 1990

Programmleiter: Alphons Hintermann



Laser-Messmethoden in der Verbrennungsforschung:

Holographisches Bild eines Alkoholbrenners, dessen Flamme gegen eine Platte gerichtet ist. Mit drei solchen phasenverschobenen Hologrammen lässt sich die Temperaturverteilung in der Hologrammebene berechnen. Dieses Schnell-Messverfahren für Temperaturfeldmessungen in Flammen wurde an der ETH-Zürich ausgearbeitet und soll für mobile Anwendungen weiterentwickeltwerden.

1. Einleitung

Die seit der Ölkrise von 1973 intensivierte Verbrennungsforschung hat durch das weltweit verstärkte Bewusstsein der CO₂- und Ozonproblematik wieder an Aktualität gewonnen. Eine weitere Verstärkung der Forschungsaktivität und der Umsetzung der vorhandenen Forschungsresultate in praxisgerechte Anlagen mit den Zielen einer Reduktion des Primärenergieverbrauchs und des Schadstoffausstosses ist auch international gesehen nach wie vor ein Gebot der Stunde.

Unser Land hat auf dem Gebiet der Verbrennungsforschung in der Industrie wie auch an den Hochschulen eine langjährige Tradition. Seitens des Schulrates der ETH wurden am Institut für Energietechnik der ETH-Zürich besonders die Laboratorien für Energiesysteme (LES) und für Verbrennungsmotoren und Verbrennungstechnik (LVV) sehr grosszügig unterstützt. Die Hauptanstrengungen galten in den vergangenen Jahren der Modernisierung der Infrastruktur, welche beute mit Ausnahme der Laser-Messtechnik und zugehöriger Versuchsträger als vorläufig abgeschlossen betrachtet werden kann. Im selben Zeitraum setzte das BEW und der NEFF ebenfalls beträchtliche Mittel in die Verbrennungsforschung ein. Der Aufbau neuer Forschungsschwerpunkte über motorische und nichtmotorische Verbrennung an der ETH-Zürich, am Paul-Scherrer-Institut (PSI) und in der Privatwirtschaft konnten so auf willkommene Weise verstärkt werden. Teilweise unterkritisch dotierte Forschungsschwerpunkte wurden damit ausgebaut sowie neue Akzente im Rahmen des Energieforschungskonzepts des Bundes gesetzt. Im nationalen wie auch im internationalen Vergleich können sich unsere Aktivitäten von der vorhandenen Infrastruktur, der Anzahl Forscher und nicht zuletzt von den erreichten Forschungsresultaten her, sehen lassen.

2. Anvisierte Zielpunkte

Die Verbrennungsforschung ist komplex und stark interdisziplinär. International wird hier viel geforscht und entwickelt. Wir möchten unsere traditionelle Forschung ausbauen. Stagnation bedeutet Rückschritt. Deshalb sind die wesentlichen Programmziele und Massnahmen nicht kurzfristig sondern mittel- bis längerfristig definiert:

- In den Projekten ist Qualitätsforschung anzustreben. Es sind internationale Spitzenresultate anzuvisieren.
- Der hohe Standard des erarbeiteten Know-how (Fachkompetenzen wie Erfahrungen mit Rechen-Codes, Messanalytik, Laser-Messverfahren, etc.) ist zu halten und längerfristig zu sichern.
- Weiterer Ausbau und Konsolidierung der einzelnen Schwerpunktsaktivitäten.
- Vernetzung der Hochschulprojekte mit aktuellen Problemen aus der Industrie und der Privatwirtschaft.
- Verstärkung der internationalen Aktivitäten.
- Förderung der Zusammenarbeit unter den verschiedenen Forschergruppen.
- Schaffen einer stimulierenden Arbeitsatmosphäre durchErleichtern von nationalen und internationalen Kontakten in Form von Seminarien, Workshops, Tagungen, etc.
- Förderung von gemeinsam getragenen, grösseren Versuchsträgern, an denen mehrere Forschungsprojekte aus der Industrie und den Hochschulen simultan bearbeitet werden können.
- Die Attraktivität der Energieforschung ist bei den Studenten zu erhöhen.

Es ist ein permanentes Anliegen des Programmleiters, unsere beschränkten BEW-Mittel optimal im Hinblick auf diese Zielsetzungen zu nutzen und soweit möglich, einzusetzen.

Bis heute hat das Programm im Hinblick auf diese Zielsetzungen teilweise erfreuliche Fortschritte gemacht.

Beispielsweise sind an der ETH-Zürich die Aufbauarbeiten zügig vorangegangen. So konnten der Einzylinder-Motor und andere Versuchsträger am LVV nicht nur in Betrieb genommen sondern auch eine Reihe von Experimenten mit eigenen Mitteln durchgeführt werden, die schon heute zu teilweise neuen Erkenntnissen führen bzw. die Aussicht auf die Beantwortung von äusserst interessanten Fragestellungen eröffnen. Parallel dazu hat der Kompetenzerwerb neuer Mitarbeiter Fortschritte gemacht. Das hohe Niveau der Forschungen strahlt auch auf die Studenten über, die am LES und LVV regen Gebrauch von dem attraktiven Angebot an interessanten und praxisgerechten Semester-, Diplom- und Dissertationsarbeiten machen. Im Berichtsjahr konnten eine erfreuliche Anzahl von projektintegrierten Diplomarbeiten sowie 3 Dissertationen im Rahmen der laufenden Forschungsprojekte abgeschlossen werden. Damit wurde auch die Aufgabe des Technologietransfers an die jüngere Ingenieurgeneration wahrgenommen.

Da das Programm aus vielen gestaffelten und meist über eine Periode von drei Jahren laufenden Projekten besteht, sind die wesentlichen Programmziele, das Erreichen der Jahresziele der einzelnen Projekte sowie die Integration neuer Projekte ins Programm.

Bis auf die PSI-Projekte, welche infolge anderweitig verschuldeter PSI-internen Schwierigkeiten teilweise bis zu einem Jahr Verzögerungen aufweisen, wurden in den anderen Projekte die erhofften Ziele mehr oder weniger erreicht. Am LES wurde das Holographieprojekt im Rahmen des bestehenden Vertrages auch international erfolgreich abgeschlossen. Ferner wurden zwei neue BEW-Projekte auf dem Gebiet der motorischen Verbrennung und eines zur Erfassung des Emissionsverhaltens von Holzfeuerungen ins Programm integriert.

Als spezielles Ziel für 1990 war die Koordination und Integration der Holzverbrennung ins Programm "Feuerung und Verbrennung" unter Absprache mit den anderen Programmleitern vorgesehen. Zusammen mit Vertretern der Holzfeuerungsindustrie und der ETH-Zürich wurden die drei Gebiete "Altholz", "Typenprüfung / Messverfahren" und "Low Emission Technik" als vordringliche Forschungsschwerpunkte definiert und drei Arbeitsgruppen beauftragt, die Prioritäten innerhalb dieser Gebiete auszuloten.

3. Durchgeführte Arbeiten und erreichte Ergebnisse

Die Erstellung des Hochdruckprüfstands "DIVA" (Druck in der Verbrennungsanlage) erfolgte nicht ganz gemäss Planung. Infolge Lieferungsverzögerungen von Komponenten steht die Anlage erst im September 1991 nach zweimonatiger Verspätung für die Erforschung neuer Technologien für eine schadstoffarme Verbrennung zur Verfügung. Infolge Engpässen verschiedener Art am PSI werden seitens ETH/PSI im kommenden Jahr keine Experimente geplant. ABB hat zur Zeit genügend eigene und dringende Projekte, um die Betriebsstunden für 1991 voll auszuschöpfen.

Im folgenden werden die laufenden Projekte in in vier Gebiete aufgeteilt. Eine eindeutige Zuordnung ist meist nicht möglich, da manche Projekte in zwei oder noch mehr Gebieten figurieren könnten. Damit kommt die starke Vernetzung der einzelnen Projekte mit verschiedenen Forschungsaspekten deutlich zum Ausdruck.

Alle siebzehn BEW-Projekte sind kurz beschrieben [1]-[17]. Mit anderen öffentlichen Mitteln finanzierte Projekte, vor allem im Schulratsbereich, sind nur schwerpunktsmässig oder summarisch erläutert. Die am Institut für Energietechnik der ETHZ in Angriff genommenen Arbeiten konzentrieren sich einerseits auf Messtechnik in Verbrennungsvorgängen und andererseits auf deren numerischen Simulation. Die neuen Erkenntnisse sollen teilweise gezielt für die Unterstützung von Entwicklungsarbeiten der Industrie eingesetzt werden. Ein Beispiel eines ETH-Projekts, das internationale Beachtung gefunden hat, sei hier speziell hervorgehoben:

Diffusionsverbrennung im Gross-Dieselmotor [22]

Mittels einer am LVV neu entwickelten fiberoptischen Gastemperatursonde wurde die Struktur des äusseren Teils der thermischen turbulenten Grenzschicht an einem SULZER-Grossdieselmotor untersucht. Mit Hilfe von Flammund Wandtemperaturmessungen und gestützt auf ein Simulationsmodell konnte weltweit erstmals quantitativ zwischen Strahlung und Konvektion instationär und lokal im Brennraum unterschieden werden.

"Grundlagen"

Thermochemische Energiespeicherung in Aluminium, Alu-Brenner [1]

Am PSI wurde der zur Verbrennung von Aluminiumpulver umgebaute Industrie-Oelbrenner weiter verbessert. Er lässt sich nun vollautomatisch starten und überwachen. Dieser Brenner wurde mit einer kompakten Heizanlage zur Warmwasserproduktion (40 - 90 °C) versehen. Die Problematik einer einfachen und dichten Pulveraustrag-

Schleuse am unteren Ende des Zyklons konnte erfolgreich gelöst werden. Erste Versuche wiesen auf eine funktionstüchtige Anlage hin. Hingegen sind noch keine Angaben über Standzeit und Verschleiss der Zyklonreinigungseinrichtung erhältlich. Parallel zu den Experimenten zeigten numerische Rechnungen mit dem PHOENICS-Code eine Übereinstimmung der gerechneten mit den beobachteten Strömungsbildern. Diese Rechnungen lieferten Hinweise für eine gute Plazierung der Zündelektroden.

Turbulenzparameter von Strömungen [2]

Das Verständnis der turbulenten Strömungen in der motorischen Verbrennung ist noch sehr gering. Ziele dieses Projekts sind, diese Strömungen theoretisch zu berechnen und mit experimentellen Charakterisierungen an einem Einzylinder-Forschungsmotor zu vergleichen.

Die Turbulenzmodellierung wurde erfolgreich abgeschlossen. Rechnungen können nun routinemässig für verschiedene Motorenkonfigurationen und -Betriebszustände durchgeführt werden. Parallel dazu erfolgte die experimentelle Erfassung von turbulenten Strömungen durch die momentane Bestimmung des Geschwindigkeitsfeldes (Betrag und Richtung) sich darin bewegender Teilchen. Dies wird durch Mehrfachbelichtung mit einem *Laser* erreicht, indem das Zeitprofil der Beleuchtungsstärke in geeigneter Weise kodiert wird. Zwecks Visualisierung dieser Inforamtionen wurde eine automatische Bildverarbeitungssoftware entwickelt, die die einzelnen Geschwindigkeitsvektoren aus den experimentellen Daten ermittelt. Anhand eines einfachen freien Strahls konnte eine gute Übereinstimmung der Rechnungen mit dem Experiment gezeigt werden. Der Vergleich am Einzylinder-Motor ist für 1991 geplant.

Katalytische Verbrennung [3]

Hauptziel dieses Projekts ist die Entwicklung einer Anlage zur katalytischen bzw. katalytisch unterstützten Verbrennung von gasförmigen Brennstoffen, insbesondere Methan, Wasserstoff und deren Gemische. Daneben sollen Grundlagen zum besseren Verständnis der katalytischen Oxydation erarbeitet und neue hochtemperaturbeständige Oxidkatalysatoren entwickelt werden.

In einer 30-kW-Anlage wurden verschiedene Edelmetallkatalysatoren unter technisch relevanten Bedingungen bezüglich ihrer Aktivität getestet. Das stationäre und instationäre Verhalten von adiabatischen und gekühlten Festbett- und Parallelkanalkatalysatoren sowie keramische Schäume als Katalysatorträger wurden untersucht. In einer speziellen Labor-Brennkammer wurden mit LIF Konzentrationen von OH-Radikalen (andere Spezies sind später vorgesehen) und die Gastemperaturen gemessen. Gleichzeitig wurde die Modellierung der Vorgänge in dieser Brennkammer in Angriff genommen. Methanverbrennungen in heterogener Reaktion zeigten, dass auch bei hochaktiven Katalysatoren Eintrittstemperaturen von mindestens 500 °C für einen deutlichen Brennstoffumsatz notwendig sind. Es wurde festgestellt, dass die homogene Reaktion im Katalysator qualitativ anders verläuft als aufgrund der Literaturstudie erwartet.

"Laser-Messmethoden"

Know-how für Laser-Messmethoden ist am PSI und an der ETH-Zürich im Aufbau begriffen. Teilweise werden neue Methoden entwickelt oder bestehende verbessert. Es besteht die Absicht, einerseits dieses Wissen allen Interessierten, auch der Schweizer Industrie, zur Verfügung zu stellen und andererseits von ihnen Anregungen zur Lösung von spezifischen Problemen entgegenzunehmen und in zusätzlichen Forschungsvorhaben gezielt zu bearbeiten.

Bestimmung dreidimensionaler Temperaturfelder in Flammen mittels Holographie [4]

Eine erste Etappe wurde abgeschlossen. Entwickelt wurde die notwendige Aufnahmetechnik für holographische Interferometrie und die Software zur tomographischen Auswertung der Hologramme (siehe Titelblatt). Ein Schnell-Messverfahren für dreidimensionale Temperaturfeldmessungen in Flammen steht damit zur Verfügung. Die bei höheren Temperaturen verminderte Übereinstimmung mit dem Experiment könnte durch eine zusätzliche Berücksichtigung des Brechungsindexes von Wasserdampf behoben werden. Um dieses Messverfahren bei komplizierteren Flammengeometrien einzusetzen, muss die Auflösung des "image processing"-Systems verbessert werden.

Eine Fortsetzung der Arbeiten als EG-SCIENCE-Projekt wurde vorerst in Brüssel abgelehnt. Die dabei angestrebte Zusammenarbeit mit der Universität Warwick (GB) soll aber 1991 neu definiert werden.

Laser-Diagnostik in der Verbrennung [5]

Kohärente Antistokes-Raman-Streuung (CARS) sowie *Laser*-Induzierte-Fluoreszenz (LIF) werden am PSI angewendet und weiterentwickelt. Weitere Methoden wie Entartetes-Vier-Wellen-Mischen (DFWM) werden auf ihre Eignung als Instrument zur Verbrennungsdiagnostik untersucht. Solche Messmethoden erlauben, momentane Stoffkonzentrationen in Flammen punktuell und über ganze Ebenen zu bestimmen. Aus diesen Daten können Verbrennungsparameter örtlich aufgelöst berechnet werden.

Die im CARS-Labor aufgebaute H₂-Thermometrie wurde mit pyrometrischen und Raman-Streumessungen kalibriert. Die N₂-Thermometrie wurde implementiert und Messungen an katalytischen Verbrennungen durchgeführt. Im Hinblick auf CARS-Anwendungen in Industrie-Experimenten ist eine Kompaktmessanlage im Aufbau.

Nach weiteren Verzögerungen am PSI konnte endlich das LIF-Labor eingerichtet werden. Preliminäre Messungen von OH-Radikaldichten wurden in einer katalytischen Verbrennungszelle vorgenommen. Konzentrationen bis zu 5 ppm konnten mit einer räumlichen Auflösung von 40 mm bestimmt werden. Die Kalibrierung der LIF-Daten wird bearbeitet. Ein zweiter LIF-Setup sowie ein DFWM-Experiment wird derzeit aufgebaut.

Schnell-Messverfahren in Flammen [6]

Die detaillierte Untersuchung der Infrarot-Emissionsspektren ergab drei Möglichkeiten für ein Schnell-Messverfahren, sodass der Aufbau eines Prototyps für das eigentliche Messverfahren ins Auge gefasst werden konnte. Zusätzliche Messungen mit dem Spektrometer sowie theoretische Studien sind notwendig, um die vorgeschlagenen Methoden zu validieren und die Messgenauigkeit abzuklären. Das angestrebte schnelle und kostengünstige Messverfahren wird jedoch nie so genau sein wie die aufwendigeren CARS- und LIF-Temperaturmessungen konkurrieren können.

Geometrische Partikeldetektion von Russteilchen [7]

Eine auf dem *Laser*-Deflektionsverfahren gestützte, berührungslose Messmethode zur Oberflächentemperaturmessung von Russpartikeln wurde entwickelt. Bei der experimentellen Erprobung der Methode hat sich die Oberflächentemperatur von Russpartikeln als eine ganz wesentliche Einflussgrösse für die Bestimmung des Brechungsindexes herausgestellt. Über den Brechungsindex können Rückschlüsse auf die aktuelle Russpartikelgeometrie gezogen werden. Zur Zeit laufen Vorbereitungen zum produktbezogenen Einsatz bei einem Schlitzbrenner.

Flammenfront- und Schadstoffvisualisierung [8]

Dieses Projekt legt das Schwergewicht auf die Visualisierung der Flammenausbreitung und der Schadstoffentstehung während der instationären Verbrennung. Zusammen mit LDA gestützten Strömungsmessungen sollen Flammen in tomographischen 2-D Schnitten sichtbar gemacht werden. Neben LIF werden auch auf Mie-Streuung gestützte Laser-Verfahren zum Einsatz gelangen. Zur Sichtbarmachung der räumlichen Verteilung von Stickoxiden werden Fluoreszenssignale des NO-Moleküls herangezogen. Damit sollen die verschiedenen Modelle über die Stickoxidentstehung in Verbrennungsprozessen validiert werden. Als Versuchsträger dienen neben dem Einzylinder-Forschungsmotor eine noch aufzubauende Verbrennungsbombe.

"Numerische Rechenverfahren"

Numerische Rechnungen sind mit den immer leistungsfähiger werdenden Computern in Mode gekommen, um komplexe Systeme zu simulieren. Sie eröffnen beispielsweise die Möglichkeit, aufwendige Experimente oder konstruktive Änderungen einer bestehenden Feuerung teilweise durch Rechnungen zu ersetzen. Um international mitsprechen zu können, sind eigene Erfahrungen auf diesem Gebiet unerlässlich.

Die anstehenden Probleme bei den numerischen Rechenverfahren sind vielfältig. Gemachte Erfahrungen in verschiedenen Projekten zeigten rasch, wo die Problematik und die Grenzen der Rechenverfahren liegen. Oft sprengt der Einbezug eines weiteren Parameters die Rechenkapazität der heutigen Computer bei weitem. Beispielsweise, wenn bei der Berechnung von Strömungen die chemischen Reaktionen berücksichtigt werden. Hier gilt es, das richtige Mass zu finden, um mit einem verantwortbaren Rechenaufwand praxisrelevante Hinweise zu erhalten. Zusätzliche Probleme entstehen bei der Validierung von Rechenmodellen, da oft leicht berechenbare Grössen nicht direkt messbar sind und umgekehrt gut messbare Parameter nur implizite in die Berechnung eingehen.

In verschiedenen Projekten wird das Softwarepaket *PHOENICS* verwendet, wobei oft noch eigene, zusätzliche Software eingebaut wird. An der ETH-Zürich wurde das Motorensimulationspaket *CIRCE4* im Rahmen des Projekts "*Otto 2000*" (vergl. Kapitel d)) entwickelt. Es steht verschiedenen ETH-Projekten zur Verfügung.

Experimentelle Untersuchungen in Flammen und deren Modellierung [9]

Die numerische Berechnung eines turbulenten Strahls wurde abschliessend behandelt und anhand einer einfachen Flammengeometrie die Grenzen von *PHOENICS* ausgelotet. Das verwendete K-E-Turbulenzmodell simuliert zumindest qualitativ einen ebenen Strahl [23]. Die im Vergleich zu experimentellen Daten erreichte Genauigkeit von 30 % kann nicht ohne erheblichen Mehraufwand verbessert werden.

Die auf einem reinen Zeldovitch-Mechanismus basierenden NO_x- Simulationen weisen teilweise beträchtliche Abweichungen gegenüber den Messwerten auf. Der Einbezug zusätzlicher chemischer Reaktionen in den Rechnungen könnte zu einer besseren Übereinstimmung führen. Die Berücksichtigung des Energietransfers durch Strahlung bei hohen Temperaturen in den Rechen-Codes erweistsich als komplex und bedarf weiterer Abklärungen.

Basiswissen filt low NO -Brenner und -Brennkammern [18]

Ziel dieses seit einem Jahr in enger Zusammenarbeit zwischen der ETH-Zürich, der EMPA und fünf Brennerund Kesselherstellerfirmen laufenden NEFF-Projekts ist die Erarbeitung von Grundlagenwissen für eine
möglichst schadstoffarme Verbrennung fossiler Brennstoffe. Für die beiden Projektteile "Optimierung von
Brennkammerströmungen / Flammenformen mittels numerischer Simulation" sowie "Experimentelle Untersuchungen" ist die Aktualität gegeben und realistischer Arbeitsablauf an der ETH gewährleistet. Das dritte Teilprojekt besteht aus experimentellen Untersuchungen in der Industrie. Hier gilt es den Problemkreis des Zusammenwirkens verschiedener Brenner- mit unterschiedlichen Kesseltypen genauer zu erfassen und durch
Simulationsrechnungen bisher gefundene Tendenzen zu erhärten. Die Feldmessungen der beteiligten Firmen bei
ihren Kunden ermöglichen dabei einen realen Vergleich mit den Simulationsrechnungen.

"Schadstoffreduktion uns Schadstoffaspekte"

Die Schadstoffproblematik ist je nach Brennstoff- und Verbrennungsart verschieden gelagert. Um die Luftreinhalte-Vorschriften (LRV 86/92) zu erfüllen, ist in den letzten Jahren viel geforscht und entwickelt worden. Künftige, verschärfte Vorschriften erfordern weitere Forschungsaktivitäten. Die Umsetzung des heutigen Standes der Technik in die Praxis ist, besonders was das Langzeitverhalten betrifft, noch sehr lückenhaft. Im Rahmen dieses Programmes werden dazu gezielte Anstrengungen unternommen, um wenigstens einige Lücken zu füllen und neue Erkenntnisse für die nächste Generation von Brennem zu erhalten.

a) Schadstoffarme Verbrennung von Heizöl Schwer

Aus Gründen internationaler Wettbewerbsfähigkeit sind viele Industriebetriebe (z. B. Papierfabriken) auf Schweröl angewiesen. Mit Hilfe neuer Technologien sollen die NO_x-Werte um mindestens einen Faktor zwei auf unter 400 mg/m³ gesenkt werden. Nur so kann bei bestehenden Anlagen in der Schweiz die Umstellung von Amtes wegen auf Heizöl "EL" vermieden und die Fachkompetenz unserer Feuerungs- und Kesselindustrie in der Schwerölverbrennung auch über unsere Landesgrenzen erhalten bleiben. Industrieseitig wurden folgende Forschungsziele für die Schwerölverbrennung definiert: Die Emissionen einerseits so gering wie möglich zu halten und sie andererseits durch reine Primärmassnahmen erst gar nicht entstehen zu lassen.

Schadstoffarme Verbrennung von Heizöl Schwer [19]

Im Rahmen dieses NEFF-Projekts wurden in Feldtesten in einer Papierfabrik an einem 6-MW-Brenner mit 8 t/h Dampfkessel die Schadstoffwerte: $NO_2 < 450 \text{ mg/m}^3$, Feststoffe $< 60 \text{ mg/m}^3$, CO $< 25 \text{ mg/m}^3$ gemessen. Die LRV-Vorschriften sind damit erreicht und teilweise unterschritten worden. Mit zusätzlichen Primärmassnahmen besteht die Aussicht auf weitere Schadstoffreduktionen.

In einem weiteren NEFF-Projekt [20] soll die LRV-NO_x-Werte durch die selektive, nichtkatalytische NO_x-Reduktion (SNCR-Verfahren) an mit Schweröl betriebenen industriellen Feuerungsanlagen erreicht werden. Neben dem Industriepartner ist auch die Ingenieurschule Biel mit Diplomarbeiten und Nachdiplomstudien am Projekt beteiligt. Das am PSI erarbeitete Basiswissen zum SNCR-Verfahren fliesst ebenfalls in das Projekt ein.

NO_x-Minderung an Schwerölanlagen [10]

Mit verschiedenen Sekundärmassnahmen wie gestufte Verbrennung und Abgasrezirkulation wurde nachgewiesen, dass an einer bestehenden Anlage (Baujahr 1989) im 10-MW-Leistungsbereich die LRV-Vorschriften für CO und NO, annähernd eingehalten werden können. Künftige verschärfte Abgasvorschriften (*Ultra Low-*NO,) können

auch mit Optimierung solcher Nachrüstmassnahmen kaum erreicht werden. Letztere sollen deshalb nicht Thema weiterer Forschungsaktivitäten bilden.

Neue Forschungen auf dem Gebiete der Verbrennung von Heizöl "Schwer" können aber nur dann weiterhin empfohlen werden, wenn bis 1992 die LRV-Auflagen erfüllt oder gar unterschritten werden können und auch für die weitere Zukunft ein Interesse und Potential für Schweröl in der Schweiz besteht(keine Umstellung auf Heizöl "EL" infolge LRV-Vorschriften).

b) Abgasreinigung bei Diesel- und Gasmotoren

In enger Zusammenarbeit mit dem PSI, das für den reinen Forschungsanteil verantwortlich zeichnet, werden durch ein privates Ingenieurbüro Felddaten für den Einsatz eines selektiven katalytischen Entstickungsverfahrens (SCR) bei bestehenden Dieselmotor-BHKW gewonnen, zwecks Umsetzung der am PSI erarbeiteten labormässigen Resultate. Dieselbe Firma ist auch um die praxisrelevante Beschaffung von Daten über das Verhalten von Lambda-Sonden und Katalysatoren bei gasbetriebenen BHKW's progt. Infolge seines wesentlich geringeren Gefährdungspotentials und der verbesserten Preiswürdigkeit gegenüber dem Ammoniak kommt dem Harnstoff-SCR-Verfahren auch eine potentielle Bedeutung bei der Entstickung von Gasturbinen, Magemotoren und allenfalls grossen Feuerungsanlagen zu.

Reduzierung von Stickoxiden in Abgasen [11]

Die Grundlagen zum SCR-Verfahren werden in diesem Projekt erforscht. In Laborversuchen wurde die prinzipielle Brauchbarkeit des Hamstoff SCR-Verfahrens demonstriert und die notwendige Messanalytik bereitgestellt sowie Versuche mit geeigneten Katalysatoren durchgeführt. Die Dosierung und Pyrolyse kleiner Hamstoffmengen beim selbständigen Betrieb einer solchen Anlage konnte nicht befriedigend gelöst werden und wird Gegenstand weiterer Untersuchungen sein. Für einen erfolgreichen Einsatz in die Praxis sind noch weitere Detailprobleme zu überwinden. Erste Erweiterungen des Verfahrens zur Anwendung in der Zementindustrie wurden untersucht. Ein geeigneter und billiger Wegwerfkatalysator für den Einsatz in der Wirbelschicht konnte aber nicht gefunden werden.

Abgasreinigung von Dieselmotoren mit Harnstoff [12, 24]

Die Harnstoffeindüsung erfolgt direkt in den Abgastrom durch eine Druckzerstäuberdüse. Über zwei Probeentnahmeleitungen sind kontinuierliche Messungen der Abgaskomponenten O_2 , CH, CO, CO₂ und NO vor und nach dem Katalysator möglich. Die nasschemische Bestimmung von Ammoniak, Isocyansäure und Blausäure ist nur diskontinüierlich möglich. Die Untersuchungen mit verschiedenen Eindüsvorrichtungen und Katalysatoren verliefen überraschend positiv. Bei Katalysatortemperaturen von 270 - 380 °C konnte ein NO-Reduktionsgrad bis über 95 % gemessen werden. Der Ammoniak- und Isocyansäureschlupf liegt bei a-Werten < 1,1 bei allen Temperaturen unter 2 ppm. Die Blausäurekonzentration liegt auch bei 2 ppm. Unerwarteterweise wurde festgestellt, dass über dem Katalysator meistens ein Abbau von Lachgas stattfindet. Harnstoff eignet sich somit als selektives Reduktionsmittel für CO und es werden keine Nebenprodukte in störenden Mengen gebildet. Zur Zeit werden verschiedene Eindüssysteme optimiert.

Untersuchungen des Langzeitverhaltens von Gasmotoren mit Katalysator [13, 25]

Neun neuere, mit verschiedenenen Katalysatoren versehe BHKW im Leistungsbereich von 40 - 900 kW_e, wurden bezüglich ihrer HC, CO und NO_x-Emissionen während dem Anlauf, im Dauerbetrieb vor und nach dem Katalysator und beim Durchfahren des Lambdafensters ausgemessen. Zusätzlich wurde auch das O₂ gemessen und alle schadstoffrelevanten Unterhaltsarbeiten festgehalten. Bei zwei Anlagen mussten technische Änderungen vorgenommen werden. Die sieben anderen Anlagen wiesen sehr gute NO_x-Werte von meist unter 50 mg/m³ auf. Mit einer definierten Vergasereinstellung während der Startphase könnten die Startemissionen reduziert werden. Zwischen den Schadstoffemissionen und den Katalysator-Betriebsstunden konnte noch keine Korrelation festgestellt werden. Die Überwachung der Abgastemperaturerhöhung im Katalysator ermöglicht eine einfache Betriebskontrolle der Katalysatoreffektivität.

c) Schadstoffarme Holzfeuerungen

Verbrennungsoptimierte Klein-Holzfeuerung [14]

Ein möglichst idealer Verbrennungsraum für kleine Holzfeuerungssysteme, insbesondere im geschlossenen Cheminée, soll charakterisiert werden. Optimierte Verbrennungsabläufe bezüglich Temperatur, Luftzufuhr,

Rauchgasvermischen, Nachverbrennung und Schadstoffaspekten sollen darin simultan untersucht werden. Um den Heizeffekt bei einem Cheminée zu erhöhen, steht ein veränderbares Doppelkammer-Feuerungssystem im Vordergrund. Aufgrund ausgedehnter Vorversuche erfolgte der Entwurf und Bau einer Versuchsbrennkammer, die zur Zeit auf ihre Feuerungscharakteristik untersucht wird. Erste Emissionesmessungen für verschiedene Anfeuerungs- und Ausbrandarten wurden durchgeführt und dabei die Vorteile eines Vorfeuers mit reichlich Anfeuermaterial erkannt. Die Messungen sollen durch praxisnahe Simulationsrechnungen als Hilfe für konstruktive Änderungen ergänzt werden.

Erfassung des Emissionsverhaltens von Holzfeuerungen [15]

Ziel dieses neu gestarteten und durch ein privates Ingenieurbüro ausgeführten Projekts ist ein Mess- und Auswerteverfahren zur Beurteilung des Schadstoffauswurfs von Holzfeuerungen. Es soll die Bestimmung der Schadstoffmenge pro erzeugter Nutzenergie bei Vollast-, Teillast- und Intervallbetrieb unter Einbezug der Anfahr- und Ausbrandphase ermöglichen. Das Verfahren soll dann an verschiedenen Feuerungen eingehend untersucht werden.

d) Schadstoffarme Automotoren

Otto 2000 [21]

Dieses NEFF-Projekt wird seit fünf Jahren an der ETH-Zürich bearbeitet. Ein verbrauchsgünstiges und abgasarmes Antriebskonzept für Personenwagen wird angestrebt. Um die Emissionen in der Kaltstartphase zu reduzieren, soll zudem der Frage der Schnellaufwärmung eines Katalysators nachgegangen werden.

Verbrennungstechnologie beim Automobil-Benzinmotor [16]

Ziel dieses Projekts ist eine wesentliche Schadstoff- und Treibstoffreduktion in der Kaltstartphase eines Ottomotors. Das Kernstück ist eine schnellansprechende und bei hohen Temperaturen arbeitende Sauerstoffsonde, die möglichst nahe am Zylinderkopf angebracht wird. Die Messsingale der Sonde sollen in Steuersignale für die Zündung und zylinderselektive Gemischaufbreitung umgewandelt werden.

In einer ersten Phase soll die Umwandlung der Sondensignale in steuerbare Werte erreicht werden. Zudem soll die Sonde an bestehende Elektronik zur Erkennung eines Systemvorteils gegenüber herkömmlichen Sonden angepasst werden. Die notwendige Elektronik zur Umwandlung wurde entwickelt und mit der vorhandenen Sonde ausgetestet. Die Auswertung der Sondensignale erwiesen sich als Folge eines speziellen Lötverfahrens an der Lambdasonde als ungenügend. Eine verbesserte Sonde soll hier Abhilfe schaffen.

e) Saubere Kohleverbrennung

Advanced Atmospheric Coal Firing System (AACFS) [17]

Die 2-MW-Versuchsanlage wurde auf dem Werkgelände von SULZER in Betrieb genommen. Das ursprüngliche Konzept zur Zündung des Wirbelschichtbetts musste modifiziert werden. Durch schrittweise Abänderungen der Nachbrennkammer konnte eine Steigerung des Kohle-Slurry-Ausbrandes (bis 98 %) erreicht werden. Dank erfolgreicher Vorversuche lieferte die Low Cost Slurry Aufbreitungsanlage auf Anhieb die voroptimierte Slurry-qualität. Zur Minderung der NO-Emissionen soll die Freiraum-interne Asche-Rezirkulation weiter optimiert werden. Die Methode der Luftstufung zur Reduktion der NO₂ - und CO-Emissionen hat sich gemäss der Resultate der 100- und 500-kW-Vorversuche bestätigt. Zur Schwefeleinbindung wurden verschiedene Methoden der Kalk-Dosierung getestet. Die dabei erreichte Effizienz der Entschwefelung bei der 2-MW-Feuerung ist noch schlecht und liegt beträchtlich tiefer als bei der 500-kW-Anlage in China. Die Reduktion des SO₂-Ausstosses ist zur Zeit auch am PSI Gegenstand weiterer Untersuchungen.

Am PSI wurde in einem Mini-Reaktor mit Wirbelschicht gezeigt, dass mit geringem Aufwand an sogenannten Einzeltropfen-Versuchen in kurzer Zeit eine Grosszahl von Parameteränderungen durchlaufen werden kann. Infolge anderweitiger Engpässe am PSI konnte der 100-kW-Reaktor noch nicht in Betrieb genommen werden. Wertvolle Hinweise bezüglich Agglomerathärte und Entschwefelungs-Mechanismen können mit diesen beiden Reaktoren gewonnen werden, besonders beim Dauerbetrieb am 100-kW-Reaktor. Weitere Verzögerungen beim 100-kW-Reaktor wirken sich direkt auf zusätzliche Versuche beim 2-MW-Reaktor aus.

4. Umsetzung der Ergebnisse

Bei fast allen beschriebenen Projekten ist ein mehr oder weniger starker Bezug zur Industrie resp. Privatwirtschaft vorhanden. Damit ist jedoch nur ein erster Schritt zur Umsetzung der Forschungsresultate in die Praxis erreicht, denn meist verfügt dann nur ein Indutriebetrieb über den Know-how-Transfer.

Um die Forschungsresultate im Rahmen dieses Programms auch einem erweiterten Publikum vorzustellen, fanden im Berichtsjahr folgende Veranstaltungen statt :

- 3. April 1990: Kolloquium "Das Anfeuerungs- und Abbrandverhalten von Kleinholzfeuerungen", ETH-Zürich. 24 Teilnehmer aus Hochschulkreisen (wovon zwei von der Universität Graz (A)) und der Privatwirtschaft wohnten dem vom Ökozentrum Langenbruck organisierten Kolloquium bei. Herr Gaegauf vom Ökozentrum präsentierte den "State of the Art" im Hinblick auf die Verbesserung von Kleinholzfeuerungen.
- 17. Mai 1990: "Standortbestimmung der Verbrennungsforschung und Laser-Diagnostik", PSI-Villigen.

Zweck dieser von 40 meist ETH-internen Teilnehmern besuchten Veranstaltung war die gegenseitige Vorstellung der wissenschaftlichen Arbeiten der einzelnen Labors der ETH und des PSI. Obwohl nach den acht Vorträgen und den anschliessenden Laborbesuch nur wenig Zeit für Diskussionen vorhanden war, entsprach die Veranstaltung einem allgemeinen Bedürfnis und soll mindestens einmal pro Jahr stattfinden.

29. August 1990 : 2. Tagung der Schweizerischen Interessensgemeinschaft für Feuerungsforschung (SIFF), ETH-Zürich.

In acht Vorträgen wurde an diesem ganztägigen Seminar (über 70 Teilnehmern, wovon ca. 50 aus der Industrie) die nationalen und internationalen Forschungsschwerpunkte vorgestellt. Der Direktor des "International Flame Research Institute" (IFRF), Holland, erläuterte als Gast die IFRF-Aktivitäten und würde eine Beteiligung der Schweiz an den IFRF-Projekten begrüssen. IFRF-Mitglieder sind Industrieunternehmen, welche an Gemeinschafts-Forschungsprojekten des IFRF teilnehmen und dabei auch nationale Forschungslaboratorien einbeziehen können. Am Seminar nahmen drei Diskussionsgruppen Stellung zu den Themen "Weitere Entwicklung der LRV-Vorschriften", "Neue Verbrennungstechniken" und "Künftige Aufgaben der SIFF".

Hinsichtlich der Umsetzung von neuen Methoden in die praktische Anwendung und als mögliche Aufgabe für die SIFF wurde beschlossen, die drei Arbeitsgruppen "Numerische Simulationsmethoden", "Laser-Messverfahren in Flammen" und "Abgasanalytik" ins Leben zu rufen. Ziel ist, engagierte Gruppen zu bilden, die in ausgewählten Sachgebieten Erfahrung austauschen, Anlaufstellen für Fachkompetenz sind und nötigenfalls gemeinsame anzugehende Forschungslücken identifizieren sowie eigene Kolloquien organisieren.

25. Oktober 1990: Holzenergiesymposium, ETH-Zürich [26]. (siehe Programm "Biomasse")

Fazit: Alle Veranstaltungen waren gut besucht und entsprachen offenbar einem Bedürfnis, da auch das Interesse an den Vorträgen sehr gross war. Der Informationsfluss war jedoch meist einseitig, nämlich vom Projekt-bearbeiter zum Zuhörer. Informationsverbreitung ist eine gute Sache, Mitmachen ist aber mehr! Die SIFF-Arbeitsgruppen sollen hier mit dem guten Beispiel vorangehen!

Um Studenten für die Energieforschung zu motivieren bietet die ETH-Zürich im WS 90/91 auf dem Gebiet "Neue spezielle Techniken und Verfahren" die Vorlesung "Laser-Diagnostik in der Verbrennungsforschung" an.

5. Internationale Zusammenarbeit

Über die Hälfte aller laufenden Projekte verfügt über internationale Zusammenarbeiten in irgend einer Form. Direkte, projektorientierte und längerfristige Kollaborationen sind jedoch weniger häufig. Viel eher sind es bilaterale Kontakte, die auf eine aktuelle Problematik ausgerichtet und vor allem in der laufenden Aufbauphase dieses Programms sehr wichtig sind.

Die Bestellung des Einzylinder-Forschungsmotors bei einer Firma in Graz hat zu einem engen Kontakt der ETH mit dieser Firma geführt, da diese einen ähnlichen Forschungsmotor mit *Laser*-Applikationen in Betrieb hat. Wertvolle Hinweise für die Montage und über Detailprobleme beim Betrieb des mit delikaten Glaskomponenten bestückten Motors konnten so erhalten werden. Der persönliche Kontakt wird auch in Zukunft noch nützlich sein.

Das herausragende Ereignis war das vorwiegend wissenschaftlich orientierte 23rd Symposium on Combustion vom 22. - 27. Juli 1990 in Orléans (F), das alle zwei Jahre durch das "Combustion Institute" organisiert wird. Über 1400 Teilnehmer aus 35 Nationen, mehrheitlich Hochschulforscher (Anteil Industrieforscher < 20 %), boten eine stimulierende Atmosphäre des Erfahrungsaustausches. In fünf parallelen Sitzungen boten 235 Vorträge, aufgeteilt in 23 Sachgebiete, einen ausgezeichneten Überblick über die Forschungsaktivitäten auf allen Gebieten der Verbrennung. Spitzenreiter waren die Fachgebiete "Turbulent Combustion" mit 30 Vorträgen und "Reaction Kinetics" mit 26 Vorträgen. Das zusätzliche Posterprogramm umfasste 307 Präsentationen, aufgeteilt in 32 Themenkreise. Die Schweizer Teilnehmer konnten viele Anregungen mitnehmen und neue Kontakte knüpfen. Auf dem Gebiet der katalytischen Verbrennung hat sich daraus eine Zusammenarbeit mit der Technischen Hochschule Darmstadt konkretisiert.

Neben diesem Mammutkongress fanden 1990 eine ganze Reihe von themenorientierten internationalen Veranstaltungen statt, an denen unsere Forscher ihre Arbeiten präsentieren sowie Kontakte pflegen und ausbauen konnten.

Das Task Leaders Meeting 1990 im Rahmen des IEA "Combustion"-Programms fand in Tokyo statt. Wiederum konnten unsere Forscher wertvolle Hinweise nach Hause nehmen. Von unseren vier Konferenzbeiträgen stiess das Referat zur heterodynen holographischen Interferometrie auf besonderes Interesse.

Insgesamt wird die internationale Zusammenarbeit im Rahmen dieses Programms als gut beurteilt.

6. Geplante Arbeiten für 1991

Prioritär behandelt werden folgende Arbeiten:

- Detailplanung von PSI- und ETH-Experimenten am Hochdruckprüfstand "DIVA".
- Aktivieren der drei SIFF-Arbeitsguppen in Zusammenarbeit mit allen Beteiligten.
- Abklärung einer mögliche Kollaborationen mit dem IFRF.
- Kritische Evaluation unserer Beteiligung bei der IEA "Combustion"-Programm
- Aktivieren Holzenergie-Arbeitsgruppen in Zusammenarbeit mit dem Programmleiter Biomasse.
- Die Integration von Aktivitäten, die das Programm "Energie 2000" betreffen.
- Geeignete Fortsetzung resp. Neuorientierung von Projekten, deren Verträge 1991 ablaufen.

Das Aluminiumbrennerprojekt soll abgeschlossen werden. Eine Fortsetzung wird geprüft, wenn ein Industriepartner für eine Schmelzbrennerentwicklung gefunden werden kann.

Das Kohleverbrennungsprojekt AACFS soll ebenfalls abgeschlossen werden. Ein kleineres Folgeprojekt kommt nur dann in Betracht, wenn die PSI-Versuche wesentlich neue Einsichten bringen, die am 2-MW-Reaktor erhärtet werden müssen. Infolge der bestehenden Engpässe am PSI sind jedoch Verzögerungen zu erwarten.

7. Liste der Projekte

- J. Wochele / T. Marti / P. Hütter, PSI-Villigen: "Thermochemische Energiespeicherung in Aluminium, Alu-Brenner". (JB)
- [2] M. K. Eberle, LVV / ETH-Zürich: "Turbulenzparameter von Strömungen". (JB)
- [3] P. Benz / S. Buser / P. Marti / A. Schlegel, PSI-Villigen: "Katalytische Verbrennung". (JB)
- [4] J. Gass / H. Peter, LES / ETH-Zürich: "Bestimmung dreidimensionaler Temperaturfelder in Flammen mittels Holographie". (JB + SB)
- [5] T. Gerber, PSI-Villigen: "Laser-Diagnostik in der Verbrennung", (JB)

- [6] J. Gass / P. Stuber, LES / ETH-Zürich: "Schnell-Messverfahren in Flammen". (JB)
- [7] B. Ineichen / B. Mandel, LVV / ETTA-Zürich: "Geometrische Partikeldetektion von Russtellchen", (JB)
- [8] B. Ineichen, LVV / ETH-Zürich: "Flammenfront- und Schadstoffvisualisierung". (JB)
- [9] J. Gass / T. Hanlon / P. Ceschi, LES / ETH-Zürich : "Experimentelle Untersuchungen in Flammen und deren Modellierung". (JB)
- [10] E. Rosenberg, ERCON, Horgen: "NOx-Minderung an Schwerölanlagen". (JB)
- [11] M. Koebel, PSI-Villigen: "Reduzierung von Stickoxiden in Abgasen". (JB)
- [12] Hp. Eicher, Dr. EICHER & PAULI, Liestal: "Abgasreinigung von Dieselmotoren mit Harnstoff". (JB)
- [13] B. Nussbaumer / Hp. Eicher, Dr. EICHER & PAULI, Liestal: "Untersuchungen des Langzeitverhaltens von Gasmotoren mit Katalysator". (JB)
- [14] W. Riiegg, RÜEGG CHEMINÉE, Zumikon und C. Gaegauf, OEKOZENTRUM, Langenbruck: "Verbreunungsoptimierte Klein-Holzfeuerung". (JB)
- [15] T. Nussbaumer, Winkel: "Erfassung des Emissionsverhaltens von Holzfeuerungen". (JB)
- [16] K. Leistritz, LEISTRITZ, Zürich: "Verbrennungstechnologie beim Automobil-Benzinmotor", (JB)
- [17] B. Gysel, SULZER, Winterthur: "Advanced Atmospheric Coal Firing System (AACFS)". (JB + SB) C)
- [18] J. Gass, LES / ETH-Zürich: "Basiswissen für low NO_x-Brenner und -Brennkammern", NEFF-Projekt
- [19] M. Hauswirth, OERTLI, Dübendorf: "Schadstoffarme Verbrennung von Heizöl Schwer", NEFF-Projekt.
- [20] F. Lehr, PENTOMAG, Basel: "Selektive, nichtkatalytische NO_x-Reduktion an industriellen Feuerungsanlagen", NEFF-Projekt
- [21] H. Hörler, LVV / ETH-Zürich: "OTTO 2000", NEFF-Projekt
- (JB) Jahresbericht 1990 vorhanden
- (SB) Schlussbericht vorhanden

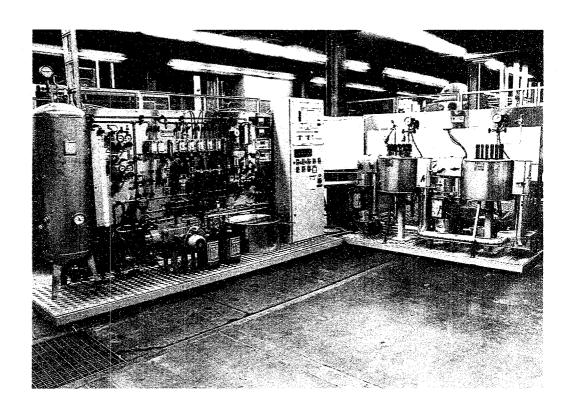
8. Referenzen

- [22] K. Boulouches, LVV / ETH-Zürich: "Ahnlichkeitsbetrachtungen zur Thermodynamik und Diffusionsverbrennung im Grossdieselmotor", ETH-interner Bericht.
- [23] P. A. Ceschi / J. Gass / P. Suter, LES / ETH-Zürich: "Numerische Berechnung eines turbulenten ebenen Strahls", ETH-interner Bericht..
- [24] M. Koebel / M. Elsener, PSI-Villigen: "Erste Versuche auf der SCR-Pilotanlage Liestal", Technische Mitteilung PSI.
- [25] Hp. Eicher, Dr. EICHER & PAULI, Liestal: "Blockheizkraftwerke im Energiekreislauf", Sonderdruck von 4 Publikationen in der "Technische Rundschau", 1990.
- [26] Th. Nussbaumer (Hrsg.), Winkel: "Energetische Nutzung von Holz, Holzreststoffen und Altholz", Tagungsband 1990.

NUKLEARE SICHERHEITSFORSCHUNG

Ueberblicksbericht zum Forschungsprogramm 1990

Programmleiter: Sabyasachi Chakraborty



Kreislauf zur Untersuchung der Spannungsrisskorrosion von ferritischen Stählen

Der Kreislauf besteht aus einem Niederdruckteil (links im Bild) mit Wassertank, Wasseraufbereitung und Messzellen sowie einem Hochdruckteil mit 2 Autoklaven und Zirkulationspumpe.

1. Inhalt des Berichtes

Von der HSK wurden mehrere nationale (beim PSI und diverse Ingenieurunternehmungen) und internationale Vorhaben zur nuklearen Sicherheits- unf Strahlenschutzforschung unterstützt und verfolgt. Wie in andern Ländern dient diese Art von Sicherheitsforschung der Aufsichtsbehörde den Stand der Wissenschaft auf diesen Gebieten laufend zu erfahren und zu fördern.

Dieser Rapport gibt einen kurzen Ueberblick über einige Arbeiten, die substantielle Resultate vorweisen können.

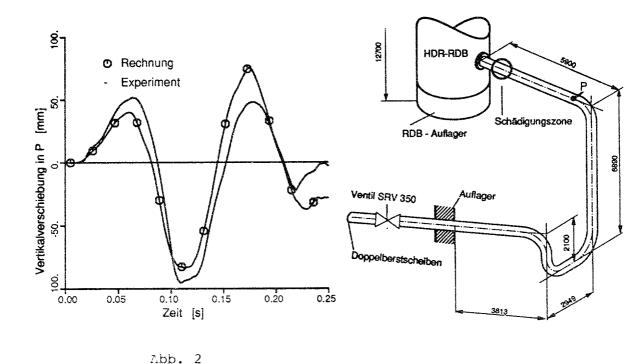
2. Projekte im einzelnen

"Sicherheitsprogramm Heissdampfreaktor, HDR, (Phase III)" [1]

Hauptziel des neuen Forschungsprogrammes ist es, die Sicherheitsreserven von Reaktorkomponenten mit Rissen und andern Defekten (z. B. Versprödung) zu bestimmen. Das Programm unterteilt sich in 3 Hauptgruppen:

a) Rohrleitungsexperiment

Am HDR wurde ein Experiment durchgeführt, um das Verhalten rissbehafteter Rohrleitungen durch Blowdown mit rasch folgendem Ventilschliessen zu studieren (siehe Abb. 1). Im Anschluss an den Versuch wurde am PSI das strukturdynamische Verhalten der Rohrleitung mit dem Rechenprogramm ADINA berechnet. Als Beispiel für die berechnete Strukturreaktion zeigt Abb. 2 die Verschiebung des Rohrleitungspunktes P (siehe Abb. 1) gegenüber dem zugehörigen Messwert.



- 44 -

Abb. 1

b) Schallemissionsanalyse

Der oben erwähnte Versuch wurde mit Schallemissionsmessungen des PSI begleitet. Leider konnten im interessierten Bereich keine Signale gemessen werden, da alle Sonden durch übersteuerte Signale ausfielen.

c) Zyklischer Thermoschock und Risswachstum

Die in der HDR-Phase II durchgeführten zyklischen Thermoschockexperimente ergaben jeweils grosse Abweichungen zwischen vorausberechnetem und gemessenem Risswachstum. Da die Experimente zum Teil bei hohem Sauerstoffgehalt bis 8 ppm durchgeführt wurden, ist ein umgebungsunterstütztes Risswachstum nicht auszuschliessen. Es besteht ein grosses Interesse von Seite PHDR in Zusammenarbeit mit dem PSI Risswachstumsgeschwindigkeiten an Proben unter statischer und zyklischer Last in Autoklaven mit den HDR-Experiment typischen Randbedingungen durchzusführen.

"Spannungsrisskorrosion" [2]

Das Institut für Metallforschung und Metallurgie (IMM) der ETH-Zürich und das PSI befassen sich gemeinsam mit Spannungsrisskorrosionsfragen. Der Heisswasserkreislauf wurde am PSI nach anfänglichen Problemen in Betrieb genommen. Am IMM wurden Proben für den Versuch vorbereitet. Nachdem Ermüdungsrisse unter einer Maximallast von 5 kN eingebracht wurden, wurden die Proben voroxydiert mit 3 ppm Sauerstoff in 288 °C Heisswasser und anschliessend mittels Keilen auf Spannungsintensitäten zwischen 41 und 80 MPa x m gespannt.

Danach wurden die Proben in den Heisswasser-Kreislauf eingesetzt. Als Versuchsbedingung wurde die von EPRI anfgestellte Grenzbedingung für Siedewasserreaktoren gewählt. Der erste Versuchszyklus dauerte 30 Tage und zeigte keinen Rissfortschritt auf den Probenoberflächen. Fünf Proben wurden anschliessend aufgerissen; auf den Bruchflächen war ebenfalls kein Rissfortschritt festzustellen.

"LWR-Kontaminationskontrolle" [3]

Der Schwebstoffloop ist für die Abklärung der Mechanismen für den Aktivitätstransport und die Ablagerung von aktivierten Stoffen im Reaktorkreislauf betriebsbereit. Die ersten Versuche zur Oxydationskinetik rostfreier Stähle wurden durchgeführt.

Mit einer statistischen Analyse konnten interessante Abhängigkeiten des Gehaltes an Co-60 im Reaktorwasser vom KKW Mühleberg von verschiedenen Verunreinigungen des Speise und Reaktorwassers aufgezeigt werden, die bisher nicht vermutet wurden. Daten aus andern Siedewasserreaktoren sollen zeigen, ob diese Zusammenhänge allgemeiner Art sind.

In vier parallelen Laborautoklaven mit langsamer Wassererneuerung wurde bei 290 °C und 400 ppb Sauerstoffgehalt die Co-58-Ablagerung an austenitischen Stahlplättchen über 300 und 600 Stunden gemessen. Eine deutliche Reduktion der Oberflächenaktivität wurde durch folgende Massnahmen festgestellt:

- Oberflächenvorbehandlung durch Elektropolieren (Empfehlung von SWR-Lieferanten)
- Zusatz zum Wasser von 20 ppb Fe-Ionen (japanische Empfehlung)
- Zusatz zum Wasser von 1,5 ppb Zn (Empfehlung von GE 15 ppb)

Zur Kontrolle der organischen Inhaltstoffe (DOC-Gehalt) im Speisewasser des Pilotkreislaufes wurde eine Ozonisierungsanlage eingebaut. Der Pilotkreislauf dient zur Simulation der dynamischen Verhältnisse in den SWR-Umwälzschleifen.

 Zur Abklärung des thermischen DOC-Abbaus wurden organische Modellsubstanzen unter oxydierenden (400 ppb O₂) und reduzierenden (400 ppb H₂) Bedingungen dem Kreislaufwasser zugesetzt und die Zersetzung mathematisch modelliert. Ueber 3'000 Stunden wurde bei oxydierenden Bedingungen der Aufbau der Oxidschicht an austenitischen Stahlplättchen gemessen. Entgegen den Erwartungen erreichte die Schichtdicke schon nach 300 Stunden einen Endwert von 0,4 mm unabhängig von der Vorbehandlung der Oberfläche.

"Simulationsmodelle zur Transienten-Analyse" [4]

Zur Analyse des Störfalles "Auswurf eines Steuerelementes" wurden räumliche Effekte untersucht und Sensitivitätsanalysen durchgeführt. Damit wurden die Arbeiten zur Abschätzung der wichtigsten, den Störfallablauf dominant beeinflussenden Kern und Systemparameter für den Druckwasserreaktor KKW Beznau abgeschlossen.

Für die Transienten-Analyse von Siedewasserreaktoren wurden im Bereich der Reaktorphysik zwei Rechenprogramme entwickelt, um in x-y-Richtung homogenisierte Gruppenkonstante in Funktion der Moderatordichte und Brennstofftemperatur zu berechnen. Das dreidimensionale Programm RAMONA-3B für die Analyse von Störfällen mit transienten Störungen der radialen oder axialen Leistungsverteilung wurde implementiert. Es wurden einige Transientenanalysen für den Siedewasserreaktor Mühleberg durchgeführt. Eine vorläufige spezielle ATWS-Transienten-Analyse zeigte, dass die langfristige Kühlbarkeit des Kernes auch unter extremen Bedingungen gewährleistet werden kann.

"Aeroradiometrische Messungen" [5]

Die gammaspektrometrischen Flugaufnahmen zeigen keine relevanten Aenderungen gegenüber den Vorjahreswerten; weder die Aktivitätsniveaux noch die Verteilungsmuster der künstlichen Radioaktivität haben sich in der Umgebung der schweizerischen Kernanlagen signifikant verändert.

"Auswertung und Modellierung von NEPTUN-Wiederbenetzungsdaten" [6]

Die Modellierung der Wiederbenetzung eines heissen Brennstabbündels bedingt u.a. die Beschreibung des Wärmeübergang oberhalb der Wiederbenetzungsfront, d. h. im trockenen Bereich des Bündels. Auf der Basis der vorhandenen NEPTUN-Datenbanken wurden im ersten Schritt die experimentellen Resultate von NEPTUN I und II,
d. h. der konventionellen Leichtwasserreaktor-Kerngeometrien, bearbeitet. Parameterstudien zeigten die Vorteile
der Beschreibung des Wärmeübergangs in Funktion des Abstands von der Wiederbenetzungsfront, indem bei
dieser Darstellung der Einfluss anderer wichtiger Parameter, im Gegensatz zu den früher üblichen Darstellungsarten, besser oder überhaupt analysiert werden kann. Die Anpassung, Verfeinerung und Verbesserung eines
entsprechenden, ursprünglich für Rohre entwickelten, analytischen Modells hat für die bis jetzt untersuchten
Experimente sehr gute Resultate für diejenigen Bedingungen ergeben, bei denen das Flutwasser an der Wiederbenetzungsfront unterkühlt war.

"Entwicklung Neutronendosimetrie" [7]

Die Arbeiten zur Charakterisierung der verschiedenen kommerziellen CR-39-Materialien als Spurendetektoren für die Neutronendosimetrie wurden weitgehend abgeschlossen und neue elektrotechmische Aezbedingungen festgelegt. Umfangreiche Tests konnten in Feldversuchen in allen schweizerischen Kernkraftwerken und im Rahmen eines EURADOS-CENDOS Vergleichsprogramms durchgeführt werden. Die Entwicklung des Rossi-Counters wurde mit einer umfassenden theoretischen Studie über softwaremässige Verbesserungen des Ansprechvermögens abgeschlossen. Der praktische Einsatz dieses Systems wurde ebenfalls in allen schweizerischen Kernkraftwerken geprüft. Die Ergebnisse der Messungen mit CR-39 und dem Rossi-Counter wurden an der Herzbergkonferenz im November 90 präsentiert. In mehreren Tagungsbeiträgen und Publikationen wurden die Untersuchungsergebnisse an CR-39 dargestellt.

3. Internationale Projekte

"Charakterisierung von Three-Mile-Island-2 Kernmaterial" [8]

Das PSI beteiligte sich am OECD-Forschungsprogramm, um das Kernschmelzmaterial des verunglückten Reaktors TMI-2 zu untersuchen. Die Charakterisierung von Kernschmelzmaterial erlaubte Rückschlüsse auf den Unfallbergang und Hinweise auf die Spaltproduktfreisetzung:

- am Probenort geherrschte Maximaltemperaturen
- Hinweise auf zeitlichen Verlauf der Core-Temperaturen
- Verteilung der Kern-Bestandteile in neue Phasen
- Rückhalt von Spaltprodukten in die neu entstandenen Phasen.

Dieses Programm ist nun abgeschlossen.

"Schwere Unfälle Forschungsprogramm, SAR" [9]

Die Codes *MELCOR* und *MACCS* wurden extensiv für die Untersuchung von Quelltermen bei schweren Unfällen und für die Ausbreitung radioaktiver Stoffe in der Umgebung des Kernkraftwerkes Mühleberg eingesetzt. Einige Code-Verbesserungen mussten durchgeführt werden.

Eine erste Ueberprüfung der anlagenspezifischen probabilistischen Risikoanalyse des Kernkraftwerks Mühleberg konnte nach einer eigenentwickelten Review-Guidance vorgenommen werden.

"Round Robin Test on Austenitic Steel Testing (AST)" [10]

Das Ziel des OECD/CEC PISC-III-Programmes ist, in einem internationalen Ringversuch den derzeitigen Stand der Prüftechnik bei der Ultraschallprüfung von austenitischen Werkstoffen zu ermitteln. Firma Sulzer prüft im Auftrage der HSK die austenitischen Schweissverbindungen mit dem mechanischen Ultraschallprüfsystem P-Scan. An ausgewählten Fehlern sollen auch erste Erfahrungen mit der Analysetechnik "SAFT" (Synthetic Aperture Focussing Technique) gewonnen werden.

4. Studien

Eine Studie befasste sich damit, mit Hilfe numerischer Untersuchungen die gegenseitige Beeinflussung benachbarter Längsrisse in Rohrbögen unter mechanischen Lasten zu quantifizieren. Hintergrund dieser Arbeiten sind HDR-Versuche zum Anriss-, Risswachstums- und Leckage-Verhalten von Rohrbögen in Rohrleitungen infolge Innendruck und überlagerter zyklischer Biegung bei korrosionsfördemden Bedingungen. [11]

Es wurden Studien über Problemanalyse und Erfassung des weltweiten Standes des Wissens über den Einfluss der Alterung von Baustrukturen auf die Lebensdauer von Kernkraftwerken durchgeführt. [12]

Die Arbeit über die Auswertung der im Jahre 1989 bei Steinbruchsprengungen und Schüttelversuchen registrierten Signale und deren Interpretation im Zusammenhang mit Registrierung und Auswertung von Starkbebendaten in der Schweiz wurden abgeschlossen. Dazu wurde ein spezielles Softwarepaket für die Starkbebenauswertung zusammengestellt. [13]

Eine weitere Studie befasste sich mit der geoseismischen und seismostratigraphischen Auswertung der reflexionsseismischen Profile durch das Molassebecken der östlichen Schweiz, um einen Ueberblick über den strukturellen Bau dieses Gebietes zu erarbeiten. [14]

5. Bewertung

Die Forschungsarbeiten im PSI verliefen ohne grosse Verzögerungen, sodass die anvisierten Ziele und erreichten Ergebnisse mehrheitlich übereinstimmten.

Die Durchführung einiger Studien der Ingenieurunternehmungen für die HSK für die Sicherheitsbeurteilung der Kernkraftwerke war sehr erfolgreich. Die internationalen Forschungsprojekte, an denen die Schweiz aktiv engagiert ist, zeigen durchwegs positive Erfahrungen im Hinblick auf die Möglichkeiten der Verbesserung der Sicherheit der Kemkraftwerke.

Für die Betreuung der einzelnen Projekte und Studien sind in der HSK Forschungsbetreuer eingesetzt. Die Fortschritte der Arbeiten werden dadurch laufend verfolgt.

6. Liste der Projekte

- [1] R. Wanner, PSI-Villigen: "Heissdampfreaktor HDR Phase III".
- [2] R. M. Pedrazzoli, M. O. Speidel, IMM/ETH-Zürich: "Spannungsrisskorrosion von Reaktor-Druckbehälterstählen". (JB)
- [3] E. Schenker, PSI-Villigen: "LWR-Kontaminationskontrolle". (JB)
- [4] E. Knoglinger, PSI-Villigen: "Simulationsmodelle zur Transienten-Analyse (STARS)". (JB)
- [5] L. Rybach, ETH-Zürich/Hönggerberg: "Aeroradiometrische Messungen in der Umgebung der schweizerischen Kernanlagen". (JB)
- [6] J. Dreier, PSI-Villigen: "Auswertung und Modellierung von NEPTUN-Wiederbenetzungsdaten". (JB)
- [7] C. Wernli, PSI-Villigen: "Entwicklung Neutronendosimetrie". (JB)
- [8] G. Bart, PSI-Villigen: "Charakterisierung von TMI-Reaktorkern-Material im Rahmen eines OECD-Programmes". (JB)
- [9] ERI, Rockville (USA): "Technical support for implementation of severe accident risk assessment methods (MELCOR-Code) (1990)". (JB)
- [10] SULZER, Wintherthur: "Full Scale Vessel Test (OECD/CEC PISC-III)". (JB)
- [11] SDK Ing., Basel: "Einfluss von Einfach und Vielfach-Rissen unter mechanischen Beanspruchungen im Rohrbogen". (JB)
- [12] BASLER & HOFMANN, Zürich: "Einfluss der Alterung von Baustrukturen auf die Lebensdauer von Kernkraftwerken". (JB)
- [13] BASLER & HOFMANN, Zürich: Bereitstellung von Grundlagen für die Registrierung und Auswertung von Starkbebendaten in der Schweiz". (JB)
- [14] RICO Research, Niederrohrdorf: "Struktureile Verhältnisse im Molassebecken der östlichen Schweiz".
 (JB)

^{* (}JB) Jahresbericht 1990 vorhanden

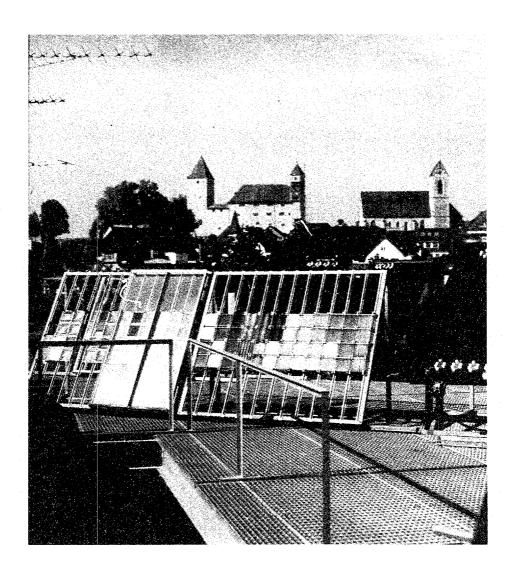
7. Weitere Projekte (die im Text nicht erwähnt sind)

- [15] T. Hinton, PSI-Villigen: "Radioökologische Studien und Validierung des Rechenprogramms ECOSYS für schweizerische Verhältnisse". (JB)
- [16] C. Decurnex, IGA, EPF-Lausanne: "Évaluation des paramètres cinétiques des réacteurs à eau légère et application à la centrale nucléaire de Beznau". (JB)
- [17] P. Wydler, PSI-Villigen: "Schneller Reaktor (Brüter)". (JB)
- [17] S. Guentay, PSI-Villigen: "OECD-Loss of Fluid Test (LOFT)". (JB)
- [18] R. Attinger, PSI-Villigen: "Spannungsrisskorrosion von Stählen für Reaktorkomponenten im Heisswasser". (JB)

SOLAIRE THERMIQUE ET STOCKAGE DE CHALEUR

Rapport de synthèse sur les activités 1990 du programme de recherche

Chef de programme : Pierre Bremer



Stand d'essais à l'École technique supérieure intercantonale de Rapperswil:

Test d'endurance des couvertures de capteurs solaires

1. Objectifs

Le programme général 1988-1991 met l'accent sur les thèmes suivants :

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

En 1990, plusieurs projets ont pu être menés à terme, notamment en ce qui concerne les capteurs sans couverture, et les règles de dimensionnement d'installations solaires avec ou sans stockage saisonnier.

Plusieurs projets ont souffert de retards importants dus à des événements imprévus lors de la construction des installations ou à des difficultés propres au sujet traité.

La nouvelle tâche de l'Agence Internationale de l'Energie (AIE) consacrée aux "Advanced Active Solar Energy Systems" est opérationnelle depuis janvier 1990.

2. Travaux effectués et résultats obtenus en 1990

"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 l'interpolation spatiale du rayonnement à partir des réseaux nationaux, soit, en Suisse, le réseau ANETZ de l'Institut suisse de Météorologie (ISM).

Le fichier des données, commun et normalisé, a été organisé à partir de 6 réseaux (CH, S, D, 3 x USA). Il englobe quelque 34'000 sommes journalières du rayonnement global, réparties sur 115 sites. La période couverte est d'un an en général. L'essentiel des travaux a été consacré à la validation des différents modèles (méthodes d'interpolation, satellitaires, hybrides). Il s'avère que la méthode du "cokriegage" (proposée par la Suisse), en combinaison avec les informations satellitaires, donnera la meilleure estimation. La rédaction du rapport final est en cours et son édition est prévue pour la fin juin 1991. Rappelons qu'il sera possible, grâce à ces nouvelles méthodes, d'envisager une mise à jour des données d'ensoleillement publiées dans METEONORM [1].

Le projet international, dévolu à l'établissement de données météorologiques de référence à l'attention des utilisateurs, est arrivé dans sa phase active : chaque pays participant (DK, N, S, CH, USA) construit une année de référence de démonstration à partir des mesures météorologiques multiannuelles d'un station. Ce travail se limite, pour l'instant, à la station ANETZ / Zürich-Kloten [2].

Un nouveau projet international, dont le début est envisagé en 1991, traitera le sujet des mesures du spectre solaire. Ces données seront utiles aux applications dont l'intensité de transformation énergétique dépend plus particulièrement de la longueur d'onde, telles les conversions photovoltaïques et photochimiques. Ces données intéressent aussi les aspects concernant l'éclairage naturel et les bilans énergétiques thermiques (infra-rouge). La participation de principe de la Suisse a été annoncée.

Dans notre rapport 1989, nous signalions l'aboutissement d'un projet NEFF sur l'application des méthodes stochastiques pour la génération synthétique de valeurs horaires du rayonnement global et de la température de l'air. Une première application de ces méthodes a été la réduction des données météorologiques sur 9 ans de 30 stations du réseau ANETZ. Celles-ci ont été choisies en fonction des 16 régions d'ensoleillement définies dans la publication METEONORM. Ainsi, quelque 3,5 millions de données horaires du rayonnement et de la température ont pu être condensées sur une seule disquette pour micro-ordinateur. En redéveloppant ces paramètres statistiques par des algorithmes appropriés, des séries temporelles synthétiques de ces données météorologiques peuvent

être générées. Une première application pratique serait l'optimisation de la surface de panneaux photovoltaïques et de la puissance de l'onduleur pour une installation raccordée au réseau électrique [3].

"Composants"

Le nouveau stand d'essai de capteurs du Laboratoire solaire de l'ETS-Rapperswil a pu être inauguré officiellement le 16 mai 1990.

L'expérience pratique opérationnelle acquise jusqu'à ce jour confirme les espoirs mis dans la conception entièrement automatisée de la prise des mesures. En quelques jours, toutes les caractéristiques d'un capteur peuvent être déterminées. Les paramètres descriptifs sont mesurés selon la norme internationale ISO DP 9806. Ils remplaceront progressivement ceux définis par la norme suisse aujourd'hui périmée.

Outre cette activité "officielle", les travaux à long terme concernant la durée de vie des capteurs se poursuivent normalement dans le cadre de l'AIE. Certains arriveront à terme au cours de 1991. C'est le cas, p. ex., des essais sur les couvertures transparentes, pour lesquelles une riche banque de données a été accumulée pendant 4 ans [4].

Le rapport final concernant les caractéristiques de capteurs sans couverture a été rédigé. Il traite de l'application du "capteur-échangeur" dans une installation de pompe-à-chaleur. Cet élément, qui a les propriétés d'un capteur solaire et celles d'un échangeur de chaleur, permet d'extraire de la chaleur de l'air ambiant et d'absorber le rayonnement solaire. Un modèle physique — tenant compte de l'absorption du rayonnement solaire, de l'échange de rayonnement infra-rouge, et du transfert de chaleur par convection et par condensation — a pu être validé par des mesures faites à l'EPF-Lausanne sur 5 types de capteurs-échangeurs. Il est ainsi possible de déterminer les paramètres du transfert de chaleur d'un capteur sans couverture pour des conditions météorologiques quelconques [5].

"Applications"

Un projet antérieur — analysant les performances d'installations solaires de production combinée d'eau chaude et de chaleur de chauffage — avait montré que la production d'énergie utile dépend essentiellement de la gestion du stock de chaleur. Cette analyse a été étendue à 3 installations aménagées dans des maisons familiales au Grand-Saconnex (GE), dans le but de mettre au point et de tester des systèmes à injection directe. La première campagne de mesures a montré que le rendement global dépend aussi du rendement de chaudière, lequel, paradoxalement, diminue avec l'apport solaire. Ainsi, la meilleure des installations peut être pénalisée, de sorte que toute l'énergie utile n'est pas toujours entièrement mise à profit. Cet aspect particulier sera étudié de manière plus fine lors de la seconde campagne de mesure de l'hiver 1990/91, notamment avec la modification apportée à l'installation ayant donné les moins bons résultats. Il est à noter que l'indice de dépense d'énergie de ces bâtiments a passé de 810 MJ/m² à 500 MJ/m², soit une baisse de 38 % [6].

L'installation de 400 m² de capteurs évacués du projet SOLARIN2 — produisant de la chaleur à haute température (> 100 °C) pour une fabrique de produits alimentaires — a connu divers problèmes graves dus à la surchauffe du caloporteur. Il semble s'avérer qu'en voulant optimiser la performance thermique par diminution du débit irrigant le capteur (réduction de l'inertie thermique des conduites), les températures de fonctionnement peuvent s'approcher, au moindre déséquilibre, de la température d'évaporation du mélange glycol / eau, utilisé communément. Par des fluctuations dynamiques de pression, par des erreurs de manipulation du personnel de l'usine et par une modification du programme de charge hebdomadaire, des évaporations successives du caloporteur se sont produites avec, comme conséquence, un encrassement progressif des conduites par les résidus de cristallisation du glycol. Ces divers incidents ont nécessité une purge de l'installation et diverses modifications du système d'équilibrage de pression et de régulation. Dans ces conditions, une exploitation régulière n'a pas pu être atteinte, de sorte que la campagne de mesures doit être prolongée d'une année [7][8].

L'immeuble du Centre Industriel et Artisanal Marcinhès, à Genève, (1'000 m² de capteurs, stock en terre de 20'000 m³, pompe-à-chaleur à gaz, enveloppe solaire passive à double peau) a pu être mis partiellement en service. L'aménagement intérieur de 4 étages reste à faire, ainsi que l'installation des rideaux de protection solaire / noctume. La charge du stock a pu se faire dans de bonnes conditions et avec un bon rendement. À la fin de la charge, 937 GJ ont été stockés, avec une élévation de température de 10,4 °C (le 18.06.1990) à 29,4 °C (le

31.10.1990). Pendant l'hiver, seuls quelque 135 GJ ont été retirés par la pompe-à-chaleur qui, à cause de divers défauts techniques, n'a fonctionné que durant 50 jours. La décharge complète escomptée n'ayant pas pu avoir lieu, la recharge à partir d'une température résiduelle de 21,2 °C a dû être limitée à la température des tubes d'échange en plastique. L'étude des caractéristiques des capteurs, des coefficients de transfert tube / sol et de la diffusion de chaleur dans le sol a permis de valider les divers modèles de simulation développés [9].

Une autre installation de pompe-à-chaleur, avec stock en terre rechargé "solairement", couvre (avec un groupe chaleur-force) les besoins de chaleur d'une salle polyvalente communale. L'originalité de cette installation est un capteur construit au moyen d'un réseau tubulaire noyé à même le sol, sous l'asphalte d'une zone piétonnière. Les mesures ont débuté à mi-juin et une première période de charge a pu être observée. Par beau temps, la température de sortie atteint 35 °C avec une puissance de pointe de 300 W/m². Une première extrapolation de ces mesures permet d'envisager une énergie utilisable annuelle de 250 kWh/m², ce qui est élevé en regard de la simplicité constructive de ce capteur. Les mesures se poursuivent et permettront de confirmer ou d'infirmer cette prévision [10].

Le projet pilote et de démonstration, dû à l'initiative privée, d'une maison familiale énergétiquement autonome (thermiquement et électriquement), a été largement commenté par la presse et les médias électroniques. Les mesures montrent un bilan plus que positif en ce que la demande de chaleur a été bien inférieure aux prévisions. Bien que l'hiver 1989/90 ait été particulièrement bien ensoleillé, la qualité d'isolation et l'apport passif ont permis un indice de dépense d'énergie particulièrement bas de 67 MJ/m². Par rapport à ce chiffre, l'installation solaire est largement surdimensionnée et en surface et en volume de stockage. L'hiver 1990/91 s'annonçant plus "normal", la campagne de mesure a été prolongée [11].

Un nouveau projet pilote de stockage saisonnier a pu être mis en place. Il servira au chauffage d'une halle d'usine et présente plusieurs particularités intéressantes. Les capteurs, d'une surface de 200 m², n'ont pas de couverture et sont constitués d'absorbeurs en acier inox. Ils peuvent être reliés directement au chauffage de sol de la halle et aux panneaux radiants des bureaux ou, en mode de charge, par l'intermédiaire d'un échangeur, à la nappe phréatique qui sert de stock saisonnier. Il est prévu d'aménager éventuellement un écran hydraulique dans le cas où la bulle de chaleur aurait tendance à se déplacer. L'installation est opérationnelle et prête pour une première charge en 1991 [12].

Pendant la première année d'exploitation pilote du projet SPEOS (Stockage de chaleur en nappe phréatique), un nouvel échangeur à lit fluidisé, d'une puissance de 700 kW, a été installé et mis en service. Il est complété par un cyclone avec filtres mécaniques pour récolter les particules de calcaire. Si l'échangeur a parfaitement fonctionné sans entartrage significatif, la précipitation du calcaire reste encore insuffisante et ceci présente un risque d'entartrage des conduites.

La nouvelle commande programmable a donné pleine satisfaction et devient l'un des premiers éléments d'une exploitation professionnelle. Les outils de simulations du suivi scientifique ont été mis à jour et améliorés. L'étude de l'impact biogéochimique sur la nappe phréatique se poursuit dans le cadre de l'AIE [13][14][15][16].

"Logistique"

Le projet d'une signature énergétique solaire ("Kurztestmethode für Solaranlagen, KTSA") vise à développer des procédures d'identification des paramètres d'une installation solaire donnée, sur la base d'un minimum de mesures, afin de déterminer la qualité d'une installation et sa performance à long terme. En d'autres termes, il s'agit de trouver les paramètres d'un modèle de simulation dont on connaît les résultats. Un groupe de travaii international, auquel la Suisse collabore, a étudié et mené à bonne fin le cas d'une installation de production d'eau chaude. Le rapport final est attendu au courant de 1991 et la méthode sera probablement proposée à l'ISO à fin de normalisation internationale. Le projet national qui traite le cas d'une installation typiquement suisse et largement pratiquée, à savoir la production combinée d'eau chaude et de chaleur de chauffage, s'est heurté à de nombreuses difficultés d'ordres mathématique et informatique, de sorte que le but n'a pas été atteint [17].

Les règles pratiques du dimensionnement d'installations solaires, issues du projet dirigé par la SOFAS, sont à l'impression. C'est l'aboutissement d'un long effort qui s'est étendu sur près de 6 ans et qui réunit, à l'intention du praticien, en allemand et en français, toutes les connaissances et expériences acquises sur les installations de production d'eau chaude et les installations combinées (eau chaude et chauffage) [18].

Pour compléter ce projet, une interface informatique conviviale pour praticiens a été mise en chantier. Son cahier des charges a été établi par les praticiens pour les praticiens. Elle permettra d'accéder d'une façon uniforme à tous les programmes de calcul existants et futurs développés dans le cadre des divers programmes de recherche. Sa conception est "ouverte", de sorte que d'autres programmes, notamment dans les applications photovoltaïques, pourront y être intégrés [19].

Comme annoncé dans notre rapport précédent, les mesures, faites pendant une saison sur 5 installations solaires chauffant des piscines ouvertes, font l'objet d'une analyse approfondie. Il s'agit d'étudier le comportement des capteurs et des piscines, afin de les modéliser et de compléter la collection des programmes de dimensionnement [20].

3. Séminaires

Un séminaire de 2 jours, consacré au stockage saisonnier d'énergie solaire, a été organisé les 18 et 19 octobre 1990 à Berne. Ce séminaire a permis de faire le point sur l'état des connaissances et des expériences acquises en Suisse et à l'étranger, tout particulièrement en Aliemagne et en Suède [21].

4. Activités internationales

Outre les séances de travail organisées régulièrement dans le cadre des différents projets de l'AIE, un nouveau projet dans le domaine du solaire actif, auquel la Suisse participe, a été mis en chantier à Lausanne en janvier 1990. Cette nouvelle tâche regroupera les travaux dans 3 applications spécifiques : le préchauffement solaire d'air de ventilation, les installations industrielles et la technique de faible irrigation des capteurs solaires. Cette dernière n'étant nullement pratiquée en Suisse, un voyage d'études a été organisé à l'intention des principaux constructeurs suisses de matériel solaire. Les informations recueillies aux Pays-Bas, en Allemagne, au Danemark et en Suède ont montré que cette technique permet de diminuer d'un facteur 5 le débit irrigant des capteurs, tout en augmentant la stratification de température dans les accumulateurs. Pour l'instant, la Suisse participe à cette tâche avec le projet industriel SOLARIN2. Une participation aux autres thèmes de recherche est envisagée.

5. Liste des projets

- [1] A. Zelenka, ISM, Zürich: "Techniques for Supplementing Network Data". (RA)
- [2] K. Mathis, EMPA Dübendorf: "Representative Design Years for Solar Energy Applications". (RA)
- [3] J.-L. Scartezzini, LESO / EPF-Lausanne: "Réduction de données météorologiques multi-annuelles". (RA)
- [4] U. Frei, ITR, Rapperswil: "Leistungsfähigkeit und Lebensdauer von Solaranlagen". (RA)
- [5] J. Keller, PSI Villigen, D. Lan Nguyen, LENI, EPF-Lausanne: "Capteurs sans couverture". (RF)
- [6] O. Zahn, L. Keller, ÉNERGIES RENOUVELABLES, Lavigny: "Mise au point et test d'installations solaires à injection directe simplifiée". (RA)
- [7] J. V. Hurdes, HURDES ENERGIE CONSULTING, Feuerthalen: "Solar erzeugte Prozesswärme (Solarin2)". (RA)
- [8] O. Guisan, CUEPE/GAP/Uni-Genève: "Solarin2, partie sous-traitée". (RA)
- [9] O. Guisan, CUEPE/GAP/Uni-Genève: "Intégration et optimisation de systèmes solaires actifs. Étude du Centre industriel et artisanal Marcinhès à Meyrin". (RA)

- [10] B. Matthey, Ing.-cons., Montezillon: "Analyse du bilan énergétique de l'installation hélio-géothermique de la salle polyvalente de Cortaillod/NE". (RA)
- [11] K. Marti, HTL-Burgdorf: "Energiemessungen am Solarhaus Jenni". (RA)
- [12] J.-C. Hadorn, CREM, Martigny: "Recherches basées sur l'installation pilote solaire avec stockage saisonnier". (RA)
- [13] B. Saugy, LMS/SE/EPF-Lausanne: "Suite de l'étude de fiabilité". (RA)
- [14] B. Saugy, LMS-GPGU/EPF-Lausanne: "Suivi scientifique de SPEOS". (RA)
- [15] B. Saugy, SE/LENI/EPF-Lausanne: "Mise en exploitation 'Pilote' de SPEOS". (RA)
- [16] F. Miserez, ICC, La Chaux-de-Fonds: "AIE Annexe VI, Chimie et microbiologie dans le domaine du stockage de l'énergie en nappe aquifère". (RA)
- [17] A. Eggenberger, EGGENBERGER BAUPHYSIK, Burgdorf: "Kurztestmethode für Sonnenenergieanlagen (KTSA)". (RA)
- [18] B. Schläpfer, SOFAS, c/o Schweizer, *Hedingen*: "Praxisgerechte Regeln für optimalen Planung und Ausführung von Sonnenenergieanlagen". (RF)
- [19] E. Rohner, EXERTEC ENGINEERING, Rapperswil: "Allgemeine Benutzeroberfläche für solartechnische Programme aus der schweizer Forschung". (RA)
- [20] O. Guisan, CUEPE/GAP/Uni, Genève: "Analyse de mesures de piscines avec capteurs solaires". (RA)
- (RA) Rapport annuel 1990 disponible
 (RF) Rapport final disponible

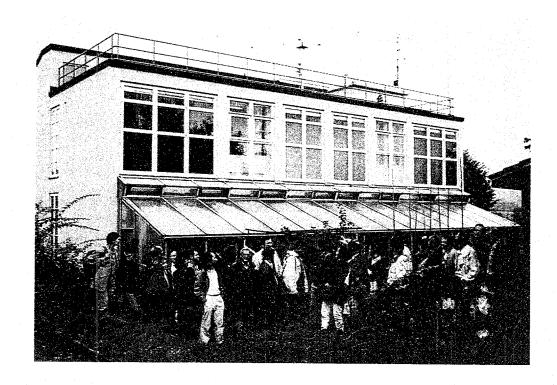
6. Référence

[21] ENET, OFEN, Berne: "Le stockage saisonnier de l'énergie solaire / Sonnenenergie: Saisonspeicherung" (Journée d'information, Berne, 18-19 octobre 1990).

SOLARARCHITEKTUR

Überblicksbericht zum Forschungsprogramm 1990

Programmleiter: Robert Hastings



Solargebäude Meteolabor in Wetzikon

In schwarzen Rohren hinter zweifachverglasten Fenstern im Obergeschoss und im dreifachverglasten Treibhaus im Erdgeschoss wird Sonnenenergie absorbiert und dadurch Luft erwärmt. Ventilatoren bringen die Luft durch Kanäle in den massiven Betonboden, wo die Wärme gespeichert und schliesslich mit einer Zeitverschiebung in die bewohnten Räume abgegeben wird. Das Photo wurde an 27. September 1990 während der Besichtigung mit den Studenten des Nachdiplomstudienlehrgangs Umweltlehre der Uni-Zürich aufgenommen.

1. Vorwort

Solararchitektur ist die Gestaltung eines Gebäudes unter intensiver Nutzung der Sonne als Wärme- und Lichtquelle. Die Sicherung eines behaglichen Innenklimas und die Wahrung der Bedürfnisse des Benutzers benötigen eine sorgfältige Anpassung an die lokalen Klimabedingungen. Solararchitektur benötigt know-how 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 Überhitzungsschutzes.

Es gibt zwei Zentren auf dem Gebiet Solararchitektur in der Schweiz: LESO/EPF-Lausanne und HBT-Solararchitektur, ETH-Zürich. Schwerpunkte am LESO sind Tageslichtforschung, Entwicklung von Planungshilfsmitteln und Messungen von Komponenten. Der vorliegende Bericht beschreibt vorwiegend die zu LESO komplementären Arbeiten, für welche vom BEW die Leitung ans HBT übertragen worden ist.

2. Anvisierte Zielpunkte für 1990

"Gründung der Forschungsstelle Solararchitektur"

Aspekte des Energiesparens und klimagerechten Bauens sowie neueste Forschungserkenntnisse sollten direkt in den Unterricht von Architekten und Bauingenieuren einfliessen können. Diese Überlegungen führten zur Gründung der Forschungsstelle Solararchitektur an der ETH-Zürich/Hönggerberg.

"Weiterführung laufender Projekte / Initiierung neuer Projekte "

Solarfassaden und Solardächer

Die auf die Gebäudehülle einfallende Sonnenstrahlung ist eine sehr wertvolle Wärmequelle zur Deckung eines bedeutenden Teils des Heizbedarfs eines Gebäudes. Verschiedene Techniken machen sich gegenseitig die zur Verfügung stehenden Flächen streitig. Deshalb genügt die Entwicklung der Primärkomponenten und die Lösung von Teilproblemen nicht. Ziel ist eine integrale Betrachtungsweise des ganzen Hauses als System. Um Breitenwirkung zu erzielen müssen auch Fragen der Ästhetik, der Montage am Bau und der Lebensdauer miteinbezogen werden.

Tageslichtnutzung

Tageslichtnutzung reduziert den Stromverbrauch für Beleuchtung, vermindert die Kühllast und kann dadurch oft eine Klimatisierung überflüssig machen. Kritisch ist die möglichst gleichmässige Lichtverteilung in einem Raum, die Vermeidung von Blendungen und die Regelung des Beleuchtungssystems. Ziele sind die Erarbeitung der heute noch fehlenden Planungsgrundlagen, die Behauptung der z. Zt. führenden Rolle der Schweiz in Parameterstudien bezüglich Tageslichtnutzung und das Aufholen des Rückstandes bei der physikalischen Modellierung von Tageslichtsystemen.

Solaranwendungen in Nicht-Wohnhäusern

Nicht-Wohnhäuser stellen spezielle Bedingungen (und Möglichkeiten) bezüglich Konstruktion, Haustechnik, serienmässiger Herstellung von Komponenten, Amortisationsdauer und nicht zuletzt Ästhetik. Ziele sind die Überprüfung verschiedenster Solarmassnahmen für Nicht-Wohnhäuser und ihre Dokumentation in Planungsrichtlinien. Ein spezielles Gewicht kommt dabei Grossatrien zu.

Problemübergreifende Projekte

Zwei Beispiele problemübergreifender Themen sind die Entwicklung von Rechenmethoden zur Abschätzung des Energiebedarfs geplanter Gebäude oder zur Erstellung ökologischer Gesamtbilanzen. Detaillierte Simulationsmodelle bezüglich Energiehaushalt werden selten zur Planung von Bauprojekten verwendet. Die Entwicklung weiterer solarspezifischer Rechenmodule zu den heute gebräuchlichen Computermodellen ist ein Ziel. Bezüglich der Erstellung ökologischer Gesamtbilanzen für Gebäude ist die Schweiz in einer Beginnphase. Hier besteht die Zielsetzung in der Entwicklung einer allgemein akzeptierten Methode für Energie- und Schadstoffbilanzen.

"Weitergabe an die Praxis"

Die Ausbreitung des Wissens aus Forschungsprojekten soll möglichst viele, verschiedene Kanäle benutzen.

3. Durchgeführte Arbeiten und erreichte Ergebnisse 1990

"Gründung der Forschungsstelle Solararchitektur"

Am 1. Juli 1990 wurde die Forschungsstelle Solararchitektur [1] an der ETH-Zürich offiziell eingeweiht, dank der Unterstützung durch das Bundesamt für Energiewirtschaft und die Fachkommission für die Nutzung der Sonnenenergie KNS sowie der Willensbezeugung und aktiven Mitarbeit der Leitung des Instituts für Hochbauforschung (HBT). Die Stelle mit zwei Mitarbeitern (ab 1991 drei) und zwei Hilfsassistenten ist im HIL Gebäude (Abt. Architektur) untergebracht. Eine direkter Zugang zur Vorlesung Bauphysik ist gesichert, da ein Mitarbeiter zu 50 Prozent als Assisient dort angestellt ist. In den ersten sechs Monaten wurden Vorträge im Rahmen des ORL-Forschungsseminars, der Semesterwoche der Architekturabteilung und für den Nachdiplomstudiengang in Umweltlehre an der Uni-Zürich durchgeführt.

"Solarfassaden / -dächer "

Alle bisher nicht in Angriff genommenen Zielpunkte der Potentialstudie bezüglich Luftabsaug-Fassaden (*LAF*) [2] sind 1990 behandelt worden. Grundlage lieferte teilweise eine im Unterauftrag erstellte Studie zur Simulation eines frühen LAF-Typs. Das Energie-Einsparpotential ist sehr gross, wenn die grossen Warmluftmengen nutzbringend weiterverwendet werden können. Diese Bedingung ist der Haupteinfluss bei der Abschätzung des Anwendungspotentials.

Die Thermische Modellierung des Fensterkollektors [3] ist nun mit einem Rechenmodul für das Computerprogramm TRNSYS möglich und Sensitivitätsstudien für einen Schulraum wurden durchgeführt. Die Ergebnisse zeigen, dass bei niedrigem Heizbedarf das Heizsystem sehr flexibel sein muss, sonst ist der Gewinn des Fensterkollektors nicht brauchbar. Ein Kollektor-Speichersystem verringert den Fremdenergiebedarf im Vergleich zur Direktnutzung durch grosse Südfenster beträchlich.

Die Weiterentwicklung und Optimierung konvektiver Solarsysteme benötigt detaillierte Modellierung von Komponenten [4]. In einer 1. Phase bis März 1991 wird ein Inventar von Systemen und Modellen zusammengestellt.

Im Projekt Solarhaus Lenherr, Schwyz, [5] ermitteln seit September 45 Messkanäle Stundenwerte einer Wintergarten / Kollektor-Kombination für Parameter des Innen- und Aussenklimas, des Wintergartens, des Kollektors und des Speichers. Eine ausführliche Analyse unter Erweiterung durch Computersimulationen ist vorgesehen.

Am LESO/EPF-Lausanne wurde das Messprojekt "Logements collectifs solaires à Préverenges" abgeschlossen (Finanzierung durch NEFF). Ein weiteres NEFF-Projekt im Rahmen von "ERL" behandelt die Luftströmungen zwischen verglasten Balkonen und Wohnbereich. Dabei erwiesen sich Ventilatoren zwar als funktionstüchtig, aber als unwirtschaftlich.

"Tageslichtnutzung"

Im Projekt "Éclairage naturel à Genève: mesures et modèles" [6] war 1990 die Installation und Kalibrierung der ganzen Messkette vorgesehen. Grosse Lieferungsverzögerungen bei den Instrumenten zur Messung photometrischer Grössen verursachten zwangsweise eine Programmodifikation. Die radiometrischen und meteorologischen Parameter können seit Februar 1990 gemessen werden und lieferten bereits Teilresultate, nämlich eine verfeinerte Definition des Extinktionskoeffizienten sowie Grundlagen für ein vereinfachtes Modell zur Bestimmung der Direktstrahlung aus der Globalstrahlung horizontal. Eine kritische Untersuchung der Leistungsfähigkeit bestehender Modellzusammenhänge zwischen Strahlungs- und Beleuchtungsgrössen einerseits und der Direktstrahlung auf eine Ebene senkrecht zur Strahlungsrichtung und der Globalstrahlung horizontal anderseits wurde ebenfalls unternommen. Alle Messungen waren auch ein Beitrag zum internationalen Referenzjahr 1990 der "Commission Internationale de l'Éclairage".

Im Forschungsprojekt Möglichkeiten der Tageslichtnutzung [7] wurde die Wechselwirkung zwischen Wärme-, Kühlungs- und Beleuchtungsbedarf gegenüber Tageslichtnutzung quantifiziert. Die Simulationen verschiedener Arten von Tageslichtsystemen und Lichtlenkungssystemen für einen Büroraum und einen Schulraum zu unterschiedlichen Klimaverhältnissen haben z. B. gezeigt, dass im Klima Zürich durch eine automatische, stufenlose Beleuchtungsschaltung gegenüber einem Referenzfall ohne Automatisierung 40 - 60 % des Stromverbrauchs eingespart werden kann. Bezüglich Strom- und Heizenergie gesamthaft betrachtet, sind Ersparnisse zwischen 20 und 50 % möglich.

Die Erfahrung aus den Simulationen von Tageslichtsystemen wird nicht nur in einem Bericht präsentiert, sondern auch in ein Pilot-Expertensystem ISOLDE [8] integriert. Das international erarbeitete System soll die sinnvolle Auswahl von Tageslichtsystemen unter Berücksichtigung von Gebäudetyp und Klima erleichtern.

1990 war das Anlaufjahr des Grossprojektes LUMEN. Im Teilprojekt "Analyse de systèmes d'éclairage naturel latéral" [9] wurde programmgemäss ein automatisiertes Heliodon konzipiert und teilweise zur Funktionstüchtigkeit gebracht (Dunkelkammer, kalibrierte Lichtquelle). Ebenfalls realisiert wurde der automatisch orientierbare mechanische Support, seine Motorisierung ist im Gange. Daneben wurde, wie vorgesehen, die Diagnostikausrüstung für photometrische und energetische "in situ-Messungen" von Tageslichtsystemen komplettiert. Bereits sind damit verschiedene Gebäude auf das Anwendungspotential von Tageslichtlösungen untersucht worden. Es wurden Isofaktor-Kurven gemessen, die Situationen bezüglich visuellem Komfort identifiziert und das Einsparpotential für Elektrizität bestimmt.

"Solaranwendungen in Nicht-Wohnhäusern"

Die internen Lasten [10] in verschiedenen Nicht-Wohnbauten für typische Räume wurden mit Stichproben ermittelt. Die maximal abgerufene Leistung war in manchen Fällen weniger als ein Viertel der installierten Leistung. Die Messdaten dienten auch als Eingabe zu Simulationen, die bewiesen, dass die Möglichkeiten der passiven Sonnenenergienutzung in Nicht-Wohnbauten im allgemeinen unterschätzt werden.

Um die Wirksamkeit von Solaranlagen zu überprüfen, wurden vier Solarhäuser unterschiedlicher Arten ausgewählt, gemessen und ausgewertet. Die Messkampagnen und ergänzenden Computer-Simulationen wurden im Jahr 1990 abgeschlossen und alle Schlussberichte liegen vor. Es hat sich gezeigt, dass keines der vier Objekte optimal funktioniert, weder vom Konzept noch vom Betrieb her. Die passive und aktive Sonnenenergienutzung hat aber doch durchwegs zu sehr tiefem Energieverbrauch (z. B. Energiekennzahl Bürohaus HAAS unter 100 MJ/m² a) und wesentlicher Verbesserung des Komforts (z. B. Stahllager KÄGI) geführt. Die Messobjekte sind :

- Bürohaus HAAS+PARTNER, Jona [11]. (Fensterkollektorsystem, verbunden mit einem Geröllspeicher)
- Fabrikgebäude METFOLABOR, Wetzikon [12]. (Gewächshaus und Luftkollektoren in Verbindung mit Hohlraumbetonböden)
- Stahllager KÄGI, Winterthur [13]. (Einfaches Umluftsystem zur Verhinderung der Korrosion des Stahllagers im Keller)
- "Serre solaire de la nouvelle Université de Neuchâtel" [14]. (Dreistöckiges Atrium)

Aus dem IEA-Dokument "Case Studies of Passive Solar Commercial Buildings" [15], das 45 Projekte vorstellt, wurde eine Auswahl von 10 Projekten umformatiert und eine auf schweizerische Architekten und Bau-herren ausgerichtete Broschüre auf deutsch erarbeitet, die bezogen werden kann.

"Problemübergreifende Projekte"

Niedrigenergiehäuser verlangen besondere Bauwerksteile und sind deshalb oft aufwendiger als konventionelle Gebäude. Anliegen des Projekts "Anteil grauer Energie an Niedrigenergiehäusern" [16] ist die Bereitstellung von Entscheidungshilfen zur gesamtheitlichen Beurteilung der Effizienz des Mehraufwandes auf der Basis von Energie- und Schadstoffbilanzen. In diesem Sinne wurde ein Bilanzmodell "Energieaufwand und Schadstoffanfall von Baustoffen" entwickelt. Ein weiteres Modell für den "Energieaufwand und Schadstoffanfall von Bauwerksteilen" ist in Bearbeitung. Die Komplexität der Probleme bezüglich der Festlegung von Bilanzgrenzen wurde unterschätzt. Die weitere Arbeit wird sich vorerst auf methodologische Gesichtspunkte konzentrieren und wird in einem programmübergreifenden Vorhaben angegangen (s. Programm "Sozioökonomische Energie- forschung").

Im Projekt "Application des méthodes stochastiques" (NEFF-Projekt am LESO/EPF-Lausanne) wurden Dimensionierungs- und Steuerungsgrundlagen für Solarsysteme entwickelt. Die erhöhte Ausnutzung des Passiv-Sonnenenergiegewinns kann durch optimierte stochastische Heizungssteuerung den Heizenergieverbrauch bis um 25 % reduzieren.

Als Alternative zu einem Fallstudienbuch wäre eine interaktive graphische Datenbank [17], basierend auf einer "Hypercard"-ähnlichen Struktur von Vorteil. Die Entwicklung eines solchen Systems wurde im Jahr 1990 begonnen. Die Datenbank soll Beispiele von Solargebäuden inklusiv Zeichnungen, Schlüsselzahlen zu Energieverbrauch und Gebäudeeigenschaften beschreiben und Eingaben für einfache Energieberechnungen erlauben. Ein Beispiel aus der Datei kann direkt als Ausgangsbasis für eine kleine Sensitivitätsstudie verwendet werden.

Das schon bisher bewährte Planungshilfsmittel *LESOSAI* wurde überarbeitet und ergänzt und ist nun unter der Bezeichnung *LESOSAI-X* erhältlich.

4. Internationale Zusammenarbeit

Das BEW-Programm Solararchitektur ist sehr stark mit ähnlicher Forschungsarbeit im Ausland verknüpft. Die IEA hat sich als Struktur für eine ergiebige Zusammenarbeit sehr bewährt. Mehrere Forschungsprojekte im Rahmen des BEW-Programmes Solararchitektur profitieren von analogen IEA-Projekten. Deshalb ist die sehr aktive Teilnahme, in manchen Projekten sogar führende Rolle der Schweiz, von grossem Vorteil.

Das IEA-Projekt "Passive Solar Commercial Buildings" [18] umfasst die Untersuchung von Bürohäusern, Läden, Schulen usw. mittels Messkampagnen und Simulation der Sonnenenergienutzung bezüglich Wärme und Licht. Im Jahr 1990 wurden alle Messprojekte abgeschlossen. Die Schlussberichte aller schweizerischen Forschungsbeiträge sind nun vorhanden und verfügbar.

Das IEA-Projekt "Building Energy Analysis Tools" [19] beschäftigt sich mit der Validierung und Erweiterung von Computermodellen. Die drei Schwerpunkte der schweizerischen Beteiligung sind Modellierung von Tageslichtsystemen, Modellierung von Atrien und Erarbeitung von Planungshilfsmitteln für Verglasungssysteme (inkl. transparente Wärmdedämmung).

Das IEA-Projekt "Advanced Solar Low Energy Houses" [20] hat das Planen, Bauen und die Bewertung fortschrittlicher Solarhäuser zur Aufgabe. Ein schweizerisches Beispielprojekt, das Solarhaus KRIESI in Wädenswil, wurde 1990 gebaut. Um zu zeigen, dass ein "Null-Heizenergiehaus" möglich ist, wurde das Jenni-Haus in Burgdorf an einer IEA-Expertensitzung vorgestellt und heftig diskutiert. Die Schweiz hat ein Standard-Rechenverfahren zur Gleichbehandlung aller Häuser der Mitgliedländer definiert.

ISES Solar World Congress 1991: die Forschungsstelle Solararchitektur als Mitglied des "Technical Review Committee" für diesen Kongresshat über 90 Beiträge gelesen und beurteilt. Sie organisiert auch zwei internationale Workshops, um die Schlussergebnisse des IEA-Projekts "Passive Solar Commercial Buildings" zu verbreiten.

5. Umsetzung der Ergebnisse

Die Forschungsstelle bietet in begrenztem Umfang Architekten und Ingenieuren Beratung bei der Planung von Solarbauten an. Damit fliessen Forschungserkennmisse direkt in die Praxis. Im Gegenzug lenken die auftretenden Fragen die Forschung in praxisbezogene Richtungen. Beispiele für Bauprojekte sind u. a.:

- SBG Verarbeitungszentrum, Manno (TI)
- Gewerbehaus Hunziker, Winterthur
- Zentrum für Sonnenenergie- u. Wasserstoff-Forschung, Stuttgart (D)

Synthesen der Forschungsergebnisse wurden an mehreren Tagungen verbreitet, u. a. am 6. Schweizerischen StatusSeminar "Energieforschung im Hochbau" (ETH-Zürich), am 7. Internationalen Sonnenforum (Frankfurt) und an der 2. Alpinen Solarmobil-Europameisterschaft (Zuoz GR).

Schliesslich wurden Forschungserkenntnisse über die Fachpresse (z. B. SIA Schweizerische Bauzeitung, SSES-Sonnenenergie) verbreitet. Vier spezielle Publikationen wurden direkt für den praktischen Gebrauch erarbeitet :

- SIA D 056 "Le Soleil Chaleur et Lumière dans le bâtiment" [21]
- Rechenprogramm zur SIA-Doku. D 010 [22]
- Sonnenfibel für jedermann [23]
- Forschungsprojekte der Schweiz zur passiven Sonnenenergienutzung 1980 1989 [24]

Als Teil des Impulsprogramms "PACER" wurde im Rahmen des "Programme d'action énergies renouvelables" ein Videofilm über Solarhäuser erstellt und ein Pilotkurs über Passiv-Sonnenenergienutzung vorbereitet.

6. Geplante Forschungsarbeiten 1991

Solarfassaden / -dächer: Ein Bauobjekt, welches als Pilontanlage für eine Luftabsaugfassade dienen könnte, wird gesucht. Um weitere Erfahrungen über Solar-Luftsysteme zu gewinnen, ist eine Messkampagne für ein Solarhaus Meier in Reinach/AG vorgesehen. Das Messprojekt "Solarhaus Lenherr" in Schwyz sowie die Entwicklung von Rechenmodulen für konvektive Solarsysteme werden weitergeführt. Die Erstellung von Planunghilfsmitteln zur Bewertung von Transparent-Wärmedämmsystemen und der Aufbau einer Datenbank für Eigenschaften verschiedener Gläser werden begonnen.

Tageslichtnutzung: Im Projekt "Éclairage naturel à Genève" [6] werden ab Anfang 1991 auch die photometrischen Messungen durchgeführt werden. Die Ergebnisse aus Simulationen von Tageslichtsystemen werden in einem "IEA Sourcebook" erfasst und Richtlinien für das Expertensystem ISOLDE herauskristallisiert. Im Projekt "Analyse de systèmes d'éclairage naturel latéral" [9] soll das Heliodon für erste Experimente bald zur Verfügung stehen.

Solaranwendungen in Nicht-Wohnhäusern: Richtlinien für die Konzipierung energiesparender Atrien sollen aus Simulationen und Messerfahrungen erarbeitet werden.

Problemübergreifende Projekte: Zur Berechnung der Anwendungen verschiedener Systeme transparenter Wärmedämmung soll ein PC-Rechenmodell entwickelt werden. Ein Nachfolgeprojekt zu dem im Jahr 1990 abgeschlossenen Projekt "Anteil grauer Energie an Niedrigenergiehäusern" ist geplant. Die Arbeit am Projekt "Interaktive Datenbank" läuft im Jahr 1991 weiter.

Internationale Zusammenarbeit (IEA):

- Fertigstellung des Sourcebooks über passive Solarheizsysteme, Tageslichtnutzung, natürliche Kühlung und Atrien.
- Fertigstellung des Pilot-Expertensystems mit den gleichen Themen.
- Durchführung von entsprechenden Seminarien.
- Arbeit in den Teilprojekten Atrien, neuartige Gläser und Tageslicht.
- Parameterstudien, basierend auf schweizerischen Solarhäusern mit sehr tiefem Energieverbrauch.
- Zusammenstellung eines Arbeitsdokuments von Beispielhäusern.
- Erarbeitung eines detaillierten Forschungskonzepts über Luftkollektorsysteme.

Veranstaltungen, geplant für das Jahr 1991: Im Zusammenhang mit dem Abschluss des IEA-Projekts "Passive Solar Commercial Buildings" werden folgende Veranstaltungen durchgeführt:

- Schlussergebnisse (ETH-Zürich, 6. März 1991)
- Internationales Seminar : Messprojekt-Ergebnisse (Oxford, April 1991)
- Internationale Workshops: Schlussergebnisse (Denver (USA), ISES Congress, Aug. 90 und Budapest (H) -Task IX und XI, Sept. 90)

Als Standortbestimmung und Sensibilisierung der Baufachleute ist eine Fachtagung Energie- und Schadstoffbilanzen (ETH-Zürich, 7. März 1991) in Vorbereitung.

7. Liste der Projekte 1990

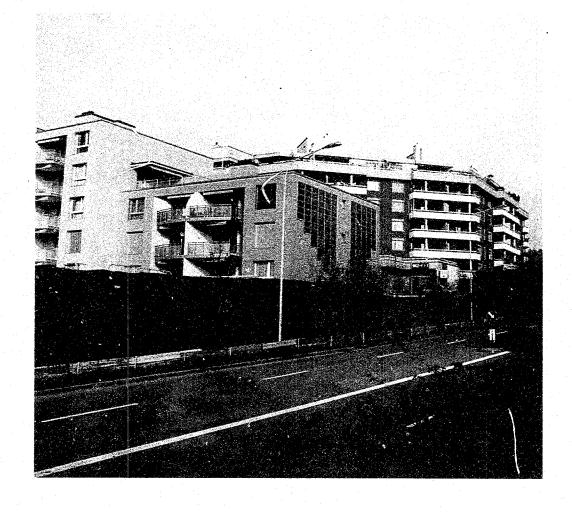
- [1] R. Hastings und F. Reufer, HBT/ ETH-Hönggerberg: "Forschungsstelle Solararchitektur".
- [2] R. Peter, PETER CONSULTING, Zürich: "Potentialstudie bezüglich Luftabsaug-Fassaden", (JB).
- [3] C. Filleux, BASLER & HOFMANN, Zürich: "Thermische Modellierung des Fensterkollektors", (JB).
- [4] N. Zamboni, BASLER & HOFMANN, Zürich: "Modellierung: Komponenten f. konvektive Solarsys", (JB).
- [5] A. Gütermann, AMENA, Schlieren (ZH): "Solarhaus Lenherr", (JB).
- [6] O. Guisan, GAP/Uni-Genève: "Éclairage naturel à Genève: mesures et modèles", (JB).
- [7] N. Hopkirk, EMPA-Dübendorf: "Möglichkeiten der Tageslichtnutzung", (JB).
- [8] N. Morel, LESO/EPF-Lausanne: "Pilot-Expertensystem ISOLDE", (JB).
- [9] J.L. Scartezzini, LES()/EPF-Lausanne: "Analyse de systèmes d'éclairage naturel latéral", (JB).
- [10] H.P. Eicher, Dr. EICHER & PAULI, Liestal (BL): "Interne Lasten", (JB).
- [11] K. Haas, HAAS+PARTNER, Jona (SG): "Bürohaus HAAS+PARTNER, Jona", (SB).
- [12] P. Ruppert, METEOLABOR, Wetzikon, "Fabrik Gebäude METEOLABOR" (SB).
- [13] AMENA, Schlieren (ZH): "Stahllager KÄGI, Winterthur", (JB +SB).

- [14] P. Chuard, SORANE, Lausanne: "Serre solaire de la nouvelle Université de Neuchâtel", (SB).
- [15] C. Süsstrunk, PINA, SCHWARZENBACH, SÜSSTUNK, Erlenbach (ZH): "Passivsolare Gemeinschafts und Geschäftsbauten", (SB).
- [16] N. Kohler, LESO/EPF-Lausanne: "Anteil grauer Energie an Niedrigenergiehäusern", (JB).
- [17] W. Weber, CUEPE/Uni-Genève: "Banque de données interactive", (JB).
- [18] R. Hastings, ETH-Zürich: "IEA Solar XI: Passive Solar Commercial Buildings: Solar architektur", (JB).
- [19] J.L. Scartezzini, LESO/EPF-Lausanne: "IEA Solar XII: Building Energy Analysis Tools", (JB).
- [20] R. Hastings, ETH-Zürich: "IEA Solar XIII: Advanced Solar Low Energy Houses", (SB).
- [21] A. Faist, LESO/EPF-Lausanne: "SIA D 056: Le Soleil Chaleur et Lumière dans le bâtiment", (SB).
- [22] Th.Baumgartner, Ing.Büro f. HAUSTECHNIK, Dübendorf: "Rechenprogramm zur SIA-Doku D10", (SB).
- [23] R. Hastings, HBT/ ETH-Hönggerberg: "Sonnenfibel", (SB).
- [24] S. Schäfer, Binz (ZH): "Schweiz Forschungsprojekte zur passiven Sonnenenergienutzung", (SB).
- * (JB) Jahresbericht 1990 vorhanden
 - (SB) Schlussbericht vorhanden

ÉNERGIE PHOTOVOLTAÏQUE

Rapport de synthèse sur les activités 1990 du programme de recherche

Chef de programme : Christophe de Reyff



Modules photovoltaïques intégrés en façade :

Ce champ photovoltaïque de 60 m^2 et d'une puissance de 7 kW, à Zürich - Höngg, constitue un exemple d'intégration harmonieuse de modules photovoltaïques en façade. Il a été réalisé par ALPHA REAL, Zürich, et OERLIKON-BÜHRLE IMMOBILIEN, Zürich.

1. Introduction : comment tirer parti de la souplesse des ressources solaires ?

À l'offre de distribution de l'électricité par réseau, qui est la mission actuellement unique des Compagnies d'Électricité, pourrait un jour s'adjoindre une offre d' « électricité sans fil », sous forme de systèmes photovoltaïques décentralisés, et indépendants ou connectés au réseau, car elles pourraient avoir la compétence pour gérer, entretenir et réparer les systèmes. Dans un pays comme le nôtre qui se préoccupe de l'environnement, on se doit de le prouver en appliquant une politique efficace de transition vers l'énergie solaire [40]. En 1990 la filière photovoltaïque a atteint le stade de la crédibilité industrielle, mais la recherche doit rester active [41]. Ainsi les perspectives de mise en oeuvre à grande échelle de la technologie photovoltaïque sont prometteuses. Avec une production de modules de quelque 50 MW en 1990, l'industrie mondiale poursuit une augmentation de 30 % par an (soit un doublement tous les 3 ans). Mais de nouveaux développements sont encore nécessaires, des recherches fondamentales et appliquées doivent être entreprises et soutenues [42]. En particulier l'intégration de la technique photovoltaïque à l'espace construit et tout spécialement à l'enveloppe du bâtiment doit être une priorité [43]. La Suisse est fortement engagée dans cet effort ainsi qu'on va le montrer.

2. Objectifs en 1990

L'activité de recherche du Programme photovoltaïque PV-CH s'est concentrée en 1990 sur les 4 axes suivants :

- 1. Technologie des cellules photovoltaïques: comprendre le comportement du silicium amorphe déposé par la technique VHF, maîtriser les paramètres de dépôt des couches, améliorer le rendement de conversion, diminuer l'effet de dégradation à la lumière ainsi que modéliser et réaliser un 'light trapping' permettant d'atteindre un rendement de 15 %.
- 2. Technologie des onduleurs : améliorer le logiciel d'asservissement, examiner le comportement dans le temps sous des conditions de fonctionnement réelles, examiner et améliorer la compatibilité électromagnétique ainsi que réaliser des prototypes d'onduleurs de puissance de 50 et de 100 kW.
- 3. Installations photovoltaïques sur site : poursuivre et affiner les campagnes de mesures sur des installations complètes, valider des modèles de simulation et évaluer de nouveaux potentiels.
- 4. Intégration de la technique photovoltaïque à l'espace construit : mettre en oeuvre la contribution suisse à la Tâche "Photovoltaïque dans l'espace construit" de l'AIE, réaliser des nouveaux modules photovoltaïques intégrables à l'enveloppe du bâtiment et préparer la mise sur pied d'un site de démonstration pour l'AIE à l'EPF-Lausanne.

À ces 4 chapitres s'ajoutent encore diverses études dans le domaine photovoltaïque ainsi que les mesures sur des installations pilotes et de démonstration : poursuivre l'évaluation des sites à équiper, préparer une nouvelle technique de fixation et de câblage de grands modules et continuer l'examen des installations en marche.

3. Travaux effectués et résultats obtenus en 1990

"Technologie des cellules photovoltaïques "

a) Cellules au silicium amorphe hydrogéné [1]:

Afin de montrer qu'avec le procédé VHF de dépôt, mis au point à l'INSTITUT DE MICROTECHNIQUE - IMT/Uni-Neuchâtel, il était possible de fabriquer des cellules à jonctions p-i-n complètes de qualité satisfaisante, des alliages Si-C à grande conductivité ont dû d'abord être préparés. Une avance dans la compréhension du fonctionnement des cellules à jonctions p-i-n et du transport des électrons et des trous dans la couche intrinsèque de semi-conducteurs amorphes a aussi été réalisée. Le comportement du plasma, la différence structurelle des couches obtenues par la technique VHF, les potentialités de cette technique pour la préparation de couches micro-cristallines sont autant de problèmes qui ont été traités en 1990.

Le développement de la "couche p" a permis d'améliorer le rendement en élevant la transmission optique (le courant en court-circuit croît) et la conductivité (le facteur de remplissage croît) et en abaissant l'énergie d'activation (la tension en circuit ouvert croît). L'adjonction d'alliage Si-C a permis d'élever le gap (valeur atteinte : 2 eV) et par là d'abaisser l'absorption optique de cette couche p (conductivité atteinte : 6x10-6 S/cm). Des couches p ultrafines de 100 Å en a-SiC:H ont été ainsi optimisées ; la sensibilité à la lumière bleue a été améliorée en comparaison avec les cellules à la couche p en a-Si:H (sans alliage au carbone).

Le résultat marquant est l'accroissement de rendement de 6 % à 8 %. Ceci a permis de préparer un module intégré tout à fait opérationnel de 8 cm sur 8 cm, soit de 32,3 cm² de surface active avec 7,5 % de rendement. Les travaux de cette phase II, qui s'est déroulée de 1988 à 1990, ont été présentés dans plus de 40 articles.

b) Cellules équipées d'un système de 'light trapping' [2] :

Le but, au PSI-Zürich, est d'atteindre un rendement de 20 % sur des cellules au silicium cristallin équipées d'un système optique de 'light trapping', c'est-à-dire un réseau asymétrique tel que les faisseaux de lumière soient réfléchis totalement plusieurs fois à l'intérieur de la cellule et non pas renvoyés à l'extérieur. Les pertes par réflexion sont ramenées à seulement 8 % et bientôt à 4 %. Les études théoriques ont été poursuivies et en partie expérimentalement vérifiées : des couches de 60 µm sont aussi efficaces que des couches de 240 µm. Des couches de couplage entre le verre et le silicium ont été expérimentées.

Les travaux ont conduit à ce que le rendement total atteint est passé de 10 % à 15 % en partant de cellules ayant un rendement compris entre 6 % et 8 % sans système optique (10 % avant les pertes par réflexion). L'optimum reste encore à trouver entre l'accroissement intrinsèque du rendement dû au 'light trapping' et son altération due à la technologie de fabrication (effet de la température tout particulièrement) du système optique.

c) Maîtrise des paramètres de dépôt de a-Si par voie plasmatique [3] :

En collaboration avec l'IMT/Uni-Neuchâtel, le CRPP/EPF-Lausanne a construit un réacteur pour étudier la mise en oeuvre de la méthode "Very High Frequency" (VHF) dans l'emploi de la technique "Plasma Enhanced Chemical Vapor Deposition" dans des conditions identiques à celles de Neuchâtel. Les plasmas de silane pur et de silane et hydrogène ont été examinés et des dépôts de silicium amorphe et microcristallin ont été faits. Leur comportement et leur caractéristiques dépendent fortement des conditions de réaction et tout spécialement de la température, de la pression, du flux de gaz, de la distance des électrodes et de la fréquence du champ : un domaine de fréquence de 30 à 100 MHz est étudié. Des sondes de Langmuir et des analyseurs d'énergie des ions et électrons ont été installés et mis en oeuvre. La spectroscopie d'émission avec un Analyseur Optique Multicanal est aussi en fonction. Une méthode par interférométrie à micro-ondes permet maintenant de mesurer la densité électronique avec une résolution spatiale. Une autre méthode de diagnostic par imagerie électronique donne la possibilité d'examiner la formation de poudre de silicium amorphe à partir du plasma de silane.

Il a été confirmé que la densité électronique est maximale dans le domaine de 60 à 70 MHz, qui correspond aussi à la vitesse de dépôt la plus élevée (21 Å/s à 70 MHz). Toutes ces conditions opératoires ont un effet non seulement sur la vitesse d'accroissement du film, mais surtout sur sa qualité, car la tension entre les électrodes diminue lorsque la fréquence croît. La puissance est aussi un paramètre qui est modulé : des essais à 42 MHz avec une modulation de 3 kHz montrent que la densité électronique s'accroît de 75 %. Un effet inattendu, mais intéressant, est, sous 1 kHz de modulation, l'inhibition totale de la formation non désirée de poudre. La puissance effective dans le plasma croît de 55 % à 13,5 MHz à 85 % vers 50 - 60 MHz, ce qui est une première explication des résultats positifs de la méthode VHF de l'IMT/Uni-Neuchâtel. La spectroscopie par émission montre aussi une intensité maximale à 50 MHz des raies de l'ion radicalaire SiH et de la raie Hα de l'hydrogène atomique. Toute application industrielle future devra être optimisée en fonction de ces différents maxima observés. La méthode de Fluorescence Induite par Laser commence à être mise en jeu et permet de mesurer déjà la concentration et la distribution spatiale des divers ions et radicaux présents.

d) Découpe avec assistance vibrationnelle de lingot de silicium [4]:

HCT SHAPING SYSTEMS, Etoy, propose, dans le projet qui débute, de préparer des plaques entre 100 µm et 200 µm par découpe par abrasion avec assistance vibrationnelle. Le sciage par fil abrasif met en oeuvre une série d'interactions impliquant des paramètres dynamiques de friction, de pression et de vitesse du fil ainsi que les propriétés des matériaux, texture, défauts, surface, mouillabilité. Une machine pourvue de jauges pour la mesure des efforts de coupe permettra de faire des essais en vraie grandeur avec un contrôle constant des paramètres.

• D'autres travaux sont soutenus par le NEFF à l'ETH-Zürich dans le domaine du tellurure de cadmium [35] et dans celui des couches minces de silicium obtenues par voie électrochimique [36].

"Onduleurs photovoltaïques"

a) Onduleurs dans la gamme des 50 à 100 kW [5] :

Les tests sont en cours. Sur le plan des performance il faut mentionner une absence de bruits de fonctionnement, une très faible présence d'harmoniques entre 50 Hz et 1,2 kHz. Les prescriptions IEC 801 sont satisfaites. Le refroidissement par convection naturelle à 40 °C ne peut se faire que jusqu'à une puissance de 25 kW; avec un refroidissement forcé il est possible de dépasser les 30 kW. Les tests prévus en 1990 avec le simulateur de champ photovoltaïque se feront en 1991 seulement et permettront d'examiner avec précision le travail du MPP-tracking. Une présérie de 5 prototypes est en train d'être préparée.

b) Onduleur SOLCON sous conditions réelles [6]:

L'onduleur SOLCON est testé sur le site TISO/STS-Lugano: rendement énergétique et sûreté d'emploi lors d'un usage normal et en cas de perturbation du réseau sont les points étudiés en 1990. Les faiblesses relevées ont permis à l'ETS-Bienne d'améliorer le logiciel d'asservissement en vue d'optimiser le fonctionnement en particulier du module de programme STAND BY pour éviter les interruptions. Du 14 mars au 11 novembre 1990 le SOLCON a produit 2439 kWh et a fonctionné durant 2318 h, soit durant 47,1 % du temps des 205 jours de fonction, dans l'espace des 242 jours de la période de mesure. Deux interruptions accidentelles extérieures sont les seules causes de ces coupures. L'étude du comportement en parallèle (soit côté courant alternatif, soit côté courant continu) de deux SOLCON, initialement prévue, est abandonnée. Une étude thermographique de l'onduleur ouvert en fonctionnement a révélé quelques points chauds qui ont été communiqués au constructeur.

c) Onduleurs SI-3000 et SOLCON [7]:

L'étude de l'onduleur SI-3000 avait déjà été entreprise avant 1990 par l'HTL-Burgdorf: son rendement limite est situé à 92 % (±1,5 %). Cette année l'étude a porté sur les fréquences harmoniques et sur la compatibilité électro-magnétique (CEM) de ce type d'onduleur: les hautes et moyennes fréquences produites perturbent la réception radiophonique dans le voisinage. Le comportement lors de l'effondrement du réseau électrique a révélé la possibilité d'un fonctionnement autonome trop long (de 8 à 20 s, selon la charge). Le SI-3000 s'est aussi montré très sensible aux signaux d'asservissement de 317 Hz lancés sur le réseau par les SI qui réussissent à l'arrêter (mais pas les signaux à 217 Hz). La suppression des harmoniques, la fiabilité et la convivialité devront encore être améliorées entre autres par des îltres et asservissement.

Quant au SOLCON, son rendement, à seulement 4 % de puissance d'entrée, est déjà de 80 % et, de 10 à 100 % d'entrée, de plus de 90 % avec un plateau à 92 %. Fait intéressant : un réseau déformé par des harmoniques étrangères voit son comportement amélioré dans le domaine de 100 Hz à 2,5 kHz de par la seule présence du SOLCON. Ceci se fait à tel point que les signaux d'asservissement du réseau tendent ici à être compensés et pourraient même disparaître dans le voisinage! De son côté la CEM devra être améliorée par des filtres. L'auto-fonctionnement ne dépasse plus 5 s. Lorsque l'irradiation varie fortement et que le courant continu varie, l'onduleur a une certaine paresse à suivre le point de puissance maximale ("MPP-tracking") et ainsi produit moins de puissance que ce qui serait possible. Ceci est en train d'être amélioré dans la nouvelle version du logiciel d'asservissement.

• D'autres travaux sur des onduleurs de 25 kW et triphasés sont en cours à l'ETS-Bienne [33] et à l'ÖKOZENTRUM, Langenbruck, l'HTL-Burgdorf et ASCOM/HASLER, Bern [34].

"Installations photovoltaïques sur site "

a) Champ en a-Si au TISO [8]:

Le champ photovoltaïque de 4 kW, constitué de modules en silicium amorphe (a-Si), installé au TISO/STS-Lugano, a continué d'être mesuré. L'étude des cycles de dégradation et de régénération selon les saisons est l'objet intéressant : le cycle dégradation/régénération suit celui des saisons avec une variation du rendement opposée au comportement habituel des cellules en silicium cristallin (c-Si). Des mesures thermographiques du champ ont aussi été faites : la présence de boîtes de connexion provoque une augmentation locale de 5 °C; ceci n'arrive pas avec les modules CT13, montés aux USA, à connexions latérales, qui ont remplacé les CSB 13 E défectueux (voir le Rapport annuel de 1989). Certains modules montrent des micro-fissures de leur bande de conduction en aluminium. Les modules encore défectueux seront remplacés par des CSB 13 R, montés en France.

b) Campagne de mesures en vue de la construction d'installation pilotes photovolta\(\text{ques}\) [9]:

La campagne de mesures et de modélisation entreprise en 1987 par THOMAS NORDMANN CONSULTING - TNC, Chur, sur 4 sites a été achevée en 1990. Les puissances électriques mesurées ont été comparées aux valeurs calculées par METEOTEST, Bern. Les pronostics sont trop élevés en été et trop bas en hiver ; ceci est dû à la différence, négligée en première approximation, du rendement à température variable et aux effets, non pris en compte dans les calculs, de l'albédo. Les résultats permettent l'optimisation d'un onduleur.

c) Influence de l'albédo [10] :

1990 a été la seconde année pleine où l'installation, située à la station intermédiaire du téléphérique du Titlis à 2450 m, a été mesurée par le PSI-Villigen. C'est la première année pourtant où toutes les mesures ont ou être faites sans interruption directement par modem depuis octobre 1989. Le thème principal reste la part du rayonnement due à la réflexion du sol et principalement des surfaces enneigées. Ceci a été complété par la mise en station d'une petite installation de mesures au sommet du Titlis à 3020 m équipée de 2 solarimètres (global horizontal et avec 60° d'angle d'inclinaison).

La part de l'albédo est au maximum de 22,2 % en mai/juin pour 60°, de 26,8 % en juin pour 75° et de 35,4 % en avril pour 90° (à la verticale) d'inclinaison. Avec une irradiance arruuelle (de mai 1989 à avril 1990) totale de 1386 kWh/m², le rendement est de 10,9 % et l'installation a produit 151 kWh/m² en courant continu, et, avec un rendement moyen de l'onduleur de 86,9 %, 131 kWh/m² en courant alternatif. Avec une surface active de 17,1 m², l'installation a produit 2583 kWh de courant continu en un an et 2244 kWh de courant alternatif, dont 278 kWh, soit 12,4 %, sont dus au seul effet de l'albédo.

d) Campagne de mesures fines en diverses régions [11], [32] :

La campagne de mesures fines, réalisée par ALPHA REAL, Zürich, sur 5 installations photovoltaïques situées dans différentes régions climatiques de Suisse, s'est poursuivie durant une seconde année pleine. Certaines difficultés apparues sont dues aux perturbations de quelques détecteurs par l'activité des onduleurs. Il a été possible de donner une présentation quotidienne de la distribution des quantités d'énergie produites et consommées par l'auto-producteur. La connaissance de ces distributions fines permet d'équilibrer les composants ("balance") d'une installation photovoltaïque et tout particulièrement sa production optimale en saison hivernale. Avec les résultats acquis il sera possible de valider des modèles prévisionnels informatiques.

e) Rayonnement solaire et technique photovoltaïque [12]:

Le PSI-Villigen a terminé ses mesures à la station de Laj Alv-I. L'évaluation finale est en cours. Le rapport final constituera la thèse de B. Hofer qui est attendue pour le milieu de 1991. L'année 1990 a vu la réalisation de modifications de la station en vue du projet Laj Alv-II; elle sera prête en février 1991. Le nombre de canaux de mesures a été étendu. Il est prévu de collaborer à la Tâche "Radiation Spectrale du Soleil" de l'AIE.

f) Installation de 2,2 kW des Transports Publics de Genève (TPG) [13]:

L'installation a été construite en avril et mai 1990 et les mesures par l'Uni-Genève ont débuté le 1er juin. Les 42 modules à 53 W fournissent directement leur énergie au réseau de 620 V de courant continu des TPG. Le champ est composé de deux lots différents qui ont montré, pour le premier, une puissance inférieure de 2,3 % aux spécifications du fabricant de cellules photovoltaïques et, pour le second, de 14,2 %. Le seuil de fonctionnement correspond à une irradiation de 20 W/m². L'efficacité estivale journalière est en moyenne de 9,5 % ±0,1 %; elle est rapportée à la surface brute des modules de 17,92 m². Le taux de fonctionnement a été de 96 % entre juin et septembre, ce qui donne une efficacité totale de 9,14 %. La campagne se poursuit en 1991 avec prise en compte d'effets secondaires : variations de température, rapport des rayonnements direct net diffus, ombrage, etc.

g) Installation de 2 kW à la "GEWERBLICH-INDUSTRIELLE BERUFSSCHULE BERN" (GIBB) [14] :

Cette installation été découplée du réseau des Transports publics bernois et remise à la disposition des apprentis en montage électrique et électronique de la GIBB, Bern, pour leurs travaux de perfectionnement. Ils l'ont modifiée et reliée en août au réseau 230 V via un onduleur SI-3000. Le système d'acquisition de données provenant de l'HTL-Burgdorf est opérationnel. Il permet l'introduction des apprentis à la technique photovoltaïque. Depuis août, l'installation a produit 550 kWh. L'équipement enregistre aussi les mesures de 2 pyranomètres et de 2 thermomètres en plus des courants et tensions, côté courant continu et côté courant alternatif, ainsi que les signaux d'asservissement de 217 Hz du réseau, qui pourraient perturber l'onduleur.

h) Mise sur pied de tests normalisés [15]:

La phase III du projet TISO au STS-Lugano vient de débuter. En collaboration avec l'"European Solar Test Installation - ESTI" du Centre Commun de Recherche à Ispra, elle va permettre d'offrir des tests normalisés de paramètres mécaniques, thermiques et électriques pour les composants et les systèmes, soit des modules, onduleurs, régulateurs, détecteurs, accessibles sur le marché, en vue de la constitution d'une banque de données et d'informations publiques, via les canaux d'INFOSOLAR, d'ENET et le réseau commun des ETS de Suisse.

i) Installation triphasée de 7,5 kW des Services Industriels de Genève (SIG) [16]:

L'Uni-Genève en collaborant avec les SIG, veut étudier tous les aspects d'une installation photovoltaïque triphasée de 3 x 2,5 kW. La construction et la mise en place du système d'acquisition de données sont en cours.

"Intégration de la technologie photovoltaïque à l'architecture" [43]

Pour l'instant, ce sont généralement des lamifiés, extraits de modules commerciaux, qui sont utilisés [20]. Alors que les premiers lamifiés, confectionnés sur commande, taillés sur mesures et fabriqués en Suisse, font leur apparition [21], il est probable que, dans un proche avenir, on disposera d'une production nationale, avoisinant 1 MW / an, de modules de dimensions variées qui pourront être adaptés sur demande en largeur, hauteur et en caractéristiques électriques, par exemple, comme contre-coeur (allège), aussi bien sur des bâtiments neufs que lors de restauration de façades ou de toitures.

a) Participation à la Tâche "Photovoltaïque dans l'espace construit" de l'AIE [17], [19] :

L'année 1990 a été consacrée à la préparation de la mise en oeuvre de la contribution suisse à cette nouvelle Tâche et tout particulièrement à sa sous-tâche "Intégration de la technologie photovoltaïque à l'architecture". Le groupe de travail en Suisse, sous la direction de P. Toggweiler (ALPHA REAL, Zürich), s'est réuni à 3 reprises en 1990. D'autre part, 2 Ateliers internationaux ont eu lieu. Le lancement officiel de la Tâche le 1er novembre 1990 s'est concrétisé pour la Suisse par la tenue à Berne d'une Journée d'information [43] où 30 personnes concernées par cette intégration de la technique photovoltaïque à l'espace construit ont présenté leurs réalisations et leurs projets. Le plan de travail national est fixé; dans le cadre de cette Tâche, ont été entreprises l'évaluation et la préparation de la réalisation du site de démonstration, qui sera mis à disposition des participants à cette Tâche, pour des éléments photovoltaïques architecturaux. Ils seront exposés, mis en oeuvre et présentés de façon démonstrative par le LESO-PB/EPF-Lausanne sur le site de l'EPF-Lausanne.

b) Techniques de montage et de câblage pour des modules photovoltaïques [18], [37] :

La simplification de la fabrication de grands modules à partir de lamifiés sans cadre est à même d'apporter un abaissement des coûts des composants et de l'énergie grise investie et donc du temps de remboursement. EWI, Zürich, poursuit ses essais d'une technique de collage de lamifiés avec épreuves d'altération, de charge et de contraintes diverses. Deux prototypes ont été mis en station sur le site du Mt-Soleil. Les grands modules sont maintenant constitués de 96 lamifiés, groupés en 4 groupes de 24, de 8 m de long et de 1,3 m de large, donnant un montage total de 16 m de long sur 2,6 m de large, soit une puissance de 5 kW.

c) Intégration optimale au bâtiment d'installations photovoltaïques [20] :

Les travaux réalisés par ALPHA REAL, Zürich, ont consisté en la collecte des technologies actuelles pour les toits et façades dont les détails seraient adaptables à la fonction de support et à l'intégration de cellules ou de lamifiés. Des solutions de construction pratique ont été élaborées et la préparation d'un banc d'essai a été mise au point. Des lignes directrices sont aussi préparées pour les questions de normalisation et de sécurité.

d) Intégration de générateurs photovoltaïques à l'enveloppe du bâtiment [21] :

ATLANTIS ENERGIE, Bern, et ZETTER, Solothum, se proposent d'étudier des générateurs photovoltaïques, soit des lamifiés faits sur mesure, avec la possibilité d'une circulation d'air ou d'eau pour permettre le refroidissement afin de récupérer la chaleur et d'augmenter le rendement. Plusieurs bâtiments ont commencé à être équipés de ces modules. Un modèle numérique est développé pour établir les bilans thermiques et électriques.

"Études diverses"

Le DIPARTIMENTO DELL'AMBIENTE, Bellinzona, collabore à l'évaluation des projets et travaux du programme de recherche PV-CH et un collaborateur est membre du Groupement européen de travail pour l'évaluation des centrales photovoltaïques d'une certaine puissance, et assure les contacts avec le Centre Commun de Recherche à Ispra [22].

Une étude, soutenue par le NEFF, est entreprise par ALPHA REAL, Zürich [23]. Elle porte sur les mesures instantanées de la performance d'un champ photovoltaïque en vue d'une méthodologie normalisée. Un survol des systèmes de mesures standard actuels a été fait et un algorithme développé pour l'extrapolation à partir des conditions standard.

Une autre étude vient de débuter chez ALPHA REAL, Zürich, pour l'optimisation de la sécurité des champs photovoltaïques [24]. Celle-ci ne relève pas des seules prescriptions conventionnelles. En effet, les prescriptions actuelles en matière de mise à terre et de conception de câblage de sécurité seront à reviser. Une nouvelle stratégie de sécurité, pour le personnel assurant le montage, et de sûreté, pour le fonctionnement, est à mettre au point.

Le Bureau d'études KELLER & BURNIER, Lavigny, a étudié une optimisation de la surface des modules photovoltaïques en fonction de l'onduleur [25]. Une simulation a montré qu'un surdimensionnement du champ photovoltaïque qui est de l'ordre de 20 à 40 %, selon les conditions, représente un optimum du point de vue économique. Ce modèle est encore à valider expérimentalement.

"Installations P + D"

L'installation photovoltaïque de 3 kW sur la gare CFF de Coire a permis à TNC, Chur, de développer et tester un ensemble d'instruments de mesures pour la surveillance d'installations photovoltaïques [26]. L'exploitation de l'installation de 100 kW sur les murs anti-bruit de l'autoroute N13 à Domat/Ems (GR) se poursuit [27]. Des problèmes se sont présentés dans le fonctionnement de l'onduleur de 100 kW et dans certains modules LA361J48 qui présentent des symptômes de courants de fuite (quelques mA) à la tension de fonctionnement (400 V). La campagne de mesures sur cette installation se poursuit depuis décembre 1989. Le fonctionnement de l'onduleur a été de 75 % dans la durée, la production effective s'est élevée à 86 MWh en courant alternatif (de décembre 1989 à novembre 1990); sur une année on attend théoriquement 118 MWh [28]. Une étude de faisabilité pour la construction d'autres installations photovoltaïques le long du réseau des CFF vient de débuter, soutenue par le NEFF [39]; l'étude particulière d'une autre installation de 100 kW le long du tracé du chemin de fer entre Bellinzona et Locarno est en cours [29].

Le bureau EWI, Zürich, a étudié un projet de production d'hydrogène par électrolyse au moyen d'électricité d'origine photovoltaïque en vue du gonflage des ballons stratosphériques pour la station aérologique de l'ISM à Payeme [30]. Plusieurs variantes ont été chiffrées avec une simulation (Voir le Rapport de synthèse du *Programme "Hydrogène"*). L'installation proposée serait un champ photovoltaïque de 15 kW, combiné avec un onduleur, un redresseur et un réservoir d'hydrogène à basse pression de 15 m³. Le prix de revient sera de quelque 10.- Fr./m³ d'hydrogène. L'étude d'une installation photovoltaïque sur une autre gare en lieu et place de celle de Soleure a montré que Giubiasco serait préférable à Montreux [31].

Le projet PHALK 500 d'une centrale photovoltaïque de 500 kW au Mont-Soleil est en voie de réalisation, soutenu par le NEFF: dans ce cadre un onduleur hybride de 500 kW est développé par ABB avec l'aide de l'ETH-Zürich [37]. Une étude pour la réalisation d'une alimentation photovoltaïque en courant continu de batteries dans l'arsenal de Brugg (AG) a été présentée par Ing.-Büro MUNTWYLER, Zollikofen [38].

4. Collaboration internationale

- Le projet de l'IMT/Uni-Neuchâtel se fait en étroite collaboration avec l'Uni-Princeton, l'Académie des Sciences de Prague, le KFA, Jülich, l'Uni-Konstanz, l'Uni-Stuttgart, l'Uni-Marburg, l'École Polytechnique, Palaiseau, l'Uni-Delaware, le SERI, Golden, et l'Uni-Utah.

- Le projet du RCA/PSI-Zürich collabore avec le Fraunhofer Institut für Solare Energiesysteme, Freiburg-im-Breisgau (D), le SERI, Golden, et avec l'Uni-New South Wales (Australia).
- Le projet du CRPP/EPF-Lausanne participe à la communauté de travail ARC avec le Laboratoire de Physique des Interfaces et des Couches Minces à l'École Polytechnique, Palaiseau, l'Uni-Orléans, l'Uni-Toulouse, le Programme Interdisciplinaire de Recherches sur les Sciences pour l'Énergies et les Matières premières PIRSEM, l'Agence Française pour la Maîtrise de l'Énergie AFME / Service des Techniques Nouvelles et un partenaire industriel, SOLEMS, Palaiseau.
- Le projet de HCT SHAPING SYSTEMS, Etoy, est lancé dans le cadre du Programme européen JOULE, en étroite collaboration avec ENE, Bruxelles, et PHOTOWATT-France.
- Le site de mesures au TISO/STS-Lugano est en contact permanent avec l'ESTI du Centre Commun de Recherches de la CCE à Ispra où des mesures sont faites régulièrement sous des conditions normalisées. Un collaborateur est membre du groupe de travail européen ad hoc qui s'est réuni à Lisbonne où a été présenté le nouveau programme de démonstration de la CCE.
- Lancée sur l'initiative de la Suisse, la Tâche "Photovoltaïque dans l'espace construit" de l'AIE a débuté officiellement le 1er novembre 1990. La Suisse en coordonne la sous-tâche "Intégration du Photovoltaïque à l'Architecture". Deux "Ateliers de définition de projets" ont eu lieu, l'un à Klagenfurt (A) du 12 au 15 février et l'autre à Elm (GL/CH) du 17 au 20 septembre (le texte de l'Annexe fait partie du RA 1990 du projet [17]). Lors de ce dernier atelier, la Suisse a proposé d'établir un Site de démonstration à l'EPF-Lausanne, géré par le LESO-PB. Le principe en a été accepté.
- Le projet de grands modules d'EWI, Zürich, est fait en contact soutenu avec Siemens-Solar, München.
- Au début décembre, s'est tenue à Taormina une "Executive Conference on Photovoltaic Systems for Electric Utility Applications", organisée par l'AIE et l'Ente Nazionale per l'Energia Elettrica ENEL, à laquelle la Suisse a participé.

5. Transferts à la pratique

Le PSI-Zürich est en train d'établir une collaboration pour 1991 avec l'industrie pour le transfert de la technologie de fabrication de cellules pourvue d'un réseau de 'light trapping'.

Le CRPP/EPF-Lausanne a vu une application inattendue du procédé VHF dans la possibilité aussi bien d'inhiber que de favoriser la formation de poudre de silicium amorphe, possibilité hautement intéressante pour l'industrie. Le choix des conditions optimales de dépôt par plasma est aussi un apport pour l'industrie. SOLEMS, Palaiseau, participe au groupe ARC dont est membre le CRPP.

HCT SHAPING SYSTEMS, Etoy, travaille en étroite collaboration avec Photowatt-France et ENE, Bruxelles, pour appliquer les résultats de ses essais de découpe sur de grandes plaques et sur des plaques minces.

Les essais sur le site du TISO/STS-Lugano de l'onduleur SOLCON ont permis déjà à l'ETS-Bienne d'améliorer le logiciel d'asservissement des appareils en voie d'être produits en série ; le fabricant en a déjà tenu compte.

Les connaissances acquises sur la qualité du rayonnement solaire déterminée par des mesures faites par le PSI-Villigen à la station météo de Laj Alv (GR) sont utiles pour les planificateurs des centrales solaires *PHALK-500*.

À Genève les deux installations des TPG et des SIG a permis une collaboration entre l'Uni-Genève et deux entreprises de services publics. Des installations de plus grande puissance seront construites.

Les essais de fixation par collage et de câblage de lamifiés, entrepris par EWI, Zürich, sont appliqués à la construction de la centrale de 500 kW du Mont-Soleil (BE); trois entreprises participent à ces premiers montages et acquièrent ainsi le savoir-faire nécessaire dans ce nouveau domaine d'activité.

La construction de l'installation de 100 kW le long de l'autoroute N13 à Domat/Ems (GR) et les analyses minutieuses par TNC, Chur, du comportement du champ photovoltaïque et de l'onduleur ont permis de mettre en évidence des faiblesses que les fabricants (Kyocera et Siemens) ont pris en compte pour modifier leur production.

6. Perspectives pour 1991

Cette année verra débuter la phase III du projet de recherche de l'IMT/Uni-Neuchâtel sur les cellules au silicium amorphe ; dans les trois ans à venir il est prévu, en étudiant spécialement la transition-tunnel p-n, de réaliser une cellule tandem avec un rendement stabilisé, c'est-à-dire une cellule doublement pourvue de couches actives pour augmenter encore le rendement global ; pour l'immédiat, il s'agit de mieux comprendre tous les processus qui sont en relation avec la dégradation sous illumination. L'étude du 'light trapping' au RCA/PSI-Zürich devra atteindre un rendement de 20 %, en utilisant un réseau asymétrique, tout en simplifiant la fabrication des cellules avec des traitements à basse température. Les contacts avec l'industrie sont entrepris pour permettre l'application en grand de la méthode. Les faits mis en évidence par le CRPP/EPF-Lausanne, lors des mesures des paramètres de dépôt de silicium amorphe par la méthode VHF de l'IMT/Uni-Neuchâtel, vont permettre de les optimiser. HCT SHAPING SYSTEMS, Etoy, va mettre en oeuvre l'étude des paramètres du découpage par abrasion de lingots de silicium pour mieux comprendre les mécanismes en jeu, y compris l'influence de l'assistance vibrationnelle. Le but du projet international est de scier des plaques de 100 µm à 120 µm seulement.

Une présérie de 3 prototypes d'onduleur de 100 kW va être fabriquée par INVERTOMATIC, Riazzino, avec un décalage dans le temps de mai à décembre 1991. Les essais sur site du TISO/STS-Lugano de l'onduleur SOLCON vont être poursuivis avec, en particulier, l'examen à l'HTL-Burgdorf des harmoniques et l'amélioration de la commerciabilité. Pour ce qui est de la technologie-même des onduleurs, une voie nouvelle sera tentée à l'ETS-Bienne avec une autre technique de résonance. Une étude comparative de plusieurs onduleurs, déjà entreprise sur deux modèles, sera étendue à d'autres appareils à l'HTL-Burgdorf avec, en particulier, des essais sur la compatibilité électromagnétique, sur la suppression des interférences, sur la forme de la courbe de rendement et sur le comportement lors de la chute du réseau.

Le projet TISO/STS-Lugano entre aussi dans sa phase III avec — en plus de la poursuite de l'examen approfondi en cours du comportement selon le cycle des saisons de différents type de modules — la mise sur pied de tests sous condition réelle de fonctionnement pour des composants et des systèmes photovoltaïques. Le projet Laj Alv-II, en prolongeant ses campagnes de mesures par le PSI-Villigen pour trois ans, va coopérer avec le projet Desertasol et va participer au projet international d'une nouvelle Tâche "Mesures de la répartition spectrale de l'énergie solaire" de l'AIE. Les installations des TPG et des SIG à Genève vont continuer à être mesurées dans le détail par l'Uni-Genève avec étude de divers effets, avant une décision de construire deux installations d'envergure. Le projet d'examen de techniques de montage et de câblage, entrepris par EWI, Zürich, va se poursuivre par des tests sur le site du Mont-Soleil (BE), avec des essais de charge (neige et vent) et l'application de nouveaux systèmes de fixation mécanique. La construction proprement dite de la centrale de 500 kW va débuter ce printemps et sa mise en service est prévue pour cet automne. Un programme de recherches est en voie d'élaboration, en collaboration avec l'ETS-St-Imier.

De son côté, l'intégration de la technologie photovoltaïque à l'architecture va à nouveau être l'un des axes forts de cette année grâce à la réalisation de plusieurs types de lamifiés, entre autres dans le cadre des projets des firmes ATLANTIS ENERGIE, Bern, et ZETTER, Solothurn, ainsi qu'ALPHA REAL, Zürich, et GLAS TRÖSCH, Bützberg. L'incorporation à l'enveloppe du bâtiment, tout spécialement en façade, se fait à partir de modules de différentes tailles, fabriqués sur mesure. Le site de démonstration — prévu à l'EPF-Lausanne pour exposer des réalisations suisses et internationales dans le cadre de l'activité de la Tâche de l'AIE — verra sa construction débuter. Plusieurs installations de démonstration vont voir le jour, dont plusieurs exemples d'intégration justement, sur les bâtiments de divers instituts de l'EPF-Lausanne. Le LESO-PB/EPF-Lausanne sera chargé de les mesurer.

La firme ALPHA REAL, Zürich, en commun avec la firme GLAS TRÖSCH, Bützberg, sous le nom de GLAS TRÖSCH SOLAR, Ursenbach, veut étudier de nouveaux procédés de fabrication (encapsulage) de modules photovoltaïques, en particulier avec des polymères, et ce du point de vue de leur solidité, stabilité aux UV et dans le temps, disponibilité et coût. Les travaux entrepris par le Bureau d'études KELLER & BURNIER, Lavigny, qui ont consisté dans une simulation de l'optimisation de la surface des panneaux photovoltaïques en fonction des convertisseurs, doivent maintenant être validés expérimentalement par des mesures. Il est prévu de procéder à ces mesures sur les futures installations photovoltaïques de l'EPF-Lausanne où seront installés trois champ photovoltaïques de tailles et donc de puissances inégales, mais dans des situations identiques.

L'installation de 100 kW le long de l'autoroute N13 à Domat/Ems (GR) va être mesurée pour la seconde année pleine. Une étude d'optimisation est prévue par TNC, Chur, avant de se lancer dans la construction des trois autres installations prévues. La planification et la réalisation d'une nouvelle installation de 100 kW le long du

tracé des CFF entre Bellinzone et Locarno vont être entreprises de façon à ce qu'elle entre en fonction au printemps 1992; les perturbations et interactions électromagnétiques entre la ligne CFF et le champ photovoltaïque et les onduleurs seront particulièrement étudiées ainsi que l'action des poussières métalliques.

L'étude pour le projet HYDROSOL, à la Station aérologique de l'ISM à Payerne, entreprise par EWI, Zürich, va se concrétiser par une planification et par la réalisation d'une telle installation pilote de production d'hydrogène par l'électricité d'origine photovoltaïque ; il s'agira de valider les prévisions de production, de stockage et de consommation aussi bien d'électricité que d'hydrogène. L'installation photovoltaïque, initialement prévue sur la gare d'Olten, va être construite finalement sur un bâtiment des CFF à Giubiasco et sera opérationnelle en automne 1991 ; on y étudiera la fourniture de courant continu pour la recharge des batteries des petits véhicules électriques de service.

7. Liste des projets de recherche

- [01] A. Shah, IMT/Uni-Neuchâtel: "Solarzellen aus amorphem Silizium". (RA+RF)
- [02] H. Kiess, K. Knop, RCA/PSI-Zürich: "Bestimmung und Vergleich des Wirkungsgrades von Solarzellen mit und ohne 'light trapping'". (RA)
- [03] C. Hollenstein, F. Troyon, CRPF/EPF-Lausanne: "Propriétés plasma-physiques des plasmas "radio-fréquence" de silane préparés en vue du dépôt de couches de silicium amorphe". (RA)
- [04] C. Hauser, HCT SHAPING, Etoy: "Étude des paramètres de découpe du silicium par abrasion". (RA)
- [05] C. Giovannini, F. Donati, INVERTOMATIC, Riazzino: "Solarwechselrichter mit Netzeinspeisung im 50-kW-Bereich". (RA, rapport intermédiaire attendu par le NEFF)
- [06] V. Crastan, HTL-Biel / ETS-Bienne, DIPARTIMENTO DELL'AMBIENTE, Bellinzona, & TISO/STS-Lugano: "Testversuche des 3-kW-SOLCON- Wechselrichters unter reellen Arbeitsbedingungen an der PV-Forschungsanlage TISO". (RA)
- [07] H. Häberlin, HTL-Burgdorf: "Vergleichsmessungen an den PV-Wechselrichtern SI-3000/SOLCON". (RA)
- [08] M. Camani, D. Chianese, DIPARTIMENTO DELL'AMBIENTE, Bellinzona, & TISO/STS-Lugano: "TISO II: impianto fotovoltaico sperimentale a moduli amorfi". (RA+RF)
- [09] T. Bähler, T. Nordmann, TNC, Chur: "Abschluss der Messkampagne für den Bau von PV-Pilotanlagen". (RA+RF)
- [10] M. Brack, W. Durisch, PSI-Villigen: "Albedo einfluss auf Photovoltaikanlage in den Alpen". (RA)
- [11] M. Real, ALPHA REAL, Zürich: "Betriebsauswertung an fünf netzverbundenen Solarzellenanlagen in klimatisch verschiedenen Regionen der Schweiz". (RA+RF)
- [12] B. Hofer, W. Durisch, PSI-Villigen: "Solarkraftwerksspezifische Meteodaten". (RA)
- [13] O. Guisan, GAP/Uni-Genève: "Alimentation photovoltaïque de 2,2 kW pour les TPG à Genève". (RA)
- [14] H. Kägi, GEWERBLICH-INDUSTRIELLE BERUFSSCHULE BERN (GIBB), Bern: "Pilot- und Demonstrationsanlage der GIBB". (RA)
- [15] M. Camani, D. Chianese, DIP. DELL'AMBIENTE, Bellinzona, & TISO/STS-Lugano: "Tests di componenti e sistemi per progetti nel campo della tecnica fotovoltaica; TISO periodo III: 1990 1993". (RA)
- [16] O. Guisan, GAP/Uni-Genève: "Étude d'une installation PV de 7,5 kW couplée au réseau des SIG". (RA)
- [17] P. Toggweiler, M. Real, ALPHA REAL, Zürich: "Leitung und Koordination des Schweizer Beitrages zum Task 16 des 'Solar Heating and Cooling Programme' (SHCP) der IEA". (RA)
- [18] M. Hubbuch, M. Keller, R. Minder, EWI, Zürich: "Untersuchung moderner Montage- und Verkabelungstechniken für Solarmodule". (RA)
- [19] C. Roecker, A. Faist, LESO-PB/EPF-Lausanne: "Collaboration du LESO-PB à la Tâche AIE XVI du Programme de Chauffage et Réfrigération Solaire (PCRS): 'Photovoltaics in Buildings'". (RA)
- [20] M. Real, ALPHA REAL, Zürich: "Optimierte Gebäudeintegration von Solarzellenanlagen". (RA)

- [21] M. Posnansky, ATLANTIS ENERGIE, Bern, H. Metzner, ZETTER, Solothurn: "Integration von Photo-voltaikstromgeneratoren in die Gebäudehülle". (RA)
- [22] P. Ceppi, M. Camani, DIPARTIMENTO DELL'AMBIENTE, Bellinzona, & TISO/STS-Lugano: "TISO: Valutazione e sorveglianza di lavori nel settore dei sistemi fotovoltaici". (RA)
- [23] C. Leboeuf, M. Real, ALPHA REAL, Zürich: "Untersuchungen zu verschiedenen Abnahmeverfahren von Solarzellenfeldern beliebiger Topographie und Erarbeiten von Rechenmodellen zur Extrapolation von Messwerten auf STC-Normwerte PV Array Power Output: Field Measurement & Analysis". (NEFF, RA)
- [24] J. Schmid, M. Real, ALPHA REAL, Zürich: "Optimierung der Sicherheit von Solarzellenfeldern". (RA)
- [25] P. Affolter, L. Keller, BUREAU D'ÉTUDES KELLER & BURNIER, Lavigny: "Optimisation de la surface des panneaux photovoltaïques en fonction du convertisseur statique". (RA+RF)
- [26] L. Clavadetscher, T. Nordmann, TNC, Chur: "3-kW-PV-Pilot- und Demonstrationsanlage". (RA+RF)
- [27] R. Hächler, T. Nordmann, TNC, Chur: "Betrieb der PV-100-kW-Netzverbundanlage N13". (RA)
- [28] L. Clavadetscher, T. Nordmann, TNC, Chur: "Aufbau und Einsatz eines messtechnischen Instrumentariums zur Überwachung der 100-kW-Photovoltaik-Netzverbundanlage N13". (RA)
- [29] R. Hächler, T. Nordmann, TNC, Chur: "Machbarkeitsstudie für den Bau einer 100-kW-Photovoltaik-Netzverbundanlage entlang dem SBB-Trassee an der Bahnlinie Bellinzona - Locarno". (RA)
- [30] H. Prechtl, R. Minder, EWI, Zürich: "HYDROSOL/Solare H2-Erzeugung an der SMA, Payerne". (RA+RF)
- [31] M. Keller, R. Minder, EWI, Zürich: "Solarzellenanlage Giubiasco". (RA+RF)
- [32] E. Anderegg, M. Real, ALPHA REAL, Zürich: "Messtechnische Auswertung der Solartankstelle Wabern für Elektrobus". (RA)
- [33] V. Crastan, HTL-Biel / ETS-Bienne, W. Schellenberg, ELEKTRIZITÄTSWERK, Biel/Bienne: "Netzgekop-pelte PV-Anlage 25-kW-Elektrizitätswerk Biel". (rapport intermédiaire 1989-90 auprès du CERS/KWF)
- [34] C. Gaegauf, ÖKOZENTRUM, Langenbruck, M. Zellweger, HTL-Burgdorf, G. Jordi, ASCOM / HASLER, Bern: "Störungsfreie photovoltaische Netzeinspeisung mit 3-Phasen-Wechselrichter". (rapport intermédiaire 1989-90 attendu par le CERS/KWF)
- [35] W. Floeder, H. Zogg, AFIF/HPT/ETH-Zürich: "Einkristalline Kadmiumtellurid Dünnschicht-Solarzellen—Phase II". (rapports intermédiaires 1989 et 1990 auprès du NEFF)
- [36] O. Dossenbach, P. Rys, H. Siegmann, ETH-Zürich: "Verfahren zur Herstellung von Siliziumschichten für Solarzellen". (rapport final 1984-1990 attendu par le NEFF)
- [37] P. Weyermann, BKW, Bern, P. Stürzinger, ELEKTROWATT, Zürich, R. Minder, EWI, Zürich, (KONSOR-TIUM PHALK 500, Zürich): "Photovoltaisches Kraftwerk PHALK 500 Mont-Soleil". (rapports trimestriels d'activité auprès du NEFF, rapport intermédiaire attendu par le NEFF)
- [38] U. Muntwyler, ING.-B. MUNTWYLER, Zollikofen: "Solare Stromversorgung für Batterieladung". (RF)
- [39] T. Nordmann, TNC, Chur: "Photovoltaik Nutzung im schweizerischen Eisenbahnnetz". (NEFF)
- * (RA) rapport annuel 1990 disponible (RF) rapport final disponible

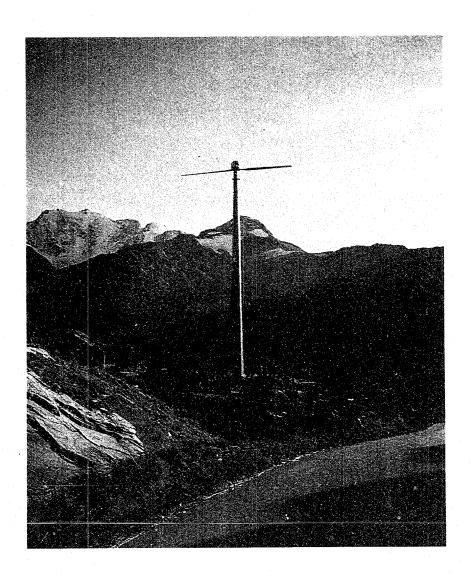
8. Références bibliographiques

- [40] "Les énergies du Soleil", in: Pour la Science, 157, novembre 1990, pp. 122-133.
- [41] "L'électricité solaire", in : La Recherche, 224, septembre 1990, pp. 1016-1024.
- [42] Programm Energieforschung und Energietechnologien Statusreport 1990 Photovoltaik, FZ-Jülich, im Auftrage des BMFT, anläßlich des Statusseminars Photovoltaik '90 in Bad Neuenahr vom 2. bis 4. Mai 1990, redakt. Bearb. Dr. R. Urban.
- [43] Informationstagung IEA SHCP T16 "Gebäudeintegrierte Solarzellenanlagen" vom 8. November 1990 in Bern: (International Energy Agency - Solar Heating and Cooling Programme - Task 16: "Photovoltaics in Buildings"), BEW, Bern, ALPHA REAL, Zürich, LESO-PB/EPF-Lausanne, redakt. Bearb. P. Toggweiler.

ÉNERGIE ÉOLIENNE

Rapport de synthèse sur les activités 1990 du programme de recherche

Chef de programme : Léo Dubal



L'éolienne moderne la plus haute d'Europe (2005 mètres)

Avec la publication d'un guide pour la promotion de l'énergie éolienne, la Confédération non seulement donne de bons conseils, mais les met en pratique avec un projet de démonstration de 30 kW au col du Simplon.

l. Objectifs du programme pour 1990

La bonne qualité de l'enventement d'un site est une coodition sine qua non, mais non suffisante à l'utilisation de l'énergie du vent. Il faut encore que les turbines éoliennes s'intègrent non seulement harmonieusement dans le paysage, mais aussi économiquement dans l'infrastructure à disposition du propriétaire. Ainsi, la promotion de l'énergie éolienne exige la mise à disposition des ingénieurs d'une méthodologie leur permettant d'évaluer de manière efficace et économique si un site est propice ou non.

La mise en pratique d'un tel guide confie de facto un rôle de pionnier à la Confédération. Avec la réalisation d'un certain nombre de projets de démonstration, il s'agit de mettre à l'épreuve des stratégies de "transit à péage" et de "stockage à péage" sur des réseaux de distribution d'électricité appartenant à des tiers.

Par ailleurs, l'importance du mode d'utilisation d'une énergie renouvelable sur son potentiel économique a poussé à l'étude d'un système éolien hybride innovatif. Il s'agit d'un système en îlot, équipé d'une turbine éolienne à axe vertical (type Darrieus) de 160 kW, avec comme pilote un générateur à biogaz de 110 kW et comme stabilisateur de fréquence une charge de ballast.

2. Travaux accomplis et résultats obtenus en 1990

"METEONORM-Vent, le guide pour la promotion de l'énergie éolienne en Suisse" [1]

Avec la publication du guide METEONORM-Vent [6], le premier objectif de ce programme de recherche a été atteint. Sous la direction de l'OFEN, les organisations suivantes y ont participé : le Laboratoire d'électromécanique de l'EPF-Lausanne, la maison METEOTEST, l'Institut de Géographie de l'Uni-Fribourg, l'OEKO-ZENTRUM, Langenbruck, avec la collaboration de l'ETS-Bienne (sous mandat du Canton de Beme).

Les difficultés liées à la préparation d'un guide dans une version française et allemande ont été sous-estimées, ainsi ce n'est qu'au début décembre qu'il a pu paraître.

Ce guide a déjà pu être en partie mis à profit par trois cantons, soucieux d'établir l'étendue de leur gisement éolien, à savoir Berne [7], Bâle-Campagne et Soleure [8].

Comme complément à ce guide, il a été possible, grâce au programme de démonstration interne à la Confédération, d'installer une turbine de 30 kW pour l'approvisionnement des barraquements militaires au col du Simplon [5] (voir photo de l'en-tête). Le site retenu a été sélectionné parmi 20 autres sites [4] en mettant à profit l'ensemble du guide. L'inauguration a eu lieu le 6 décembre. Ce projet de démonstration n'est qu'un premier du genre. Il montre l'orientation future du programme, probablement avec un nouveau chef.

"Installation vent-biogaz" [2]

Pour la modélisation d'un système vent-biogaz, à la réalisation duquel ont participé la maison ALPHA REAL, Zürich, le CREM, Martigny, et l'EPF-Lausanne, la validation est toujours en attente d'une période de mesure digne de ce nom. Le moteur à biogaz de la station d'épuration des eaux de Martigny cale à cause du mauvais pouvoir calorifique du biogaz produit après la charge de résidus de distillerie. L'expert consulté [3] a conclu à un temps de séjour trop court. Une boucle de recirculation devrait permettre d'obtenir un gaz d'excellente qualité, et de pouvoir enfin procéder aux essais. L'éolienne, quant à elle, a fonctionné 21 semaines en 1990. Notons que 24 semaines d'interruption ont été nécessaires pour la révision et la modification, et 7 semaines d'arrêt ont été provoquées par la panne de senseurs électriques.

"Autres activités"

Sous la conduite de J.-P. Borel, d'EOS, un projet d'évaluation du potentiel éolien dans la région du Simplon est en cours. Son financement est assuré par le NEFF.

Le Canton de Berne octroie des subventions à fonds perdus pour la promotion d'installations éoliennes sur son territoire. Pour les projets en préparation, cette aide est de 3'000 Fr./kW (de puissance nominale).

3. Collaboration internationale

Les activités de recherche de ce programme ont été, dès leur lancement, coordonnées avec celles de l'Agence internationale de l'énergie (AIE) dans ce domaine.

Le "Wind-Diesel Guide-Book, Siting and Implementation" qui a été préparé dans le cadre AIE n'a toujours pas paru sous une forme définitive. Cependant, le projet du "guide-book" étant pratiquement terminé, la collaboration sur les systèmes éoliens décentralisés sous l'égide de l'AIE se poursuit sous la forme d'ateliers. Le premier a eu lieu à Norwick (U.K.) au printemps 1990.

La Suisse s'est retirée formellement du programme AIE le 31.12.1990. Il est important de remarquer ici que c'est grâce à l'accès à la riche expérience de nos partenaires AIE qu'il nous a été possible de progresser si vite.

4. Information et diffusion des résultats

La distribution de "METEONORM-Vent" est assurée par INFOSOLAR, Colombier et celle de "METEONORM-Wind" par INFOSOLAR, Brugg.

Afin de faire le point sur l'ensemble des résultats obtenus à ce jour en Suisse, ENET organise le 7 mars 1991 une journée d'information.

5. Liste des projets

- [1] S. Kunz et R. Hugentobler, METEOTEST, Berne, J.-P. Ludwig, LEME-EPF-Lausanne, M. Roten, Institut de Géographie/Uni-Fribourg, R. Horbaty, OEKOZENTRUM-Langenbruck, L. Dubal, OFEN, Berne: "Rédaction du guide METEONORM-Vent". (RF)
- [2] P. Pralong, SI, Martigny: "Installation vent-biogaz". (RA)
- [3] W. Edelmann, ARBI, Maschwanden: "Expertise du biogaz de la STEP de Martigny". (RF)
- [4] R. Horbaty, ALTENO, Langenbruck: "Demo Windanlage für Militärbarraken". (RA + RF)
- [5] R. Horbaty, OEKOZENTRUM, Langenbruck: "Évaluation Demo 30 kW éolien au col du Simplon".
- * (RA) rapport annuel 1990 disponible
 - (RF) rapport final disponible

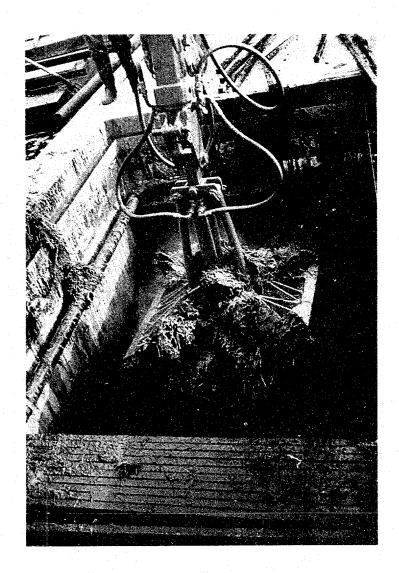
6. Références

- [6] "METEONORM VENT/WIND", OFEN, Berne, Déc. 1990.
- [7] METEOTEST, Bern: "Exploitation de l'énergie éolienne dans le canton de Berne", Déc. 1990.
- [8] OEKOZENTRUM, Langenbruck: "Erfassung von Standorten für WEK im Kt. Solothurn", Jan. 1991.

BIOMASSE

Rapport de synthèse sur les activités 1990 du programme de recherche

Chef de programme: Michel Roux



Cuve de digestion en discontinu pour fumier solide (pailleux):

Cette cuve en béton est représentative des systèmes de digestion en discontinu de fumiers solides. Elle est située à l'École cantonale d'agriculture de Marcelin (VD). La cuve isolée et enterrée, d'une capacité utile de 18 m³, est chargée et déchargée par une grue à grappin (au centre). Elle produit 340 m³ de biogaz en moyenne par cycle de 65 jours. Des barres (rassemblées au premier plan), réparties sur toute la surface de la cuve, contiennent le gonflement du fumier pendant sa digestion tandis qu'un couvercle métallique reposant dans un joint hydraulique (dans le couronnement de la cuve) garantit l'étanchéité au gaz.

1. Objectifs du programme pour 1990

Les objectifs retenus pour 1990 voulaient :

- atteindre en matière de digestion de fumiers solides en continu et en discontinu une somme de connaissances permettant de passer à des réalisations en grandeur réelle,
- définir les caractéristiques d'un petit digesteur clé en main pour fumier liquide,
- développer des technologies pour digérer en biogaz les déchets organiques provenant des ménages et des industries agro-alimentaires,
- évaluer le procédé de la gazéification afin de faire face au problème de l'élimination du bois usagé tout en respectant l'environnement,
- mettre sur pied des projets en collaboration internationale dans le cadre du programme "IEA Bioenergy".

2. Travaux effectués et résultats obtenus en 1990

"Production de biogaz"

a) À partir de fumiers solides

Du fumier solide (pailleux) se rencontre dans 80 % des exploitations agricoles. Trois systèmes ont été développés pour le digérer, les deux premiers en continu et le troisième en discontinu :

- Une installation pilote de 7 m³ fonctionne en continu [1] à 50 °C, sans séparation entre matières solides et liquides, avec un temps de rétention testé entre 18 et 35 jours. Des difficultés étant survenues après 9 mois de fonctionnement sans problèmes, des améliorations ont été apportées au système d'amenée et d'évacuation du fumier. La production s'établit maintenant à 350 litres de biogaz par kg de matière organique et par jour, ce qui est un excellent résultat.
- Un canal horizontal de 430 litres, contenant du lisier liquide à 30 °C, est parcouru durant 18 à 35 jours par des paniers remplis de fumier solide [1]. Des améliorations ont été apportées au système de charge des paniers. Une digestion très satisfaisante a été obtenue avec 335 litres de biogaz par kg de matière organique et par jour sur une période de 3 mois.
- Le projet de système modulaire de méthanisation en discontinu [2] a donné au responsable l'occasion de visiter les principales installations de biogaz en France où cette technique est plus répandue. Il a pu ainsi récolter toutes les données utiles pour dimensionner le système (cuves de digestion, technique de préfabrication, équipements, alimentations) et évaluer les coûts. Une exploitation moyenne suisse pourrait ainsi produire 14'000 m³ de biogaz, soit 300'000 MJ/an, avec 3 modules de cuve de 30 m³ chacune et une cuve de stockage des jus. Le coût d'une telle installation atteint Fr. 190'000.-. Le système a été développé en Phase I jusqu'au stade d'un avant-projet. Le rapport final est sur le point d'être publié.

b) À partir de fumiers liquides

Selon les critères retenus, un petit digesteur clé en main de fumier liquide [3] ne devrait pas coûter plus de la moitié d'une installation actuelle et son bilan énergétique devrait rester positif même en considérant l'énergie nécessaire à sa construction. L'étude de la taille du système, des substrats et des composants arrive à la conclusion que les critères imposés sont remplis avec un digesteur en bois ou en acier. Le rapport intermédiaire sera disponible sous peu.

c) À partir de déchets organiques

La Suisse produit 6,5 mio de tonnes de déchets par an, soit en moyenne 1 tonne par habitant, sans compter le verre, le papier et le métal recyclés ni les déchets de l'agriculture. L'élimination de ces déchets exige une séparation entre matières organiques et matériaux inertes. Les premiers seront compostés pour l'amendement des sols, les seconds portés en décharges contrôlées. L'étude et les tests sur une installation expérimentale montrent que les déchets organiques provenant des ménages, de l'industrie et de l'artisanat peuvent aussi être transformés en biogaz par digestion anaérobie [4]. Cette approche soulage les usines d'incinération et remplace des importations de tourbe ou d'engrais. Le potentiel réellement utilisable de ces déchets se monte à 1,6 PJ/an, soit du même ordre de grandeur que celui de l'agriculture. Le rapport final sera prêt vers le milieu du printemps.

"Utilisation du bois"

a) Gazéification

L'étude sur la gazéification du bois, en particulier du bois usagé provenant de la construction, de la fabrication de meubles et d'emballages, a permis d'obtenir une vision claire de son domaine d'application [5]: le coût relativement élevé d'une telle technologie ne se justifie que si elle produit un gaz suffisamment propre pour alimenter un moteur (par exemple dans une unité chaleur-force) ou s'il est possible de se passer d'un lavage onéreux des fumées (en piègeant par exemple les impuretés dans les scories). Dans les autres cas, un système de chauffage moderne s'avère généralement aussi bon et meilleur marché. Un gazogène situé en Allemagne a été analysé de façon détaillée par une équipe suisse. Il semble être le seul actuellement à satisfaire la plupart des critères requis pour la production de chaleur sans goudrons. Son système de purification des fumées est en cours d'évaluation.

Le développement de deux gazogènes de moyenne puissance en Suisse se poursuit [6], [7]. Dans les deux cas cependant, la campagne de mesures à laquelle ils devaient être soumis a dû être ajournée pour cause de maladie du chef de projet ou de son proche collaborateur.

Une installation de carbonisation de bois est actuellement évaluée quant à son aptitude à traiter du bois usagé [5]. Un petit pilote est disponible à cet effet à Engollon (NE). Il fournit du charbon de bois, de l'huile de pyrolyse et du gaz.

b) Combustion

Les restrictions énoncées à propos de la mise en oeuvre de la gazéification ont conduit à lancer un projet complémentaire. Il s'agit de vérifier le principe d'une combustion de bois usagé avec système de dénitrification [8] dans de grosses unités. Il faut souligner en effet que les usines d'incinération ne peuvent absorber annuellement un million de tonnes de vieux bois ; d'autre part les entreprises disposant de chaudières de forte puissance susceptibles d'être transformées pour brûler du bois à problèmes se situent généralement dans des régions où l'environnement est déja sérieusement sollicité. Les premiers essais sur une chaudière de 500 kW ont fait ressortir l'influence prépondérante de la géométrie du foyer et de la position des buses injectant l'ammoniac destiné à neutraliser les oxydes d'azote (NO_x) dans les gaz de fumée.

Les petits foyers domestiques à bois [9] d'une puissance jusqu'à 15 kW consomment les 3/4 du bois de feu débité en Suisse. Ils ne satisfont cependant pas au projet de la nouvelle ordonnance 1992 sur la protection de l'air. Une unité expérimentale a subi avec succès des tests préliminaires. Sept petits foyers pour villas familiales, appartements, maisons à basse énergie ou centrale de chauffe individuelle sont maintenant en construction. Ils feront l'objet d'une série de mesures comparatives d'émissions avec le même bois de référence et dans des conditions semblables de fonctionnement. L'un d'entre eux sera soumis à un programme de mesures étalé par tranches sur une période complète de chauffage.

c) Autres recherches en combustion (cf. "Programme Combustion")

Le pétillement du feu dans une cheminée est plaisant, mais le rendement énergétique d'un tel foyer ouvert est déplorable! Un projet tente de remédier à cet état de fait par la simulation et la construction de foyers présentant de nouvelles géométries et une récupération de chaleur dans le conduit de cheminée [10].

Les oxydes d'azote (NO_x) rejetés par la combustion du bois proviennent pour la plus grande part de l'azote contenu dans le combustible lui-même. Les émissions sont encore plus prononcées pour les résidus de l'industrie du bois et des bois agglomérés. Un projet vise à tester les possibilités techniques recensées (combustion étagée, catalyseur, additifs) pour transformer ces oxydes en molécules d'azote inoffensives [11].

Lors de la combustion du bois les émissions varient fortement selon les caractéristiques du combustible (feuillu, conifère ; sec, humide) et selon le moment (état stationnaire ou non). Une homologation de chaudières à bois dans ces conditions nécessite un procédé complexe de mesure et d'analyse. Un projet s'attache à rendre cette procédure plus simple et adaptée aux conditions rencontrées dans la pratique [12].

"Carburants de remplacement"

a) Cultures énergétiques

La matière organique composant les plantes représente une source possible d'énergie. L'Union suisse des paysans a proposé d'obtenir par estérification un carburant diesel de substitution à partir de graines de colza [13]. Il devrait présenter l'avantage d'un taux d'émissions polluantes plus faible que le carburant diesel normal et de maintenir fermé le cycle du dioxyde de carbone (CO₂). Une esquisse de projet a été formulée et des tests préliminaires seront effectués en 1991 pour évaluer les techniques et les coûts.

b) Technologie de moteurs à alcools

La technologie utilisée dans ce projet a servi à modifier un moteur diesel de tracteur et à le tester au banc et sur le terrain [14]. De nombreuses mesures ont été relevées avec un carburant à base de méthanol ou d'éthanol, avec ou sans catalyseur. Elles ont montré que cette approche était techniquement réalisable et amenait des améliorations, parfois substantielles, aux émissions de polluants. Un rapport final est en préparation.

"Compostage"

Le compostage, ou fermentation de matières organiques humides, est l'un des moyens d'éliminer les déchets de ménages, de jardins et de bois, tout en produisant un amendement pour les sols. Dans l'installation pilote *Energia Verde* [15], cette transformation s'effectue en enceinte fermée dans le but de récupérer la chaleur dégagée par les micro-organismes. Le gros problème consistant à extraire la masse digérée, mais encore fibreuse, semble résolu. Des améliorations significatives ont été apportées au système d'insufflation d'air et d'humidification. Les mesures ont montré que la matière remplissant la cuve (d'une contenance de 80 kg) monte à une température de 60 °C et fournit 1,1 kW de puissance. L'attention devra maintenant être portée sur les processus en aval de la cuve (biologie des résidus et raccordement à une pompe-à-chaleur).

3. Collaboration internationale

Agence internationale de l'énergie (AIE)

Au cours de 1990, les représentants suisses auprès des deux projets du *Programme Bioenergy* (biomasse de la forêt et techniques de conversion) ont été trouvés et engagés dans les diverses activités du programme. Ils font partie du petit groupe d'accompagnement qui contribue à définir le programme de recherche en Suisse et à promouvoir l'échange d'information avec les partenaires internationaux. Les délégués ont également travaillé activement à caractériser le contenu du *Programme Bioenergy* pour la période 1992-1994.

4. Transfert à la pratique

La plus grande installation suisse de biogaz produit à partir d'une décharge contrôlée a été mise en service au Teuftal (BE) en mars 1990 par les Forces Motrices Bernoises. La puissance installée se monte à 2,7 MW.

Deux occasions ont été fournies à la presse et aux chercheurs intéressés de s'informer sur le biogaz ou les problèmes de compostage :

- Une visite le 7 mai 1990 au pilote de digestion en continu de fumier solide, organisée par INFOSOLAR à la Station de recherches de Tänikon (FAT).
- Une visite le 7 novembre 1990 de divers types de compostage, organisée par la section suisse de l'Arbeitsgemeinschaft für die Nutzbarmachung von Siedlungsabfällen.

Un premier symposium sur l'énergie du bois s'est tenu le 25 octobre 1990 à l'EPF-Zürich [16]. Avec la participation d'experts étrangers, cette manifestation a contribué au transfert des connaissances entre chercheurs et industrie. Elle portait sur les utilisations énergétiques et les émissions lors de la combustion du bois de forêt, des déchets de l'industrie du bois et des bois usagés.

5. Perspectives 1991

Plusieurs projets en cours ayant accusé quelques retards, leur rapport final ne paraîtra qu'en 1991. Il s'agira alors d'évaluer leurs recommandations et de les diffuser auprès du public concerné. L'un d'entre eux au moins fera en 1991 l'objet d'une installation de démonstration.

Les usines d'incinération étant proches de la saturation et les ordonnances concernant la protection de l'environnement devenant toujours plus sévères, le traitement des déchets (urbains, agro-alimentaires) devra tendre vers un recyclage de la matière organique (compost, digestion en biogaz). Certains projets sur le point de se terminer devront se poursuivre dans cette direction.

Dans le domaine du bois, deux directions de recherche apparaissent prioritaires : la conception et la réalisation de petits foyers domestiques (poêle, fourneau, cheminée) à faible rejet d'oxydes d'azote et la conversion du bois usagé (traité, imprégné, encoîlé) par combustion ou gazéification avec traitement de leurs effluents.

Les premiers pas dans la production de matières premières renouvelables (en allemand "Nachwachsende Rohstoffe") introduira la Suisse dans le domaine des cultures énergétiques, en l'occurence l'huile de colza comme substitut au carburant diesel.

6. Liste des projets

- [1] A. Wellinger, INFOSOLAR / FAT, Tänikon: "Demonstrationsanlage zur Biogasproduktion aus Festmist". (RA)
- [2] Y. Membrez, EREP, Aclens: "Développement d'un système d'installation de méthanisation en discontinu de déchets agricoles solides - Phase I". (RA+RF)
- [3] A. Wellinger, FAT, Tänikon: "Kleine, schlüsselfertige Biogasanlage Phase I".
- [4] W. Edelmann / A. Pfirter, Arbeitsgemeinschaft ARBI / PROBAG, Maschwanden: "Anaerobe Vergärung von separat gesammelten festen organischen Abfallstoffen". (RA)

- [5] R. Bühler / A. Jenni / T. Nussbaumer, Arbeitsgemeinschaft HOLZVERGASUNG ALTHOLZ, Maschwarden: "Holzvergasung-Altholz". (RA+RF)
- [6] L. Jaccard, ENSOFOR, Curio: "Gazogènes à bois".
- [7] H. Juch, Techn. Unternehmungsberatung, Hägendorf: "Vergaser zur Verwertung von Altholz für Prozesswärme".
- [8] R. Bühler / A.Jenni / T. Nussbaumer, Arbeitsgemeinschaft ALTHOLZNUTZUNG, Maschwanden: "Altholzfeuerung mit Entstickung Technisches Konzept und Vorprojekt".
- [9] A. Jenni / C. Chiquet, Arbeitsgemeinschaft IEU / CHIQUET-ENERGIETECHNIK, Liestal: "Entwicklung und Praxiserprobung einer schadstoffarmen, holzbeschickten Kleinfeuerung".
- [10] W.Rüegg, RÜEGG CHEMINÉE, Zumikon: "Verbrennungsoptimierte Klein-Holzfeuerung".
- [11] P. Suter, ETH-Zürich: "Verminderung der Stickoxidemissionen bei der energetischen Nutzung von Holz und Spannplattenresten".
- [12] Schweizerische Vereinigung für Holzenergie (VHe), Zürich: "Forschungsprojekt Typenprüfung".
- [13] K. Flück, BLW, Bern: "Bericht über die technischen und wirtschaftlichen Möglichkeiten zur Nutzung nachwachsender Rohstoffe im Energiebereich in der Schweiz".
- [14] U. C. Knopf, AGROGEN, Fribourg: "Alkohol-Motoren Technologie". (RA)
- [15] L. Jaccard, ENSOFOR, Curio: "Energia Verde (composatage en atmosphère limitée)".
- (RA) rapport annuel 1990 disponible
 (RF) rapport final disponible

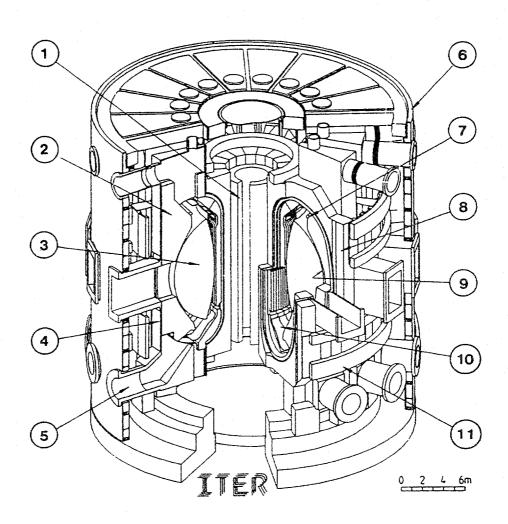
7. Références

[16] T. Nussbaumer, Ing.-Büro., Winkel: "Energetische Nutzung von Holz, Holzreststoffe und Altholz", Zürich, 25. Oktober 1990, ENET / BEW, 1990.

KONTROLLIERTE KERNFUSION

Ueberblicksbericht zum Forschungsprogramm 1990

Programmleiter: Paul E. Zinsli



- 1- CENTRAL SOLENOID
- 2- SHELD/BLANKET
- 3- PLASMA
- 4- VACUUM VESSEL-SHELD
- 5- PLASMA EXHAUST
- 6- CRYOSTAT
- 7- ACTIVE CONTROL COILS
- 8- TOROIDAL FIELD COILS
- 9- FIRST WALL
- 10- DIVERTOR PLATES
- 11- POLOIDAL FIELD COLS

Reaktor ITER:

Schema des geplanten International Thermonuclear Experimental Reactor (ITER), dessen 'Conceptual Design Phase' Ende 1990 abgeschlossen wurde.

1. Übersicht

Fusionsforschung wird heute in international koordinierten Programmen durchgeführt. Das europäische Fusionsforschung-Programm unter Leitung von EURATOM umfasst in einer klar definierten Strategie alle Anstrengungen der westeuropäischen Länder. Diese Strategie baut auf einer Folge grosser Versuchsanlagen auf (zur Zeit dem Joint European Torus JET in Culham (GB), welcher Ende der neunziger Jahre durch den Next European Torus NET oder ITER abgelöst werden soll), deren physikalische und technologische Grundlagen hauptsächlich in den nationalen Labors (durch die sogenannten Assoziationen) erarbeitet werden. Das europäische Programm wird mit den weltweiten Arbeiten in den USA, Japan und der UdSSR im Rahmen der Internationalen Energieagentur IEA und seit 1988 durch die Zusammenarbeit in der Planung des INTERNATIONAL THERMONUCLEAR EXPERIMENTAL REACTOR (ITER) koordiniert.

Die Schweiz bearbeitet einen beschränkten, spezialisierten Teil des europäischen und damit weltweiten Programms, vor allem im Rahmen der Vereinbarung mit EURATOM, aber auch - teils selbstständig - in IEA-Abkommen. Sie nimmt damit aber an der ganzen Entwicklung teil.

Im Jahr 1990 wurde einerseits der Stand der Fusionsforschung in einem Bericht der Internationalen Atomenergie Agentur IAEA umfassend dargestellt [5] und andereseits das europäische Fusionsprogramm einer eingehenden Kritik unabhängiger Experten unterzogen [6]. Beide Berichte beschreiben die grossen Fortschritte der Fusionsforschung in den letzten Jahren.

Das Evaluation Board empfiehlt, dass die Europäische Gemeinschaft der Fusionsforschung in ihrer Forschungsstrategie eine weiterhin hohe Priorität gebe. Es setzt sich für die schrittweise Strategie mit Ausrichtung auf einen Prototypreaktor (*JET* (bis 1996) - *NET* / *ITER* - DEMO) ein und macht eine Reihe von Vorschlägen für die Gewichtung einzelner Programmteile (z. B. vermehrte Sicherheitsforschung und langfristige Programmteile) und die Leitung des Gesamtprogramms durch EURATOM. Für die Schweiz wichtig sind insbesondere die Vorschläge betreffend einer Neuorientiering der Aufgaben der nationalen Assoziationen und einem verstärkten Einbezug der Industrie.

2. Stand und Resultate der internationalen Zusammenarbeit 1990

Die Arbeiten des Jahres 1990 brachten eine Bestätigung und Erweiterung der bisher erhaltenen Resultate, welche in den einzelnen Plasma-Parametern Temperatur, Dichte und Einschlusszeit nun reaktorrelevante Grössen erreicht haben, in stationärer Kombination jedoch noch um einen Faktor vom ca. 30 von einer selbstständigen Plasmazündung entfernt sind. Die Figur 1 [7] zeigt die bisher in *JET* und *TFTR* (USA) erreichten Fusionsleistungen (Fusion power) in Abhängigkeit der zugeführten Leistung (Input power) mit Deuteriumplasmen und deren Extrapolation auf ein Deuterium-Tritium Plasma, wie es für 1995/96 in *JET* geplant ist.

Ende 1990 wurde die 'Conceptual Design Phase' von ITER, einer Zusammenarbeit von Europa, USA, Japan und UdSSR mit einem zentralen Team in Garching (D), abgeschlossen. Diese Arbeiten erlaubten nicht nur eine kohärente Auslegung eines Reaktors, mit welchem die Zündung des Plasmas erreicht werden kann sowie die Identifikation der noch verbleibenden Probleme, sondern auch die Absprache über eine weltweit koordinierte Bearbeitung der aktuellen technologischen und plasmaphysikalischen Probleme.

Europa bearbeitet die Planungen ITER und NET weitgehend parallel und versuchte, eine weitgehende Uebereinstimmung der Auslegung zu erreichen. ITER umfasst heute allerdings ein erheblichambitiöseres Programm als NET, welches für Europa ein 'Fall-Back'-Projekt darstellt, falls sich ITER nicht verwirklichen liesse. Gegenwärtig laufen die Verhandlungen für die nächste 5 bis 6-jährige 'Engineering Design Phase' von ITER, an welcher die Schweiz sich auch zu beteiligen beabsichtigt.

Neben den Arbeiten zur Konsolidierung seiner guten Ergebnisse hat *JET* 1990 die Detailplanung einer neuen Phase (1993 bis 1996) aufgenommen. In dieser Phase sollen effektive Methoden zur Kontrolle von Verunreinigungen bei Betriebsbedingungen untersucht werden, welche nahe bei denjenigen von *NET / ITER* liegen, dies in einem stationären Plasma mit einem gepumpten Divertor in einer axisymmetrischen Konfigu-

ration. Damit geht JET ein Problem an, welches sich in den letzten Jahren als besonders kritisch für die nächste grosse Experimentieranlage erwiesen hat und nutzt seine Kapazitäten, insbesondere auch das grosse Volumen des Torus, voll aus. Dieser neue Programmteil erfordert erhebliche Umbauten, so den Einbau einer Magnetspule in der toroidalen Vakuumkammer.

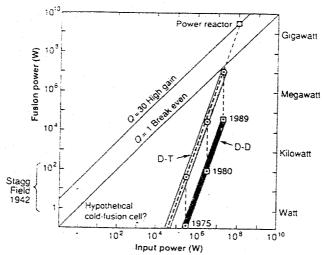


Fig. 1. The ratio $Q = P_{\rm F}/P_{\rm H}$ of fusion output power $(P_{\rm F})$ to heating input power $(P_{\rm H})$ needs to be about 30 for an economical power reactor.

3. Forschungsarbeiten in der Schweiz 1990

Die Arbeiten in der Schweiz wurden im wesentlichen am CRPP/ETH-Lausanne, am PSI-Villigen, und an der Uni-Basel (Institut für Physik) durchgeführt. Die Finanzierung erfolgte hauptächlich über EURATOM und Institutskredite. Punktuelle Unterstützung (ca. 2 % des Gesamtbudgets des Programms) erbrachte der BEW / BBW-Energieforschungskredites des Bundes (siehe Kapitel 4).

Das CRPP/ETH-Lausanne verfolgte ein intensives experimentelles Programm am Tokamak TCA, welcher Ende 1990 stillgelegt wurde. Das Programm umfasste u. a. den Einschuss von Pellets in das Plasma (einer Methode, künftiger, gezielter Brennstoffzufuhr) und der Erforschung seiner Abtragung, die Alfvèn-Wellen-Heizung, Boronisierung der Innenwand des TCA zur Reduzierung der Verunreinigungen im Plasma und den Einsatz eines 39 GHz Gyrotrons zur Erzeugung und Kontrolle des Plasmas. Der Aufbau des neuen Tokamaks TCV, welcher anfangs 1992 im Betrieb gehen soll, machte erhebliche Fortschritte. Wichtiger Teile sind bereit (so das Gebäude, welches Ende Juli 1990 übergeben wurde, sowie der Motorgenerator), andere Teile sind in Herstellung (Magnete, Vakuumkammer).

Verzögerungen bei den industriellen Zulieferern werden jedoch voraussichtlich zu einer Verzögerung der ursprünglich vorgesehenen Inbetriebnahme des TCV führen. Der Programmteil, der sich mit der Entwicklung von Gyrotrons zur Plasmaheizung befasst, litt unter technischen Problemen bei den benötigten supraleitenden Magneten und der Aufgabe dieser Entwicklungsrichtung durch den Kooperationspartner ABB. Wichtige Arbeiten — auch in Zusammenarbeit mit und für internationale Partner in den USA und Europa — würden durch die Rechen- und Theorie-Gruppe durchgeführt.

Am PSI-Villigen wurden die Ausbauarbeiten der supraleitenden Testanlage SULTAN im Hinblick auf Tests grosser Leiterteile innerhalb des EURATOM-Programms weitergeführt. Wegen des Shut-downs des Beschleunigers war die Bestrahlungsanlage PIREX stillgelegt, hingegen konnte der Ausbau der Anlage (Installation des Kontroll- und Datenaufnahme-Systems) weitergeführt werden und vorher bestrahlte Proben wurden, z. B. auf Stahlungshärtung und Alterung, analysiert. Mittelfristige Reorganisationen am PSI werden diese beiden Arbeitsgebiete organisatorisch auf eine neue Grundlage stellen; sie sollen jedoch im Rahmen des EURATOM-Programms weitergeführt werden. An der Uni-Basel wurden in Zusammenarbeit mit dem CRPP und dem PSI die Borcarbid-Schichten an Reaktorinnenwänden weiter untersucht.

4. Ziele und Ergebnisse der direkt finanzierten Projekte

"IEA Programme of R & D on Plasma/Wall Interaction in TEXTOR" [1]

Das Programm 1990 bestand aus Beschichtungen bei relativ tiefen Abscheidungstemperaturen in der grossen Beschichtungskammer des PSI und aus der Unterstützung der geplanten Beschichtungsexperimente an TEXTOR. Die am PSI hergestellten amorphen Borcarbid-Schichten wurden an der EMPA-Dübendorf mit Auger-Scanning-Spektroskopie analysiert und gaben Informationen über den Einfluss des Gasgemisches auf die Zusammensetzung der Schicht. Infolge Problemen mit dem Manipulator in TEXTOR musste die vorgesehene Messkampagne auf 1991 verschoben werden. Die PSI-Arbeiten werden 1991 endgültig abgeschlossen.

"Herstellung und Charakterisierung dünner Schichten und anderer Materialien für Fusionsreaktoren" [2]

Hauptaktivität war die Beteiligung an der Boronisierung des TCA, Lausanne und die Untersuchung der Beschichtungen, nachdem sie dem Plasma ausgesetzt worden waren, wobei verschiedene Analysemethoden (X-ray Photoelectron Spectroscopy, Auger-Elektronen-Spektroskopie) zum Einsatz kamen. Die Untersuchungen ergaben, dass sich das Bor zu Kohlenstoff Verhältnis in der Schicht teils erheblich vom entsprechende Verhältnis im Gas, aus dem die Schicht abgeschieden wurde, unterschied. In den Schichten wurden auch erhebliche Sauerstoffanteile gefunden, welche in der Folge detailliert untersucht wurden (Bindungsverhältnisse, Reaktivität der BC-Schichten), da die Retention von Sauerstoff in der Wand eines Fusionsreaktor von erheblicher Bedeutung ist.

"Construction de gyrotrons de haute puissance destinés au chauffage des plasmas thermonucléaires" [3]

Unter diesem Vertrag wurden Diagnostik-Komponenten für die quasi-optischen Gyrotrons beschafft. Trotz der technischen Schwierigkeiten mit den Gyrotron-Magneten, welche einen Betrieb bei der Frequenz von 115 GHz hätten erlauben sollen, konnten wesentliche Fortschritte im Bereich der Infrastruktur (Verbesserung der Hochspannungs-Speisung) und dem Test fortgeschrittener Konzepte (neue Electron-Guns, Formung des Mikrowellen-Strahlausgangs) im Frequenzbereich von 100 GHz erreicht werden. So wurde zusammen mit ABB Infocom eine 50-A / 80-kV-Elektronen-Kanone entwickelt und ein von DOE / Naval Research Laboratories entwickelte 'Sheet Beam Gun' getestet. Durch Ersatz eines der Spiegel des quasi-optischen Gyrotrons durch ein Gitter konnten eine gaussförmige Verteilung der Mikrowellen-Ausgangsleistung und weitere Verbesserungen (Unterdrückung harmonischer Frequenzen) erzielt werden.

"EURATOM-Fusionstechnologieprogramm, Bereich Magnete" [4]

Unter dem Vertrag werden zwei Spulen (9 und 12 Tesla) für den Ausbau der SULTAN Anlage in die Split-Coil-Konfiguration gebaut. Die supraleitenden Spulen, welche sich auf eine frühere Entwicklung abstützen, wurden 1990 in Auftrag gegeben. Infolge massiver Verzögerungen beim Kabelhersteller hat sich ein Rückstand auf die mit EURATOM vereinbarte Terminplanung von etwa einem halben Jahr eingestellt. Voraussichtlich muss der Kabelhersteller noch gewechselt werden.

5. Geplante Forschungsarbeiten 1991

Die laufenden Arbeiten am CRPP (insbesondere Aufbau des TCV) und an der Uni-Basel werden weitergeführt. Am PSI ist die Split-Coil-Konfiguration von SULTAN zu realiseren, welche voraussichtlich im Frühling 1992 in Betrieb gehen kann.

PIREX kann ab Frühling/Sommer 1991 wieder Proben bestrahlen, welche in Absprache mit NET festgelegt werden. Die Plasma-Wand-Aktivitäten des PSI werden im Laufe von 1991 eingestellt. Die Zusammenarbeit mit TEXTOR soll auf eine neue Basis gestellt werden: falls sich keine geeignete Lösung der Aufgabenneuzuteilung und kein neues tragfähiges Forschungsprogramm entwickeln lässt, soll diese Zusammenarbeit eingestellt werden und die Plasma-Wand-Experimente an einer anderen Maschine, insbesondere am TCV / CRPP, weitergeführt werden

6. Liste der Projekte

- [1] J. Stiefel, PSI-Villigen: "IEA Programme of Research and Development on Plasma / Wall Interaction in TEXTOR". (JB)
- [2] P. Oelhafen, Uni-Basel: "Herstellung und Charakterisierung dünner Schichten und anderer Materialien für Fusionsreaktoren". (JB)
- [3] F. Troyon, M. Q. Tran, CRPP/EPF-Lausanne: "Construction de gyrotrons de haute puissance destinés au chauffage de plasmas thermonucléaires". (JB)
- [4] G. Vecsey, PSI-Villigen: "EURATOM-Fusionstechnologieprogramme/Bereich Magnete". (JB)
- * (JB) Jahresbericht 1990 vorhanden

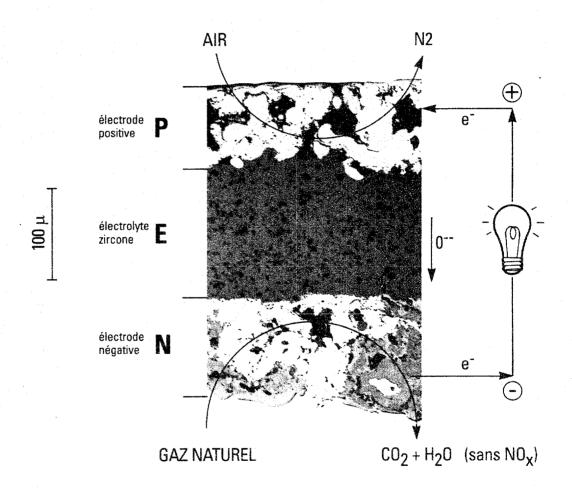
7. Referenzen

- [5] "Status Report on Controlled Thermonuclear Fusion", Nuclear Fusion, Vol. 30, No. 9 (1990) 1641-1935.
- [6] "Fusion Programme Evaluation Board Report", prepared for the Commission of the European Communities, July 1990.
- [7] H. P. Furth: "Magnetic Confinement Fusion", Science, Vol. 249 (1990) 1522.

PILES AU GAZ NATUREL

Rapport de synthèse sur les activités 1990 du programme de recherche

Chef de programme : Léo Dubal



Structure PEN avancée pour piles au gaz naturel

Cette micrographie du CSEM, Neuchâtel, montre un électrolyte en zircone étanche dans un corset d'acier poreux, fabriqué par la maison MEDICOAT, Niederrohrdorf. Le procédé utilisé est la projection sous vide au chalumeau à plasma (VPS). Il fait l'objet d'une demande de brevet.

1. Objectifs du programme

Ce programme de recherche vise la maîtrise d'un procédé de conversion électrochimique du gaz naturel en électricité, à une température acceptable (inférieure à 850 °C) et sans émission de NO_x.

L'objectif énergétique est la substitution, d'ici la fin du siècle, du procédé chaleur-force classique, et la promotion des énormes réserves mondiales de gaz naturel.

L'objectif principal de la recherche en 1990 était de réaliser des éléments de piles, dites structures PEN (électrode positive / électrolyte en zircone / électrode négative), appropriés pour un modèle fonctionnel de 1 kW. Les difficultés technologiques rencontrées n'ont pas permis d'atteindre cet objectif. Les excellents résultats sectoriels obtenus fondent l'espoir d'y parvenir en 1991.

2. Mise en oeuvre

La Suisse est particulièrement bien dotée pour ce domaine de recherche. Le savoir-faire nécessaire en technologie des céramiques, en conception 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 la co-option industrielle, ce programme a abouti à la mise sur pied d'une intense activité de recherche.

Afin de mieux intégrer ses efforts de recherche avec ceux effectués à l'étranger, depuis avril 1990, l'OFEN coordonne, dans le cadre de la collaboration internationale dans la recherche sous l'égide de l'AIE (Agence Internationale de l'Energie), un projet intitulé "Modelling & Evaluation of Advanced Solid Oxide Fuel Cells (SOFC)" [22]. Ce projet s'attache aux aspects génériques des piles, c'est-à-dire scientifiques et non commerciaux. Il est divisé en 7 domaines d'activité pour chacun desquels l'un des 7 pays participants est rapporteur. Ainsi la Suisse, en plus de la coordination d'ensemble, est rapporteur des activités en micromodélisation, c'est-à-dire la compréhension détaillée des mécanismes impliqués au niveau de l'électrolyte et des électrodes [17].

Les activités de recherche en Suisse sont structurées selon les deux mêmes axes directeurs que le projet de l'AIE, à savoir "Modélisation" et "Évaluation". Mais, alors que dans le cadre de l'AIE l'activité d'évaluation se limite à l'élaboration et l'application de méthodes pour la caractérisation de "produits" (de composants), le programme suisse comprend en outre l'élaboration d'une filière évolutive, la stylique innovative de composants et de systèmes et l'exploration de procédés de fabrication adéquats. Le programme prévoit encore la démonstration de faisabilité des concepts jusqu'à la réalisation de modèles fonctionnels avancés. Les activités de modélisation doivent, elles, apporter un support prédictionnel aux efforts technologiques. De par leur nature, elles devraient aussi faciliter l'introduction de cette nouvelle discipline dans nos hautes écoles en vue de la formation des ingénieurs spécialisés.

3. Travaux effectués et résultats obtenus en 1990

"Modélisation"

a) Modélisation numérique

La stratégie proposée par R. Gruber de l'EPF-Lausanne pour le développement d'un programme de simulation numérique est en train d'être mise en pratique [20]. Le logiciel de base "ASTRID", développé à l'EPF-Lausanne et commercialisé par la maison SMR, Bienne, a été rendu accessible aux participants de l'AIE [13]. Afin de mieux soutenir l'effort industriel, les activités sont centrées sur la conception des batteries de piles.

La formulation des équations décrivant les diverses cellules élémentaires ("unit cell") sera effectuée par ABB-Baden, alors que l'EPF-Lausanne développera les méthodes numériques pour leur résolution [12]. Le rapporteur pour l'activité "stack design toof" est la Norvège.

L'engagement de R. Selman (spécialiste en modélisation des piles, aux USA) par l'EPF-Lausanne pour quelques semaines, a permis de débroussailler nombre de problèmes [11]. Il a été proposé entre autres que, pour la modélisation des mécanismes de transfert, leur mise en équations (non-linéaires) soit effectuée par H. Tannenberger et leur traitement mathématique par J. Bürgler de l'EPF-Zürich [16].

Pour éviter des répétitions, les activités de modélisation numérique associées aux projets de conception et de procédés de fabrication sont décrites sous le volet "Évaluation".

b) Banque de données

La qualité des prédictions d'une modélisation numérique est entièrement tributaire de la qualité des données de base servant aux calculs. Les Pays-Bas sont rapporteur pour cette activité de l'AIE. Une première contribution suisse a été l'édition en 1989 d'un recueil "Facts & Figures". U. Bossel est disposé à préparer une version plus complète de ce précieux instrument de travail [14].

c) Micromodélisation expérimentale

Un travail de thèse sur la modélisation expérimentale de la réduction de l'oxygène à la cathode a commencé en janvier à l'EPF-Lausanne [15]. Ce projet est suivit par H. Tannenberger qui l'a en son temps suggéré [17]. La modélisation numérique par R. Herbin du problème a montré que pour une électrode poreuse, à pourcentage fixe de couverture de l'électrolyte, plus la zone de réaction est importante, moins grandes sont les pertes ohmiques. Ce résultat devra encore être comparé dans le détail à celui des travaux japonais sur la modélisation numérique de l'interface.

Un mini-symposium a été tenu en début d'année avec la participation de plusieurs partenaires de l'AIE, afin de faire le point des connaissances sur ce problème, et de cibler au mieux les expériences les plus urgentes à exécuter. Les échantillons nécessaires ont été préparés à l'EPF-Zürich. L'instrumentation a été mise en place et le programme de mesures progresse.

"Évaluation"

a) Conception

L'élaboration d'une filière suisse se révèle être un processus itératif. Étant donné les changements imprévisibles dans les priorités des industries suisses, le programme doit rester ouvert à de nouvelles propositions. D'autre part, pour que le processus à terme converge, le programme doit servir de catalyseur à la collaboration au sein des partenaires du groupe de travail.

Projet "PEGASUS"

Le mandat de l'OFEN à ABB, Baden, portait sur une étude de faisabilité d'un modèle fonctionnel de 1 kW. Si les aspects ingénierie et modèle numérique ont été traités avec succès, malgré la prolongation de 6 mois du mandat, il n'a pas été possible de faire fonctionner une batterie de manière satisfaisante. Dans leurs conclusions les responsables du projet recommandent que :

- la tenue mécanique et la reproductibilité des propriétés électriques des électrolytes suisses soient améliorées
- un procédé soit trouvé pour assurer l'adhérence des électrodes
- un outil de diagnostic pour piles individuelles soit mis à disposition.

Les conclusions retenues en juin 1990 par le groupe de travail sont les suivantes :

- il faut se donner encore 12 mois pour maîtriser les problèmes de fabrication de structures PEN
- il faut intégrer le problème des drains à celui de la fabrication des électrodes
- il faut construire à l'EPF-Lausanne un banc d'essai pour pile individuelle, cette étape ne peut pas être évitée.

De l'avis du chef de programme, l'abandon par ABB, Baden de son programme de recherche très dynamique est incontestablement une grande perte pour la Suisse.

Projet HEXIS

La maison SULZER, Winterthur, qui avait assumé l'an dernier le suivi du projet de conception tubulaire confié à WESTINGHOUSE, Pittsburgh, a effectué cette année la modélisation du conditionnement de mise en marche du concept *PEGASUS* [9]. Riche de cette expérience, R. Diethelm a présenté au groupe de travail en fin d'année le concept *HEXIS* [10], très original et évolutif, c'est-à-dire capable d'intégrer les nouveaux développements au niveau des structures PEN, et du drainage/épandage du courant. Ce concept met en valeur une des grandes spécialités de la maison SULZER, à savoir les échangeurs de chaleur. Les préparatifs pour la phase exploratoire d'un programme sur 3 ans pour la réalisation d'un modèle fonctionnel de 1 kW battent leur plein.

b) Procédés de fabrication

Coulage de bande

Conformément aux recommendations d'ABB, Baden [7], BATTELLE, Genève [1], a pu, en utilisant la poudre standard d'ALUSUISSE-LONZA SERVICES, Neuhausen [5], porter l'épaisseur des électrolytes de 80 à 160 µm et augmenter la rugosité des 2 surfaces pour faciliter l'adhérence des électrodes. Alors que le cofrittage d'une cathode de manganite - "BATTELLE" engendre une diffusion appréciable aux températures densifiant la zircone, le post-frittage à 1100 °C d'une couche de 3 µm de manganite - "MISSOURI-ROLLA" très réactive donne a première vue d'excellents résultats. Pour l'épandage des électrons, le cofrittage d'une couche de 15 µm de manganite - "BATTELLE" a été effectué. D'autres stratégies de contactage ont été discutées.

La reproductibilité d'une partie de ces résultats a déjà pu en partie être confirmée à l'EPF-Zürich [4], qui, par ailleurs, a caractérisé dans le détail [8] les structures PEN produites par BATTELLE, Genève, pour le projet *PEGASUS*. Suite à la mise en fonctionnement d'une installation de coulage de bandes, un travail de doctorat sur les cathodes en conducteur mixte (zircone - oxyde d'indium) a commencé au demier trimestre [4]. Avec 50 mole % de InO_{1.5} - ZrO₂, les échantillons montrent déjà une conduction électronique appréciable. La phase monoclinique commence, quant à elle, à 25 mole %; c'est là aussi que se situe le maximum de la conductivité ionique. La densification de la zircone au cours du frittage a été modélisée avec succès. Des poudres moins réactives (15 m²/g au lieu de 40) seront préparées par ALUSUISSE-LONZA SERVICES, Neuhausen [5], pour faciliter le coulage. Dans le cadre d'un travail de doctorat (financé par la CERS) sur l'influence des espaces intersticiels dans la zircone, B. Michel a pu mettre en évidence une élévation de 30 % de l'énergie d'activation avec une contamination de 0,3 % en poids de SiO₂.

"VPS", la projection sous vide au chalumeau à plasma

Le procédé "VPS" (Vacuum Plasma Spray) offre deux avantages. Tout comme l'extrusion confère à la zircone des propriétés mécaniques nettement supérieures que le coulage de bande, la projection sous vide au chalumeau à plasma semble améliorer encore ses caractéristiques [21]. Par ailleurs le procédé VPS évite la pollution intergranulaire de la zircone qui risque d'apparaître avec un frittage des électrodes.

Bien que l'étude exploratoire du "concept Tannenberger" (structure PEN métal-céramique) eût démontré avec succès la possibilité de dépôts VPS étanches de zircone sur substrat-acier, ce n'est qu'au dernier trimestre 1990 que les recherches ont pu à nouveau avancer [2].

Des couches d'acier ferritique de porosité suffisante (≥ 10⁴ x le taux de fuite standard pour l'électrolyte) ont pu être produites sur l'installation VPS de la maison MEDICOAT, Niederrohrdorf, en combinaison avec un dépôt de zircone étanche. L'analyse des couches a été conduite au CSEM, Neuchâtel. Un dépôt électrochimique de nickel n'a pas affecté la porosité de la couche d'acier.

La micrographie de l'en-tête démontre brillamment la flexibilité du procédé VPS qui permet non seulement de produire des couches étanches, mais encore — contrairement à la croyance largement répandue aussi bien au Japon qu'aux USA — des couches poreuses. Le procédé de dépôt de couches poreuses fait l'objet d'une demande de brevet.

Les structures PEN, comme celle illustrant ce rapport, devront être caractérisées électrochimiquement sur le banc d'essai de l'EPF-Lausanne, ainsi que l'effet de l'adjonction de couches actives (catalytiques et / ou dépolarisantes) à l'interface entre l'électrolyte et les électrodes collectrices [3].

Procédé hybride "frittage - VPS"

La robustesse que confère le corset d'acier à la structure PEN est très séduisante, même si l'acier ferritique se révèle utilisable à 800 °C seulement pour le côté anode-fuel.

Alors que le côté lisse de l'électrolyte (résultant du coulage sur du Mylar) est nettement défavorable à l'adhérence d'une couche VPS, le traitement de la bande verte mis au point par BATTELLE, Genève [1], corrige ce défaut. Ainsi, malgré leur fragilité, des membranes de zircone frittées chez BATTELLE, Genève, ont pu être encorsettées d'acier par MEDICOAT, Niederrohrdorf [2], grâce à un système de pochoirs.

Il est prévu, début 1991, de tester les combinaisons les plus prometteuses de couches VPS et de couches frittées, en particulier, une couche VPS de cermet en zircone et nickel comme anode et une couche "slurry" de manganite comme cathode.

c) Caractérisation des poudres

L'influence de la qualité des poudres s'était fait remarquer l'an dernier lorsque la source d'approvisionnement japonaise en poudre de zircone de BATTELLE ne pouvait plus en livrer avec la même activité. Ceci avait nécessité de modifier la recette de préparation. L'effet du taux d'impureté n'a, pour sa part, pas encore été étudié, bien qu'il joue probablement un rôle clé [6] sur la performance et la durée de vie des électrolytes. Les impuretés s'accumulent à la surface des grains de zircone, handicapent le passage des ions et fragilisent la céramique. Pour le VPS, la granulosité requise est, quant à elle, complètement différente. Il s'en suit que l'activité, mais aussi les impuretés sont différentes.

Pour la manganite, comme mentionné précédemment, celle préparée par BATTELLE ne frittait qu'à haute température, alors que celle préparée par MISSOURI-ROLLA par une autre voie chimique a une réactivité telle qu'elle permet le frittage à plus basse température.

Vu l'importance des problèmes liés aux poudres, ALUSUISSE-LONZA SERVICES, Neuhausen [5], est intéressée à fournir la contribution suisse à l'activité de l'AIE pour laquelle l'Italie est rapporteur. Par ailleurs, les travaux effectués dans le domaine des poudres à l'EPF-Lausanne [23] ont déjà suscité l'intérêt de nos partenaires de l'AIE.

d) Caractérisation électrochimique des structures PEN

Suite à l'une des conclusions du projet *PEGASUS*, A. McEvoy, à l'EPF-Lausanne [3], a pris l'initiative de construire un banc d'essai, de conception simple, permettant de gagner de l'expérience, tout en fournissant une première évaluation des caractéristiques électrochimiques des structures PEN développées dans notre pays. Ce banc est maintenant prêt, et les premiers échantillons devraient y être testés en janvier 1991.

Dans le cadre de l'AIE, le rapporteur pour cette activité est le Royaume-Uni. BRITISH GAS, London, est pour sa part prêt à accueillir les partenaires de l'AIE désireux d'expérimenter sur son banc d'essai très sophistiqué.

e) Caractérisation thermomécanique

Le savoir-faire accumulé ces dernières années par le laboratoire de céramique de l'EPF-Lausanne [6] et le NMW de l'EPF-Zürich [8] devrait permettre d'apporter le soutien nécessaire aux efforts technologiques en cours.

Au niveau de l'AIE, c'est le Danemark qui est le rapporteur de cette activité.

4. Collaboration internationale

L'initiative de l'OFEN d'organiser en juillet 1989 un atelier de l'AIE sur la modélisation des piles céramiques avait donné une impulsion décisive à la colaboration internationale. L'Accord d'exécution relatif au programme de l'AIE en matière de piles à combustible avancées a été signé le 2 avril 1990. L'OFEN assume la tâche d'"Operating Agent" du projet "Piles céramiques" [22]. Il a délégué cette responsabilité à A. McEvoy, de l'EPF-Lausanne [18].

Comme déjà mentionné, la Suisse a invité ses partenaires à participer au mini-symposium de janvier 1990 [15], et a organisé le second workshop sur la modélisation et l'évaluation, à Hertenstein, en juin 1990 [19]. Elle a en outre accueilli les 2 premières réunions du groupe d'experts du projet (29 juin et 5 - 6 novembre). Le Programme de travail qui y a été préparé a été accepté par le Comité exécutif du programme le 25 novembre 1990. À fin 1990, on comptait 7 pays participants (CH, DK, I, J, N, NL, et UK). Il est attendu que l'Allemagne signe d'ici fin mars 1991.

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. Lors de la seconde réunion du groupe d'experts de l'AIE à l'EPF-Lausanne, les chercheurs suisses ont tous pu présenter brièvement leur activité.

6. Liste des projets en cours (ou en préparation) en 1990

- [1] J. P. Issartel et N. Sandoz, BATTELLE, Genève: "Faisabilité de piles par 'tape-casting'". (RA)
- [2] H. Gruner, MEDICOAT, Niederrohrdorf et H. Tannenberger, Ing.-conseil, Le Château de Ste-Croix: "Faisabilité de piles par VPS". (RA)
- [3] A. McEvoy, ICP II, EPF-Lausanne: "Caractérisation elec rochimique de structures PEN (banc d'essai)".
- [4] K. Sasaki, P. Bohac, et T. Graule, NMW, EPF-Zürich: "Faisabilité d'une cathode biconductrice". (RA)
- [5] H. Hofmann, ALUSUISSE-LONZA SERVICES, Neuhausen: "Caractérisation des poudres pour piles céramiques".
- [6] N. Setter et C. Carry, EPF-Lausanne: "Caractérisation thermomécanique des piles céramiques".
- [7] U. Bossel, M. Fischer et J. Ferguson, ABB, *Baden*: "PEGASUS, Étude de faisabilité d'un modèle fonctionnel de 1 kW d'une pile céramique bipolaire-métal au gaz naturel". (RA +RF)
- [8] L. Gauckler et P. Bohac, NMW, EPF-Zürich: "Caractérisation des structures PEN pour PEGASUS". (RF)

- [9] R. Diethelm, SULZER, Winterthur: "Modélisation des régimes stationnaire et transitoire pour PEGASUS". (RF)
- [10] R. Diethelm et B. Barp, SULZER, Winterthur: "HEXIS Étude de faisabilité d'un modèle fonctionnel de 1 kW d'une pile au gaz naturel".
- [11] R. Gruber, R. Herbin et R. Selman (mai-juin), GASOV, EPF-Lausanne: "Simulation numérique d'une pile céramique au gaz naturel". (RA + RF)
- [12] J. Ferguson, Consultant, Nussbaumen, et R. Herbin, ICP II, EPF-Lausanne: "Outil pour la conception des batteries de piles au gaz naturel".
- [13] S. Merazzi, SMR, Bienne: "Support logiciel ASTRID".
- [14] U. Bossel, Ing.-conseil, Baden: "Mise à jour de 'Facts & Figures'".
- [15] J. van Herle, A. McEvoy, ICP II, EPF-Lausanne, et H. Tannenberger, Ing.-conseil, Le Château de Ste-Croix: "Modélisation du processus de réduction de l'oygène à la cathode". (RA)
- [16] H. Tannenberger, Ing.-conseil, Le Château de Ste-Croix, et J.Bürgler, IIS, EPF-Zürich: "Modélisation des mécanismes de transferts dans une structure PEN".
- [17] H. Tannenberger, Ing.-conseil, Le Château de Ste-Croix: "Micromodélisation des piles céramiques, rapporteur pour l'activité AIE".
- [18] A. McEvoy, ICP II, EPF-Lausanne: "Agent exécutif du projet AIE".
- * (RA) rapport annucl 1990 disponible (RF) rapport final disponible

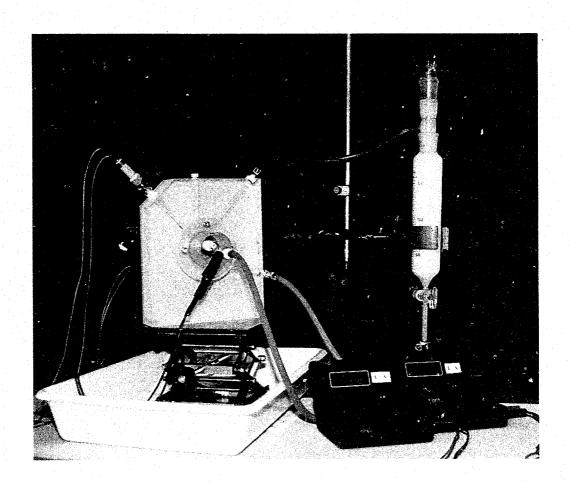
7. Références

- [19] "Proceedings of the IEA Workshop on modelling & evaluation of advanced SOFC", Hertenstein, June 24 to 29, 1990, OFEN (Sept. 24, 1990).
- [20] R. Gruber et al., EPFL, ref. (19), p. 5-9.
- [21] B. Steele, IC-London, réf. (19), p. 233.
- [22] "IEA SOFC Task: Annex II", réf. (19), p. 246-251.
- [23] T. Ring, LTP/DMX, EPF-Lausanne: "Ceramic Powders Characterisation".

ELEKTROCHEMIE

Ueberblicksbericht zum Forschungsprogramm 1990

Programmleiter: Otto Haas



Aluminium / Sauerstoff-Batterie

Mit der Testzelle kann am PSI-Villigen eine Energiedichte von 120 Wh/dm³ erreicht werden. Die im Aluminium gespeicherte chemische Energie kann bis jetzt zu ca. 35 % in elektrische Energie umgesetzt werden.

1. Anvisierte Zielpunkte für 1990

Das Programm Elektrochemie umfasst ein grosses interdisziplinäres Gebiet mit Forschungsthemen, die im Zusammenhang mit der elektrochemischen Energieumwandlung und -speicherung von Interesse sind. Das Programm fördert die Zusammenarbeit von Forschern aus verschiedenen Disziplinen und Instituten. Dabei sollen Grundlagen für die Entwicklung neuer und die Verbesserung bestehender elektrochemischer Energiespeichersysteme erarbeitet werden. Hauptziel ist im Moment der Aufbau von kompetenten Forschergruppen, die auf Grund ihrer früheren Forschungstätigkeiten mindestens Teilaspekte der elektrochemischen Energiespeicherung kompetent bearbeiten können. Als Fernziel steht die Entwicklung neuer Stromspeichersysteme für das Elektromobil, den Spitzenstromausgleich und die Solarstromspeicherung.

Die elektrochemische Energiespeicherung ist ein Forschungsthema, welches auch international intensiv bearbeitet wird. Für die einzelnen Projekte und die Programmleitung ist es deshalb auch wichtig, dass internationale Kontakte angeknüpft und gepflegt werden.

Die Projekte lassen sich grob in vier Schwerpunktsthemen aufteilen :

- Elektroaktive Polymere, Membranen, Elektrolyte, und Elektrodenmaterialien,
- Elektroden- und Zellen-Engineering,
- Elektrokatalyse,
- Modellierung.

Eine Kurzbeschreibung der bearbeiteten Projekte wurde in Ref. [21] publiziert. Weitaus die meisten Projekte fallen ins erste Schwerpunktsthema. Mit diesen Projekten werden neue, aussichtsreiche Materialien hergestellt und untersucht, die als Komponenten für neue Batterie- und Brennstoffzellensystemen von Interesse sind.

2. Durchgeführte Arbeiten und erreichte Ergebnisse 1990

"Elektroaktive Polymere, Membranen, Elektrolyte und Elektrodenmaterialien"

Zur Entwicklung neuer Methoden für die Untersuchung von elektroaktiven Polymeren, Membranen, Elektrolyten und Elektrodenmaterialien sind fünf Projekte in Bearbeitung. An der Uni-Bern konnten die Arbeiten zum Thema "Elektrochemische Impedanz-Spektroskopie an stromleitenden und Redox-Polymeren" [1] mit einem Post-Doktoranden im Herbst 1990 begonnen werden. Das Projekt über die in-situ-Rastertunnelmikroskopie an nichtmetallischen Elektrodensubstraten (leitende Polymere und Redox-Polymere) [2] wird jedoch erst im Frühling 1991 begonnen. In beiden Projekten werden aussagekräftige Methoden entwickelt, welche die am PSI-Villigen im Rahmen eines NF-Projektes [3] installierten in-situ-Untersuchungsmethoden (Laserstrahlauslenkungs-Methode, Quarzmikrowaage, Ellipsometrie) sinnvoll ergänzen werden.

Das Instrumentarium zur Untersuchung elektroaktiver Polymere wird im Frühling 1991 mit dem Projekt "Simultanuntersuchung der *optischen Adsorption und Voltammogrammen* von leitenden Polymeren und Redox-Polymeren" am PSI-Zürich [4] erweitert. Für die Untersuchung der Ionenbeweglichkeit in Festkörpern wurde im Mai 1990 auch ein vom NEFF unterstütztes Projekt am PSI-Villigen "*Ionenbeweglichkeit in Festkörpern* und Superionenleitfähigkeit: Neutronen-Streu-Untersuchungen zum mikroskopischen Verständnis" [5] in Angriff genommen. Wir hoffen, die Methoden zur Untersuchung von Elektrodenmaterialien in Zukunft noch mit magnetischen Messungen (Kern- und Elektronen-Resonanz) ergänzen zu können.

Etwas weiter fortgeschritten sind die Arbeiten über leitende Polymere und Redox-Polymere. Das an der ETH-Lausanne bearbeitete Projekt "Polymere für wiederaufladbare Batterien" [6] erfährt bereits eine erste Verlängerung. Es konnte gezeigt werden, dass die Elektropolymerisation von Anilin durch Zusätze kleiner Mengen von Paraphenylendiamin oder oberflächenaktiven Substanzen (Tensiden) stark beeinflusst werden kann. Die verschiedenen Polymerstrukturen konnten mit EM-Aufnahmen deutlich unterschieden werden. Am PSI-Villigen wird im Moment die Ladungsdichte dieser Polymere hinsichtlich Gewicht und Volumen mit einer zu diesem Zweck gebauten Auftriebswaage gemessen. Es zeigt sich, dass die Ladungsdichte beim Polyanilin ca. 110 Ah/kg erreicht, dass aber pro Volumen (Ah/dm³) je nach Struktur und Elektrolyt bis zu vier mal kleinere Werte

erhalten werden. Für die Verwendung von elektroaktiven Polymeren in Batterien müssen deshalb Polymerisationsmethoden entwickelt werden, welche zu dichteren Polymerstrukturen führen.

Messungen an Polyanilin mit der am PSI-Villigen installierten Laserstrahl-Auslenkungsmethode (Probe-Beam Deflection, die sich besonders zur Bestimmung des am Elektrontransfer beteiligten Ions eignet) zeigten auch eine Abhängigkeit des Reaktionsmechanismus vom pH-Wert des Elektrolyten. In stark sauren Elektrolyten wird pro Elektron gleichzeitig ein Proton ausgetauscht, während bei etwas weniger sauren Lösungen die Ladungskompensation mit dem Säureanion erfolgt. Auch diese mechanistischen Aspekte sind wichtig, da das einzulagernde Ion in einer praktischen Zelle im Elektrolyten zur Verfügung gestellt werden muss.

Interessante Resultate zeigten auch die in Fribourg durchgeführten Untersuchungen mit Polyäthylenimin "Polymere als Lösungsmittel in elektrochemischen Zellen" [7]. Durch Vernetzen mit Dibromäthan und Alkylieren mit Bromethan konnten Gele mit hohem Anteil von quarternären Ammoniumionen hergestellt werden. An diese positiven Ionen kann Brom, wahrscheinlich in Form von Br₃ - Ionen angelagert werden. Bei optimalem Vernetzungs- und Alkylierungsgrad lassen sich 4.5 mmol Br₂ pro Gramm Gel einbauen. Die Gele scheinen zumindest in gewissen organischen Lösungsmitteln in Gegenwart von Brom stabil zu sein. Die ersten Versuche, das Brom im Gel elektrochemisch reversibel zu reduzieren und zu oxydieren, zeigten vielversprechende Resultate. Damit ist das Fernziel, eine feste Bromelektrode zu bauen, in greifbare Nähe gerückt.

Das am BATTELLE durchgeführte Projekt "Polymer-Anode für Polymer-Polymer-Batterien" [8] wurde Ende 1990 abgeschlossen. Das Ziel, eine Polypyrrolanode herzustellen, wurde erreicht. Mit Polypyrrol-Nafion auf Graphitfasern konnte ein zylindrischer Verbund-Körper angefertigt werden, welcher negativ aufladbar ist und im Prinzip als Anode verwendet werden kann. Die Resultate zeigen aber gleichzeitig, dass die Ladungsdichte der Verbundelektrode für eine praktische Anwendung noch zu klein ist. Die elektrochemische Charakterisierung ergab, dass pro Pyrroleinheit 0.3 Elektronen aufgenommen und 0.18 Elektronen abgegeben werden können. Die damit erreichbare Ladungsdichte von ca. 70 Ah/kg wird durch die Graphitfasern und den beigemischten Polyelektrolyten aber noch stark reduziert. Wie weit das Projekt fortgesetzt werden soll, bleibt abzuklären. Sehr wertvoll ist die vom Battelle Institut durchgeführte ausführliche Literaturrecherche über Polypyrrol. Die Literaturrecherche wurde allen interessierten Projektleitern des Programms Elektrochemie zugestellt.

Das am PSI durchgeführte Projekt "Neuartige Membranen für saure Brennstoffzellen und Wasserelektrolyseure" [9] wurde anfangs Jahr begonnen. Erste kommerziell erhältliche Membranen (Nafion 117) konnten in einer dazu aufgebauten Testapparatur untersucht werden. In 30 cm² H₂ / O₂-Brennstoffzellen mit porösen, platinkatalysierten Trägerelektroden konnten bereits gute Strom- / Spannungs-Charakteristiken gemessen werden (150 mA/cm² bei 620 mV und 390 mA/cm² bei 420 mV, 80 °C). Ferner wurde in Zusammenarbeit mit dem CNRS, Thiais, auf 50 mm dicken Fluoräthylenpropylen-Folien mit Gammastrahlen Styrol aufgepfropft und anschliessend durch Sulfonierung eine Kationentauschermembran hergestellt. Die Membranen zeigten kleinere spezifische Widerstände als die kommerzielle Nafion 117-Folie.

"Elektroden- und Zellenengineering"

Metall / Sauerstoff-Batterien sind vor allem wegen der hohen erreichbaren Energiedichten von Interesse. Im Unterschied zu der von Alcan und Alupower entwickelten alkalischen Al/O₂-Batterien arbeitet die am PSI-Villigen mit NEFF-Unterstützung entwickelte Al/O₂-Zelle (s. Titelblatt) mit stark sauren Elektrolyten. Vorteile dieses Elektrolyten sind kleinere Korrosionsraten, gute CO₂-Verträglichkeit und einfachere Wiederverwertung der Elektrolytlösung.

Die Leerlaufspannung von 1.9 V reduziert sich unter Belastung bei einer Stromdichte von 100 mA/cm² auf 1.1V. Die Elektrodenfläche der Versuchszelle beträgt 20 cm² und der Elektrodenabstand 3 mm. In Zusammenarbeit mit dem PSI wird zur Zeit im Rahmen einer Doktorarbeit an der ETH-Lausanne eine Al / Luft-Zelle mit bipolarer Elektrodenanordnung gebaut.

Die Arbeiten zur Entwicklung einer wiederaufladbaren Al-Batterie werden durch die an der Uni-Fribourg resp. am CSEM, Neuchâtel, durchgeführten Projekte "Beeinflussung des Redox-Potentials von Aluminium in Raumtemperaturschmelzen" [11] und "Untersuchung der elektrochemischen Auflösung und Abscheidung von Mg und Al in nichtwässerigen Elektrolyten" [12] unterstützt. Dass eine wiederaufladbare Al / Polyanilin-Zelle im Prinzip möglich ist, konnte bereits demonstriert werden. Die Energiedichte dieser Zelle ist jedoch nicht so hoch wie erhofft, da für eine reversible Abscheidung und Auflösung die nötigen aprotischen Elektrolyte scheinbar "sauer" sein müssen (d. h. mehr als 50 % AlCl₃ enthalten müssen). Damit werden die theoretisch zu erwartenden Energiedichten stark heruntergesetzt. Die Energiedichte des Bleiakkus kann mit diesen Batterien wahrscheinlich nicht wesentlich übertroffen werden. Es bleibt abzuklären, unter welchen Bedingungen auch

"basische" aprotische Elektrolyte eingesetzt werden können. An der Uni-Fribourg wurde auch versucht, mit Lösungsmittelzusätzen die Viskosität von Niedertemperaturschmelzen zu erniedrigen und die Leitfähigkeit zu erhöhen. 1,2-Dichlorbenzol scheint für solche Zwecke ein geeignetes Lösungsmittel zu sein.

Im Projekt "Alkalische Methanol / Luft-Brennstoffzelle" [13] soll mit einem Steam Reforming Prozess aus Methanol Wasserstoff und CO₂ hergestellt und das CO₂ mit einer Pd / Ag-Membran abgetrennt werden. Die dabei verwendete Membran soll in der anvisierten Brennstoffzelle gleichzeitig als Anode dienen. In den letzten zwei Jahren konnte ein elektrochemisches Verfahren entwickelt werden, mit welchem eine porenfreie 1-2 mm dicke Pd₇₃ Ag₂₇-Schicht auf einem Metallträger abgeschieden werden kann. Das Verfahren wurde inzwischen patentiert. Mit Hilfe von Röntgenaufnahmen der abgeschiedenen Folie und dem Vergleich mit einer metallurgisch hergestellten Pd₇₇ Ag₂₃-Referenzfolie von Johnson-Matthey wurden die optimalen Abscheidungsbedingungen bestimmt. Bei leicht erhöhter Temperatur (36 °C) und einem Potential von 0 mV vs. RHE erhält man scheinbar sehr ähnliche Gitterstrukturen wie in der Referenzfolie. Der bereits früher entwickelte poröse Membranträger aus Kupfer ist aus verschiedenen Gründen nicht geeignet. Im Moment werden deshalb Versuche mit einem Nickelgitter unternommen. Für die Untersuchung der Kinetik des Methanol-Reforming Prozesses und der Permeabilität der PdAg-Membran wurde eine neue Versuchsapparatur aufgebaut und in Betrieb genommen.

"Elektrokatalyse"

An der Uni-Neuchâtel [14] konnte gezeigt werden, dass mit Polypyrrol und Polyanilin beschichtete Elektroden, welche mit feinen Pt-Partikeln beladen sind, bei der Oxydation von Methanol höhere Stromdichten erreicht werden und der Katalysator weniger schnell vergiftet wird als an blanken Pt-Elektroden. Mit Elektroden, welche mit ca. 200 nm dicken Polymer-Schichten beschichtet und mit 60 mg/cm² Pt beladen waren, wurden Stromdichten von ca. 0.1 mA/cm² erhalten. An der Uni-Genève wurde zur Reduktion von Stickstoff im Rahmen des Projektes "Fixation de l'azote moléculaire par réduction électrochimique" [15] der Ru(HEDTA)OH2 Komplex hergestellt. Dieser Komplex koordiniert im reduzierten Zustand Stickstoff. An einer Stahlelektrode konnte mit diesem Komplex in Lösung in Gegenwart von Stickstoff bei -0.8 V in 24 Stunden eine Ammoniakkonzentration von 2 x 10-4 M erreicht werden. Damit konnte zumindest das Prinzip der Elektrokatalyse mit diesem Komplex demonstriert werden. Die Versuche an der ETH-Zürich im Rahmen des Projektes "Elektrochemische Kohlendioxid-Reduktion" [16] sind bis jetzt fehlgeschlagen, das heisst, es ist nicht gelungen, unter Verwendung von Metallelektroden aus wässrigen Hydrogenkarbonat- und Karbonatlösungen sowie aus Karbonatschmelzen die Karbonationen zu reduzieren. Hingegen konnte durch theoretische Erwägungen gezeigt werden, dass es möglich ist, Kohlendioxid aus der Luft in Natronseen oder künstlichen Becken mit Alkalikarbonatlösungen zu absorbieren. Die benötigte Oberfläche wäre etwa vergleichbar mit dem Flächenbedarf des Sonnenkraftwerkes, das den für die Elektrolyse nötigen Strom liefern würde. Die Reduktion von Sauerstoff ist ein für die Sauerstoffelektrode in Brennstoffzellen oder Metall / Luft-Zellen sehr wichtiges Forschungsthema. Im Projekt "Elektrophile, monomere und dimere Metalloporphyrine als Oberflächenkatalysatoren" [17] werden porphinoide Co(II) und Fe(II) Komplexe sehr systematisch auf ihre Eignung für die Katalyse der Sauerstoffreduktion untersucht. Für die Katalyse der Sauerstoffreduktion sollte das Redox-Potential des Komplexes möglichst nahe beim reversiblen Potential des Sauerstoffs liegen. In dieser ersten Phase konnte mit Tetraazaporphyrinkomplexen der Einfluss der Ligandstruktur auf das elektrochemische Potential des metallzentrierten Redox-Prozesses abgeklärt werden. Diese Arbeiten bedingen einen relativ grossen Syntheseaufwand.

"Modellierung"

Elektrochemische Systeme versteht man erst richtig, wenn sie auch mathematisch modelliert werden können. Das Thema elektrochemische Modellierung wird an der ETH-Lausanne in den Projekten "Modellierung von elektrochemischen Systemen angewendet auf die Abscheidung und Auflösung von Metallen" [18] und "Modélisation d'un réacteur électrochimique et vérification expérimentale" [19] bearbeitet. Im ersten Projekt wurde die Stromdichteverteilung an einer zylindrischen Elektrode mit nicht symmetrischer Gegenelektrode unter Verwendung des "Boundary-Element Code" simuliert und die Stromdichteverteilung auf einer mit einem Muster versehenen, photoresistbedeckten Anode untersucht. Im zweiten Projekt wird die Stromverteilung in einer bipolaren Zelle mit der "Finite Element Methode" simuliert und an einer experimentellen Zelle verifiziert. Diese Arbeiten werden zum Teil im Rahmen von Doktorarbeiten durchgeführt und sind verhältnismässig weit fortgeschritten. An der Uni-Fribourg werden im Projekt "Étude par simulation numérique de processus non stationnaires sur des électrodes recouvertes d'un polymère redox" [20] in enger Zusammenarbeit mit Forschungsarbeiten am PSI die an einer redox-polymerbeschichteten Elektrode ablaufenden Diffusions-, Migrations- sowie Elektronen- und Ionentransport-Prozesse numerisch simuliert. Nachdem die Simulation von nichtstationären Prozessen einer

Elektrode, welche mit einem rutheniumkomplexhaltigen Polymer beschichtet ist, befriedigend simuliert werden konnte, sind nun Arbeiten zur Modellierung von Polymeren mit organischen Redox-Zentren im Gang.

Neben den erwähnten Projekten gibt es auch in den Programmen Wasserstoff, Brennstoffzellen und Photochemie solche, die in das Gebiet der Elektrochemie hineinragen.

3. Internationale Zusammenarbeit

Es bestehen gute Aussichten, dass das Projekt "Membranen für Brennstoffzellen" demnächst im Rahmen eines IEA-Projektes weitergeführt werden kann. Bereits jetzt besteht hierzu gemeinsame Forschungsarbeit mit einem Institut in Frankreich (C.N.R.S., Thiais). Zur Entwicklung einer effizienten porösen Sauerstoffelektrode besteht eine Zusammenarbeit mit der Technischen Universität in Wien und ein enger Erfahrungsaustausch mit dem Lawrence Berkeley Laboratory in Kalifornien. Die europäische Zusammenarbeit auf dem Gebiet der elektrochemischen Energiespeicherung wird ferner durch die Beteiligung an der "Working Party on Elektrochemistry" der "Federation of European Chemical Societies" zu fördern versucht. Im Rahmen dieser Aktivitäten wird demnächst eine Liste über europäische Forschungsprojekte zusammengestellt. Ferner besteht ein guter persönlicher Kontakt mit regem Informationsaustausch mit den Programmleitern des "Technology Base Research Project" des elektrochemischen Forschungsprogramms, welches vom U.S. Department of Energy (DOE) unterstützt wird. Der internationale Kontakt wird auch durch die Organisation von Symposien gefördert (1990 wurden zwei Mini-Symposien über elektrochemische Energiespeicherung organisiert). Mehrere Projektleiter sind auch an der Organisation des 41. Meetings der International Electrochemical Society in Montreux beteiligt (25. - 30. August 1991). Da relativ viele der in den Projekten eingestellten Post-Doktoranden aus dem Ausland rekrutiert werden, ergeben sich auch dadurch neue Kontakte zu ausländischen Instituten.

4. Umsetzung der Ergebnisse

Im gegenwärtigen Zeitpunkt, da die meisten Projekte eher grundlagenforschungsorientiert sind, werden die Ergebnisse vorwiegend anhand von wissenschaftlichen Publikationen umgesetzt. Seit Beginn des Programms haben mehrere Projektleiter ihre Resultate zumindest teilweise in renommierten Zeitschriften publiziert und an internationalen Kongressen präsentiert. In zwei Projekten [13],[10] wurden auch Patente angemeldet. 1991 werden mindestens zwei Projektleiter [9], [10] ihre Projekte an der HEUREKA-Ausstellung anlässlich der 700-Jahrseier präsentieren.

Für den Informationsaustausch innerhalb des Programms Elektrochemie wurden 1990 insgesamt drei Workshops organisiert. Damit hatte jeder Projektleiter die Gelegenheit, seine Arbeiten den anderen Projektleitern vorzustellen und zu diskutieren.

5. Geplante Forschungsarbeiten 1991

Die Projekte werden wie geplant weiter geführt. Voraussichtlich werden etwa drei Projekte abgeschlossen und ca. drei bis vier neue Projekte resp. Fortsetzungsprojekte in Angriff genommen. Im Frühling wird die Programmleitung die Marschrichtung des Programms für die Jahre 1992-1995 neu festlegen. Es steht bereits fest, dass die bis jetzt eher grundlagenorientierte Forschung sich etwas mehr in Richtung praktisch anwendbare Systeme entwickeln muss.

6. Liste der Projekte

- E. Schmidt, Uni-Bern: "Elektrochemische Impedanz Spektroskopie an stromleitenden und Redox-Polymerea". (JB)
- [2] H. Siegenthaler, Uni-Bern: "In-situ Rastertunnelmikroskopie an nichtmetallischen Elektrodensubstraten". (JB)
- [3] O. Haas, PSI-Villigen: NF 20.5424.87: "Charakterisierung von leitenden Polymeren und Redox-Polymeren". (JB)
- [4] H. Kiess, PSI-Zürich: "Simultanuntersuchungen der optischen Absorption und Voltammogramme von leitenden Polymeren und Redox-Polymeren". (JB)
- [5] W. Bührer, ETH-Zürich: NEFF 478: "Ionen-Beweglichkeit in Festkörpern und Super-Ionenleitfähigkeit: Neutronen-Streu-Untersuchungen zum mikroskopischen Verständnis". (JB)
- [6] M. Grätzel, EPF-Lausanne: "Conductive polymers for rechargeable batteries". (JB)
- [7] C. W. Schläpfer, Uni-Fribourg: "Polymere als Lösungsmittel in elektrochemischen Zellen". (JB)
- [8] K. Müller, BATTELLE, Genève: "Polymer-Anode für Polymer-Polymer-Batterie". (JB)
- [9] G. G. Scherer, PSI-Villigen: "Neuartige Membranen für saure Brennstoffzellen und Elektrolyseure". (JB)
- [10] O. Haas, PSI-Villigen: NEFF 382: "Stromspeicherung mit elektrochemischen Aluminium-Zellen". (JB)
- [11] F. P. Emmenegger, Uni-Fribourg: "Beeinflussung des Redox-Potentials von Aluminium in Raumtemperatur-Schmelzen". (JB)
- [12] H. Tannenberger, CSEM, Neuchâtel: "Untersuchung der elektrochemischen Auflösung und Abscheidung von Mg und Al in nichtwässrigen Lösungsmitteln". (JB)
- [13] W. Richarz, ETH-Zürich: "Alkalische Methanol / Luft-Brennstoffzelle". (JB)
- [14] M. Koudelka, Uni-Neuchâtel: "Préparation et caractérisation de catalyseurs dispersés dans des couches des polymères conducteurs". (JB)
- [15] J. Augustynski, Uni-Genève: "Fixation de l'azote moléculaire par réduction électrochimique". (JB)
- [16] H. Grüniger, ETH-Zürich: "Elektrolytische Kohlendioxid-Reaktion". (JB)
- [17] B. Kräutler, ETH-Zürich: "Elektrophile, monomere und dimere Metalloporphyrine als Oberflächekataly-satoren". (JB)
- [18] D. Landolt, EPF-Lausanne: "Modellierung von elektrochemischen Systemen angewandt auf die Abscheidung und Auflösung von Metallen". (JB)
- [19] H. Froidevaux, Uni-Lausanne: "Modélisation d'un réacteur électrochimique et vérification expérimentale". (JB)
- [20] C. Daul, Uni-Fribourg: "Numerical description of non-stationary processes at polymer-coated electrodes". (JB)
- (JB) Jahresbericht 1990 vorhande

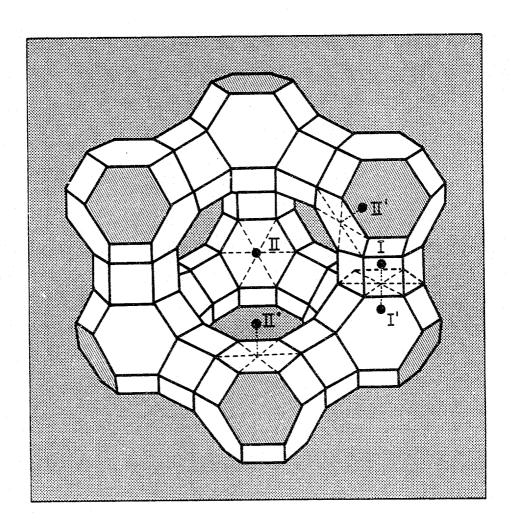
7. Referenz

[21] O. Haas, PSI-Villigen: "Schweizerisches Energieforschungsprogramm Elektrochemie", Chimia 44 (1990) 283-287.

PHOTOCHIMIE

Rapport de synthèse sur les travaux de recherche 1990

Chef de programme : Jean-Claude Courvoisier



Structure schématique de la Zéolithe, matériau utilisé pour la production de méthanol ou d'hydrogène à partir de l'eau :

La structure partielle est représentée en négligeant les centres oxygène. Les points I, I', II, II', II* marquent des sites de coordination des ions, occupés principalement par des cations argent. Après réduction, les atomes d'argent sont situés dans la grande cavité centrale ou dans les cages périphériques plus petites.

1. Objectifs du programme pour 1990

L'objectif du programme Photochimie consiste à trouver une ou des voies pratiquement exploitables pour réaliser le stockage sous forme chimique de l'énergie solaire. Il s'agit principalement de la photolyse de l'eau, de la réduction du CO₂ et de la fixation de l'azote. Comme ces recherches sont de nature encore fondamentale, on ne peut espérer leur aboutissement avant quelques années. Les buts fixés pour 1990 consistaient à progresser vers la solution ou à mettre en évidence des difficultés, nécessitant une révision d'une ou plusieurs des études en cours.

Spécifiquement, il s'agissait :

- à l'Uni-Genève de mettre en chantier une nouvelle voie visant à la réduction du CO₂ par voie photoélectrochimique,
- à l'EPF-Lausanne, d'une part de réaliser la méthanation du CO₂ et l'oxydation du toluène par thermophotochimie et d'autre part de définir le rôle des différents paramètres sur la performance des cellules photoélectrochimiques développées dans ce laboratoire et d'en améliorer le rendement,
- à l'Uni-Bern, de trouver les conditions de réversibilité de la réduction de l'argent encagé dans la zéolithe et à progresser dans la réalisation du couplage entre l'oxydation de l'eau et la réduction des protons ou du CO₂,
- à l'EPF-Zürich, d'une part, de déposer des couches de phosphure de zinc semiconductrices, et, d'autre part, d'évaluer la possibilité de décomposer l'eau par irradiation d'une suspension de poudre de ZnSnP₂ couverte d'un catalyseur approprié.

2. Travaux effectués et résultats obtenus en 1990

"Réduction photoélectrochimique du CO₂" [1]

L'objectif de la recherche menée à l'Uni, Genève, en cours depuis une année à peine, consiste à explorer les voies électrochimiques et surtout photoélectrochimiques menant à la réduction de CO2. Les produits résultants pourraient être le CO, le CH4, le méthanol, l'acide formique ou le formaldéhyde. Deux approches sont étudiées. La première consiste à utiliser un complexe de rhénium adsorbé sur une électrode et illuminé pour être activé. Celui-ci réagira électrochimiquement avec le CO₂ sous un potentiel d'environ 2 volts, inférieur théoriquement à celui qui serait nécessaire sans illumination. Le travail de cette année a montré que le complexe en solution n'est pas efficace, car il se désactive avant d'atteindre l'électrode. C'est pourquoi il faut l'adsorber sur l'électrode en le déposant sur un substrat qui peut être le TiO₂. Parallèlement les essais porteront sur d'autres électrodes, y compris des oxydes couverts d'un complexe de ruthénium. La cellule expérimentale est prête et le problème immédiat est de trouver une forme de liaison entre le complexe et le substrat qui ne soit pas détruite par le solvant. Si ce solvant est l'eau, la réaction photoélectrochimique ne produit que de l'hydrogène, ce qui peut représenter une première étape valable. La seconde approche repose sur une conception originale où l'électrolyse de l'eau, d'un côté d'une cellule d'une conception nouvelle, libère l'oxygène alors que l'hydrogène ionisé traverse l'électrolyte solide pour se lier avec la cathode de palladium d'où il est extrait pour réagir avec le CO2. Cette seconde phase devrait être assistée par la lumière incidente sur l'électrode de palladium recouverte d'un oxyde catalyseur activé par la lumière. La cellule électrochimique a été réalisée et donne satisfaction. L'étape prochaine consiste à modifier la chambre cathodique pour permettre l'irradiation lumineuse. Les méthodes préparatives du catalyseur oxydique ont été mises au point et ont déjà permis de constater la diversité des produits de réduction du CO₂ en fonction de la composition du catalyseur.

Les travaux à venir visent à montrer le bien-fondé de cette conception et à déterminer le rendement faradique de la réaction et l'avantage obtenu par l'excitation photonique. Cette recherche en est à son début et n'a pas encore fait l'objet de publication.

"Réactions photochimiques" [2]

À l'EPF-Lausanne, se poursuit un travail de doctorat sur l'étude de deux réactions photochimiques sur des surfaces activées de semi-conducteurs. Par opposition avec les autres recherches du programme Photochimie, ces travaux se font à une température supérieure à la température ambiante et mettent en évidence l'action de la lumière sur des réactions connues en thermochimie classique. La première réaction étudiée est la formation de méthane par réduction du CO₂ par l'hydrogène. Il apparaît que l'accélération de la réaction est nette sous irradiation concentrée de lumière polychromatique simulant le spectre solaire. Le catalyseur (Ru sur TiO₂) subit un vieillissement qui porte principalement sur son activité thermique. Il semble que l'action de la lumière se situe au niveau d'un changement de l'activité ou de la concentration des sites actifs du catalyseur.

Le second volet de la recherche consiste en l'étude de l'oxydation du toluène par l'oxygène, toujours sous conditions photothermiques. L'effet de la lumière est très marqué, il est d'autre part très différent selon la nature du catalyseur, Ru/SiO₂, Ru/TiO₂, TiO₂. Sur le Ru/TiO₂, avec illumination, la réaction s'emballe déjà dès 300 °C alors que, sans illumination, sa vitesse est encore faible à cette température. Ces résultats pourraient ouvrir la voie à une méthode pratique de détoxification du toluène en faible concentration dans l'atmosphère, par irradiation avec de la lumière solaire modérément concentrée. Ces travaux ont donné lieu à trois publications en 1990.

"Cellules photoélectrochimiques" [3]

L'étude conduite à l'EPF-Lausanne sur les cellules photoélectrochimiques a permis d'accomplir des progrès substantiels durant cette année. Le principe de la cellule consiste en une électrode de TiO₂ de grande aire spécifique, dont la surface est activée par une couche monomoléculaire d'un photoactivateur qui absorbe la lumière visible, et dont un électron est activé et injecté avec un excellent rendement dans le TiO₂. Le circuit est complété par un éléctrolyte contenant un couple redox et une contre-électrode. Le rendement actuel de la cellule se situe autour de 7,8%. L'objectif convenu pour fin 1991 est d'atteindre un rendement de 8 à 10%. Il semble que ce but sera atteint. Les travaux ont porté sur l'amélioration de la méthode de préparation du TiO₂, sur une large exploration des compositions alternatives du photoactivateur, sur l'influence de l'électrolyte et sur celle du couple redox. Un contrat de collaboration a été signé avec une firme industrielle. La cellule, objet de cette recherche, offre encore l'avantage que son rendement ne diminue pas comme celui des cellules au silicium pour de faibles intensités lumineuses. De ce fait, elle offre un net avantage par temps relativement couvert sur les cellules existantes. Ces travaux ont donné lieu à trois publications en 1990.

"Réduction photochimique du CO₂" [4]

Après avoir montré la possibilité de photo-oxydation de l'eau pour produire de l'oxygène à partir de zéolithes chargées d'argent, le groupe de l'Uni-Berne vise à coupler ce processus avec la photo-réduction des protons ou du CO₂. C'est ce couplage qui constitue l'étape décisive à franchir pour réaliser la photolyse de l'eau ou la réduction photochimique du CO₂ et, par là, pour offrir une méthode de stockage chimique de l'énergie solaire. Un des problèmes à résoudre est la réversibilité de la réduction de l'argent qui donne lieu à l'oxydation de l'eau. Un grand progrès a été réalisé en liant la zéolithe à une électrode permettant cette réoxydation. La recherche se poursuit pour définir et réaliser une membrane susceptible de transporter les électrons et les protons d'une surface, où se trouve la zéolithe (voir l'en-tête), à l'autre, où la réduction de H+ ou de CO₂ devrait être obtenue sur un photocatalyseur (complexe de rhénium) illuminé. Les deux côtés de la membrane assurant le couplage des deux réactions photochimiques sont activées par la lumière. L'activité du groupe est complétée par une recherche théorique visant à calculer les niveaux d'énergie et les chemins de réaction au moyen des méthodes de la chimie quantique. Cette connaissance est nécessaire à la maîtrise du procédé. Elle a été substantiellement renforcée par un séjour sabbatique de six mois de G. Calzaferri dans le groupe à la Cornell University. Ces travaux ont donné lieu à 10 publications en 1990.

"Photoélectrolyse de l'eau par des semi-conducteurs" [5]

Dans le projet intitulé "Entwicklung polykristalliner Elektroden für die Photoelektrolyse von Wasser", à l'ETH-Zürich, il s'agit de déposer un semi-conducteur approprié (ZnP2 ou ZnSnP2) en couches minces et d'en protéger la surface en contact avec l'eau à décomposer par une couche d'oxyde conducteur et / ou d'un catalyseur. La difficulté à résoudre est en effect que, dans tous les systèmes étudiés jusqu'ici, les produits de décomposition de l'eau réagissent avec le semi-conducteur et le détruisent. Après avoir maîtrisé le dépôt de couches conductrices minces, le travail consistait à réaliser le dépôt du semi-conducteur par "sputtering" haute fréquence de zinc dans une atmosphère de phosphine. Alors qu'il n'a pas été possible jusqu'ici de déposer ZnP2 par cette méthode, en revanche elle s'est révélée adéquate pour déposer Zn3 P2 qui a des propriétés très intéressantes, analogues à celles de GaAs. N'étaient son prix très élevé et sa composition contenant de l'arsenic, le GaAs serait un candidat particulièrement bon pour réaliser des cellules photovoltaïques de hautes performances. Il serait donc très intéressant de faire de telles cellules à partir du Zn₂ P₂ présentant les mêmes avantages physiques sans les inconvénients. Les résultats actuels sont encourageants et la recherche à venir se concentrera sur la réalisation de jonctions p-n et sur la maîtrise de leurs performances photovoltaïques. Alternativement, la recherche était orientée sur la possibilité de réaliser la photolyse de l'eau par illumination d'une suspension de poudre de ZnP2 ou Zn₂P₂ couverte d'un catalyseur approprié. Les résultats obtenus ont été décevants et il n'apparaît pas raisonnable de poursuivre selon cette voie. Ces travaux ont donné lieu à une publication en 1990.

"Collaboration "

La création par l'OFEN d'un programme spécifique consacré à la photochimie a contribué à la connaissance mutuelle des groupes qui, en Suisse, se consacrent a cette spécialité. On a pu de ce fait reconnaître les compétences des collègues, apprécier les difficultés à vaincre et prendre conscience de l'enjeu que constitue le stockage chimique de l'énergie solaire. Une collaboration est en train de se nouer entre les groupes des universités de Genève et Berne et de l'EPF-Lausanne, visant dans un premier temps à mettre en valeur pour chaque projet la complémentarité des compétences des collègues. Il est possible qu'un projet commun, conçu collectivement, voie le jour dans le courant de 1991 en vue de réaliser une idée originale visant à la photolyse de l'eau.

3. Collaboration internationale

Il n'y a pas à proprement parler de collaboration internationale dans les sujets traités ici. Chacun des groupes concernés à son propre réseau de relations internationales. Mentionnons spécialement dans ce contexte la participation active de la plupart des chercheurs actifs dans le programme photochimie au "Eighth International Conference on Photochemical Conversion and Storage of Solar Energy" à Palerme du 15 au 20 juillet 1990. De plus, G. Calzaferri a passé six mois de congé sabbatique à Cornell University aux USA. Il a reçu en outre à Berne durant deux semaines A. Zhdanov, de l'Académie des Sciences d'URSS. De son côté, M. Grätzel a fait de nombreuses conférences, invité en France, Hongrie, Tchécoslovaquie, Pologne, USA, etc.

4. Transfert à la pratique

Seuls les travaux sur la pile photoélectrochimique de M. Grätzel à l'EPF-Lausanne [3] peuvent entrer en considération pour un éventuel transfert à la pratique. Trois demandes de brevet sont déposées sur le sujet auquel l'industrie s'intéresse. Comme cela est mentionnée au paragraphe 2, un contrat de collaboration a été signé avec une industrie dont l'identité est confidentielle. La possibilité d'un développement industriel de la cellule n'est pas à exclure, bien qu'il soit encore prématuré de l'envisager.

Les autres sujets de recherche en cours en sont encore au stade fondamental et aucune application industrielle n'entre encore en considération.

5. Perspectives 1991

Le but commun des projets du programme Photochimie est de progresser sur la voie de la réalisation pratique du stockage chimique de l'énergie solaire. Concrètement, cela signifie qu'on vise à concevoir une voie réaliste pour coupler les phases photo-oxydative et photo-réductrice, afin de combiner l'action de deux photons; ce qui est nécessaire pour réussir l'entreprise. Les projets des universités de Berne et de Genève devraient permettre de faire un pas décisif dans cette direction durant l'année à venir. La mise en place d'un programme de collaboration entre Genève, Lausanne et Berne constitue une autre tentative de progresser dans la poursuite du but commun. On peut s'attendre à de nouveaux progrès dans la performance des cellules photoélectrochimiques de Lausanne; on prévoit la réalisation d'une cellule de rendement supérieur ou égal à 10%. À Zürich, le but consiste à caractériser les couches de Zn₃ P₂ et à mettre en évidence les possibilités de développement de jonctions p-n ayant des performances satisfaisantes.

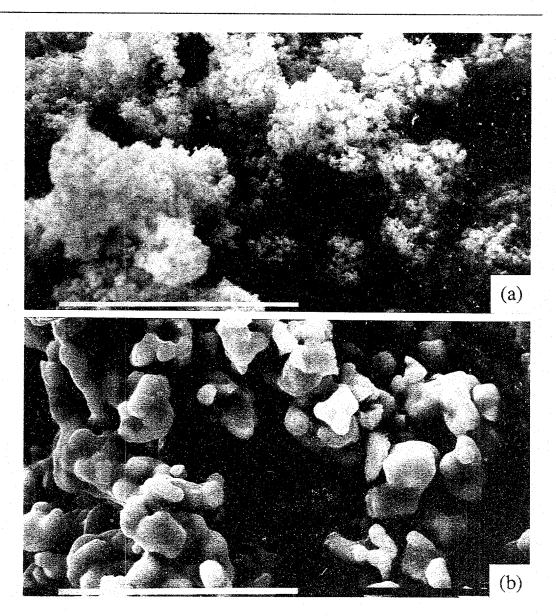
6. Liste des projets

- J. Augustynski, Uni-Genève: "Réduction électrolytique du bioxyde de carbone dans des solutions aqueuses".
 (RA)
- [2] C. Revilliod, A. McEvoy, M. Grätzel, EPF-Lausanne: "Réactions photochimiques sur des surfaces activées de semiconducteurs". (RA)
- [3] M. Grätzel, EPF-Lausanne: "Conversion d'énergie solaire par des piles photoélectrochimiques régénératrices et par des systèmes photocatalytiques". (RA)
- [4] G. Calzaferri, Uni-Bern: "Photochemische und photoelektrochemische Umwandlung und Speicherung von Sonnenenergie". (RA)
- [5] H. von Känel, ETH-Zürich: "Entwicklung polycristalliner Elektroden für die Photoelektrolyse von Wasser". (RA)
- (RA) rapport annuel 1990 disponible

THERMOCHEMIE

Überblicksbericht zum Forschungsprogramm 1990

Programmleiter: Armin Reller



Reversible thermische Reduktions-/Reoxydations-Prozesse an Rutheniumoxid als Modellsystem für die chemische Speicherung von Sonnenenergie

Rasterelektronenmikroskopische Aufnahmen von

- (a) Rutheniumoxid RuO₂,
- (b) Rutheniummetall Ru°, das als Produkt des Zyklus RuO₂ —> Ru° + O₂ —> RuO₂ —> Ru° + O₂ erhalten wurde. (Aufnahmen von A. Portmann; weisse Balken entsprechen 10 μ m).

1. Anvisierte Zielpunkte für 1990

Im Programm Thermochemie wurden im Verlauf des Jahres 1990 die Grundlagen für die Konzentration sowie die Umwandlung von Sonnenenergie in speicherbare Formen im Detail untersucht. Diese Tätigkeiten erfordern nicht nur eine genaue Kenntnis der realen Strahlungsverhältnisse, sondern beinhalten vor allem die Erarbeitung technologisch ausgereifter Konzentrator- / Receiver- / Reaktor-Systeme, in denen ausgewählte Prozesse unter kontrollierten Bedingungen durchgeführt werden können. Möglichkeiten für die Umsetzung der Resultate, in sbesondere die Verwendung von relevanten chemischen Prozessen in der Praxis, werden anhand von technischen und ökonomischen Studien abgeklärt. Ein Grossteil der ausgeführten Arbeiten wurde in Form von Vorträgen am 5th Symposium on Solar High Temperature Technologies präsentiert. Die meisten dieser Beiträge werden voraussichtlich in der Zeitschrift Solar Energy Materials publiziert.

2. Durchgeführte Arbeiten und erreichte Ergebnisse 1990

"Intensitätsverteilung der Sonnenstrahlung"

Eine Messeinrichtung für die Intensitätsverteilung des direkt auf die Erde einfallenden Sonnenlichts sowie für die Flussdichteverteilung der konzentrierten Solarstrahlung in der Konzentratoranlage des PSI-Villigen wurde erstellt [1]. Sie besteht aus einem wassergekühlten Target und einem CCD-Kamera- / Bildverarbeitungssystem. Für die Verarbeitung der Daten wurde ein Auswertekonzept fertigestellt, das die Berechnung sogenannter Sunchapes erlaubt. Diese Arbeiten liefern für die Praxis relevante Resultate, indem die Strahlungsleistung für einen bestimmten Reaktor in Abhängigkeit des sich verändernden Sunshapes berechnet werden können [11, 12].

"Materialien für die direkte Speicherung solarerHochtemperaturwärme"

Für die direkte Speicherung solarer Hochtemperaturwärme wurden Experimente mit einem Schüttspeicher bis zu Temperaturen von 800 °C durchgeführt [2]. Als Speichermaterial wurden Magnesiumsilikatkugeln (Steatit) eingesetzt. Die Erwärmung des Schüttgutes erfolgte mit Hilfe eines unter kontrollierten Druck-, Durchflussgeschwindigkeits- und Temperatur-Bedingungen zugeführten Luftstroms. Ein Programm zur Simulation der im Schüttspeicher ablaufenden Vorgänge wie Temperaturverteilung und Druckverteilung im Schüttgut in Abhängigkeit unterschiedlicher Ladezeiten erlaubte eine Validierung der Experimente [13].

"Selektive Schichten in der Hochtemperatursolartechnologie"

Hinsichtlich des Einsatzes von Receivem / Reaktoren für chemische Prozesse im Bereich oberhalb 500 °C spielen sowohl das Absorptionsvermögen im Bereich des Sonnenspektrums als auch das Emissionsvermögen im infraroten Bereich von ausgewählten Materialien eine entscheidende Rolle [3]. Zur Erfassung dieser Kenndaten wurden Graphit-, Siliziumcarbid- und Nickelschichten mit einer Xenon-Bogenlampe (als Sonnen-ähnliche Strahlungsquelle) bestrahlt und zugleich deren Temperatur verfolgt. Dadurch kann im Prinzip die Absorptionskante, d. h. diejenige Energie, wo ein Übergang von stark absorbierend zu stark reflektierend erfolgt, bestimmt werden. Diese Absorptionskante ist zugleich eine Kenngrösse für die Selektivität des Absorptionsverhaltens des gewählten Materials. Qualitative Hinweise für ein selektives Verhalten zeigen Vergleichsmessungen der erreichten Endtemperaturen von Graphit und Metall: je höher die Temperatur, desto besser eignet sich das Metall für photo- / solarthermische Anwendungen.

"Receiver-/Reaktor-Systeme"

Ein atmosphärisch offener, d.h. fensterloser Solarreaktor zur chemischen Umwandlung pulverförmiger Stoffe in einem Strahlungsfeld hoher Leistungsdichte wurde konstruiert [4]. Diese Einheit soll in eine von McDonnell-Douglas gelieferten Solar-Dish-Konzentratoranlage eingebaut werden. Periphere Einrichtungen wie Injektor-

Förderstrecke, Dosiersystem und Vorwärmer wurden entwickelt und getestet. Bis anhin konnten noch keine Experimente gefahren werden.

Zur Aufheizung gasförmiger Medien mittels Sonnenenergie wurde ein volumetrischer 500 kW Gitterabsorber gebaut und auf dem Turm der Sandia National Laboratories, Albuquerque, USA, erfolgreich getestet [5]. Es konnten Gastemperaturen von über 900 °C erzeugt werden. Da diese Art von Reaktoren offen oder geschlossen (unter Druck) betrieben werden sollen - eine wichtige Voraussetzung für Anwendungen in der Thermochemie-wurden einerseits verschiedene Absorbersysteme gebaut, andererseits Beschichtungen der Absorberstrukturen mit katalytisch aktiven Metallen und Metalloxiden vorgenommen. Durch neu entwickelte Verfahren gelang es, Absorber-Strukturelemente verschiedenster Geometrien zu beschichten. Rasterelektronenmikroskopische und analytische Untersuchungen ergaben, dass die Morphologie und die Zusammensetzung der Katalysatorschichten durch die Abscheidungsbedingungen kontrolliert werden können, was für die Optimierung der katalytischen Aktivität von grosser Bedeutung sein wird. Mit derartigen beschichteten Reaktorsystemen wird es möglich sein, konzentrierte Sonnenenergie mittels katalysierter thermo- und/oder photochemischer Prozesse direkt umzuwandeln.

Die geleisteten Arbeiten auf dem Gebiet der Reaktortechnologie sind soweit fortgeschritten, dass einerseits Sonnenenergie direkt durch Aufheizen von festen Materialien oder von Gasen gespeichert werden kann, oder aber mittels thermochemischer Prozesse in Gasen, Pulvern sowie Gas / Pulver-Gemischen umgewandelt werden kann. Die gemachten Erfahrungen sind teilweise auch für den Einsatz der beschriebenen Systeme in nicht solar gespiesenen Anlagen verwertbar. Dies ist vor allem hinsichtlich der Energierückgewinnung bei industriellen Anlagen mit hoher Wärmeproduktion von Bedeutung.

"Thermochemische Prozesse für die Speicherung von Sonnenenergie"

Ein Hauptgewicht der Aktivitäten konzentrierte sich auf die Identifikation und Charakterisierung geeigneter thermochemischer Reaktionen, die einerseits mittels konzentrierter Solarstrahlung ausgelöst werden können (Sonnenenergie als Prozesswärme) oder aber andererseits zu Produkten wie Wasserstoff oder festen oxydierbaren Materialien führen, die als Energieträger verwendet werden können (chemische Speicherung von Sonnenenergie). Im ersteren Fall wurde vor allem die Zersetzung von Kalk, CaCO₃, bearbeitet [14]. Dieser Prozess ist grosstechnisch sehr wichtig (Zementindustrie) und könnte als Modellfall für die Verwendung von Sonnenenergie als Prozesswärme schon in den nächsten Jahren in einer Pilotanlage optimiert werden. Das aus der Reaktion anfallende CO₂ (CaCO₃ —> CaO + CO₂) soll abgefangen werden und mit Wasserstoff in Methanol umgeformt werden. Eine Machbarkeitsstudie ist zur Zeit in Bearbeitung [6].

Ein entscheidender Prozess für die chemische Speicherung von Sonnenenergie besteht in der Herstellung von Wasserstoff mittels Wasserspaltung. Neben der Elektrolyse besteht die Möglichkeit, diese Wasserspaltung durch heterogene, reversible Redox-Prozesse in Metall-Metalloxid-Systemen des folgenden Typs durchzuführen:

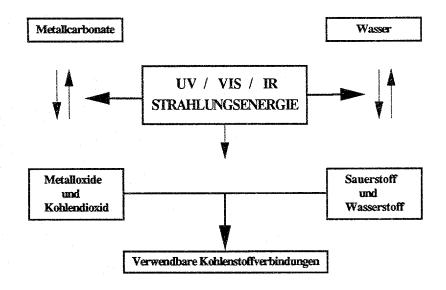
Wasserstoffproduktion : $MeO_x + y \cdot H_2O$ —> $MeO_{x+y} + y \cdot H_2$

Energiespeicherung : MeO_{x+y} \Longrightarrow $MeO_x + y/_2 \cdot O_2$

Verbrennung: $y \cdot H_2O y \cdot H_2 + y/_2 \cdot O_2 \longrightarrow y \cdot H_2O$

Im Verlauf des Berichtsjahres wurden einerseits die thermodynamischen Grundlagen für die Identifikation günstiger Metalloxid-Systeme in internationaler Zusammenarbeit gelegt, andererseits die experimentellen Einrichtungen für die festkörperchemische Untersuchung dieser Umsetzungen aufgebaut und getestet [7, 8, 15]. Als Metall-Metalloxid-Systeme wurden FeO_x , MnO_x und RuO_x eingesetzt. Das Ruthenium-System ist von besonderer Bedeutung, da das Oxid RuO_2 rein thermisch zum Metall Ru° reduziert werden kann (siehe auch Abbildung) und das Produkt einen derart hohen Schmelzpunkt aufweist ($\text{T}_s \sim 2300~^\circ\text{C}$), dass im vorgesehenen Temperaturbereich keine Sinterprozesse auftreten sollten [9, 16]. Schliesslich wurde eine Thermowaage mit einer UV/VIS-Strahlungsquelle ausgerüstet, in der Verlauf der obengenannten heterogenen Festkörperreaktionen unter Solarstrahlungsbedingungen simuliert werden kann. Insbesondere soll diese Messapparatur Informationen über eine mögliche Beeinflussung der Reaktionsmechanismen durch UV-Strahlungsanteile liefern [9, 16].

Die neben den erwähnten reversiblen Metall-Metalloxid-Redox-Prozessen (z. B. Wasserspaltung) relevanten festkörperchemischen Prozesse sind im folgenden Schema zusammengefasst:



Für die Umsetzung von CO₂ mit H₂ zu verwendbaren Kohlenstoffverbindungen, insbesondere Methanol, wurden Untersuchungen der Aktivität und Selektivität neuartiger Katalysatorsysteme ausgeführt [10, 17].

3. Internationale Zusammenarbeit

Die zur Zeit laufenden Arbeiten des Programms Thermochemie sind mit den Aktivitäten von ausländischen Forschungsgruppen sowie mit den Programmen der International Energy Agency (IEA) koordiniert. Diese Koordination umfasst einerseits einen regen Gedankenaustausch, andererseits direkte Zusammenarbeit insbesondere mit der Deutschen Forschungsanstalt für Luft- und Raumfahrt, DLR, Köln (D), den Sandia National Laboratories, Albuquerque (USA), dem Institut für Solarenergieforschung, ISFH, Hannover (D) sowie den Gruppen von Prof. A. Hunt, LBL, Berkeley (USA) und Prof. Rosén, Umea (S).

4. Umsetzung der Ergebnisse

Im Frühjahr 1990 wurde eine Zusammenkunft der am Programm Thermochemie beteiligten Gruppen an der Uni-Zürich abgehalten. Da an diesem Informationsaustausch sehr deutlich wurde, dass die Koordination der doch recht unterschiedlichen Aktivitäten wichtig ist und vor allem auch für die Beteiligten einen Rahmen definieren soll, in welchen sie ihre Projekte einordnen können, wird für das Frühjahr 1991 wieder eine Zusammenkunft stattfinden. Dabei sollen aber Experten aus Wirtschaft und Politik beigezogen werden, die für die Umsetzung der Resultate, in erster Linie betreffend der CO₂-Hydrierung, wichtig sind.

5. Geplante Forschungsarbeiten 1991

Wie aus diesem Abriss der im Berichtsjahr ausgeführten Arbeiten hervorgeht, sind im Programm *Thermochemie* sowohl die Entwicklung und Konstruktion der notwendigen technischen Einrichtungen als auch die Identifikation und Charakterisierung von Prozessen, welche zur Speicherung oder Umwandlung von Sonnenenergie geeignet

erscheinen, soweit fortgeschritten, dass in naher Zukunft Umsetzungen in Pilotanlagen folgen müssen. Im Verlauf des Jahres 1991 sollen vor allem die technischen Einrichtungen am PSI-Villigen soweit abgeschlossen werden, dass neben der erwähnten Abbaureaktion von Kalk auch Metalloxid-Reduktionen im Durchflussverfahren untersucht werden können. Das heisst aber auch, dass geeignete Metall-Metalloxid-Systeme insofern definiert und festkörperchemisch charakterisiert sein werden, dass sie in den Receiver- / Reaktor- Systemen eingesetzt werden können. Die für die technischen Einrichtungen und für die chemischen Prozesse relevanten materialwissenschaftlichen Untersuchungen werden ausgeführt.

6. Liste der Projekte

- M. Schubnell, PSI-Villigen: "Messungen der Intensitätsverteilung der Sonnenstrahlung in dem für Konzentratoren wesentlichen Winkelbereich".
- [2] A. Meier und C. Winkler, PSI-Villigen: "Speicherung solarer Hochtemperaturwärme".
- [3] P. Oelhafen, Inst. für Physik, Uni-Basel: "Selektive Schichten in der Hochtemperatursolartechnologie".
- [4] A. Imhof, PSI-Villigen: "Solarreaktoren zur chemischen Umwandlung pulverförmiger Stoffe in einem Strahlungsfeld hoher Leistungsdichte".
- [5] M. Posnansky & P. Brunner, ARGE ATLANTIS ENERGIE & VILAB, Bern: "Grundlagen für die Konzeption und den Bau von Strahlungsreaktoren für thermochemische Prozesse".
- [6] M. Real, B. Covelli, ARGE ALPHA REAL / TECOVA, Zürich: "Untersuchung über CO₂-Quellen, Potential- und Kostenabschätzung für Energiespeicher-Szenarium mittels synthetisch, aus H₂ und CO₂ hergestelltem Methanol".
- [7] P. Kuhn, PSI-Villigen: "Thermo-/photochemische Reaktionen zur chemischen Speicherung konzentrierter Solarstrahlung bei hohen Temperaturen".
- [8] A. Reller und P. Hug, ACI/ Uni-Zürich: "Festkörperchemische und materialwissenschaftliche Untersuchungen des thermochemischen Reaktionsverhaltens von Phasen, die für die chemische Speicherung von Sonnenenergie relevant sind".
- [9] A. Reller, ACI/ Uni-Zürich, Programmleitung Thermochemie
- [10] A. Baiker, TCL/ETH-Zürich: "Katalytische Synthese von Methanol ausgehend von mineralischen CO2-Quellen".

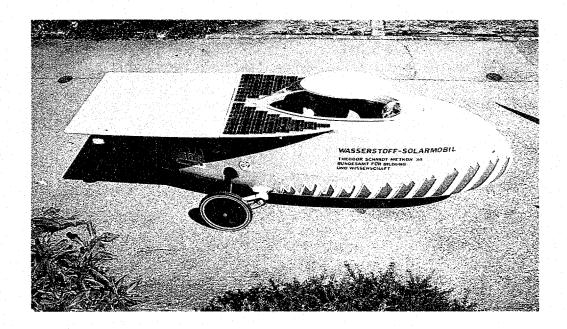
7. Referenzen

- [11] M. Schubnell and H. Ries, Solar Energy Materials, submitted (1990).
- [12] H. Ries and M. Schubnell, Solar Energy Materials, submitted (1990).
- [13] A. Meier, C. Winkler and D. Wuillemin, Solar Energy Materials, submitted (1990).
- [14] W. Durisch, Solar Energy Materials, submitted (1990).
- [15] P. Kuhn and A. Hunt, Solar Energy Materials, submitted 1990.
- [16] R. Emmenegger, H. R. Oswald and A. Reller, Solar Energy Materials, submitted (1990).
- [17] R. A. Köppel, A. Baiker, Ch. Schild and A. Wokaun, Proc. 5th Int. Symp. on Scient. Bases for the Prep. of Heterog. Cat., Louvain-la-Neuve (1990) 283 - 292.

WASSERSTOFF

Überblicksbericht zum Forschungsprogramm 1990

Programmleiter: Thomas Schucan



Wasserstoff-Solarmobil

Das Wasserstoff-Solarmobil wird mit Wasserstoff angetrieben, welcher in einer ortsfesten oder transportablen Solar-Wasserstoff-Tankstelle (mit Sonnenzellen-Nennleistungen von 1250 bzw. 460 W) erzeugt und auf dem Fahrzeug in Druckflaschen gespeichert wird. Der am umgebauten Verbrennungsmotor (110 mL) gemessene Wasserstoff-Verbrauch beträgt 24 Normliter pro Kilometer. Das Projekt wird gemeinsam durchgeführt vom Ing.-Büro Th. Schmidt, Hünibach, und von METKON, Mendrisio.

1. Anvisierte Zielpunkte für 1990

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:

- Schwerpunkt 1: Erzeugung von Wasserstoff, bzw. Entwicklung von Druck-Elektrolyseuren bis zur Demonstrationsreife.
- Schwerpunkt 2: Speicher-Technologie, bzw. Weiterentwicklung der drei verschiedenen Speichermethoden (Bindung in festen metallischen oder in flüssigen organischen Hydriden, oder Speicherung als tiefgekühlter Flüssigwasserstoff).
- Schwerpunkt 3: Nutzungs- und Gesamtssysteme, bzw. Weiterentwicklung zu 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 1990 folgende Ziele für die drei Schwerpunktsbereiche gesetzt :

Im Schwerpunktsbereich 1 sollten die 1989 begonnenen Projektarbeiten zur Entwicklung von Elektrolyseuren (d.h. Anlagen zur Erzeugung von Wasserstoff aus Wasser mit Hilfe von elektrischem Strom), bei welchen der Wasserstoff unter einem Druck von 30 bar (oder höher) erzeugt wird, weitergeführt und durch weitere Projekte ergänzt werden. Dadurch wird die energetische Gesamteffizienz deutlich verbessert und die Gesamtsysteme werden in der Regel vereinfacht.

Im Schwerpunktsbereich 2 steht die Untersuchung der Möglichkeit einer Metall-Hydrid-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. Die in zwei Forschungsinstituten zu diesem Thema aufgenommenen Projektarbeiten sollten ein Zwischenziel erreichen, mit welchem industrielle Partner zur Mitwirkung motiviert werden können.

Zwei Projekte zur Speicherung von Wasserstoff in festen metallischen Hydriden (mit dem Ziel, einen höheren volumenbezogenen 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) sollten weitergeführt bzw. zum Abschluss gebracht werden, um auch auf diesen beiden Gebieten den Anschluss an die internationalen Aktivitäten zu gewährleisten.

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 Bereich 3 zuzuordnen ist.

Das Ziel für das Programm 1990 im Schwerpunktsbereich 3 bestand in Vorbereitung und Beginn der Durchführung von zwei Wasserstoff-Energie-Nutzungs-Systemen verschiedener Art und Grösse. 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 oder 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-Québec-Hydro-Hydrogen Pilot Project" (EQHHPP) mit einem Schweizer Teilprojekt beteiligen kann, in welchem der Wasserstoff-Antrieb von fünf Autobussen in einer Schweizer Stadt demonstriert wird.

Ein wesentliches Jahresziel für diesen Bereich war der Beginn des vom PSI-Villigen gemeinsam mit der Firma Daimler-Benz geplanten Projektes HYPASSE (Hydrogen Powered Automobiles using Seasonal and weekly Surplus of Electricity). Darin sollen zwei verschiedene Speicherkonzepte und die damit verbundene Nutzung weiterentwickelt und realisiert werden in einem gemeinsamen energiewirtschaftlich sinnvollen Umfeld.

2. Durchgeführte Arbeiten und erreichte Ergebnisse 1990

In allen drei Schwerpunktsbereichen konnten neue Projekte ins Programm aufgenommen werden. Alle sechs im Berichtsjahr neu eingebrachten Projekt-Vorschläge wurden sowohl vom Programmleiter wie vom Expertenkreis positiv beurteilt. Drei konnten ins Programm Wasserstoff aufgenommen werden, die beiden anderen wurden mit Erfolg dem Programmleiter Thermochemie bzw. dem NEFF zur Unterstützung empfohlen. Die wichtigsten der 1990 durchgeführten Arbeiten und die erreichten Resultate werden hier nach Schwerpunkten geordnet zusammengestellt:

"Erzeugung von Wasserstoff"

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 [1]. Im Berichtsjahr wurden verschiedene Zellen mit und ohne Fiber-Verstärkung in einem für diesen Zweck gebauten Prüfstand auf ihre mechanische Widerstandsfähigkeit geprüft. Im besten Fall (Polysulphon mit 5% Glas) hielt die Zelle bis zu einem Druck von 180 bar. In anderen Fällen wurde festgestellt, dass die Fiber-Verstärkung durch stark zunehmende innere Spannungen überkompensiert wird. In einem neu begonnenen Projekt [2] wurde eine Vielfalt von Zell-Materialien im Hinblick auf ihre Verwendbarkeit bei höheren Temperaturen (100 bis 160 °C) untersucht. Dabei standen vor allem die Permeabilität für Gase und Flüssigkeiten sowie die für die Elektrolyse besonders wichtige Benetzungsfähigkeit im Vordergrund. Eine Selektion konnte getroffen werden und ein Hochtemperatur-Prüfstand für ganze Zellen wurde vorbereitet.

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.

"Speicher-Technologien"

In zwei Projekten wurden im Berichtsjahr die Herstellung und Kompaktierung der für die Herstellung von Hydrid-Elektroden benötigten Hydrid-Pulver untersucht. Im Vordergrund standen dabei die Verminderung der an den Elektroden auftretenden Korrosion und die an deren Oberflächen festgestellte Sauerstoff-Bildung. Das eine der beiden Projekte [3] trat 1990 in seine Hauptphase, nachdem in der Einarbeitungsphase 1989 unter anderem das Funktionieren einer kleinen Versuchsbatterie in ununterbrochenen Lade-Teilentladezyklen von 30 s Dauer während drei Monaten im Dauerbetrieb demonstriert werden konnte. Dabei wurde die elektrochemische Experimentierstation erweitert, mehrere Legierungen vom Typ AB5 wurden hergestellt, charakterisiert und pulverisiert, und der Einfluss der Elemente Co, Al, Nd und Zr auf die Eigenschaften der damit angefertigten Elektroden wurde untersucht. In Zusammenarbeit mit der Firma Elektrona wurde festgelegt, mit welcher Legierung eine Elektrode für eine Prototypbatterie hergestellt werden soll, und diese Batterie wurde dimensioniert. Die Untersuchungen an Metall-Hydrid-Anoden für eine Nickel-Hydrid-Batterie [4] belegten, dass Sauerstoffrekombination an der Oberfläche der Elektroden erfolgen kann, womit eine Voraussetzung zum Bau von gasdichten Batterien erfüllt ist. Es wurde eine Anfangskapazität von 280 Ah/kg errreicht, und ausgehend von handelsüblichen Ni-Cd-Akkumulatoren in AA-Abmessung wurden erste Nickel-Hydrid-Akkumulatoren labormässig hergestellt.

In einem neu gebauten Hochdruckprüfstand ist es gelungen [5], die Synthesebedingungen für die neuen ternären Metall-Hydrid-Verbindungen zu optimieren und Mengen bis zu 10 g in einem einzigen Schritt herzustellen. Solche Verbindungen zeichnen sich vor allem aus durch ihre relativ hohe Wasserstoffdichte (doppelt so hoch wie bei flüssigem Wasserstoff und 9 mal höher als bei gasförmiger Druckspeicherung unter den üblichen 200 bar).

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 einer neu gebauten Versuchsapparatur [6] wurden verschiedene Katalysatoren für diese Umwandlung in bezug auf Zusammensetzung und spezifische Oberfläche untersucht und die Repro- duzierbarkeit der Messmethode wurde überprüft. Die Bestätigung der Labor-Resultate durch Messungen an einer im industriellen Betrieb stehenden Wasserstoff-Verflüssigungsanlage (in Kanada) konnte noch nicht abgeschlossen werden, weil die Anlage durch den Kunden noch nicht bei voller Last unter Betrieb genommen werden konnte.

In Bezug auf das vor allem in der Schweiz entwickelte Speicherkonzept (flüssige organische Hydride) wurden erste Messungen mit Palladium-Silber-Membranen durchgeführt [7], und die Messresultate für die Permeabilität (d. h. die Durchlässigkeit der Membranen für Wasserstoff) übertrafen die bisher aus der Literatur bekannten Werte. Dies ist ein erster Schritt zur Aufhebung der Gleichgewichtsbeschränkung und damit zur Verbesserung zukünftiger Dehydrieranlagen. Dem in diesem Zusammenhang ebenfalls sehr wesentlichen Problem der Verbesserung der Wärmeübertragungskoeffizienten in solchen Anlagen ist ein weiteres Projekt [8] gewidmet, welches gegen Ende des Berichtsjahres begonnen hat.

Neben der oben erwähnten Speicherung von Wasserstoff in flüssigen organischen Hydriden könnte unter bestimmten Umständen auch die Speicherung in der Form von Methanol für die saisonale Speicherung in Frage kommen. Dies hängt allerdings davon ab, ob es möglich ist, die verschiedenen Teilschritte so zusammenzusetzen, 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 Projekten für verschiedene Teilschritte ist im Berichtsjahr in der Schweiz aufgenommen worden. Nach Absprache der Programmleiter wurden diese Projekte entweder dem Programm Thermochemie angegliedert, oder sie werden direkt vom NEFF unterstützt.

"Nutzungs- und Gesamtsysteme"

Im Projekt "Wasserstoff-Solarmobil" [9] konnten im Berichtsjahr sowohl die Anlage zur Herstellung von Wasserstoff aus Sonnenenergie wie die Druckspeicher und das mit Wasserstoff betriebene Fahrzeug in Betrieb genommen werden. Das ganze System wurde im Laufe der "Tour de Sol 1990" einer breiten Oeffentlichkeit vorgestellt. Die anlässlich dieser Demonstration auf der Rundfahrstrecke in Olten vorgenommenen Messungen erbrachten einen Verbrauch von 24 Normliter pro Kilometer bei 25 km/h. (Dies entspricht einem Verbrauch von 0,8 Litern Benzin pro 100 km). Von den beiden Speichermethoden funktionierte der selbstentwickelte Kompressor (von 30 auf 180 bar) einwandfrei. Bei den ebenfalls selbstentwickelten Kevlar / Epoxy-Speichern (bei 30 bar) wurde zwar der vorgesehene Berstdruck (150 bar) erreicht, aber sowohl diese Speicher als auch die Elektrolysenanlage müssen bis zum Abschluss des Projektes Mitte 1991 noch verbessert werden.

In einer Studie im Rahmen eines Nachdiplomstudiums Energietechnik [10] wurde untersucht, unter welchen Bedingungen die im Sommer aus einer städtischen Kehrichtverbrennungsanlage gewonnene Ueberschuss-Elektrizität in Wasserstoff umgewandelt, vom Sommer in den Winter gespeichert und in einem Wasserstoff-Heizwasserkessel verbrannt und in Nutzwärme umgewandelt werden kann. Dabei wurden Vor- und Nachteile verschiedener Speichermethoden aus technischer und wirtschaftlicher Sicht miteinander verglichen.

Zuhanden der internationalen Projektleitung des "Euro-Québec-Hydro-Hydrogen Pilot Project" wurde ein ausführlicher Bericht ausgearbeitet [11], in welchem für ein ins Gesamtprojekt eingegliederten Schweizer Teilprojekt (am Beispiel einer in der Schweiz durchzuführenden Dehydrierung von Methylzyklohexan in Verbindung mit der Nutzung des dabei freigesetzten Wasserstoffs zum Antrieb von fünf Autobussen) sowohl die technischen als auch die wirtschaftlichen und ökologischen Faktoren dargestellt wurden. Die für die Weiterentwicklung des Schweizer Speicherkonzepts notwendigen Arbeiten an der Verbesserung der mit Wasserstoff betriebenen Verbrennungsmotoren wurden in einem neuen Projekt [12] am Ende des Berichtsjahres aufgenommen.

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 wurde untersucht, ob und unter welchen Bedingungen der für die Wettersonden-Ballone in Payerne (SMA) benötigte Wasserstoff mit Hilfe von solar erzeugtem Strom aus Wasser hergestellt werden könnte, anstatt wie bisher aus Gas-Druckflaschen. Im von der EWI, Zürich, vorgelegten Schlussbericht über dieses Vorprojekt wurden fünf mögliche System-Kombinationen vergleichend durchgerechnet und eine zur

Ausführung als Demonstrations-Anlage empfohlen. Infolge fehlender Finanzierungszusagen konnte das Hauptprojekt noch nicht in Angriff genommen werden. Das zweite Projekt im Rahmen des Pilot- und Demonstrations-Programms für Bundesbauten betrifft die Weiterentwicklung des am PSI-Villigen in Zusammenarbeit mit der ETH-Zürich und mit der Privatindustrie entwickelten Wasserstoff-Lastwagens. Gemeinsam mit der neuen schweizerischen Partnerfirma konnten die Vorstudien und Auslegungsarbeiten an der neuen, verbesserten und verkleinerten Dehydrieranlage für den Betrieb des Lastwagens abgeschlossen werden, und die Anlage befindet sich Ende 1990 im Bau. Auch bei den am PSI-Villigen für diese Anlage neu konzipierten und entwickelten katalytischen Wasserstoff-Brennern konnte ein wesentlicher Fortschritt erreicht werden.

3. Internationale Zusammenarbeit

In der Internationalen Energie-Agentur (IEA) werden zurzeit im Bereich Wasserstoff zwei Programme durchgeführt. In beiden (Wasserstofferzeugung; Speicherung, Umwandlung und Sicherheit) ist die Schweiz mit Projekten aus den Programmen Photochemie und Wasserstoff aktiv beteiligt.

Die Arbeiten am heutigen PSI haben wesentlich dazu beigetragen, dass das hier entwickelte Speicher-Konzept 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. Die Schweiz nimmt dementsprechend an der 1989-1991 laufenden Phase 2 dieses Grossprojektes teil. Zusätzlich haben sowohl die Firma METKON, Mendrisio, als auch das PSI-Villigen im Rahmen des von der EG finanzierten Begleitprogramms direkte Forschungsaufträgeerhalten.

Am oben erwähnten, vom PSI-Villigen, gemeinsam mit Daimler-Benz, ins europäische Forschungsprogramms EUREKA eingebrachten Projekt HYPASSE hat im Zuge der internationalen Vernehmlassung auch England sein konkretes Interesse an einer Teilnahme angemeldet (durch die Firma UOP Ltd., den weltweit führenden Hersteller von Dehydrierungs-Katalysatoren). Der Beginn dieses Projektes konnte auf den 1. Oktober 1990 festgelegt werden.

Auch im Bereich der Erzeugung von Wasserstoff werden die in der Schweiz stattfindenden Entwicklungen international mit grossem Interesse verfolgt. Die Firma METKON, Mendrisio, hat im Berichtsjahr verschiedene Elektrolyse-Anlagen ins Ausland verkauft, und sie steht in bezug auf ihre Forschungs- und Entwicklungsarbeiten in engem Kontakt und Erfahrungsaustausch mit anderen führenden europäischen Herstellern.

4. Umsetzung

Beinahe alle im Rahmen des Schweizerischen Energieforschungsprogramms Wasserstoff unterstützten Projekte werden in enger Zusammenarbeit zwischen Hochschule und Industrie durchgeführt, um einen gleitenden Uebergang in eine spätere rein industrielle Entwicklung sicherzustellen. In zwei Fällen sind die durchführenden Firmen schon heute auf dem internationalen Markt tätig. Insbesondere konnte auch auf dem Gebiet der Metall-Hydrid-Batterien in einem bisher allein von einem Hochschul-Institut getragenen Projekt als erstes Etappenziel auf dem Weg zur Umsetzung das finanzielle Engagement einer privaten Firma erreicht werden.

Ein weiterer Schritt zur Umsetzung ist dadurch gegeben, dass in zwei Fällen unabhängig vom Forschungsprogramm, Demonstrationsanlagen in Funktion oder im Bau gind. Insbesondere ist hier das Wohnhaus der Familie Friedli in Zollbrück zu erwähnen, welches auch international viel Beachtung findet. Dort wird Wasserstoff durch Nutzung von Sonnenenergie erzeugt, gespeichert, und für den Hausbetrieb (Kochherd, Waschmaschine) genutzt. Eine Erweiterung der Nutzung zum Betrieb eines Fahrzeugs ist geplant. Eine andere Demonstrationsanlage befindet sich bei der Firma ATEL, Olten, im Bau. Auch hier soll letztlich die ganze Kette von Erzeugung bis Nutzung implementiert werden. Dank der Mithilfe des PSI-Villigen ist es möglich, dass hier die früher von der BBC bzw. ABB, Baden, entwickelte Technologie der Membranelektrolyse (Membrel) in der Praxis eingesetzt werden kann.

5. Geplante Forschungsarbeiten 1991

Eine Reihe von Projekten (Elektrolyse, Ortho-Para-Konversion, Solarmobil, Euro-Québec) wird im Laufe des Jahres 1991 abgeschlossen werden. Eine Weiterführung ist vorgesehen, aber über die genauen Zielsetzungen wird nach Vorliegen der Schlussberichte und Folge-Anträge entschieden werden. Die Projekte im Bereich der Metall-Hydrid-Speicherung werden planmässig weitergeführt, wobei im Fall der Nickel-Hydrid-Anode die entsprechende Entscheidung von der aktiven Teilnahme eines industriellen Partners abhängig gemacht werden wird.

Drei Projekte ([7], [8] und [12]) stehen in direktem Zusammenhang mit dem EUREKA-Projekt HYPASSE und die entsprechenden Arbeiten werden ins Gesamtprojekt eingegliedert. Für die Realisierung des ganzen Schweizer Anteils an diesem Projekt ist zusätzlich ab Frühling 1991 eine wesentliche Unterstützung durch den NEFF beantragt.

Eine Aufnahme neuer Projekte ins Program Wasserstoff ist erst für 1992 vorgesehen.

6. Liste der Projekte

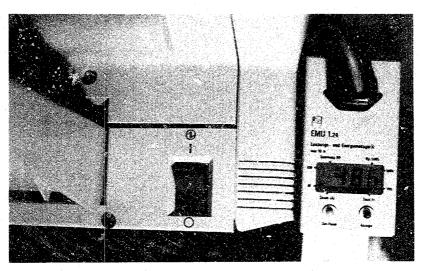
- [1] G. C. Sioli, METKON, Mendrisio: "Zellen für Hochdruckwasserelektrolyse".
- [2] G. C. Sioli, METKON, Mendrisio: "Zellen für Hochtemperatur-Wasserelektrolyse".
- [3] L. Schlapbach, Uni-Fribourg: "Metall-Hydride als Elektroden in Batterien".
- [4] R. Schmitt, BATTELLE-EUROPE, Genève: "Metall-Hydrid-Anode für Nickel-Hydrid-Batterie (1. Phase)".
- [5] K. Yvon, Uni-Genève: "Synthèse et caractérisation de nouveaux hydrures métalliques ternaires et quaternaires".
- [6] B. Ziegler, SULZER, Winterthur: "H2 Ortho-Para-Konversion".
- [7] D. W. T. Rippin, ETH-Zürich: "Experimental Investigation of Multimetallic Catalysts for Hydrogen-Storage Reactions including Membrane Reactors to reduce Equilibrium Restrictions".
- [8] E. Newson, PSI-Villigen: "Messung von Wärmeübergangskoeffizienten in Reaktor-Rohren mit und ohne Rippen".
- [9] G. C. Sioli, METKON, Mendrisio: "Wasserstoff Solarmobil".
- [10] U. Etzensperger et al., HTL-Burgdorf: "Wasserstoff-Saisonspeicher in einer KVA".
- [11] Th. H. Schucan, PSI-Villigen: "Beteiligung der Schweiz am 'Euro-Québec-Hydro-Hydrogen Pilot Project".
- [12] J. Jäger, LARAG, Wil: "Weiterentwicklung des Wasserstoff-Motors für das MTH-System".

ELEKTRIZITÄT

Ueberblicksbericht zum Forschungsprogramm 1990

Programmleiter: Roland Brüniger





Energieverluste zweier Bürogeräte:

Oben ein Telefax, der im Stand-by-Betrieb permanent ca. 18 W elektrische Leistung bezieht. Unten ein Kopiergerät im ausgeschaltetem Zustand (Netzschalter aus), das immer noch fast 50 W Leistung bezieht.

1. Umfang des Forschungskonzepts "Elektrizität"

Das Forschungsprogramm wurde zu Beginn des Jahres 1990 gestartet. Es beinhaltet ein weites Spektrum und umfasst, soweit nicht bereits von anderen Programmen abgedeckt, im wesentlichen die Teilgebiete Erzeugung, Speicherung, Uebertragung, Verteilung und rationelle Nutzung von elektrischer Energie. Ebenfalls sind Elektrizitäts-Projekte mit interdisziplinärem und programmübergreifendem Charakter (Hybridsysteme) einbezogen.

Das Gebiet Erzeugung soll in massvollem und allenfalls flankierendem Sinne die erneuerbare Wasserkraftnutzung und die erschöpfliche Elektrizitätsproduktion durch "Wärme-Kraft-Kopplungen" unterstützen. Falls eine detailliertere, noch in Auftrag zu gebende Expertise über das Thema "Thermoelektrische und Thermoionische Elektrizitätserzeugung" zu erfolgsversprechenden Aussagen für schweizerische Verhältnisse kommt, würde dieses Forschungsthema intensiver vorangetrieben.

Die Elektrizitätsspeicherung umfasst im vorliegenden Forschungskonzept hauptsächlich die mechanische und elektromagnetische Speichertechnologie. Zur mechanischen Speicherung gehören im wesentlichen die Schwungrad-, die Druckluft- und die Wasserspeichertechnologie. Zusätzlich werden allenfalls auch die zur Zeit technischen Möglichkeiten der Supraleiter- und Batteriespeichertechnologie im Sinne einer konkreten Anwendung als Spitzeplastspeicher überprüft.

Die diversen **Uebertragungs- und Verteilsystem-Komponenten** stellen die jederzeitige Verfügbarkeit der benötigten elektrischen Energie beim Verbraucher sicher. Die Forschungsanstrengungen sollen dazu beitragen, dass eine hohe Netzverfügbarkeit, gekoppelt mit einer maximalen Netzqualität sowie eine Minimierung der Uebertragungsverluste erreicht wird.

Durch eine rationelle Elektrizitätsnutzung kann nach ziemlich übereinstimmenden Aussagen ein noch hohes Einsparpotential ausgeschöpft werden. In differenzierter Art und Weise werden in Abstimmung mit andersweitigen Forschungsanstrengungen die Schwerpunkte im vorliegenden Konzept auf die Optimierung der elektrischen Motoren und auf die Minimierung des *Stand-by-*Betriebes diverser Büro- und EDV-Geräten gelegt. Zudem soll verstärkt die Erforschung von einfachen Verbrauchsmessmethoden mittels mathematisch-analytischen Methoden geförden werden.

Im Rahmen von Spezialprojekten werden gebietsübergreifende Forschungsprojekte oder Projekte mit starkem Umweltbezug bearbeitet. In der Zukunft steht eine Mitfinanzierung des Forschungsprogrammes "LESIT" im Vordergrund. "LESIT" stellt ein grosses, anwendungsübergreifendes Projekt im Rahmen der Halbleitertechnologie-Forschung dar, welches im Jahr 1992 gestartet werden soll.

Der Umsetzung neuer Forschungserkenntnisse wird generell grosses Gewicht beigemessen. Es wird angestrebt, bereits bei der Formulierung eines Projektes dessen Umsetzung vorzubereiten. In diesem Sinne sei auch auf das angelaufene Impuls-Programm "RAVEL" (Rationelle Verwendung von Elektrizität) des Bundesamtes für Konjunkturfragen hingewiesen, welches als Grundanliegen die Umsetzung und Schulung von neuen Erkenntnissen auf dem Gebiete der rationellen Elektrizitätsnutzung anstrebt. Da es sich dabei in gewissem Sinne um ein komplementäres Programm zum vorliegenden Forschungskonzept handelt, ist geplant, dessen Aktivitäten soweit sinnvoll miteinzubeziehen.

Das Programm wurde schliesslich mit verschiedenen, bereits laufenden Forschungsprogrammen des BEW, mit den Projekten der BEW-Sektion "Rationelle Energienutzung" sowie mit diversen Hochschul- und Industrie-Forschungstätigkeiten abgestimmt.

2. Anvisierte Zielpunkte für 1990

Da es sich um ein neu zu etablierendes Forschungsprogramm handelt, lag das Hauptziel in der vertieften und umfassenden Ausarbeitung des eigentlichen Forschungskonzepts. Das Ergebnis dieser Arbeiten ist in der vorangegangenen Beschreibung zusammengefasst.

Im August dieses Jahres wurde das erarbeitete Forschungskonzept der Eidgenössischen Energieforschungskommission vorgestellt und vom BEW genehmigt. Anschliessend bestanden die wesentlichen Bestrebungen im Starten der vorgesehenen Forschungsprojekte.

3. Durchgeführte Arbeiten und erreichte Ergebnisse 1990

Pro Teilgebiet wurden in einem ersten Schritt mit einer "Top down" -Vorgehensweise vorhandene Erkenntnislücken systematisch erhoben und ausgearbeitet. Deshalb bestehen im vorliegenden Konzept die anfänglich durchzuführenden Projekte zu einem wesentlichen Teil aus Studien und Expertisen. Die daraus erwarteten Ergebnisse sollen als Grundlage für das zukünftige Forschungsprogramm "Elektrizität" mit öffentlicher Förderung dienen.

"Erzeugung"

Sowohl mittels der Thermoelektrik als auch der Thermoionik ist es möglich, thermische Energie direkt in elektrische Energie umzuwandeln. Der thermoelektrische Effekt ist zudem umkehrbar. Sowohl thermoelektrische wie auch thermoionische Energiekonverter wurden im Ausland (z. B. USA, UDSSR) in der Vergangenheit im wesentlichen für Militär- und Raumfahrt-Anwendungen entwickelt. Der Schwerpunkt aller bisherigen industriellen Realisierungen lag eindeutig in der Entwicklung von Peltier-Kühlelementen (Ausnutzung des reversiblen thermoelektrischen Effekts).

Eine in Auftrag gegebene Literaturrecherche über das Gebiet der Thermoelektrik und der Thermoionik [1] hat ergeben, dass es in den letzten Jahren auf diesen Gebieten weder in der Forschung noch im industriellen Bereich erkennbare Aktivitäten in der Schweiz gab. Es wird Aufgabe einer geplanten Folgestudie sein, ob sich in diesem Gebiet mögliche und attraktive Forschungsgebiete für die Schweiz ergeben könnten.

Es ist in diesem Zusammenhang immerhin interessant festzustellen, dass nach einer längeren internationalen Stagnation in diesem Jahr ein BRITE / EURAM-Projekt mit dem Ziel gestartet wurde, ein thermoionisches Hybrid-Modul zur Erzeugung von 2 kW elektrischer Leistung und 18 kW Wärme zu entwickeln. Sollte es gelingen, durch neue Technologien und Materialien in den theoretischen Wirkungsgrad (35 - 40 %) vorzustossen, so könnten sich dem Thermoionik-Generator interessante Perspektiven ergeben.

"Speicherung"

Im Teilgebiet "Speicherung" konzentrierten sich die Aktivitäten auf Untersuchungen der diversen Speichermöglichkeiten für nichthydraulische Spitzenlastkraftwerke.

Die Umlagerung von elektrischer Energie innerhalb einer kurzen Zeitperiode (Tag / Nacht-Umlagerung) durch eigens dazu vorgesehene Spitzenlastkraftwerke könnte auch in der Schweiz trotz den vorbandenen hydraulischen Pumpspeicherkraftwerken eine förderungswürdige Technik darstellen. Die Spitzenlastkraftwerke sind dabei an einem Verbrauchsort mit hohen Leistungsspitzen zu installieren. Damit kann ein Glätten der zeitlichen Auslastung der dorthin führenden Uebertragungseinrichtungen (Transformatoren, Leitungen, Kabel) erreicht werden, womit diese generell nicht auf einen Spitzenwert, sondern auf den Durchschnittswert dimensioniert werden könnten. Insbesondere könnte in überlasteten Versorgungsstrecken eine Verstärkung oder Ersetzung der Uebertragungseinrichtungen vermieden werden. Zudem würde allenfalls ein nicht zu unterschätzender Beitrag zur lokalen Versorgungssicherheit geleistet. Schliesslich dürften diverse Tarifstrukturen (Leistungstarifierung) dezentrale Spitzenkraftwerke vermehrt auch unter dem Aspekt der Wirtschaftlichkeit begünstigen.

Im Rahmen einer konkreten diesbezüglichen Problemstellung im Kanton Graubünden wird versucht, durch eine Projektvorstudie den Einsatz eines Batterien-Spitzenlastkraftwerkes mit den entsprechenden Rahmenbedingungen genauer zu untersuchen. Erste Vorgespräche haben bereits stattgefunden und geben Anlass zur Ermutigung. Eine Koordination mit der Programmleitung des BEW-Forschungsprogramms "Elektrochemie" ist ebenfalls sichergestellt.

Daneben ist das PSI zur Zeit mit der Vorbereitung eines Projektes beschäftigt, welches die Supraleitungstechnologie als mögliche Speichertechnologie für die Spitzenlastversorgung, speziell im Zusammenhang mit der SBB.

"Uebertragung / Verteilung"

Unter finanzieller Beteiligung von mehreren Elektrizitätswerken wurde Ende Jahr ein voraussichtlich drei Jahre dauerndes Projekt mit dem Titel "Führung des Verteilnetzes und Lastbestimmungsmodell" gestartet.

Das Verteilnetz ist je nach Spannungsebene mehrheitlich ringförmig aufgebaut. Die Topologie für den Betrieb weist aus Gründen der Sicherheit eine radiale, bzw. sternförmige Struktur auf. Die grosse Anzahl von Stationen lässt aufgrund der immensen zu verarbeitenden Daten sowie aus wirtschaftlichen Gründen keinen sinnvollen Einsatz eines Fernwirksystems zu. Aus diesem Grunde besteht heute im Verteilnetz meistens nur eine einseitige Kommunikation zur Steuerung der Lasten, seien dies nun grosse Einzellasten oder ganze Verbrauchergruppen. Auf der Verteilebene besteht darum im Gegensatz zum Uebertragungsnetz lediglich eine Laststeuerung und keine Last- bzw. Netzführung.

Aehnlich wie beim Uebertragungsnetz würde sich durch die Bereitstellung der momentanen und erwarteten Betriebszustände im Verteilnetz eine Vielzahl von Möglichkeiten zur Verbesserung der Netzführung ergeben. Unter den erwarteten Verbesserungen ist im speziellen zu erwähnen:

- Vermeidung von Betriebsmittelüberlastungen durch gezielte Schaltmassnahmen
- Verbesserung der Qualität der elektrischen Energie
- Effiziente Bewirtschaftung der Speicherenergie
- Erhöhung der Zuverlässigkeit der Energieversorgung auf der Verteilebene
- Verlustverminderung im Verteilnetz

Als zentrales Ziel des vorliegenden Forschungsprojektes steht die Ausarbeitung von statistischen Hochrechnungsverfahren zur Bestimmung der Lasten (Blind- und Wirkleistung der jeweiligen Ortstransformatoren) und damit zur Berechnung der Netzzustände im Verteilnetz.

Bei der Bereitstellung der Lastestimationsverfahren wird speziell auf die spezifischen schweizerischen Verhältnisse Rücksicht genommen. Die entwickelten Methoden sollen jedoch allgemein gültigen Charakter aufweisen. Die Modellierung wird deshalb so aufgebaut, dass sie ohne grossen Zusatzaufwand an die jeweils vorhenschenden Verteilnetz-Verhältnisse eines EWs angepasst werden können.

"Verwendung / rationelle Nutzung"

Die Forschungsaktivitäten sind nach den Einsatzgebieten kategorisiert und nachfolgend entsprechend beschrieben:

a) Beleuchtung

Seit einiger Zeit sind vollelektronische Vorschaltgeräte (EVG) für Fluoreszenzlampen auf dem Markt. Sie werden vermehrt als Alternativen zu den herkömmlichen Geräten vorgeschlagen und angeboten sowie der Energieeinsparung wegen auch in verstärktem Masse von Bauherren gefordert.

Zum heutigen Zeitpunkt ist auf einer breiten Basis bekannt, dass deren Einsatz Probleme verursachen kann. Einige der schwerwiegensten Probleme sind :

- Es können Schwierigkeiten mit Personensuchanlagen auftreten.
- Ebenso können IR-Uebertragungsanlagen (z. B. Fernbedienung von TV- und Audio-Geräten, Sprachübertragungs- und Dolmetscheranlagen) massiv gestört werden.
- Es gibt Geräte auf dem Markt, bei welchen ein Ableitstrom gegen Erde auftritt, womit beim Ein- und Ausschalten FI-Schalter ausgelöst werden können.
- EVG sind gegenüber gelegentlichen Ueberspannungen viel empfindlicher als die konventionellen Geräte.
- Der Oberwellengehalt eines EVGs ist bedeutend höher als bei konventionellen Geräten.

Ziel eines entsprechenden Projektes [2] ist einerseits die vorhandenen Erkenntnislücken bezüglich den auftauchenden Problemen zu schliessen und das Wissen in einer Informationsschrift entsprechend aufzubereiten. Andererseits werden im Sinne einer *Checkliste* eine effiziente Arbeitshilfe für den Planer erstellt sowie mögliche Lösungswege aufgezeigt. Damit soll vermieden werden, dass der Einsatz von EVGs, der zu Energieeinsparungen gegenüber verlustarmen konventionellen Vorschaltgeräten von 11 - 20 % führt, längerfristig in Frage gestellt wird. Der Schlussbericht sollte im Frühling 1991 vorliegen.

b) Kraft / elektrische Motoren

Der diesbezügliche geschätzte Verbrauchsanteil beträgt ca. 33 % des gesamten Elektrizitätsverbrauchs. Dieser dürfte sich aber im Zuge weiterer Automatisierungen und zusätzlicher Anwendungen (z. B. Elektrofahrzeug) tendenziell eher erhöhen. So wird in den USA über 50 % des gesamten Elektrizitätsverbrauchs durch elektrische Motoren konsumiert. Das geschätzte Einsparpotential ist durch ein Fehlen von Grunddaten zur Zeit nur schwer abschätzbar. Es wird aber allgemein ein hohes Potential vermutet. Elektrische Kraft bzw. mechanische Arbeit wird fast ausschliesslich von Elektromotoren geleistet.

Die möglichen Optimierungsansätze lassen sich im wesentlichen in folgende Kategorien unterteilen:

- Analyse und Optimierung des Gesamtwirkungsgrades verschiedener Industrieprozesse, bei denen die Kraft einen wesentlichen Faktor bildet.
- Optimierung der Motorensteuerung durch Leistungshalbleiter und elektronische Regel- und Steuerkreise (inkl. Rekuperierung).
- Verbesserung der mechanischen Kraftübertragungselemente (Getriebe, Riemen, etc.).
- Motorenwirkungsgrad-Verbesserung durch Entwicklung und Einsatz.
- Bessere Planung, Auslegung und Unterhalt der eingesetzten Maschinen (z. B. Vermeidung eines Motorenbetriebs im schlechten Teilwirkungsgrad).

Die ersten vier Kategorien können grundsätzlich in den Bereich Forschung eingeordnet werden. Bezüglich Motorenwirkungsgrad-Verbesserung wird generell die Meinung vertreten, dass die Industrie bereits in genügendem Masse entsprechende Forschung betreibt.

Mehrere diesbezüglich komplementäre Untersuchungsprojekte werden durch das RAVEL-Programm im Jahre 1991 durchgeführt. Da diese Projekte sehr "umsetzungsnahe" sind, ist in einer ersten Phase des vorliegenden Forschungskonzeptes beabsichtigt, durch eine Ergänzung einzelner diesbezüglicher RAVEL-Projekte eine Potentialbestimmung zur Festlegung entsprechender Forschungsschwerpunkte durchzuführen.

c) Bitrogeräte / Unterhaltungselektronikgeräte

Viele Bürogeräte und EDV-Einrichtungen (Kopierer, Telefaxer, PC, Laser-Drucker, etc.) sowie Unterhaltungselektronikgeräte (TV, Video-Recorder, Radio, etc.) besitzen Stand-by-Schaltungen und / oder sind den ganzen Tag eingeschaltet, um jederzeit zum unmittelbaren Gebrauch verfügbar zu sein. Zudem beziehen gewisse Gerätekategorien im ausgeschalteten Zustand ebenfalls Energie.

Zum heutigen Zeitpunkt existieren wenig gesicherte Daten und Informationen über die in der Schweiz dadurch entstehenden Energieverluste, über quantifizierte Angaben von diesbezüglichen vermeidbaren, verminderbaren oder unvermeidbaren Elektrizitätsverlusten.

Das Ziel des für das Jahr 1991 geplante Projekts soll einerseits eine klassifizierte Bestandesaufnahme des in der Schweiz vorhandenen, diesbezüglichen Geräteparkes inkl. geschätzten Energieverlusten sein. Andererseits sollen umfangreiche Marktabklärungen sowie technische Untersuchungen Aussagen über die technischen und bedienungstechnisch akzeptablen Möglichkeiten einer Verlustvermeidung und / oder Verlustverminderung machen. Schliesslich sind notwendige Forschungs- und Umsetzungsschwerpunkte auszuarbeiten.

d) Verbrauchserfassung

Die Elektrizitätsnutzung ist charakterisiert durch eine ausserordentliche heterogene Anwendungsstruktur. Durch die Erforschung neuer und einfacher Elektrizitätsmessmethoden soll die Grundlage geschaffen werden, mit vertretbarem Aufwand (zeitlich und finanziell) die Verbrauchsstrukturen rasch und zuverlässig zu bestimmen. Obwohl eine Differenzierung in unterschiedliche Kategorien (Wohnungen, Einfamilienhäuser, Dienstleistungsbetriebe, Industriebetriebe, etc.) verschiedene Methoden benötigen, liegt stets die gleiche Idee zugrunde. Verbrauchsmessungen über eine gewisse Periode an Hauseinführungen oder Verteiler sollen mittels verschiedenen mathematischanalytischen Methoden Aufschluss über folgende Aspekte geben:

- Einfache und transparente Bestimmung des Verbrauchs wichtiger Verbraucherkategorien. Diese soll Auskunft geben, inwiefem das ausgemessene Gebäude als energetisch optimiert betrachtet werden kann.
- Bestimmung des energetischen Verhalten der Benutzer von elektrischen Verbrauchern. Mittels geeigneten Feedback-Methoden sind allfällige Einsparpotentiale den Benutzern vor Augen zu führen. Damit soll eine Sensibilisierung der Benutzer erreicht werden.
- Durch Vergleich mit "Normverbrauchskennlinien" soll es mit vertretbarem Aufwand möglich sein, technische Schwachstellen zu detektieren, ohne alle einzelnen Energiebezüger einzeln ausmessen zu müssen.

Neben der Erforschung geeigneter Messmethoden ist auch zu analysieren, inwiefern die Messresultate dem Verbraucher "zugeführt" werden sollen, um eine Sensibilisierung der Benutzer und damit eine sparsamere Nutzung der elektrischen Energie zur Folge zu haben.

In einer bereits abgeschlossenen Studie [3] wurden die diesbezüglichen diversen, verfügbaren und in Entwicklung stehenden Mess- und Analysemethoden (national und international) aufgenommen und zusammengestellt. Die Studie soll damit eine "Plattform" bilden, von der aus aussichtsreiche Forschungsprojekte gezielt gefördert, aber auch neue Ideen entwickelt werden sollen.

Das Ziel eines laufenden Projektes [4] besteht darin, eine hardwareseitige Grundlage zur schnellen und kostengünstigen Analyse des Elektrizitätsverbrauchs von grösseren Anlagen und Gebäudekomplexen mittels Computer zu untersuchen und entsprechende Gerätekonfigurationen aufzubauen und auszutesten. Zusätzlich werden diverse Analysemethoden auf ihre praktische Einsetzbarkeit untersucht.

Mit der entwickelten Messeinrichtung können bis zu 20 dreiphasige Wirk- und Scheinleistungen gleichzeitig erfasst und mittels PC gespeichert werden. Eine Ueberprüfung der Messgenauigkeit ergab zufriedenstellende Resultate.

Es wurden grundsätzlich zwei Methoden der Verbrauchsanalyse untersucht :

- Matrixmethode: Mittels Kategorisierung der Verbraucher kann eine zeitabhängige Matrixbeziehung zwischen den bezogenen Leistungen einzelner Verbrauchskategorien und den Leistungen der Hauptabgänge hergestellt werden.
- Methode des typischen Tagesganges: Diese Methode baut auf typischen Tagesverläufen diverser Verbrauchertypen auf und versucht, aufgrund bekannter Verläufe die gemessenen Leistungen den einzelnen Verbraucherkategorien zuzuordnen.

Bei der Matrixmethode haben die Untersuchungen ergeben, dass es sich grundsätzlich nicht als allgemeingültiges uns einfaches Verfahren eignet. Die Untersuchungen bezüglich der Methode des typischen Tagesganges haben zu ermutigenden Resultaten bei einzelnen gemessenen Objekten geführt. Eine Ueberprüfung der Genauigkeit steht aber noch aus.

4. Internationale Zusammenarbeit

Das Etablieren von internationalen Kontakten ist noch im Aufbau begriffen. Vorerst ist vorgesehen, im Rahmen von einzelnen Projekten eine Koordination und allenfalls eine Zusammenarbeit mit entsprechenden internationalen Forschungsinstituten vorzunehmen.

Zudem ist zu erwähnen, dass nächstes Jahr im Rahmen der IEA ein einwöchiger Workshop über das Thema "Demand Side Management" zur Koordination der diesbezüglichen weltweiten Aktivitäten durchgeführt wird. Es ist dabei vorgesehen, dass neben dem BEW auch diverse schweizerische Forschungsinstitute und interessierte Industrievertreter teilnehmen werden.

5. Geplante Forschungsarbeiten 1991

Vorgesehene Thematiken / Schwerpunkte:

Da mit der eigentlichen Konzeptumsetzung, resp. mit dem Starten der diversen Projekte erst gegen Herbst 1990 begonnen werden konnte, ist dieser Prozess noch nicht abgeschlossen. In diesem Sinne werden die bereits angelaufenen Projekte einerseits betreut sowie die noch nicht gestarteten Projekte begonnen.

Um die Ergebnisse der Studie "Elektrizitätsverbrauchsmessmethoden" dem interessierten Publikum bekannt zu machen sowie um entsprechende Bedürfnisschwerpunkte zu erarbeiten, ist im Frühling 1991 ein diesbezüglicher Workshop geplant.

Neben der Lancierung der diversen Projekte ist beabsichtigt, das Gebiet der "Home Automation" zu bearbeiten. Unter "Home Automation" wird im wesentlichen die Automatisierung von Wohnhäusern mit Regel- und Steuerungssystem, ähnlich den Gebäudeleitsystemen in grossen Verwaltungs- und Industriegebäuden verstanden. Da zur Zeit aber noch zuwenig Informationen über ein mögliches Einsparpotential durch ein "Energie-Management" vorliegt und zudem die Industrie bereits recht weit mit der Entwicklung entsprechender Systeme (Regel- und Steuergeräte, Power Line Signaling, etc.) zu sein scheint, wird ein erster Schritt im Rahmen einer Erhebung des möglichen Einsparpotentials erfolgen. Zudem ist eine enge Zusammenarbeit mit dem Forschungsprogramm "Rationelle Energienutzung in Gebäuden" notwendig.

Daneben wird ein weiterer Schwerpunkt in der Koordination des Impulsprogrammes "RAVEL" des Bundesamtes für Konjunkturfragen mit den Forschungstätigkeiten des BEW liegen.

Schliesslich werden die internationalen Aktivitäten auf dem Forschungsgebiet "Einfluss von Hoch- und Niederspannungsleitungen (elektrische und magnetische Felder) auf den menschlichen Körper" beobachtet und verfolgt. Es sind aber zur Zeit keine entsprechenden Forschungsprojekte vorgesehen.

Vorgesehene neue Projekte

Im Anschluss an die Literaturstudie über das Gebiet der Thermoelektrik und Thermoionik soll ein vertiefendes Untersuchungsprojekt allfällige mögliche Anwendungen und diesbezügliche Forschungsrichtungen für die Schweiz aufzeigen und definieren.

Ebenfalls ist vorgesehen, Probleme bezüglich dem weiteren Einsatz von Kleinwasserkraftwerken zu bearbeiten.

Eine durch eine Kabelfabrik durchgeführte Studie hat ergeben, dass sich unter gewissen Bedingungen eine Wärmerückgewinnung von zwangsgekühlten Hochspannungskabel konzeptionell, technisch und wirtschaftlich lohnen würde. Bevor nun eine Pilotanlage aufgebaut werden soll, ist in einer Vorstudie aufgrund der verfügbaren, zwangsgekühlten Kabel und unter Berücksichtigung der Studienergebnisse das energetische Potential zu bestimmen. Dieses Projekt wird bei einer Realisierung in enger Zusammenarbeit mit dem Programmleiter des Forschungsprogrammes (Umgebungs- und Abwärmenutzung, Wärme-Kraft-Kopplung bearbeitet.

Für die Erzeugung, Speicherung, Verteilung, Umwandlung und je länger je mehr auch zur rationellen Nutzung der elektrischen Energie stellt die Leistungselektronik eine bereits erfolgreich eingesetzte Technologiebasis dar. Heuristische Untersuchungen und Hochrechnungen haben aufgezeigt, dass die elektrische Energie von der Produktionsstätte bis und mit Verbraucher im Schnitt etwa durch 1000 Schalter (elektrische wie mechanische) läuft. Aus diversen Gründen werden diese Schalter vermehrt nicht mehr auf mechanischer, sondern elektrischer Technologie basieren.

LESIT umfasst im Rahmen der Leistungselektronik die Forschung auf den dazu benötigten Materialwissenschaften, des Entwurfs, der Herstellung und des Tests von neuen Halbleiterbauelementen sowie der Anwendung für Leistungselektronik. Im Rahmen des BEW-Forschungsprogrammes stehen drei "Forschungsmodule" mit folgenden Zielen im Vordergrund:

- Modul 1 : Technologie der Silizium-Leistungshalbleiter
- Modul 2 : Leistungselektronische Schaltungen
- Modul 3: Leistungselektronische Systeme

Es ist ein wesentliches Ziel von LESIT, zu einer bedeutenden Erhöhung des Wirkungsgrades beizutragen, da die heutigen Systeme noch viele Ansatzpunkte anbieten. Ebenfalls sollen neue Bauelemente mit besseren Eigenschaften und integrierter "Intelligenz" entwickelt werden.

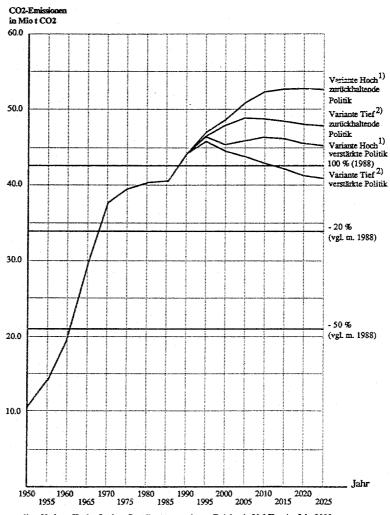
6. Liste der Projekte

- [1] Ph. Girard, F. K. von Willsen, CENTREDOC, Neuchâtel: "Literaturrecherche und -Analyse über das Gebiet der Thermoelektrik".
- [2] H. J. Leibundgut, A. Vogt, Amstein + Walthert, Zürich: "Untersuchung elektronischer Vorschaltgeräte (EVG) im Hinblick auf deren energieeinsparenden Einsatz bei Fluoreszenzlampen". (JB)
- [3] R. Minder, A. Huser, EWI, Zürich: "Elektrizitätsverbrauchsmessmethoden". (SB)
- [4] Hp. Eicher, DR. EICHER + PAULI, Liestal: "Elektrizitätsvrbrauchsanalyse in komplexen Gebäuden". (JB)
- (JB) Jahresbericht 1990 vorhanden
 (SB) Schlussbericht vorhanden

SOZIOÖKONOMIE

Ueberblicksbericht zum Forschungsprogramm 1990

Programmleiter: Walter Baumgartner



- Variante Hoch: Stärkere Bevölkerungszunahme; Erdölpreis 30 \$/Fass im Jahr 2000
 Variante Tief: Schwächere Bevölkerungszunahme; Erdölpreis 60 \$/Fass im Jahre 2005

1. Überblick

Im Vordergrund der Aktivitäten der sozioökonomischen Energieforschung stand die Konsolidierung des im Jahr 1989 begonnnen Programmes. Nach den Vorarbeiten dieses Jahres konnten im Berichtsjahr rund 20 Studienaufträge erteilt werden. Etwa die Hälfte dieser Studien ergab sich aus aktuellen Untersuchungsbedürfnissen im Zusammenhang mit der schweizerischen CO_2 -Politik.

Im übrigen konnte im Herbst 1990 der geplante Wechsel in der Programmleitung vollzogen werden. Mit der damit verbundenen Ausweitung der Arbeitskapazität in der Programmleitung sind jetzt die Vorausetzungen gegeben, jene Verstetigung der Anstrengungen in der sozioökonomischen Energieforschung zu erreichen, die als das zentrale Anliegen des Forschungsprogrammes formuliert wurde, d. h. neben der aktualitätsbezogenen, meist unter starkem Termindruck stehenden Forschung vermehrt auch in systematischer Weise Forschungslücken zu schliessen.

2. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse 1990

"CO2-Perspektiven"

Besondere Aktualität haben 1990 Untersuchungen über Möglichkeiten und Auswirkungen verschiedener energiepolitischer Strategien zur Stabilisierung oder Reduktion der energiegedingten CO₂-Emissionen gewonnen. Für die vom Bundesrat im November 1989 eingesetzte interdepartementale Arbeitsgruppe "Klima" sind 1991 die entsprechenden Grundlagen bereitzustellen. Diese sollen in Form von verschiedenen Szenarien (Zeithorizont für Modellrechnungen 2025, Ausblick bis 2050) erarbeitet werden. Ziel der Arbeiten ist es, in einem ersten Schritt aufzuzeigen, mit welchen Massnahmen eine Stabilisierung der CO₂-Emissionen bis etwa zur Jahrhundertwende erreicht werden kann, in einem zweiten Schritt, welche zusätzlichen Massnahmen nötig wären, um eine Reduktion von 20 bzw. 60 Prozent gegenüber dem heutigen Ausstoss zu erreichen. Im September 1990 wurde im Hinblick auf die zweite Weltklimakonferenz ein Zwischenbericht vorgelegt. Bis Ende 1990 wurden acht Studienaufträge vergeben.

Es folgt ein knapper Ueberblick über die wichtigsten dieser Arbeiten. Bereits abgeschlossen ist die Erarbeitung neuer sozioökonomischer Rahmendaten für die Szenariorechnungen [1]. Eine grössere Lebenserwartung sowie tendenziell stärkere Wanderungsgewinne lassen die Schweizer Bevölkerung stärker wachsen als in früheren Perspektiven (etwa im Vergleich zu den Bevölkerungsperspektiven der Expertengruppe Energieszenarien, EGES). Grössere Prognoseunsicherheiten ergeben sich auch aus den zur Zeit nur schwer absehbaren wirtschaftlichen Folgen einer stärkeren Integration der Schweiz in die EG und der Oelmarktentwicklung.

Von 1950 bis 1989 haben in der Schweiz allein die direkten, energiebedingten CO₂-Emissionen aus der Verbrennung von Oel, Kohle und Gas um rund einen Faktor 4 zugenommen. Auf der Basis der Untersuchungen der EGES wurden anhand neuer Energieperspektiven die Möglichkeiten einer Stabilisierung des Kohlendioxidausstosses auf heutigem Niveau aufgezeigt [2]. Es zeigt sich, dass mit den Instrumenten Energienutzungsbeschluss und Energieartikel eine Stabilisierung der Emissionen auf höherem Niveau bis etwa ins Jahr 2000 möglich ist, eine Stabilisierung auf heutigem Niveau aber deutlich stärkere staatliche Eingriffe bedingen würde. Die Szenarien zeigen, dass vor allem der Verkehrsbereich mit weiterhin grossen Zuwachsraten die CO₂-Erfolge in den übrigen Bereichen überkompensiert. Sie zeigen auch, dass die seinerzeitigen Annahmen der EGES in den eigentlichen "Sparszenarien" über die Fortschritte im Heizungsbereich mindestens im Kanton Zürich von der Wirklichkeit bereits unterboten werden [3].

Eine weitere Studie beschäftigt sich mit CO₂-Minderungsstrategien im Vekehr [4]. Es sollen in sich stimmige Massnahmenpakete definiert, diese auf ihre CO₂-mässigen Wirkungen untersucht und die mutmasslichen Kosten ermittelt werden. Basis hierzu bildet die Festlegung einer mit den volkswirtschaftlichen Rahmendaten kompatiblen Verkehrsentwicklung.

Spezielles Gewicht sollen die monetären Aspekte von CO₂-Minderungsstrategien erhalten. So werden die Energiesparkosten im Wärmebereich in einer separaten Studie für verschiedene Gebäudetypen ermittelt [5]. Auf der Basis eines Gebäudepark-Modells sollen diese dann auf die Schweiz hochgerechnet werden [6]. Auch im Verkehr werden — wie bereits erwähnt — die Kosten verschiedener Strategien abgeschätzt. In der Industrie wird in aktualisierter Form auf die Erkenntnisse der EGES zurückgegriffen. Indem spar- und angebotsbezogene Kosten verschiedener Nachfrage- und Angebotssektoren einander gegenübergestellt werden, lassen sich Ueberlegungen zu einem optimalen Mitteleinsatz mit Blick auf eine möglichst effiziente CO₂-Minderungsstrategie anstellen. Auf dieser Basis sind dann auch die volkswirtschaftlichen Wirkungen solcher Strategien abzuschätzen [7].

Alle diese Arbeiten sollen im Laufe des nächsten Jahres abgeschlossen werden.

"Datenbeschaffung"

Im Rahmen der sozioökonomischen Energieforschung geht es bei der Datenbeschaffung primär um die Methodikentwicklung, die Erarbeitung von Erhebungskonzepten, die Begleitung der Einführungsphase bei neuen Erhebungen sowie um die Bereitstellung der für die Ressortforschung erforderlichen Daten (punktuelle Datenbeschaffung). Nicht Gegenstand ist die routinemässige Erhebung von Daten. Entsprechend dieser Zielsetzung wird eine Studie über den Elektrizitätsverbrauch im Dienstleistungssektor der Stadt Zürich durchgeführt [8]. Im Sinne eines "Bottom-up-Ansatzes" wird der Elektrizitätsverbrauch ausgehend von der Verbrauchsentwicklung der Jahre 1976 bis 1985 analysiert. Priorität wurde dabei der Analyse der Stromverbrauchsentwicklung bei identifizierten Bezügern gegeben. Dabei geht es weniger um die vollständige "Erklärung" dieser Entwicklung als vielmehr um die Festellung der wesentlichen Bestimmungsfaktoren für "typische" Objekte. Bis heute wurden die Sektoren "Schulen" und "Banken" behandelt, weitere Sektoren sind in Bearbeitung. Die Untersuchung wird vom Verband Schweizerischer Elektrizitätswerke und vom Elektrizitätswerk der Stadt Zürich mitgetragen. Sie soll im Jahre 1991 abgeschlossen werden.

Ein weiterer Auftrag betrifft die Aufdatierung der wichtigsten Inputdaten für Energiemodelle zur Evaluation energiepolitischer Massnahmen [9].

"Energiemodelle"

Für die Erarbeitung von Energieperspektiven werden vom BEW sowohl ökono- metrische als auch *Bottom-up*-Ansätze verwendet. Während ökonometrische Ansätze vor allem auf die Fortschreibung von Trendentwicklungen und die Untersuchung energiepreisbezogener Massnahmen zielen, können mit *Bottom-up*-Ansätzen die Wirkungen technischer Massnahmen abgeschätzt werden.

In beiden Fällen ist eine fortlaufende Aktualisierung der Modelle nötig (neue Inputdaten, Ueberarbeitung von modellmässigen Zusammenhängen). Im Hinblick auf die direkte Anwendung der Modelle durch die Verwaltung müssen diese Modelle z. T. auch bezüglich ihrer Benutzerfreundlichkeit überarbeitet werden. Ein Auftrag betrifft die Aktualisierung und Ueberarbeitung der ökonometrischen Modelle, ein anderer die Entwicklung einer benutzerfreundlichen Version des technisch-ökonomischen Bottom-up-Energiemodells der Uni-Genève [10, 11].

"Evaluation von Massnahmen"

Einen wichtigen Stellenwert in der sozioökonomischen Energieforschung nehmen Untersuchungen zur konkreten Ausgestaltung von Einzelmassnahmen ein. So wurden zwei Studien zur Untersuchung von technischen, organisatorischen und vollzugsorientierten Fragen im Zusammenhang mit einer möglichen Limitierung des spezifischen Treibstoffverbrauchs von Personenwagen in Auftrag gegeben [12, 13]. Dabei geht es u. a. darum, als Basis für die Definition von möglichen Grenzwerten die technischen Kriterien für die Bildung von geeigneten Fahrzeuggruppen auszuarbeiten. Zu untersuchen sind neben den technischen, d. h. die Beschleunigung, die Höchstgeschwindigkeit, den Laderaum, etc. betreffenden Auswirkungen auch jene Auswirkungen, die das Fahrzeugangebot als Ganzes (Typen, Produktion, Preise), den Nachfrager (Kaufverhalten, Fahrzeuggebrauch, etc.) oder die mehr volkswirtschaftlichen Auswirkungen (Ressourcen, Umwelt, Regionalpolitik, Aussenwirtschaft, etc.) betreffen. Schliesslich gilt es auch vollzugstechnische Belange zu untersuchen.

"Tarife und Anschlussbedingungen"

In den im Sommer 1989 erlassenen Tarifempfehlungen für leitungsgebundene Energien fordert der Bund die Kantone auf, die Tarifgrundsätze der Elektrizitäts-, Gas- und Fernwärmeversorgungsunternehmen zu überprüfen. Während im Bereich Elektrizität entsprechende Untersuchungen bereits vorliegen, ist der Informationsstand bei den Gastarifen noch gering. Deshalb wurden im Rahmen einer in Zusammenarbeit mit der Direktion für Verkehr, Energie und Wasser des Kantons Bern durchgeführten Studie [14] soweit möglich die Grenzkosten für Gas ermittelt und mit den aktuellen Tarifen verglichen. Die Studie beschränkt sich auf die bernischen Gasversorgungsunternehmen.

Bis heute gibt es kaum einheitliche Musterverträge für den Parallelbetrieb elektrischer Eigenerzeuger zum Netz sowie für den Bezug und die Lieferung von Wärme aus dezentralen Wärmekraftkopplungsanlagen (WKK-Anlagen). Auf Bundesebene existiert ein Bericht über Fernwärmeversorgung durch grosse Anlagen. Bei kleineren Anlagen ergeben sich jedoch neue Aspekte, indem zum Beispiel verschiedene rechtliche und organisatorische Betriebsformen möglich sind. Bisher werden für jeden Nahwärmeverbund eigene Vertrags- unterlagen ausgearbeitet. Hier können allgemein anerkannte Musterverträge eine Vereinfachung bringen. Im Rahmen einer im Berichtsjahr in Auftrag gegebenen Studie sollen standardisierte und doch genügend flexible Vertragsmodelle ausgearbeitet werden [15].

"Umsetzung"

In vielen Fällen ist die Umsetzung der sozioökonomischen Forschungsergebnisse durch den Auftragszusammenhang von vornherein sichergestellt, etwa bei den CO₂-Untersuchungen: der "Anwender" der Forschungsresultate ist vor allem das BEW. Damit ist die Umsetzung der Erkenntnisse sichergestellt.

In den übrigen Fällen ist die Umsetzung der Erkenntnisse in der Regel nur als eigenständige Aktivität möglich. So wurden im Rahmen eines Seminars über Energiemodelle im Oktober 1990 die verschiedensten Modellierungsansätze vorgestellt, ihre Anwendungszusammenhänge erläutert und ihre Verwendbarkeit für die Politikberatung kritisch hinterfragt [16]. Ein Tagungsbericht soll in Kürze erscheinen.

Bereits seit 1987 wird in Martigny das Umsetzungs-Projekt "Dialogue énergétique - Energie-Dialog" durchgeführt [17]. Mit gezielten Informationen und der Unterstützung von solidarischem Handeln soll das Energiesparen einer ganzen Stadt gefördert werden. Hierzu werden bei repräsentativen Verbrauchern die Verbrauchsdaten laufend erhoben und analysiert. Sparerfolge oder Misserfolge werden so sichtbar. Resultate, Ratschläge und Empfehlungen werden durch die lokalen Medien und im Rahmen von Informationsveranstaltungen verbreitet. Das Projekt wird im Winter 90/91 auslaufen. Ein Jahr danach soll die Dauerhaftigkeit der vorgeschlagenen Energiesparmassnahmen überprüft werden.

Eine besondere Art von Umsetzung wird auch mit dem Projekt "Energiestadt" angestrebt [18]. Das gemeinsam mit dem World Wildlife Fund (WWF) und der Schweizerischen Energie-Stiftung (SES) finanzierte Projekt soll anhand einer oder mehrerer nach speziellen Kriterien ausgewählten Pioniergemeinden aufzeigen, wie die "Realisierungslücke" überbrückt werden kann zwischen dem, was als technisch und wirtschaftlich machbar gilt und dem, was effektiv getan wird. Dabei geht es sowohl um Massnahmen zur Senkung des Energieverbrauchs als auch um solche zur Steigerung des Anteils an erneuerbaren Energiequellen. Konzeption und Verwirklichung solcher Massnahmen sowie die Lösung der damit verbundenen Organsationsfragen sollen beispielhaft auf andere Gemeinen übertragbar sein. Beurteilungskriterien sind neben der wirtschaftlichen Tragbarkeit, die Umweltbebzw. Umweltentlastung sowie die Signalwirkung für weitere Gemeinden, Hersteller und Konsumenten. Das Projekt ist auf eine Dauer von vier Jahren angelegt. Als erste Pioniergemeinde hat sich die Stadt Schaffhausen zur Verfügung gestellt.

Eine ganz andere Art von Umsetzung bezweckt ein für 1991 geplantes Projekt zur Abklärung des in den Schulen vermittelten Energiewissens [19]. Ausgehend von einer Bestandsaufnahme in der deutschen Schweiz (für die französische Schweiz existiert bereits eine ähnliche Untersuchung) sollen zuhanden der Kantone Empfehlungen für Lehrmittel abgeleitet werden. Das Projekt wird von den Kantonen mitgetragen.

Schliesslich wurde eine Repräsentativ-Befragung zu den "Einstellungen zur Energiepolitik nach dem Volksentscheid vom 23. September 1990" durchgeführt (VOX-Analyse, [20]).

3. Internationale Zusammenarbeit

Die meisten sozioökonomischen Arbeiten im Energiebereich spielen sich zwangsläufig in einem internationalen Kontext ab. So werden beispielsweise die CO₂-Arbeiten vor dem Hintergrund der entsprechenden Arbeiten der Internationalen Energieagentur durchgeführt. In zwei Fällen werden auch die gleichen Studiennehmer berücksichtigt wie bei den Arbeiten der Enquête-Kommission "Vorsorge zum Schutz der Erdatmosphäre" des Deutschen Bundestages.

Auch im Rahmen der nicht CO₂-bezogenen Arbeiten spielt die internationale Zusammenarbeit eine grosse Rolle, so etwa in der sozioökomischen Verkehrsforschung, wo nur durch eine internationale Abstimmung die massgeblichen Rahmendaten (z. B. bezüglich dem grenzüberschreitenden Verkehr) beigebracht werden können.

4. Geplante Forschungsarbeiten 1991

Nebst den erwähnten Arbeiten im Zusammenhang mit der Reduktion des CO₂-Ausstosses und allfälliger weiterer aktualitätsbezogener Untersuchungen (Energienutzungsbeschluss, Energie 2000, Energiegesetz, CO₂-Abgabe, Annäherung der Schweiz an die EG u. a.) stehen thematisch drei Untersuchungsrichtungen im Vordergrund:

- Über die Möglichkeiten, Kosten und Auswirkungen von Energiespar- und Energiesubstitutionsmassnahmen in der Industrie ist im Sinne von gesamtschweizerischen Aussagen nur sehr wenig bekannt. Im Rahmen von grösseren, mehrjährigen Untersuchungen soll unter spezieller Beachtung des Repräsentativitätsproblems diese Wissenslücke geschlossen werden.
- Bereitstellung und Verbrauch von Energie sind in der Regel mit negativen Umweltauswirkungen verbunden (sogenannte Externalitäten). Obwohl für verschiedene Teilbereiche bereits detaillierte Kenntnisse vorliegen (so etwa bezüglich dem CO₂), bestehen sowohl auf der methodischen Ebene, wie auch datenmässig noch Lücken. Diese sollen in enger Abstimmung mit analogen Anstrengungen in andern Bereichen der Energieforschung wie auch in andern Institutionen (vornehmlich Umweltschutz- und Verkehrsämter) geschlossen werden. Ziel ist eine systematische Gesamtschau, wobei die Erkenntnisse in einer für die Praxis brauchbaren Form aufzuarbeiten sind.
- Umsetzung und Erfolgskontrolle sind notwendige Pr
 üfsteine der sozioökonomischen Energieforschung. In
 diesem Bereich werden die Forschungsanstrengungen in Zusammenarbeit mit den Kantonen deutlich verstärkt.

5. Liste der Projekte

- [1] H. G. Graf, SGZZ, St. Gallen: "Fin Szenario der Fatwicklung der schweizerischen Volkswirtschaft".
- [2] B. Giovannini, CUEPE/Uni-Genève: "Perspeccáves de la demande d'énergie en Suisse, 1990 2025, en vue du problème du CO₂".
- [3] C. U. Brunner, Büro BRUNNER, Zürich: "Entwicklung des Raumwärmeverbrauchs von Neubauten und bestehenden Bauten Auswertung von neueren Erhebungen im Vergleich zu bisherigen Prognosen EGES".
- [4] M. Keller, INFRAS, Bern: "CO2-Perspektiven Verkehr".
- [5] W. Moser, BASLER & HOFMANN, Zürich: "Energiesparkosten im Wärmebereich (Haushalte und Dienstleistungen)".
- [6] H. Wüest, WÜEST & GABATHULER, Zürich: "Gebäudepark Schweiz: Erweiterung der Modell-grundlagen mit energie- und siedlungsrelevanten Indikatoren: Modellrechnungen und Analysen".

- [7] K. Masuhr und M. Sättler, PROGNOS, Basel: "Untersuchungen der Substitutionsmöglichkeiten zur Reduktion der Kohlendioxidemissionen im Wärmesektor und Gesamtoptimierung einer CO₂-Strategie".
- [8] D. Spreng, Forschungsgruppe Energieanalysen, ETH-Zürich: "Darstellung, Analyse und Modellierung des Elektrizitätsverbrauchs im Dienstleistungssektor einer grossen Schweizer Stadt".
- [9] B. Giovannini, CUEPE/Uni-Genève: "Aufdatierung wichtigster Inputdaten für Energiemodelle zur Evaluation von Auswirkungen energiepolitischer Massnahmen".
- [10] F. Carlevaro, CUEPE/Uni-Genève: "Révision des modèles économétriques".
- [11] B. Giovaninni, CUEPE/Uni-Genève: "Entwicklung einer benützerfreundlichen Version des technischökonomischen Bottom-up-Energiemodells zur Simulation der Energienachfrage und sein Transfer ins BEW".
- [12] J. Czerwinski, HTL-Biel: "Limitierung des Treibstoffverbrauchs der Personenwagen (technische Fragen)".
- [13] P. Marti, METRON RAUMPLANUNG, Brugg-Windisch: "Limitierung des Treibstoffverbrauchs der Personenwagen (Auswirkungen, Vollzug)".
- [14] W. Ott, INFRAS, Zürich: "Gastarife Kanton Bern".
- [15] H. Eicher, DR. EICHER & PAULI, Liestal: "Standardverträge für WKK-Anlagen".
- [16] Journée du CUEPE 1990, CUEPE/Uni-Genève: "Modèles d'aide à la décision en matière de politique énergétique suisse".
- [17] B. Saugy, Centre de Recherche et d'Enseignement en Énergie et Techniques Municipales (CREM), Martigny: "Dialogue Énergétique".
- [18] Arbeitsgemeinschaft INFRAS, Zürich und OEKOZENTRUM, Langenbruck: "Energiestadt".
- [19] G. Furler, IES, Zürich, Birmensdorf und J. Kuster, KUSTER + DUDLI, Chur: "Bestandsaufnahme Allgemeinbildung Energie. Inventarisierung des Vorhandenen, Beurteilung und Empfehlung an die Kantone.
- [20] GfS-Forschungsinstitut, Zürich, und Forschungsstelle für Politische Wissenschaft, Uni-Zürich: "Einstellungen zur Energiepolitik nach dem Volksentscheid vom 23. September 1990".

TECHNOLOGIE - TRANSFER

Ueberblicksbericht zu den Aktivitäten 1990

Leitung: Jürg Gfeller









INTERNATIONAL ENERGY AGENCY ORGANISATION FOR ECONOMIC CO-OPERATION AND DEVELOPMENT

Die "Visitenkarten" der im Energiebereich wichtigsten Umsetzungstellen.

1. Übersicht

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 häuptsächlich die vier nachfolgend beschriebenen Institutionen zur Unterstüzung bereit. Mit den neuen Kompetenzen, welche der Bund durch den Energieartikel und den Energienutzungsbeschluss im Bereich Umsetzung erhalten hat, dürften diese Stellen ab 1991 wesentlich an Bedeutung gewinnen.

2. CADDET und INFOENERGIE

Die Schweiz ist Gründungsmitglied von CADDET (Center for the Analysis and Dissemination of Demonstrated Energy Technologies) der IEA. Das Zentrum in Sittard (NL) sammelt Informationen über Pilot- und Demonstrationsanlagen der Mitgliederländer (AUS, CDN, CH, DK, I, J, N, NL, NZ, S, SF, UK, USA), hat bereits über 60 Kurzbeschriebe von Anlagen herausgegeben und befasst sich auch mit der Beurteilung des Standes der Technik einzelner ausgewählter Gebiete. Das schweizerische Pendant ist INFO-ENERGIE, 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 folgen. INFOENERGIE hat in den bisher über zwei Jahren seiner Tätigkeit u. a. eine Datenbank aufgebaut, mehrere Bulletins herausgegeben, die Dokumentation Abwärmenutzung in Industrie und Gewerbe fertiggestellt sowie verschiedene Kurzbeschriebe von Anlagen herausgegeben. Neben den bereits bestehenden Stellen in Brugg und Tänikon nahmen anfangs 1990 die Stellen in Colombier und Bellinzona ihre Arbeit auf. Eine Umfrage beim Zielpublikum hat ergeben, dass die Aktivitäten von INFOENERGIE gut anfgenommen werden.

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 Instituts, 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 besitzt nebst einem umfangreichen Videotex-Angebot eine praktisch vollständige Bibliothek der Berichte von Forschungsprojekten im Energiesektor. ENET ist in ständigem Kontakt mit INFOENERGIE und andern Informationsstellen sowie mit den Forschungs-Programmleitern. Viel Zuspruch erhält die 1990 neu geschaffene Dienstleistung: Organisation und Durchführung von Seminarien und Tagungen. Zudem werden regelmässsig die ENET-News herausgegeben, welche über 2'000, hauptsächlich an der Energieforschung interessierte, Abonenten zählt.

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 Energiemutzung 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 et installations chaleur-force Umgebungs- & Abwärmenutzung, Wärme-Kraft-Kopplung Uhrich SCHAERER, 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 et stockage de chaleur Aktive Solamutzung & Wärmespeicherung Pierre BREMER, dipl. ing. méc. EPF, SEDE S. A., Rue du Midi 33, 1800 Vevey Tél 021 / 921 05 15

Architecture solaire Solararchitektur Robert HASTINGS, Arch., M. Sc., HBT/ETH-Zürich/Hönggerberg, 8093 Zürich Tel 0i / 377 29 88

Énergie photovoltaïque Photovoltaïk Christophe de REYFF, Dr, physico-chim., OFEN, 3003 Berne Tél 031 / 61 56 66

Énergie 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 Kemfusion 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

Électrochimie Elektrochemie Otto HAAS, Dr., Chem., P.S.I., 5232 Villigen PSI Tel 056/99 24 72

Photochimie Photochemie Jean-Claude COURVOISIER, Dr, phys., 13 rue François-Jacquier, 1225 Chêne-Bourg (GE) 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

Électricité Elektrizität Roland BRÜNIGER, dipl. El.-Ing. ETH/BWI, Oberseglingerstr. 2, 8193 Eglisau Tel 01 / 867 22 42

Socioéconomie Sozioökonomie Walter BAUMGARTNER, Dr., sc. nat., IBFG AG, Postfach 176, 8035 Zürich Tel 01/362 99 00

Transfert de technologies Technologie-Transfer Jürg GFELLER, dipl. Masch.-Ing. ETH, BEW, 3003 Bem Tel 031 / 61 56 62

Renseignement généraux sur la recherche énergétique Allgemeine Auskünfte über die Energieforschung Gerhard SCHRIBER, Dr., Phys., BEW, 3003 Bern Tel 031 / 61 56 58

