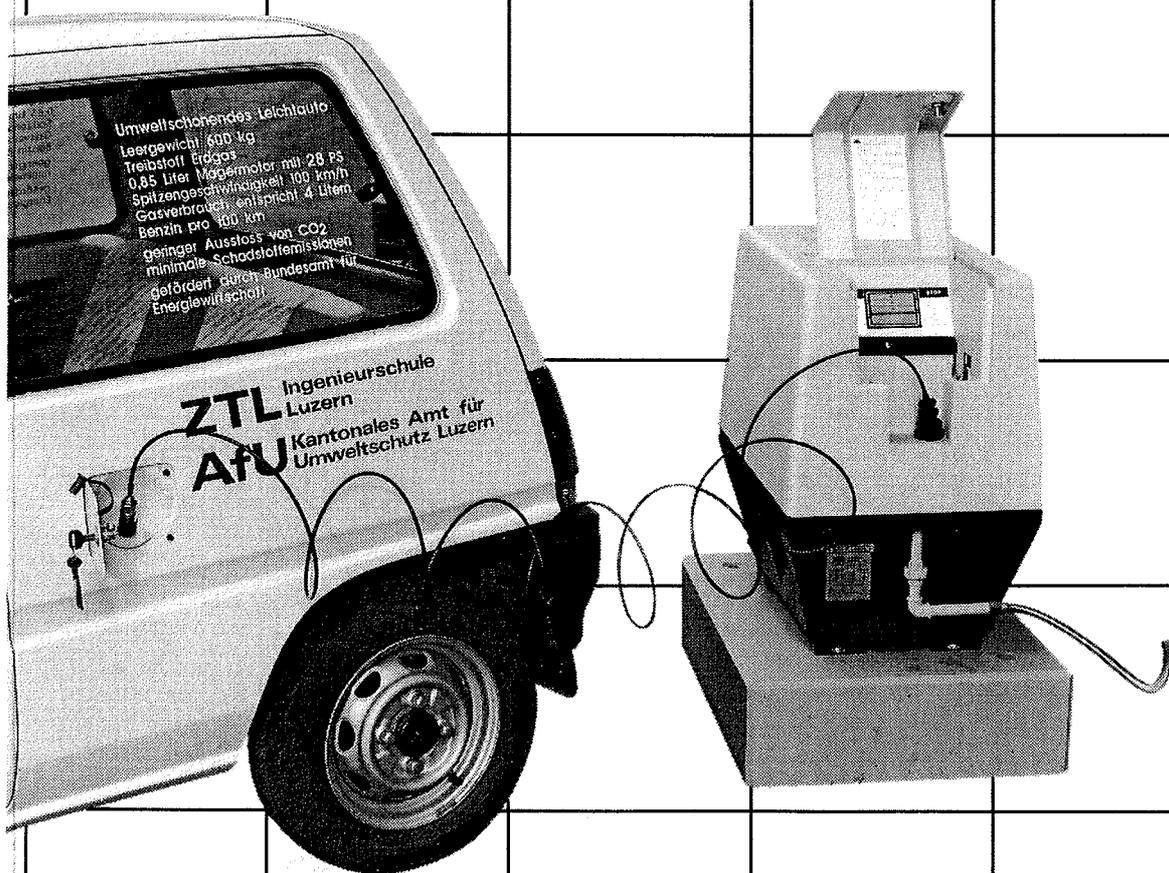


Office fédéral de l'énergie  
Bundesamt für Energiewirtschaft

# Recherche énergétique

## Energie-Forschung 1991

Rapports de synthèse des chefs de programme  
Überblicksberichte der Programmleiter



**Le plein . . . . de gaz naturel . . . . depuis la cuisine**



# RECHERCHE ÉNERGÉTIQUE

1 9 9 1

## ENERGIE - FORSCHUNG

Rapports de synthèse des chefs de programme

Ueberblicksberichte der Programmleiter

---

### T a b l e / I n h a l t

	Page / Seite
Avant-propos / Vorwort	3
Fortschritte der Energieforschung 1991	5
Rationelle Energienutzung in Gebäuden	7
Rationelle Energienutzung im Verkehr	15
Umgebungs- & Abwärmenutzung, Wärme-Kraft-Kopplung	23
Feuerung & Verbrennung	31
Nukleare Sicherheit	41

<b>Solaire thermique et stockage de chaleur</b>	<b>47</b>
<b>Solararchitektur</b>	<b>53</b>
<b>Énergie photovoltaïque</b>	<b>59</b>
<b>Thermochemie</b>	<b>73</b>
<b>Photochimie</b>	<b>79</b>
<b>Biomasse</b>	<b>85</b>
<b>Kontrollierte Kernfusion</b>	<b>93</b>
<b>Elektrizität</b>	<b>97</b>
<b>Piles au gaz naturel</b>	<b>105</b>
<b>Elektrochemie</b>	<b>111</b>
<b>Wasserstoff</b>	<b>119</b>
<b>Sozioökonomie</b>	<b>127</b>
<b>Technologie-Transfer</b>	<b>135</b>
<b>Annexe / Anhang</b>	
<b>Adresses des chefs de programme / Adressen der Programmleiter</b>	<b>139</b>

## AVANT - PROPOS

La recherche énergétique du secteur public en Suisse se conforme aux directives émises par le Conseil fédéral dans le *Plan directeur de la recherche énergétique de la Confédération*, qui vient d'être remanié. Les dépenses en 1991 ont dépassé les 190 millions de francs. Les détails à ce sujet peuvent être trouvés dans la *Liste des projets de recherche énergétique* qui vient de paraître.

La valeur des mandats délivrés par l'Office fédéral de l'énergie (OFEN) a atteint 40 millions de francs en 1991. Dans cette somme sont inclus 2,9 millions de francs pour des installations pilotes et de démonstration. Ce sont en tout plus de 400 projets, tous intégrés dans des programmes de recherche sectoriels, qui ont pu ainsi être soutenus financièrement. Environ la moitié des mandats de recherche a été confiée à des firmes privées.

Les domaines GÉOTHERMIE et ÉNERGIE ÉOLIENNE ne font pas l'objet de programmes de recherche sectoriels. Une vue d'ensemble des activités dans ces domaines est donnée au chapitre TRANFERT DE TECHNOLOGIES. Les activités dans le domaine de la FISSION NUCLÉAIRE sont presque exclusivement conduites à l'Institut Paul Scherrer (PSI), qui publie son propre rapport annuel. Par ailleurs, divers instituts des Écoles polytechniques fédérales, actifs dans le domaine énergétique, font connaître leurs travaux par le biais de leurs rapports annuels.

Les rapports de synthèse des chefs de programme de ce recueil peuvent être reproduits en tout ou en partie, à la condition de mentionner la source. Les rapports annuels (RA) relatifs à chaque projet de recherche cité dans les rapports de synthèse peuvent être obtenus soit par ENET soit par l'intermédiaire du chef du programme concerné (voir la liste d'adresses en annexe).

L'illustration de la couverture a été reprise du rapport sur le programme de recherche UTILISATION RATIONNELLE DE L'ÉNERGIE DANS LES TRANSPORTS. Cet exemple montre que la recherche énergétique peut, elle aussi, conduire à court terme à des produits commerciaux.

## VORWORT

Die Energieforschung der öffentlichen Hand in der Schweiz richtet sich nach den Leitlinien des Bundesrats, die im neu überarbeiteten *Konzept der Energieforschung des Bundes* dargelegt sind. Die Forschungsaufwendungen beliefen sich 1991 auf rund 190 Mio. Franken. Detailangaben darüber sind in der soeben erschienenen *Liste der Energie-Forschungsprojekte* zusammengestellt.

Seitens des Bundesamts für Energiewirtschaft (BEW) betrug 1991 der Umfang der Forschungsaufträge 40 Mio. Franken. Darin eingeschlossen sind 2,9 Mio. Franken für Pilot- und Demonstrationsanlagen. Über 400 Einzelprojekte, die gebietsweise Programmen zugeordnet sind, wurden damit unterstützt. Rund die Hälfte der Forschungsarbeiten wurde an private Firmen vergeben.

Auf den Gebieten GEOTHERMIE und WINDENERGIE sind keine eigenständigen Forschungsprogramme definiert. Eine Zusammenstellung der Aktivitäten in diesen Gebieten befindet sich im Kapitel TECHNOLOGIE-TRANSFER. Die Aktivitäten im Bereich KERNSPALTUNG werden fast ausschliesslich am Paul Scherrer Institut (PSI) durchgeführt, welches darüber einen eigenen Jahresbericht veröffentlicht. Es sei auch darauf hingewiesen, dass verschiedene im Energiesektor arbeitende ETH-Institute in ausführlichen Jahresberichten über ihre Arbeiten informieren.

Die in diesem Band vorliegenden Übersichts-Berichte der Programmleiter können - unter Angabe der Quelle - ganz oder teilweise reproduziert werden. Die einzelnen Jahresberichte (JB) der in den Übersichten erwähnten Energieforschungsprojekte sind bei ENET oder beim betreffenden Programmleiter erhältlich (siehe Adressverzeichnis im Anhang).

Die Illustration auf dem Umschlag wurde dem Bericht über das Forschungsprogramm RATIONELLE ENERGIE NUTZUNG IM VERKEHR entnommen. Das dargestellte Beispiel zeigt, dass auch die Energieforschung kurzfristig zu vermarktbareren Produkten führen kann.



# FORTSCHRITTE DER ENERGIEFORSCHUNG 1991

Gerhard Schriber, Leiter der Sektion Energieforschung, BEW

Das übergeordnete Ziel in diesem Jahr war der Ausbau und die Festigung der **Zusammenarbeit in der Energieforschung der öffentlichen Hand und der Privatwirtschaft**. Damit sollten auch die Ziele des Aktionsprogramms ENERGIE 2000 unterstützt werden, welche eine schnelle und wirksame Umsetzung der Forschungsergebnisse erheischen. Eine verstärkte Kooperation liegt aber auch im gesamtwirtschaftlichen Interesse, gilt es doch, den Schweizer Industrien die gleichen Wettbewerbsbedingungen wie ihren Partnern in andern europäischen Ländern zu verschaffen.

Dem Thema der Zusammenarbeit war denn auch die *3. Schweizerische Energieforschungskonferenz* in Kandersteg gewidmet. Sie führte unter anderem zu einer Reihe von Verbesserungs-Vorschlägen für die Umsetzung von Forschungsergebnissen in die technische Anwendung und für das gemeinsame Vorgehen privater und öffentlicher Stellen. Die Konferenzergebnisse sind von den Forschungsprogrammleitern aufgenommen worden; und die Eidg. Energieforschungskommission CORE hat ihnen bei der 1991 vorgenommenen Überarbeitung des Forschungskonzepts besonders Rechnung getragen.

Positiv für den Technologietransfer wirkt sich aus, dass der Bund mit Inkraftsetzung des Energienutzungsbeschlusses (1. Mai 1991) *Pilot- und Demonstrationsanlagen* unterstützen kann. Im Anlaufjahr dieser neuen Möglichkeit konnte das BEW bereits 24 Projekten zur Realisation verhelfen.

Eine wichtige Rolle spielen die *Umsetzungsbemühungen der Programmleiter*. Wie auch aus den nachstehend gesammelten Überblicksberichten hervorgeht, sitzen viele von ihnen regelmässig mit interessierten Industriepartnern zusammen. Dies ist wohl die wirkungsvollste Art, Forschungsergebnisse in die Anwendung überzuführen.

Eine andere Art, Forschungsarbeiten einer Verwertung zuzuführen sind Industrie-Messen. Die Institution *Technologiestandort Schweiz* zeichnet jährlich Projekte mit besonders grosser Innovation aus. Die Gewinner erhalten die Möglichkeit, ihre Arbeiten an der "Hannover Messe Industrie" einem internationalen Umfeld zu präsentieren. Von den 5 im Jahre 1991 ausgezeichneten Projekten auf dem Energiesektor, haben die Juroren 4 Projekte erkoren, welche vom Bund direkt gefördert werden:

- Beugungsgitter zur Erhöhung des Wirkungsgrads von Solarzellen (PSI, Zürich).
- Kompakte, preiswerte Elektrolysezellen für die Wasserstoffherzeugung (METKON SA, Mendrisio).
- Modular aufgebaute Wechselrichter für photovoltaische Anlagen (INVERTOMATIC AG, Riazzino).
- Netzgekoppelter 20-kW-Solarwechselrichter (Ingenieurschule, Biel).

Beim nicht vom Bund unterstützten Projekt handelt es sich um ein Antriebskonzept für Elektrofahrzeuge der RCB Motorenbau AG, Beinwil.

Auch die *Information der Allgemeinheit* über Forschungsaktivitäten ist ein Mittel zur Umsetzung, wird damit doch der Markt für neue Techniken vorbereitet. Eine besondere Möglichkeit dazu bildete 1991 die Nationale Forschungsausstellung HEUREKA. Das BEW hat Forschungsprojekte aus folgenden Gebieten präsentiert: Rationelle Energienutzung im Gebäude und beim Verkehr, Wärme und Strom aus Sonnenenergie, Energie aus Biomasse, Wasserstoff als Energieträger, elektrochemische Energieumwandlung und Energiespeicherung. Dabei hat insbesondere das Null-Energie-Haus - welches wir zusammen mit dem Kanton Zürich (ATAL) vorstellen konnten - allseits guten Anklang gefunden.

Zusammenfassend darf festgestellt werden, dass im Bereich Energieforschung der Brückenschlag zwischen öffentlicher Hand und Privatwirtschaft gelungen ist. Es braucht aber noch weiterer Anstrengungen um die an der Kandersteg-Konferenz postulierte "Zusammenarbeitskultur" zu verwirklichen.

Das beachtliche Engagement der Energieforscher führt auf allen Gebieten regelmässig zu grösseren und kleineren Erfolgen. Da die Forschung aber längerfristigen Charakter hat und nicht alle Projekte gleich weit fortgeschritten

sind ist es schwer möglich, über die Wichtigkeit der einzelnen Resultate zu urteilen. Trotzdem sei im folgenden auf eine kleine Auswahl von beachtenswerten **Forschungsergebnissen 1991** hingewiesen:

- Messungen an kleineren **netzverbundenen Photovoltaikanlagen** zeigen, dass durch technische Verbesserungen an den Systemen der Ertrag im Mittel um 25 % gesteigert werden kann (Wechselrichter- und Kabelverluste, Temperatureffekte, u.a.).
- Eine neue Herausforderung im Gebäudebereich bildet die **Integration von Solarzellen-Einheiten** in die Bauhülle. Hier sind in der Schweiz 1991 richtungsweisende Pilotbauten errichtet worden.
- Mit einer **neuen Art Solarzelle** (photo-elektrochemische Zelle) werden nach mehrjähriger Entwicklungsarbeit über 10 % Wirkungsgrad erreicht. Die Übernahme der Erfindung durch private Anwender konnte 1991 geregelt werden.
- Saubere Planungsgrundlagen konnten erarbeitet werden für den **störungsfreien** Einsatz von elektronischen **Vorschaltgeräten für Fluoreszenzlampen**. Der Einsatz solcher Geräte bringt Stromeinsparungen bis zu 20 %.
- Ein Durchbruch kann im Bereich der Fusion verzeichnet werden: Die in den letzten Jahren in der Schweiz entwickelte **Borcarbid-Beschichtung** der Innenwand von Fusionsreaktoren (zur Reduktion von Verunreinigungen im Plasma), wird heute weltweit angewendet. Auch an der erstmals mit einer grösseren Energiemenge erfolgreich durchgeführten **Fusionsreaktion** in der EURATOM-Anlage bei Culham (GB) war die Schweiz mit substantiellen Vorarbeiten mitbeteiligt.
- Crashtests mit ausgewählten Modellen haben gezeigt, dass die Realisierung eines genügenden Sicherheitsniveaus auch im **Leichtmobilmobilbau** erreicht werden kann.
- Aus schweizerische Pionierleistung gilt die Realisierung eines **"intelligenten" CAD-Programms**, welches Ingenieuren und Architekten eine direkte Verknüpfung zwischen Baugeometrie und energetischen Kennwerten ermöglicht.
- Modellrechnungen und Messungen an Pilotprojekten zeigen, dass interne Lasten kein Hinderungsgrund sind, die **passive Sonnenenergienutzung** auch bei Geschäftshäusern einzusetzen.
- Ans Forschungsergebnissen konnten klare Empfehlungen für den minimalen Abstand von **Erdwärmesonden-Anlagen** erarbeitet werden. Unzulässige Abkühlungen des Erdreichs und "nachbarlicher Wärmeklaw" können zukünftig vermieden werden.
- Die **Methanisierung von organischen Abfällen** geht nun in die Phase der Demonstrationsanlagen über. Pilotprojekte (u.a. an der HEUREKA) haben die technische Funktionstüchtigkeit gezeigt.
- Dass Forschungsstätten oft viel zur Aus- und Weiterbildung sowie zur Information beitragen, zeigt das **Laboratorium für Solartechnik** an der Ingenieursschule Rapperswil. Nebst der Begleitung von Diplomarbeiten und der Durchführung von Seminarien und Kursen, konnten 1991 über 500 interessierten Besuchern aus allen Berufs- und Bevölkerungsschichten die Forschungs- und Testanlagen erklärt werden.

**Rückschläge** und damit verbundene Verzögerungen sind bei Forschungsprojekten häufig. Besonders enttäuschend ist es jedoch, wenn erfolgreiche Projekte zurückgestellt werden müssen, weil sich keine investitionsbereiten Industrieunternehmen für die Produkteentwicklung finden lassen. Dies war 1991 z.B. der Fall für Arbeiten an einer neuartigen Wärmepumpe mit Stirling-Antrieb und Resonanzrohr oder für die Energiespeicherung in Aluminium mit einem weitentwickelten Aluminium-Brenner. Bei einem andern Vorhaben - dem "Euro-Québec-Wasser-Wasserstoff-Projekt" - gelangt ein neues in der Schweiz entwickeltes Wasserstoffspeicher-Konzept trotz Vorteilen nicht zum Einsatz, weil der Kunde nur Flüssigwasserstoff akzeptiert.

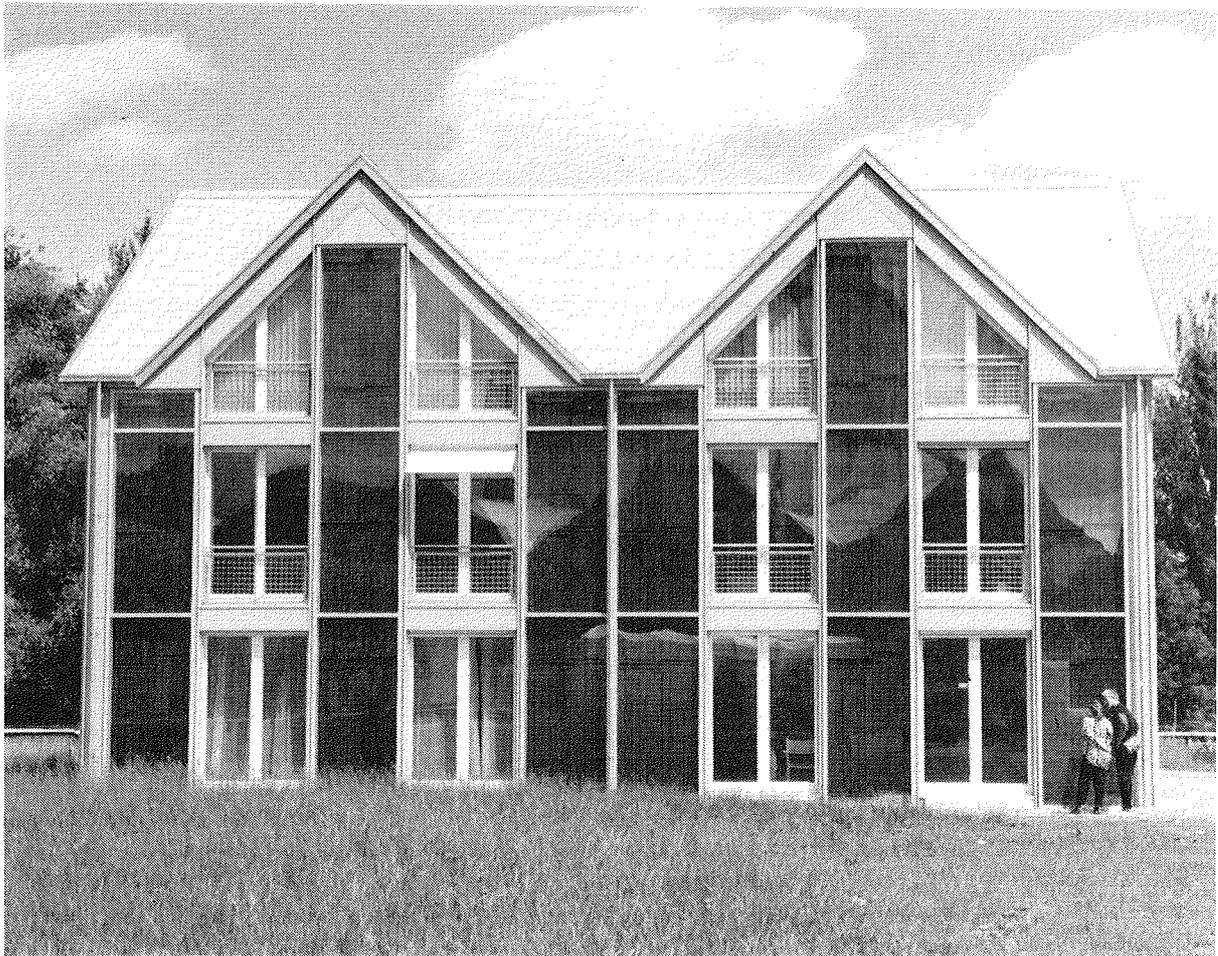
**Im kommenden Jahr** gilt-es, die neuen Richtlinien des *Konzepts der Energieforschung des Bundes 1992-1995* in die einzelnen Forschungsprogramme einzubauen. Auf nationaler Ebene wird dabei - in Abstimmung mit den verschiedenen Aktionen im Rahmen von ENERGIE 2000 - eine weitere Verschiebung zu praxisnäherer Forschung angestrebt. In der internationalen Zusammenarbeit sollen vermehrt europäische Partner einbezogen werden, damit ein leichter Zugang zu den EG-Forschungsprogrammen ermöglicht wird.

# RATIONELLE ENERGIENUTZUNG IN GEBÄUDEN

Überblicksbericht  
zum Forschungsprogramm 1991

Programmleiter: Markus Zimmermann

---



## Das Null-Heizenergie-Haus an der HEUREKA-Ausstellung in Zürich

Die hochwärmegedämmte Wand- und Dachkonstruktion dieses Gebäudes wurde im Rahmen des BEW-Wettbewerbes prämiert und konnte hier ein erstes Mal eingesetzt werden. Das Gebäude wurde nach Ausstellungsende zerlegt und in Hedingen für die weitere Nutzung wieder aufgebaut.

## 1. Programmübersicht

Das Forschungsprogramm **RATIONELLE ENERGIENUTZUNG IN GEBÄUDEN** befasst sich hauptsächlich mit der ganzheitlichen Optimierung der Energienutzung in Gebäuden. Dabei berücksichtigt es sowohl die Erstellung, den Betrieb und den Abbruch von Gebäuden, wie auch die rationelle Wärmeerzeugung, den Wärmeschutz und die Benutzereinflüsse.

Das Ziel des Programmes ist, Grundlagen und Lösungen für die Energieverbrauchs-, aber auch Schadstoffreduktion bei Neu- und Altbauten zu erarbeiten. Dabei steht das Gebäude als System im Vordergrund, aber auch einzelne Komponenten, wie hochwärmedämmende Wand- und Dachkonstruktionen werden untersucht.

Vor allem im Bereich der Anlagekomponenten stützt sich das Programm jedoch auch auf Ergebnisse anderer Forschungsprogramme ab oder arbeitet mit diesen zusammen.

## 2. Anvisierte Zielpunkte 1991

Arbeitsschwerpunkte für 1991 waren:

- die Konzeption und Koordination des Forschungsprogrammes 92-95,
- die Begleitung der Abschlussarbeiten für die auslaufenden Projekte der Periode 88-91.

Ziel dieser Begleitung ist im wesentlichen die wirkungsvolle Umsetzung der Forschungsergebnisse. Sie betrifft vor allem die Projekte:

- **Effiziente Energienutzung in Schulen** [1]
- **Hochwärmedämmende Wand- und Dachkonstruktionen** [5]
- **Hochwärmedämmende Fensterrahmen** [6]
- **Energierrelevante Typenprüfung für Oel- und Gasheizkessel mit Gebläsebrenner** [10]
- **Energierrelevante Luftströmungen in Gebäuden (ERL)** [15]

## 3. Durchgeführte Arbeiten und erreichte Ergebnisse

Das laufende Forschungsprogramm (Periode 88-91) umfasst noch 16 Projekte, von denen die meisten 1992 abgeschlossen werden. Das Programm 92-95 schlägt 36 neue Projekte vor. Sie berücksichtigen soweit möglich die Projektvorschläge, die aufgrund einer Umfrage anfangs 91 eingereicht wurden. Vermehrt einbezogen sind auch Projekte, die durch andere Stellen (NEFF, Industrie) mitfinanziert werden. Die Projektauswahl ist nicht abschliessend, neue Projekte können noch dazukommen, aber sie widerspiegelt die folgenden, für 92-95 gesetzten Schwerpunkte:

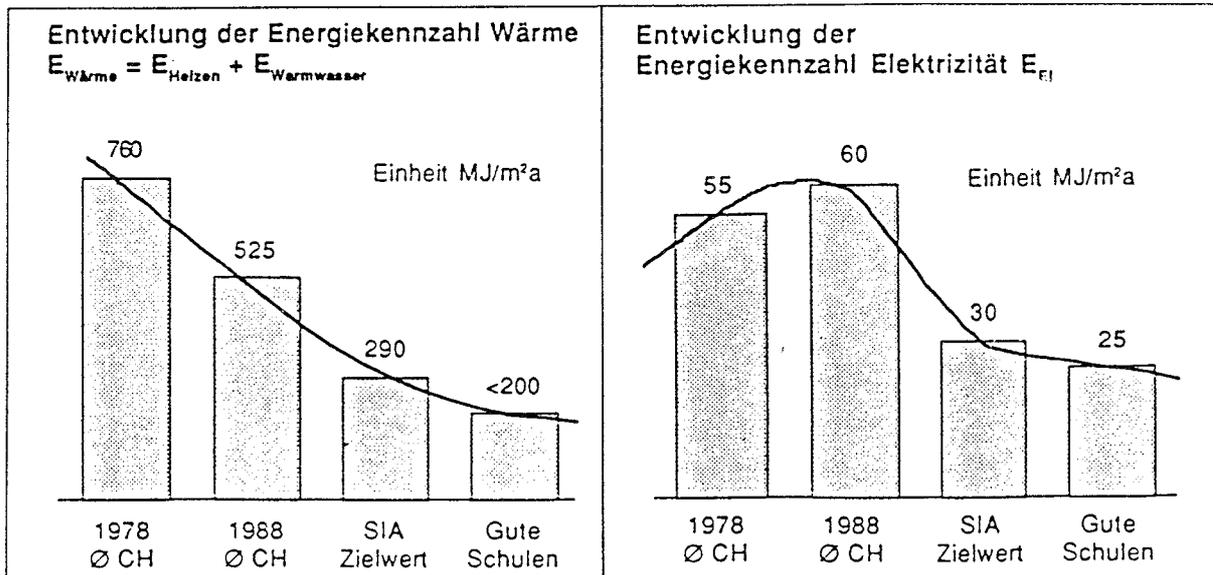
- **anwendungsorientierte Planungshilfsmittel** (Rechen- und Simulationsprogramme),
- **Ökologisches Bauen,**
- **Vermeidung von Kühllast/Passive Kühlung**
- **ERL-Folgeprojekte** (Energierrelevante Luftströmungen in Gebäuden).

Zudem sollen Pilot- und Demonstrationsprojekte im Rahmen der neuen Möglichkeiten des Bundes gefördert werden. Das Programmkonzept kann beim Programmleiter bezogen werden [20]. Es wird im Januar 92 der Eidg. Energieforschungskommission (CORE) unterbreitet. Erste Projekte konnten bereits gestartet werden.

Nachfolgend wird eine Übersicht über die wichtigen laufenden Projekte und deren Ergebnisse gegeben. Eine vollständige Zusammenstellung der Projekte ist unter 7. "Projektliste" zu finden.

## Planungshilfsmittel

Die Planungshilfsmittel können entweder gebäudespezifisch oder problemspezifisch zugeordnet werden. Bei den Gebäuden wurden mit dem Projekt EFFENS (Effiziente Energienutzung in Schulen) [1] Planungsgrundlagen für energiegerechte Schulbauten mit Turnhallen - Neubauten und Sanierung - erarbeitet. In Vorbereitung sind ein Planerhandbuch, ein Leitfaden für die Behörden sowie eine Sammlung von Fallstudien. Diese Publikationen werden in Frühjahr 92 auf deutsch, Ende 92 auf französisch erscheinen. Sie zeigen in erster Linie auf, wie vorgegangen werden muss, um energiegerechte Schulhauskonzepte zu erreichen, geben aber auch viele Tips und Erfahrungswerte für gute Schulgebäude.



Die Entwicklung der Energiekennzahlen zeigen, dass Schulen sparsame Energienutzer sein können.

Nach Abschluss des Projektes EFFENS sollen Bauten des Hotel- und Gastgewerbes sowie Kunsteisbahnen näher untersucht werden. Entsprechende Projekte sind in Vorbereitung.

Bei den problemorientierten Planungshilfsmitteln sind vier Bereiche besonders erwähnenswert:

- Das Projekt **Energierrelevante Anwendungen integrierter Ingenieursysteme** befasst sich mit der Verknüpfung unterschiedlicher EDV-Anwendungen für die Gebäudeplanung unter einer gemeinsamen Benutzeroberfläche [2]. Das Projekt ist Teil eines Projektes, welches sich mit *Computer Aided Engineering* in der Haustechnik befasst. Es wird als schweizerische Pionierleistung auf dem Gebiet durch das Paul Scherrer Institut (PSI) zusammen mit der Privatwirtschaft realisiert. Im Rahmen des BEW-Projektes konnten 1991 ein *intelligentes*, CAD basiertes Wärmeleistungsbedarfsprogramm sowie ein Rohrnetzrechnungsprogramm innerhalb des Gesamtsystems integriert werden. Die Programme erlauben die direkte Verknüpfung geometrischer Daten mit energetischen Kennwerten, machen die Beziehung auf der gemeinsamen Benutzeroberfläche sichtbar und führen die Berechnungen aus. Es ist beabsichtigt, zukünftig weitere anspruchsvolle energierelevante Anwendungen, wie beispielsweise die Kühllastberechnung, in das Ingenieursystem zu integrieren.
- Das IEA-Projekt *Calculation of Energy & Environmental Performance of Buildings* (Thermische Simulation von Gebäuden) [3] befasst sich mit der praxisgerechten Anwendung von Computersimulationsmodellen. Für die Schweiz stehen zwei Arbeitsbereiche im Vordergrund:
  - a) Kühllastnachweis mit benutzergerecht aufbereitetem, dynamischem Simulationsmodell.

b) *Einsatz dynamischer Simulationsmodelle als Planungshilfsmittel bei Gebäudeanalysen und -sanierungen.*

Die wesentlichen Ergebnisse dieses Projektes werden 1992 erwartet.

- Im Rahmen des Forschungsprojektes **Energierrelevante Luftströmungen in Gebäuden** (ERL) [14], [15] werden diverse Planungshilfsmittel zur Beurteilung und Berechnung von Luftströmungen erarbeitet. Besonders zu erwähnen sind:
  - a) Ein Rechenprogramm zur *Bestimmung der Raumluftströmung*, welches am Laboratorium für Energiesysteme an der ETH sowie bei SULZER Winterthur installiert und weiterentwickelt wurde. 1991 konnten verschiedene Berechnungen als Dienstleistung für andere Projekte durchgeführt werden. So war es beispielsweise möglich, Lüftungssituationen in Mehrzweckhallen bei Sport- und bei Versammlungsbetrieb zu analysieren. Weitere Analysen wurden für die geplante Luftströmungstestkammer an der EMPA durchgeführt. Sie ermöglichen nun die Randbedingungen für die geplanten Versuche genauer zu definieren.
  - b) Das Rechenprogramm COMERL zur *Bestimmung des Luftaustausches* zwischen Räumen, welches durch die EMPA, Abt. Haustechnik und die EPF-Lausanne, LESO-Gruppe, in internationaler Zusammenarbeit entwickelt wurde. Die Dokumentation des Programmes und eine erste Evaluation ist für 1992 vorgesehen.
  - c) Das *Handbuch neuer Lüftungssysteme*, welches vor allem dem Planer helfen soll, Verdrängungslüftungen, Quelllüftungen und Mischlüftungen mit Induktivauslässen und kleinen Zuluftvolumenströmen auszulegen. 1991 wurden dazu vor allem Versuche in Labors durchgeführt. Die Arbeiten am Handbuch beginnen erst.
- Die Arbeiten zum vierten Bereich befassen sich mit der **Vermeidung von Kühllast** und mit passiven Kühlungstechniken. Sie wurden erst 1991 gestartet. Zwei Projekte - eines befasst sich mit Grundlagendaten für interne Wärmequellen, das andere mit der passiven Nachtkühlung der Betondecken - wurden als *NEFF*-Projekte gestartet, ein anderes, welches Regeln für die passive Kühlung mit natürlicher Lüftung erarbeiten soll [4] als *BEW*-Projekt. Das Ziel ist es, schlussendlich die Ergebnisse der diversen Projekte in einem **Handbuch der passiven Kühlung** zusammenzufassen.

## Gebäudehülle

Obwohl die *Gebäudehülle* allgemein als energetisch bereits optimiert angesehen wird, konnten auf diesem Gebiet weitere wesentliche Fortschritte erzielt werden.

Das Projekt **Hochwärmedämmende Wand- und Dachkonstruktionen** [5] hatte aufgrund eines Ideenwettbewerbes gezeigt, dass an der Gebäudehülle weitere Verbesserungen möglich sind. 1991 wurden mit den prämierten Projekten Laborversuche und detaillierte rechnerische Analysen an der EMPA durchgeführt und die Modelle dieser Lösungen an diversen Ausstellungen vorgestellt. Der Bericht wird Mitte 92 erscheinen. Interessant sind vor allem die neuartigen Konstruktionen mit Recycling-Celluloseflocken. Mit ergänzenden Versuchen, auch an praktischen Anwendungen, wurden diese Lösungen vertieft untersucht. Zwei besondere Eigenschaften machen diese Dämmtechnik auch für Gebäudesanierungen interessant:

- Durch das Ausblasen von Konstruktionshohlräumen mit Celluloseflocken erhöht sich auch die Luftdichtigkeit einer Konstruktion nachhaltig. Die eingeblasenen Flocken haben die Eigenschaft, sich in luftdurchlässigen Fugen und Ritzen besonders zu verdichten.
- Celluloseflocken sind in der Lage, sehr viel Feuchtigkeit aufzunehmen und diese kapillar zu verteilen. Deshalb weisen ausgeflockte Konstruktionen gegenüber der Feuchtediffusion ein ausgesprochen gutmütiges Verhalten auf. So konnte beispielsweise auch bei einer extrem beanspruchten Dachkonstruktion keine Kondensatbildung provoziert werden.

Ein weiteres Projekt befasst sich mit dem eigentlichen Schwachpunkt der Fassaden - den **Fensterrahmen** [6]. 1991 konnten die rechnerischen Abklärungen für verschiedenste Konstruktionstypen abgeschlossen und mit einer Fensterbaufirma ein hochwärmedämmender Rahmen weiterentwickelt werden. Die Untersuchungen haben gezeigt,

dass das Projektziel, ein Rahmen-k-Wert um  $1,0 \text{ W/m}^2\text{K}$ , knapp erreichbar ist (bei konventionellen Rahmenabmessungen), dass aber der thermisch leitende Glasrandverbund dieses Ergebnis wieder verschlechtert. Kondenswasserfreiheit wird am unbeheizten Fenster nur möglich sein, wenn auch der Glasrandverbund verbessert wird.

Das Projekt **Emissionsverhalten von Baustoffen** [9] ist in den Bereich *Bauökologie* eingebettet, der als Problemkreis massiv an Bedeutung gewonnen hat. 1991 konnte an der EMPA eine für Emissionsmessungen ausgelegte Testzelle in Betrieb genommen werden. Erste Versuche - z.T. als internationale Ringversuche - konnten bereits durchgeführt werden. Dabei hat sich gezeigt, dass beispielsweise die Emissionen von PVC-Bodenbelägen sehr unterschiedlich sein können. 1992 werden grössere Reihenuntersuchungen an Baustoffen folgen.

Parallel dazu wurde in Zusammenarbeit mit dem Forschungs-Programm SOZIOÖKONOMIE eine Koordinationsgruppe *Energie- und Oekobilanzen* formiert, welche laufende und zukünftige Projekte auf dem Gebiet koordiniert. Im Herbst 91 wurde dazu ein Workshop zur Methodik von Energie- und Oekobilanzen durchgeführt (siehe Überblicksbericht zum Forschungsprogramm SOZIOÖKONOMIE).

## **Haustechnik**

Der Bereich *Haustechnik* weist naturgemäss eine sehr breite Palette verschiedenartiger Projekte auf. Einige wichtige sollen hier erwähnt werden.

Das Projekt **Energierrelevante Typenprüfung von Heizkesseln** [10] hat mit der Ausrichtung auf den Europäischen Wirtschaftsraum eine neue Richtung erhalten. Das Ziel ist es nun, mit den relativ wenigen, europäisch verlangten Messungen einer Typenprüfung, energierelevante Aussagen für den Planer machen zu können. 1991 wurde dazu an der EMPA ein Prüfstand für gleitend betriebene Heizkessel bis 60 kW erstellt und ein Vergleich von rechnerischen Resultaten mit Messergebnissen durchgeführt. Ein Heizkessel wurde im Dauerbetrieb für unterschiedliche Kesselwassertemperaturen und Leistungen vollständig und im Teillastbetrieb untersucht. Der Vergleich zwischen den mit Hilfsfunktionen berechneten Abgastemperaturen resp. Nutzungsgraden und den gemessenen Werten zeigt eine gute Übereinstimmung im Vollast- sowie auch im Teillastbereich.

Mit dem Projekt **Optimaler Betrieb von Heizungsanlagen** [11] sollen vor allem die regelungstechnischen Verluste von Heizsystemen, bedingt durch ungenutzte Sonnenenergiegewinne und interne Abwärme, untersucht werden. Erste Messungen haben gezeigt, dass hier ein grosses Sparpotential vorliegt (ein untersuchter Neubau heizte sich beispielsweise zu 90 % mit den Verteilleitungen), dass aber die messtechnische Erfassungen in bewohnten Räumen sehr schwierig ist. Der Problemkreis optimal betriebener Heizungsanlagen wurde auch vom Programm DIANE als einer der Arbeitsschwerpunkte festgelegt, sodass diese Thematik vertieft bearbeitet werden kann.

Ebenfalls mit regelungstechnischen Verlusten befasst sich das Projekt **Optimaler Betrieb von Fussbodenheizungen** [12]. 1991 wurden die Versuche mit ausgewählten Störgrössen und Regelstrategien in einem Testraum durchgeführt und ein entsprechendes Simulationsmodul für das Programm TRNSYS realisiert. Vor Abschluss der Arbeiten 1992 sollen diverse Fälle noch rechnerisch analysiert werden. Ziel des Projektes ist es, dem Planer Richtlinien für die Wahl der Regelung für Fussbodenheizungen geben zu können.

Ein ganz anderes Projekt befasste sich mit dem **Abbrandverhalten von Klein-Holzfeuerungen**. Am OEKOZENTRUM LANGENBRUCK wurden dazu typische Kleinholzfeuerungen wie Kachelöfen, Cheminée-Öfen und Herde bezüglich ihres Anfeuerungs- und Ausbrandverhaltens untersucht. Der Schlussbericht liegt vor [19] und zeigt, dass vor allem die Art und Weise des Anfeuerns einen grossen Einfluss auf den Schadstoffauswurf hat, wogegen der Ausbrand des Feuers wenig kritisch ist. Die ursprünglich anvisierte Gasflammenunterstützung hat nur geringe Verbesserungen ergeben, sodass eine Optimierung eher in der Feuerraumgeometrie und im Feuerungsbetrieb zu suchen ist. Die Ergebnisse werden anhand eines optimierten Feuerraumes den Ofenbauern vorgestellt, für die Betreiber wurde ein Merkblatt erarbeitet.

Den Lüftungsbereich behandelt vor allem das Projekt **Energierrelevante Luftströmungen in Gebäuden**, welches eine ganze Reihe von Teilprojekten umfasst resp. tangiert [14], [15], [16]. Die meisten Untersuchungen sind abgeschlossen und werden nun in einer Publikationsreihe für die Praxis aufbereitet. Zwei internationale Projekte der IEA, *Demand Controlled Ventilating Systems* [17] und *Air Flow Patterns within Buildings* [18] konnten 1991 im wesentlichen abgeschlossen und die Ergebnisse an der AIVC-Konferenz in Ottawa vorgestellt werden [29]. Um diese Ergebnisse auch in der Schweiz verbreiten zu können, ist an der ETH-Zürich im Mai 92 eine Tagung mit dem Titel "Lüftungsforschung für die Praxis" geplant.

## 4. Zusammenarbeit, internationale Kontakte

Bedingt durch die vielseitigen Aspekte der Energienutzung in Gebäuden, besteht eine enge Koordination mit verschiedenen anderen Forschungsprogrammen des BEW, insbesondere mit den Programmen SOLARARCHITEKTUR, AKTIVE SOLARNUTZUNG & WÄRMESPEICHERUNG sowie SOZIOÖKONOMIE, aber auch mit den geplanten Programmen DIANE und dem PILOT- UND DEMONSTRATIONsbereich des BEW.

Ausserhalb des BEW sind es vor allem die Hochschulinstitute, der NEFF und die Privatwirtschaft, welche sich an der Durchführung der Projekte beteiligen und diese mitfinanzieren. Diese Zusammenarbeit führt zu mehr als einer Verdoppelung der zu Verfügung stehenden Forschungsgelder. Vor allem die Industrie zeigt in letzter Zeit ein verstärktes Interesse, sich an öffentlichen Energieforschungsprojekten zu beteiligen.

Auch auf internationalem Gebiet konnte die Zusammenarbeit 1991 intensiviert werden. Im Vordergrund steht das IEA/BCS-Programm *ENERGY CONSERVATION IN BUILDINGS AND COMMUNITY SYSTEMS*, bei welchem sich die Schweiz an folgenden Projekten beteiligt:

- *Air Infiltration and Ventilation Centre* [16], Zusammenarbeit verlängert,
- *Demand Controlled Ventilating Systems* [17], Projekt 1992 abgeschlossen,
- *Air Flow Patterns within Buildings* [18], Projekt mit internationaler Leitung durch die Schweiz 1991 abgeschlossen,
- *Calculation of Energy & Environmental Performance in Buildings (Thermal Modelling)* [3], laufend,
- *Multizone Air Flow Modelling*, in Vorbereitung,
- *Heat Air and Moisture Transport through New and Retrofitted Insulated Envelope Parts (HAMTIE)* [8], 1991 gestartet,
- *Real Time Simulation in HVAC Systems*, in Vorbereitung,
- *Energy, Air & Contaminant Flows in Large Enclosures*, in Vorbereitung, mit internationaler Leitung durch die Schweiz.

Daneben wurden 1991 zwei internationale Workshops durchgeführt:

- *Workshop on Computer Building Representation for Integration*, in Zusammenarbeit mit Frankreich [31].
- *Workshop on Indoor Air Quality* in Lausanne, in Zusammenarbeit mit der EG [32].

## 5. Umsetzung der Ergebnisse in die Praxis

Die Umsetzung der Forschungsergebnisse erfolgt für jedes Projekt möglichst Zielpublikumsgerecht mit verschiedenen Mitteln:

- Publikationen (Handbücher, Broschüren, Merkblätter, Artikel),
- Computerprogrammen (für den Planer),
- Veranstaltungen (Konferenzbeiträge, Tagungen, Referate),
- Ausstellungen
- und in Zukunft auch Pilot- und Demonstrationsanlagen.

Die Publikationen sind im wesentlichen im Abschnitt 8 aufgelistet. Dagegen ist die Beteiligung an verschiedenen Ausstellungen, wie SWISSBAU 91 in Basel, BEA 91 in Bern und HEUREKA in Zürich speziell zu erwähnen, an denen Ergebnisse der Forschungsprojekte, darunter die Modelle der im Rahmen des BEW-Wettbewerbes prämierten Wand- und Dachkonstruktionen, vorgestellt wurden.

Die Ergebnisse der Projekte **Energierrelevante Typenprüfung** [10] und **Schadstoffemissionsverhalten von Baustoffen** [9] konnten an zwei Veranstaltungen der EMPA ein erstes Mal einem breiteren Interessentenkreis vorgestellt werden. Die Resultate des Wettbewerbes "Hochwärmedämmende Wand- und Dachkonstruktionen" [5] stiessen auf reges Interesse bei der holzverarbeitenden Industrie. Die Ergebnisse konnten in der Folge an einer Tagung der LIGNUM in Zürich sowie an der Tagung der Schweiz. Arbeitsgemeinschaft für das Holz (SAH) in Weinfelden vorgestellt werden. Im weiteren konnten an der *Air Infiltration and Ventilation Conference* in Ottawa die Ergebnisse der beiden internationalen Projekte *Demand Controlled Ventilating Systems* [17] und *Air Flow Patterns within Buildings* [18] mit diversen Beiträgen präsentiert werden [29].

## 6. Ausblick

Wie bereits eingangs erwähnt steht für 1992 der Start des Forschungsplanes 92-95 im Vordergrund. Das Forschungsprogramm soll dabei eine Ausweitung erhalten.

Die Umsetzung der laufenden Projekte wird ebenfalls zusätzliches Gewicht erhalten, da 1992 eine grössere Anzahl Abschlussberichte zu erwarten ist. Es ist vorgesehen, diese möglichst umfassend am 7. Status-Seminar über Energieforschung im Hochbau vorzustellen, welches im September 92 an der ETH-Zürich durchgeführt wird.

## 7. Projektliste

- [1] B. Wick, Ing. Büro, *Widen*: **Effiziente Energienutzung in Schulen (EFFENS)**. (JB)
- [2] A. Duppenhaller / R. Mantel, CLICK INFORMATIC, *Basel*: **Energierrelevante Anwendungen integraler Ingenieursysteme**. (JB)
- [3] G. Zweifel, EMPA - *Dübendorf* / P. Jaboyedoff, SORANE, *Lausanne*: **Thermische Simulation von Gebäuden**. (JB)
- [4] C. Roulet, EPF - *Lausanne*: **Refroidissement passif de bâtiments par ventilation naturelle**. (JB)
- [5] Th. Frank, EMPA - *Dübendorf*: **Hochwärmedämmende Wand- und Dachkonstruktionen**. (JB)
- [6] H. Emmer / J. Konzbuhl, EMMER HASS PFENNINGER, *Münchenstein*: **Hochwärmedämmende Fensterrahmen**. (JB)
- [7] B. Wick, Ingenieurbüro, *Widen*: **Wärmeabfluss ins Erdreich**. (JB)
- [8] P. Steiner, EMPA - *Dübendorf*: **IEA/BCS Annex 24: Heat, Air and Moisture Transfer Through New and Retrofitted Insulated Envelope Parts (HAMTIE)**. (JB)
- [9] R. Gehrig, EMPA - *Dübendorf*: **Schadstoffemissionsverhalten von Baustoffen**. (JB)
- [10] Th. Cerkez, EMPA - *Dübendorf*: **Energierrelevante Typenprüfung für Öl- und Gasheizkessel mit Gebläsebrennern**. (JB)
- [11] Ph. Clerc / Ch. Weinmann, WEINMANN ENERGIES, *Echallens*: **Exploitation optimale des chaufferies**. (JB)
- [12] K. Fort, Ingenieurbüro, *Volketswil*: **Optimaler Betrieb von Fussbodenheizungen**. (JB)

- [13] M. Faller, EMPA - *Dübendorf*: **Organische Beschichtungen als Korrosionsschutz in Niedertemperatur-heizkesseln.** (JB)
- [14] F. Widder, PSI - *Villigen* : **Energierelevante Luftströmungen in Gebäuden (ERL).** (JB)
- [15] U. Steinemann, Ingenieurbüro, *Wollerau*: **ERL-Publikationsreihe.** (JB)
- [16] P. Hartmann, EMPA - *Dübendorf*: **IEA/BCS Annex 5: Air Infiltration and Ventilation Centre.** (JB)
- [17] Ch. Filleux, BASLER & HOFMANN, *Zürich*: **IEA Annex 18: Demand Controlled Ventilating Systems.** (JB)
- [18] A. Moser, ETH - *Zürich*: **IEA/BCS Annex 20: Air Flow Patterns within Buildings.** (JB+SB)
- [19] Ch. Gaegauf, ÖKOZENTRUM - *Langenbruck*: **Das Abbrandverhalten von Klein-Holzfeuerungen.** (SB)

(JB) Jahresbericht 1991 vorhanden

(SB) Schlussbericht vorhanden

## 8. Referenzen

- [20] M. Zimmermann, KWH / EMPA - *Dübendorf*: **Schweizerisches Forschungsprogramm: Rationelle Energienutzung in Gebäuden, 1992-1995,** 1991
- [21] M. Zimmermann, H. Bertschinger, KWH / EMPA - *Dübendorf*: **Hochwärmedämmende Wand- und Dachkonstruktionen,** Referat SAH Tagung (Schweiz. Arbeitsgemeinschaft für das Holz), 1991
- [22] M. Zimmermann, KWH / EMPA - *Dübendorf*: **Energie im Gebäude des 21. Jahrhunderts,** SIA 19, 1991
- [23] D. Chuard, P. Chuard, SORANE, *Lausanne*: **L'éclairage dans les écoles,** 1991
- [24] H. Hens et al, Lab. for BUILDING PHYSICS, *Leuven (Belgien)*: **Condensation and Energy - Sourcebook, Case Studies, Catalogue of Material Properties,** IEA/BCS Annex 14, 1991. (SB)
- [25] **Energy Management Systems - User Experiences, Cost Benefit Assessment, Specification and Standards, Guide to Sensors, Case Studies,** IEA/BCS Annex 16, 1991 (SB)
- [26] **A Guide to Contaminant Removal Effectiveness,** AIVC / TN 28-2, 1991
- [27] **Reporting Guidelines for the Measurement of Airflows & Related Factors in Buildings,** AIVC / TN 32, 1991
- [28] **A Review of Building Air Flow Simulation,** AIVC / TN 33, 1991
- [29] **12. AIVC-Conference (Ottawa),** Proceedings, AIVC, 1991
- [30] W. Raatschen: **Demand Controlled Ventilating Systems - Humidity and Indoor Air Quality Sensor Update,** IEA/BCS Annex 18, 1991.
- [31] **2. International Workshop on Computer Building Representation for Integration,** Proceedings, LESO / EPF - *Lausanne*, 1991
- [32] **Workshop on Air Quality,** Proceedings, LESO / EPF - *Lausanne*, 1991

# RATIONELLE ENERGIENUTZUNG IM VERKEHR

Überblicksbericht  
zum Forschungsprogramm 1991

Programmleiter : Bruno Albrecht



## Das Leichtmobil *ECOLO*

Das Leichtmobil *ECOLO* ist mit einem Erdgasmotor ausgerüstet. *Getankt* wird via einen Kompressor, ein Produkt der Firma SULZER, Winterthur. Das Erdgas kann direkt in der Wohnungsküche angezapft werden. Entwicklung und Optimierung des verbrauch- und emissionsarmen Erdgas-Magermotors werden am Zentralschweizerischen Technikum Horw-Luzern durchgeführt.

## 1. Anvisierte Zielpunkte für 1991

Im Forschungsprogramm **RATIONELLE ENERGIE NUTZUNG IM VERKEHR** 1989-92 sind im Hinblick auf eine Minimierung des schweizerischen Gesamtenergieverbrauchs die folgenden Schwerpunkte enthalten:

- Verbesserte Energiewirkungsgrade beim motorisierten Individualverkehr mit Hilfe von technischen und verkehrsorganisatorischen 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, z.B. *SWISSMETRO*, Direkt-Elektroantrieb für den Strassenfernverkehr, Produkterohrleitungen, usw.
- Verfeinerung der energiestatistischen Grundlagen

Weil die Zunahme des Endenergieverbrauchs beim motorisierten Individualverkehr im Gegensatz zu Industrie, Gewerbe und Privathaushalten nach wie vor ungebrochen ist, wurden die neu eingeleiteten Projekte mehrheitlich wiederum in diesem Bereich angesiedelt.

## 2. Durchgeführte Forschungsarbeiten und erreichte Ergebnisse

### Abgeschlossene Projekte

#### a) *Antrieb und Sicherheit von Kleinelektromobilen im Rahmen der Entwicklung eines Swissmobils*

Dieses Projekt der Firma LARAG in Wil [1] hatte als Zielsetzung die ganzheitliche Erforschung der Erfolgsbedingungen für ein Leichtelektromobil mit den Schwerpunkten Batteriesysteme, Antriebssysteme, Leichtbau und Herstellungsmöglichkeiten. Der Schlussbericht zu diesem Projekt liegt in provisorischer Fassung vor. Es sind folgende Ergebnisse zu verzeichnen:

Bereich Antriebssystem:

- Das verwendete Magnet-Synchron-Antriebskonzept erfüllt die technischen Anforderungen, muss jedoch bis zur Serienreife noch weiter optimiert werden .

Bereich Batterien:

- Für den Einsatz in *Leicht-Elektro-Mobilen* kommt trotz noch nicht befriedigender Lebensdauererfahrungen kurz- und mittelfristig vom Entwicklungsstand und Preis her nur eine absolut wartungsfreie Bleibatterie (Blei-Trockenbatterien) in Frage. Die notwendige Weiterentwicklung dieser Batteriesysteme muss sich vor allem auf eine hohe Serien-Fertigungsqualität konzentrieren, damit die Homogenität, die Serienschaltung mit höheren Spannungen, die Zyklfestigkeit und Gesamtlebensdauer entscheidend verbessert werden können.

- Aus Gewichtsverteilungs- (Fahr-, Lenkungs- und Bremsverhalten) sowie aus Sicherheitsgründen kommt bei Bleibatterien nur eine dezentrale Platzierung, verteilt auf den Vorder- und Hinterachsraum in Frage.
- Hochenergiebatterien wie NaS, NiCd oder ZnBr sind erst aus Labor- und Pilotfertigung erhältlich und vom Preis-, Liefer-, Erprobungs- und Optimierungsmanko her in einem serienproduzierten Leichtmobil noch nicht einsetzbar.

#### Bereich Leichtbauforschung:

- Es wurden insgesamt 8 Prototypen von Längen im Bereich von 2.5 - 3.5 m mit den Materialien Stahl, Leichtmetall, Kunststoff sowie Kombinationsvarianten (Verbundwerkstoffe) untersucht. Für Grossserien von Karosserie-Neukonstruktionen sind sehr grosse Investitionen notwendig, da insbesondere geeignete Verfahrenstechniken für die Konstruktion einer volltragenden, langlebigen und crashfesten Kunststoffkarosserie benötigt werden.
- Die Ergebnisse der Komponentenevaluation und -entwicklung wurden in Form von zwei Fahrzeugprototypen realisiert. Der Einfachheit halber wurde zuerst der LAREL Typ 304, ein 1150 kg schweres Elektromobil und danach mit denselben Komponenten ein swissmobilähnliches Leichtelektromobil gebaut, wobei jeweils auf dem Markt erhältliche Kunststoffkarosserien verwendet wurden. Die Implementation der Komponenten in den zweiten Prototypen ist noch nicht abgeschlossen. Leider wird von LARAG die Weiterentwicklung dieser beiden Prototypen in Richtung Serienreife vorerst nicht weiterverfolgt.

#### b) *Schnellbahn Swisstromo*

Dieses Projekt ist ein gemeinsames Forschungsvorhaben des Dienstes für Gesamtverkehrsfragen und des BEW. Forschungsstellen sind z.Zt an der ETH - Lausanne [2]. In der im Januar 1991 abgeschlossenen **Vorstudie** wurden die Marktchancen und möglichen Auswirkungen auf Verkehr, Siedlung, Energie, Umwelt und Wirtschaft untersucht und der Öffentlichkeit vorgestellt. Aufgrund der bisher erzielten Ergebnisse wurde die Durchführung der Hauptstudie entschieden.

### Laufende Projekte

#### a) *Verbrauchsminimales Leichtautomobil mit Erdgas-Magermotor*

Das im Herbst 1990 eingeleitete und bis anfangs 1993 dauernde Projekt beim Zentralschweizerischen Technikum in Horw umfasst die Optimierung eines verbrauchs- und emissionsarmen Leichtautomobils mit einem Erdgas-Magermotor sowie die Definition der technischen Mindestanforderungen für eine neue Fahrzeugkategorie *Leichtautomobile* [3]. Die bisherigen Aktivitäten und erzielten Ergebnisse sind:

- Untersuchung und Optimierung des Magerbetriebs an einem Einzylinder-Versuchsmotor auf dem Prüfstand hinsichtlich Treibstoffverbrauch und Emissionswerten. Die Einstellungen des Zündzeitpunktes für den emissions- und verbrauchsminimalen Betrieb sind nun bekannt.
- Umrüstung eines DAIHATSU Cuore zum Pilotfahrzeug *ECOLO*. Der Vergaser wurde durch einen Gasmischer ersetzt und anstelle des Benzintanks ein Druckbehälter für das komprimierte Erdgas eingebaut. Der Mischer wurde schrittweise so modifiziert, dass über den ganzen Betriebsbereich des Motors der für die Abmagerung notwendige Luftüberschuss richtig dosiert wird.
- Durchführung von verschiedenen Versuchsreihen auf dem Rollenprüfstand und Verbesserung des Prototypen bezüglich Fahrbarkeit, Abgasemissionen und Treibstoffverbrauch.
- Beschaffung eines leichteren Fahrzeuges derselben Marke mit einem kleineren Motor zum Bau eines zweiten Prototypen, um die noch nicht voll befriedigenden Energieverbrauchs- und Abgaswerte bezüglich der Nichtmethan-Kohlenwasserstoffe verbessern zu können.
- Präsentation der bisherigen Forschungsarbeiten anlässlich einer Pressekonferenz im August 1991.

#### **b) Entwicklung einer Elektro-Leichtfahrzeug-Modellfamilie**

Ziel dieses Projektes ist die Entwicklung von zwei Prototypen der Elektro-Leichtfahrzeug-Modellfamilie durch die Firma HORLACHER, Möhlin, unter besonderer Berücksichtigung der Alltagstauglichkeit (Benutzerfreundlichkeit, Sicherheit, Energiesparsamkeit, Kostengünstigkeit) [4]. Folgende Arbeiten wurden bisher ausgeführt:

- Prüfung und Bewertung verschiedener Produktionsverfahren wie Expandierharz-, Vakuum-, Preprecoder Injektionsverfahren für eine zukünftige Serienproduktion der Fahrzeughülle der zu erstellenden Prototypen sowie Herstellung erster Prototypenwerkstücke.
- Berechnung der Dimensionierung des geplanten Wärmetauschers mittels eines Wassersystems für verschiedene Komponenten wie Motor, Ventile, Pumpe, Kühler, Boiler, Steuerung, Batterie mittels eines Simulationsprogramms.
- Bau eines ersten Sicherheitsfahrzeug-Prototypen und Durchführung und Auswertung eines Crashtests durch die Abteilung Unfallforschung der Winterthur-Versicherung, der Dekra und der Uni Zürich. Die Ergebnisse dieses Crashtests mit 35 km/h gegen eine Wand zeigen, dass die Realisierung eines genügenden Sicherheitsniveaus voraussichtlich auch im Leichtbau erreicht werden kann.
- Bau eines 2. Prototypen des City-Fahrzeuges unter spezieller Betrachtung der Serientauglichkeit, Produktionszeit und Gewichtsoptimierung .

#### **c) Radoptimierung für Leichtfahrzeuge**

Dieses von 1991 bis Ende 1992 dauernde Projekt der Arbeitsgemeinschaft HORLACHER / BUCHER / ESORO in Möhlin umfasst die Optimierung von Felge und Reifen für Leichtfahrzeuge bis zu einem Maximalgewicht von 900 kg [5]. Folgende Arbeiten wurden in diesem Jahr ausgeführt:

- Ermittlung der optimalen Raddimension für die zu erfüllenden Anforderungen. Anhand von Prüfstandversuchen und Strassentests von 15-, 16- und 17-Zoll Raddimensionen ergab sich eine optimale Dimension von 15 Zoll.
- Konstruktion und Tests von verschiedenen Felgenkonstruktions-Varianten aus Aluminium und Kunststoff sowie Weiterverfolgung der Bestvariante mit Leichtmetall-Druckgussfelgen .

#### **d) Optimierung des Asynchronantriebs für Leichtfahrzeuge**

Dieses bis Ende 1992 dauernde Projekt der Firma BRUSA in Gams umfasst die Realisierung eines optimierten und kostengünstigen Drehstrom-Antriebsystems für Elektro-Leichtfahrzeuge [6]. Die bisherigen Arbeiten umfassten:

- Evaluation und Beschaffung eines geeigneten Motorenprüfstandes .
- Optimierung bzw. Neuentwicklung der folgenden Komponenten:
  - o Rechnerkonzept (Mikroprozessor) für die Fahrzeugelektronik.
  - o Potentialfreies Netzladegerät mit hohem Wirkungsgrad .
  - o Kostengünstiger 12-V-Bordnetzwandler mit hohem Wirkungsgrad.
  - o Ersatz für die zu teure Kommutierungshilfe .
  - o Verarbeitungslogik für Zweispurgeber .
  - o Kostengünstiger Drehzahlmesser.

#### **e) Entwicklung des Reluktanzmotors für den Einsatz im Elektrofahrzeug**

Das Ziel dieses Forschungsprojektes der Firma BRUSA ist die Realisierung eines Direktantriebs für Elektrofahrzeuge, d. h. die Räder werden ohne Getriebe und Differenzial direkt von einem Motor angetrieben. Dadurch wird die Gesamtkonstruktion des Elektroantriebs bei gutem Wirkungsgrad erheblich vereinfacht, woraus auch wesentliche Kosteneinsparungen erwartet werden [7].

**f) Vorstudie zur Definition eines Testprogramms für Elektromobile [8]**

Dieses Projekt des Ingenieurbüros HOBI (Wetzikon) soll, als Vorschlag, zu einem praxisgerechten und aussagekräftigen Testprogramm für die Ermittlung zuverlässiger und reproduzierbarer Messwerte der Fahrleistungen und der Reichweite von Elektromobilen im praktischen Einsatz führen. Folgende Arbeiten wurden bereits ausgeführt: Schriftliche Befragung der Anwender und Experten sowie Literaturrecherchen zur Erfassung der Bedürfnisse an solchen Untersuchungen sowie der heute üblichen und einsetzbaren Methoden zur Messung der Fahrleistungen von Elektromobilen.

**g) Oekomobil Hybrid III B**

Dieses Ende 1990 begonnene und bis 1994 dauernde Grossprojekt von 8 Instituten der ETH-Zürich (Leitung M. Eberle) umfasst die Entwicklung, Erprobung und Optimierung eines Antriebskonzeptes für das Ökomobil Hybrid III B mit geringem Energieverbrauch und minimalen Emissionen [9]. Folgende Arbeiten wurden bis anhin ausgeführt:

- Auswahl und Bestellung eines geeigneten Verbrennungsmotors, eines VW 1,3 1-Benzinmotors mit Dreiwegkatalysator, Einzelzylindereinspritzung, Höchstleistung von 53 kW bei Drehzahl 100/s.
- Setzen verbindlicher Randbedingungen bezüglich Schwungradteil, Getriebe, Wärmehaushalt, Hydraulik, usw.
- Evaluation der endgültigen Bauform für das Getriebe mit Kettenwandler und Bereichsumschaltung.
- Evaluation der endgültigen Bauform für die Schwungradgruppe. Das Konzept der Schwungradgruppe (Schwungrad, Elektromaschine und Reibkupplungen) muss nach den Ergebnissen der bisherigen Evaluationen überarbeitet werden.
- Studium und Optimierung der Fahrzeug-Regelstrategien, insbesondere von verschiedenen Umschaltstrategien des stufenlosen Getriebes anhand von Modellrechnungen.

Die aufgetretenen Konstruktionsprobleme bei Schwungradgruppe und Getriebe führen gegenüber dem ursprünglichen Zeitplan zu einer Verschiebung von rund einem Jahr.

**h) Leichtmobil CH-2000**

Die von der Firma Reichenbach (Zumikon) bis Ende 1991 durchzuführende Vorstudie dient der Vorbereitung eines umfassenden, interdisziplinären Projektes **Leichtmobil CH - 2000** [10], unter Berücksichtigung und Koordination aller bisherigen Forschungsarbeiten auf diesem Gebiet. Ziel dieser Projektvorstudie ist es, die Anträge für ein längerfristiges Gesamtforschungsprojekt Leichtmobil CH - 2000 mit Zeitbedarf und Finanzrahmen zu erarbeiten und zu definieren, inkl. Vorschlag von geeigneten Projektnehmern. Folgende Arbeiten wurden bis anhin ausgeführt:

- Umfassende Ermittlung der gegenwärtigen Forschungs- und Entwicklungsaktivitäten im Bereich Leichtmobilmobilbau in der Schweiz; Selektion der für das Gesamtforschungsprojekt geeigneten Projekte.
- Definition der vorhandenen Projektlücken im Bereich der vier definierten Forschungs- und Entwicklungsschwerpunkte Energie, Verkehr, Sicherheit und Umwelt mit Zeit- und Kostenrahmen sowie möglichen Projektnehmern.
- Einholung von Grobofferten für die evaluierten Projektlücken. Für das Teilprojekt *Umwelt*, welches für das Gesamtprojekt eine Schlüsselfunktion beinhaltet, wurden aus terminlichen Überlegungen bereits konkrete Projektunterlagen eingeholt und bereinigt.
- Aufgrund der bisher vorliegenden Ergebnisse scheint das Gesamtprojekt *Leichtmobil CH-2000* ökologisch sinnvoll und technisch machbar zu sein.

Die Projektarbeiten wurden durch ein Expertengremium, den Ausschuss der Arbeitsgruppe *Leichtmobil CH-2000* begleitet.

**i) Gemeinschaftlicher Gebrauch von Motorfahrzeugen**

Diese von Mitte 1991 bis Mitte 1992 dauernde Fallstudie des Planungsbüros P. MUHEIM & PARTNER in Luzern [11] soll neben dem Energiesparpotential, Ansätze und Strategien zur Förderung des gemeinschaftlichen

Gebrauchs von Motorfahrzeugen (Autoteilet, Taxi, Mietwagen) aufzeigen. Folgende Arbeiten wurden bereits ausgeführt:

- Erarbeitung der Methodik zur Bestimmung des Energiesparpotentials pro Mitglied sowie des gesamtschweizerischen Mitgliederpotentials der Autoteilet-Genossenschaft (ATG), inkl. Grundlagensichtung und erster quantitativer Berechnungen.

Erste grobe Schätzungen lassen auf einen erheblichen Bevölkerungsanteil schliessen, für den die Kombination ATG und öffentlicher Verkehr eine realistische Alternative zum eigenen Auto darstellen kann.

#### *j) Batteriebetriebenes Elektromotorfahrrad*

Dieses von Mitte 1991 bis Herbst 1992 dauernde und von P. Eberli durchzuführende Projekt [12] umfasst die Optimierung des batteriebetriebenen Elektromotorfahrrades *SCOOT* für die alltägliche Anwendung im Nahverkehr z.B. für den täglichen Arbeitsweg, für Haushaltseinkäufe oder für die Innerortspostverteilung. Folgende Arbeiten wurden bereits ausgeführt:

- Erstellen der Gesamtkonzeption, der Detailkonstruktionen und ein erster Teil der Werkstattzeichnungen.
- Bestimmung und Einkauf der aus vorhandenen Benzinmotorfahrrädern übernehmbaren Bauteile.

### **3. Internationale Zusammenarbeit**

Auf internationaler Ebene befassen sich mit dem Gebiet *Energie und Verkehr* vor allem die Internationale Energie Agentur (IEA) und die Europäische Zusammenarbeit auf dem Gebiet der wissenschaftlichen und technischen Forschung (COST). Im März 1991 wurde in Berlin eine IEA-Konferenz über das saubere und kraftstoffsparende Auto von morgen durchgeführt [13]. Auf europäischer Ebene ist 1991 eine neue COST-Aktion **Verbesserung der Luftqualität in den Städten** [14] gestartet worden, worin auch energiesparende und umweltverträgliche Verkehrsmittel eine wichtige Rolle spielen.

### **4. Geplante Forschungsarbeiten 1992**

Als neue Projekte sind für 1992 bereits bewilligt bzw. vorgesehen:

- Hauptstudie **SWISSMETRO**.
- Projekt **OMEGAZ**, Forschungsarbeiten zur Optimierung eines **Benzin-Erdgas-Hybridfahrzeuges**.
- Entwicklung von mechanischen **Leichtbaukomponenten** für Leichtbaufahrzeuge.
- Entwicklung eines **kostengünstigen mikroprozessorgesteuerten Einzelladegerätes** für den Einsatz in einem alltagstauglichen Elektromobil.
- Einleitung des Gesamtprojektes *Leichtmobil CH-2000* gemäss den Ergebnissen der Vorstudie. 1992 wird im Rahmen des BEW Programms DIANE das Projekt **Leichtelektromobile** gestartet. Die diesbezüglichen Forschungsarbeiten werden dort integriert.
- Nickel-Hybrid-Batterie Versuchsbetrieb mit einem **Elektromofa**.
- **Leerfahrtenoptimierung beim Strassengüterverkehr** durch Einsatz neuer Technologien.
- Studie über **moderne Luftschiffe**: Eine energiesparende Alternative für ausgewählte Transportbedürfnisse in der Schweiz.
- Pilot- und Demonstrationsprojekt zur Entwicklung und Erprobung eines **Kleincontainer-Transportsystems** für den kombinierten Verkehr Bahn-Strasse 2000.

## 5. Liste der Projekte

- [1] J. Jäger, W. Koller, LARAG AG, *Wil*: **Leichteletromobil**, Entwurf des Schlussberichtes .
- [2] F. L. Perret, J. D. Favrod, M. Jufer, LEME + ITEP / EPF - *Lausanne*: **Swissmetro-Etude préliminaire, Rapport de Synthèse sur l'étude de faisabilité technologique et économique de SWISSMETRO**, Janv.1991
- [3] W. Janach, ZTL, *Horw*: **Verbrauchsarmes Leichtautomobil mit Erdgas-Magermotor**. (JB)
- [4] M. Horlacher, HORLACHER AG, *Möhlin*: **Elektro-Leichtfahrzeug-Modellfamilie**. (JB)
- [5] M. Horlacher, HORLACHER AG, *Möhlin*: **Räder und Reifen für Leichtfahrzeuge**. (JB)
- [6] J. Brusa, BRUSA ELEKTRONIK, *Gams*: **Der Asynchronantrieb im Elektro-Fahrzeug**. (JB)
- [7] J. Brusa, BRUSA ELEKTRONIK, *Gams*: **Der Reluktanzmotor als Direktantrieb im Elektrofahrzeug**.(JB)
- [8] H. Hobi, Ing.-Büro HOBI, *Wetzikon*: **Testprogramm Elektromobile: Messung und Vergleich der Fahrleistungen von Elektromobilen unter standardisierten Bedingungen; Vorstudie**. (JB)
- [9] M. Eberle, ETH - *Zürich*: **Oekomobil Hybrid III - ein umweltschonendes Antriebskonzept**. (JB)
- [10] E. Meyer, REICHENBACH Unternehmensberatung, *Zumikon*: **Projektvorstudie Leichtmobil CH-2000**. (JB)
- [11] P. Muheim, Planungsbüro MUHEIM, *Luzern*: **Das Energiesparpotential des gemeinschaftlichen Gebrauchs von Motorfahrzeugen**. (JB)
- [12] P. Eberli, *Colombier*: **Batteriebetriebenes Elektrofahrrad**. (JB)

(JB) Jahresbericht 1991 vorhanden.

## 6. Referenzen

- [13] **Das saubere und kraftstoffsparende Auto von morgen: Möglichkeiten der Ost - West -Zusammenarbeit**, Int. Konf. OECD / IEA / CEMT, *Berlin*, 25.-27. März 1991,
- [14] **Verbesserung der Luftqualität in Städten**, OECD - Group on Urban Affairs, November 1990

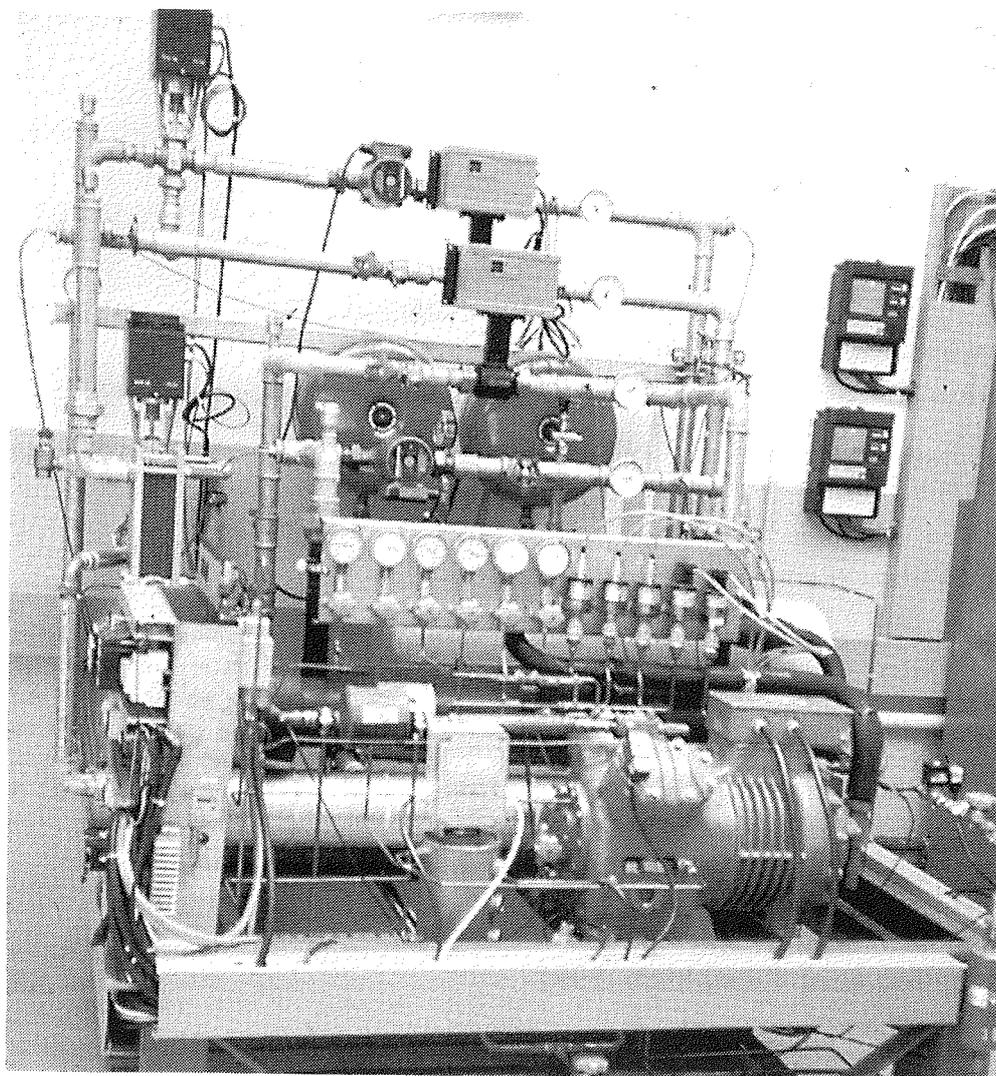


# UMGEBUNGS- UND ABWÄRMENUTZUNG, WÄRME - KRAFT - KOPPLUNG

Überblicksbericht  
zum Forschungsprogramm 1991

Programmleiter : Ulrich Schärer

---



## Teststand Wärmepumpe

An der Wärmepumpen-Laboranlage werden gezielt Betriebszustände und -störungen erzeugt, um das entwickelte Expertensystem zur präventiven Wartung und Alarminterpretation [10] zu testen.

## 1. Programmziele

An der hauptsächlich mit dem Programm verfolgten Absicht hat sich nichts verändert: Nach wie vor geht es grundsätzlich darum, den Technologien zur Verwertung von Umwelt- und Abwärme zur besseren Marktfähigkeit zu verhelfen. Im Rahmen des angelaufenen Programms ENERGIE 2000 wurde u.a. auch ein Förderprogramm WÄRMEPUMPEN [29] entworfen, das dieses Ziel ab 1992 nahtlos und wirkungsvoll unterstützen wird. In seinem Rahmen werden P+D-Projekte, eine verstärkte berufliche Aus- und Weiterbildung und *organisatorische* Massnahmen (Schaffung guter Rahmenbedingungen) finanzierbar. Die gleichen Unterstützungsmassnahmen sind auf Grund von Art.11 des Energienutzungsbeschlusses (ENB) auch für den Bereich der Abwärmenutzung (ohne oder mit Wärmepumpen) möglich.

Die Absicht des vorliegenden F+E-Programms in Ziele umsetzen heisst: Erstens eine Verbesserung der Leistungszahlen von Wärmepumpen resp. der Nutzungsgrade von Wärme-Kraft-Kopplungsanlagen (WKK) und Wärmerückgewinnungssystemen (WRG) als Mittel zur Senkung der Betriebskosten, zweitens die Verminderung oder mindestens Stabilisierung der Investitions- und damit Kapitalkosten der in Frage kommenden Systeme.

### Ziele 1991

- Verbesserung der Jahresarbeitszahl *konventioneller* Wärmepumpensysteme durch bessere Komponenten, optimal dimensionierte und betreibbare Anlagen;
- Die sich aus dem notwendigen Ersatz von Chlorierten Fluor-Kohlenwasserstoffen (CFKW) als Kältemittel ergebenden Konsequenzen auf die Konstruktion neuer Wärmepumpen abklären, die praktischen Schwierigkeiten der Umrüstbarkeit bestehender untersuchen;
- Werkzeuge zur optimalen Dimensionierung und Betriebsweise von Wärmepumpen und Wärme-Kraft-Kopplungsanlagen (WKK) erarbeiten ;
- Weitere Betriebserfahrungen mit Stirling-WKK sammeln und neue Produkte suchen;
- Die Zusammenarbeit mit der Industrie und der Energiewirtschaft konsolidieren und um konkrete Projekte ausbauen.

**Diese Jahresziele konnten grösstenteils erreicht werden.**

Als Rückschläge sind zu verzeichnen, dass sich leider zwei in Angriff genommene resp. vorbereitete Industrie-Projekte nicht haben verwirklichen lassen: Eine der beteiligten Firmen ist in Konkurs geraten, die andere hat den Entschluss gefasst, sich aus dem Wärmepumpengeschäft zurückzuziehen. Da erfreulicherweise zwei andere Unternehmen in die Lücke springen werden, resultiert schliesslich und glücklicherweise nur eine zeitliche Verzögerung. Sehr positiv kann hingegen vermerkt werden, dass die Wärmepumpen-Industrie sich der Herausforderung stellt, den durch die neu gegründete "Fördergemeinschaft Wärmepumpen" (FW) veranstalteten Wettbewerb zur Entwicklung einer neuen Kompaktwärmepumpe hoher Leistung zu bestreiten (Näheres dazu in Kap. 3).

## 2. Arbeiten und Ergebnisse 1991

### Wärmepumpen

#### a) Bereich Wärmequellen :

Im Vordergrund der Wärmequellen stand eindeutig die mit vertikalen Sonden bis etwa 120 m Tiefe erschlossene Erdwärme (auch etwa "untiefe Geothermie" genannt). Sie stellt wegen ihrer relativ hohen und wenig schwankenden Temperatur (bei richtiger Nutzung zwischen etwa 12-9 °C, langjährige Abnahme weniger als 1 °C

gegenüber dem ungestörten Zustand) eine hervorragende Wärmequelle dar. Erdwärmesonden werden in der Schweiz denn auch immer wichtiger, so dass der Bedarf an zuverlässigen Dimensionierungskennndaten gross ist.

**Die Untersuchungen des Kantons Bern über die gegenseitige Beeinflussung mehrerer in Sondenfeldern angeordneter Erdwärmesonden** [1] wurden termingerecht weitergeführt. Die Versuchsanlage ist bei der HTL Burgdorf aufgebaut. Sie wird nach Projektabschluss dieser Ingenieurschule zu Ausbildungszwecken - und natürlich zur Beheizung der Gebäude - weiter zur Verfügung stehen. Erste Versuche des Mehrjahresprogramms sind angelaufen. Ergebnis werden Dimensionierungsrichtlinien und -kennzahlen für solche Sondenfelder sein. Diese können vermehrt Bedeutung für Wärmepumpen grösserer Leistung (für Wärmekollektive oder grössere Bauten) erlangen.

Das Projekt zur **Feststellung der minimal einzuhaltenden Grenzabstände zwischen Erdwärmesonden auf zwei verschiedenen Grundstücken** konnte abgeschlossen werden. Mit den im Schlussbericht [2] enthaltenen Planungsempfehlungen werden unzulässige Abkühlungen des Erdreichs in solchen Fällen und nicht zuletzt auch allfällige Streitigkeiten zwischen Anlagebesitzern ("Wärmeklau") vermeidbar.

Ebenso wichtig wie die **Kenntnis des thermischen Verhaltens von Erdwärmesonden an sich ist ihr optimales Zusammenspiel mit der Wärmepumpe**. Diesem Thema war eine *theoretische* Arbeit [3] gewidmet, die ebenfalls abgeschlossen ist. Sie wird im Zusammenhang mit den weiter unten erwähnten Arbeiten über Wärmepumpen-Modellierung noch verfeinert werden müssen.

*Die Untersuchungen an einem unter dem Fundament eines Mehrfamilienhauses angelegten Geröllspeicher (Wärmequelle für eine Luft / Wasser-Wärmepumpe)* konnten nun zu Ende geführt werden [4]. Die Ergebnisse sind ermutigend: Die Temperatur der durch den Speicher aus Eisenbahnschotter streichenden (Aussen-) Luft ist am Verdampfer der Wärmepumpe auch nach mehreren kalten Tagen um einige Grad höher als am Eintritt. Wesentliche positive Folge davon ist, dass der Verdampfer nicht mehr abgetaut werden muss, die Arbeitszahl der Wärmepumpe daher besser ist. Der zunächst vermutete Einfluss der besonders hohen Bodenfeuchtigkeit unter dem Haus ist vernachlässigbar klein, so dass sich das System auch für *normale* Untergrundverhältnisse eignet. Diese Erkenntnis hat dazu geführt, dass bereits ein weiteres Objekt mit einem solchen, aber weit grösseren Geröllspeicher ausgerüstet ist und detailliert ausgemessen wird [5].

#### **b) Wärmepumpensystem / Komponenten / Betriebsoptimierung :**

Auch 1991 wurde an bereits im letzten Jahresbericht vorgestellten **Modellierungswerkzeugen für Wärmepumpen** gearbeitet. Das Simulationsprogramm *HP Design* [6], das nicht nur das System als Ganzes beschreibt, sondern auch die einzelnen Komponenten und deren Zusammenspiel im Betrieb modelliert, steht kurz vor Abschluss. Es soll eine optimale Dimensionierung von Wärmepumpen mit Luft oder Wasser als Quelle und Wärmesenke - auch mit neuen Kältemitteln - sicherstellen.

Ein weiteres Projekt befasst sich seit längerem mit **systematischen Messungen einer drehzahlgeregelten Wärmepumpe und deren Modellierung** [7] mit dem Ziel, die geeigneten Komponenten (Kompressoren, Expansionsorgane) und Regelstrategien identifizieren zu können. Mit stufenlos regelbaren Wärmepumpen ist prinzipiell eine höhere Arbeitszahl erreichbar. Die auf dem Prüfstand stehende Wärmepumpe hat einen sog. Scroll-Kompressor. Leider sind diese besonders geeigneten Rotations-Kompressoren vorläufig nur schwer auf dem Markt erhältlich.

Dem gleichen Ziel der Drehzahlvariation hat sich das vom NEFF und der KWF finanzierte Projekt **Wärmepumpenoptimierung** [8] verschrieben, das zu Beginn 1992 abgeschlossen sein wird. Mit ihm werden die für eine stufenlose Drehzahlregelung am besten geeigneten, auf dem Markt erhältlichen Komponenten, insbesondere Kompressoren mit gutem Teillastverhalten, evaluiert. Dabei werden auch andere Rotationskompressoren als die Scrolls getestet.

Ins gleiche Thema der Dimensionierungswerkzeuge gehört ein neu begonnenes Projekt der **Software-Evaluation für Wärmepumpen und Wärme-Kraft-Kopplungsanlagen** [9]. Das Vorhaben steht im Zusammenhang mit RAVEL (Ressort 31) und wird denn auch gemeinsam abgewickelt. Die Software soll nämlich auch der Weiterbildung von Planern im Rahmen dieses Impulsprogrammes dienen. Nach Abschluss einer ersten Phase, der Evaluation bestehender Software, wurde der Entschluss gefasst, ein eigenes Programm zu entwickeln, mit dem auch die täglichen Lastverläufe berücksichtigt werden. Der Abschluss ist auf Mitte 1992 vorgesehen.

Um den optimalen Betrieb von Wärmepumpenanlagen bei geringsten Betriebskosten zu unterstützen, wurde weiter an einem **Expertensystem zur präventiven Wartung** [10] gearbeitet. Dies ist besonders für grössere Gasmotor-Wärmepumpen mit ihren erfahrungsgemäss relativ hohen Unterhaltskosten wichtig. Gasmotor-Wärmepumpen werden heute nicht zuletzt aus diesem Grunde nur sehr selten gebaut. Um sie doch vermehrt ins Gespräch zu bringen, werden in einem weiteren Projekt Erfahrungen und darauf aufbauend Planungsregeln erarbeitet [11]. Die entsprechenden Erkenntnisse werden dann unmittelbar in eine vom BEW mitfinanzierte P+D-Anlage einfließen.

Im gleichen Zusammenhang steht das gemeinsam mit RAVEL abgewickelte Projekt der **Analyse und Bewertung von Betriebsstörungen von Gasmotoren für Wärmepumpen und Wärme-Kraft-Kopplungsanlagen** [12].

Ebenfalls zusammen mit RAVEL und aufgrund der dafür relevanten, in diesem Bericht ebenfalls erwähnten Projekte wird schliesslich ein **Katalog von Standardschaltungen für Wärmepumpen- und WKK-Anlagen** erarbeitet [13]. All diese anwendungsorientierten Vorhaben werden aufeinander abgestimmt vorgenommen und (zunächst über RAVEL) auch direkt in die Weiterbildung eingebracht.

Für die Praxis wichtige Erkenntnisse über die **Umrüstbarkeit bestehender, bisher mit Freon betriebener Wärmepumpen auf das Kältemittel R 134a** soll ein Mitte Jahr begonnenes Testprogramm [14] liefern. Als ein mögliches Problem wird nicht die Entleerung des alten Kältemittels selber, sondern die vollständige Entnahme des im Kreislauf enthaltenen, ebenfalls zu ersetzenden Kompressorenoels erwartet.

Das Projekt **Thermische Wärmepumpe mit Stirling-Antrieb und Resonanzrohr** [15] wurde vorläufig abgeschlossen. Vorläufig bedeutet, dass für die Weiterentwicklung des nun vorhandenen, mit gutem Erfolg im Labor betriebenen Funktionsmusters eine investitionsbereite Industrieunternehmung gefunden werden muss, was sich wie befürchtet als überaus schwierig erweist.

**Wärmepumpen-Warmwasser-Erwärmer** sind in der Schweiz bisher eher schwach verbreitet. Der Grund dafür ist u.a., dass über die Jahresenergiebilanz zu wenig Sicherheit besteht, Diese Frage ist direkt vom Aufstellungsort solcher *Wärmepumpenboiler* abhängig. Um verlässliche Aufstellungskriterien für Planer zu erhalten, wurde ein **Messprojekt** [16] in Angriff genommen.

## **Wärme - Kraft - Kopplung WKK**

Dezentrale WKK werden auch als Stromlieferanten für Wärmepumpen zunehmend wichtig. Im Zusammenspiel dieser beiden Technologien können gegenüber konventionellen Heizsystemen beträchtliche Mengen fossiler Brennstoffe gespart werden. Vor diesem Hintergrund wird weiterhin an einigen WKK-Projekten gearbeitet.

Das **Expertensystem zur präventiven Wartung und Alarminterpretation** [17] soll (wie dasjenige für *Wärmepumpen*, [10]) ein Betriebsführungs-Instrument bieten, das der Minimierung der Wartungskosten und der Erhöhung der Verfügbarkeit von WKK dient.

Ebenfalls Gegenstand der Optimierung ist das Projekt der **systematischen Untersuchung und Gewichtung der Parameter**, welche *beim Betrieb von WKK* unter dynamisch ändernden Bedingungen wesentlich sind [18]. Aus den Ergebnissen werden u.a. auch Steuerungsstrategien abgeleitet werden können. Bereits die erste, abgeschlossene Phase zeigt interessante, praktikable Ansätze in dieser Richtung. Die zweite Phase wurde deshalb in Angriff genommen.

Zusammen mit den im Rahmen des Programms VERBRENNUNG abgewickelten Untersuchungen von Abgasreinigungsmöglichkeiten konzentrieren sich die eben genannten beiden Projekte auf *konventionelle Otto- und Dieselmotoren*. An sich vielversprechende Alternativen dazu stellen die **Stirling-Maschinen** dar. Leider konnten bis heute die zwei Anlagen in Vaulruz [19] und die Maschine gleichen Typs am Schweiz. Institut für Berufspädagogik (SIBP) [20] trotz grosser Anstrengungen nicht zum Dauerbetrieb gebracht werden: Heliumverluste, Probleme mit der Brennkammer und Anlagevibrationen waren dafür verantwortlich.

Dagegen wurde die *erste Versuchsphase* mit einem **Heissluft-Motor** - einfache Bauart, el. Leistung rund 2 kW, Wirkungsgrad ca. 20% - am Ökozentrum Langenbruck [21] erfolgreich abgeschlossen. Seine Wärmeenergie bezieht er aus einem Holzschnittel-Heizkessel. In einer weiteren Phase wird das System nun noch optimiert werden.

Auf dem Gebiet der **Stirlings** ist gegenwärtig viel im Fluss. Den Ueberblick darüber zu gewinnen ist allerdings nicht leicht. Deshalb - im Hinblick auf die rasche Erfassung erfolgversprechender Neuentwicklungen, deren allfällige Weiterentwicklung und Anwendung in P+D-Anlagen - wurde eine **Analyse der Situation mit Schwerpunkt Europa** in Auftrag gegeben [22].

### Weitere Bausteine für Gesamtsysteme

Mit dem Ziel, ein neuartiges Diagnosewerkzeug für das dynamische Verhalten von Energiesystemen und -komponenten auf seine praktische Anwendbarkeit hin zu testen, wurde die Pilotphase von **DYNATHERM** [23] in Auftrag gegeben. Ziel ist die Entwicklung einer Methode, welche die Charakterisierung der Systemdynamik aufgrund von Kurzzeitmessungen und darauf aufbauend durch Simulationen die Voraussage des Langzeitverhaltens (Energiebilanzen) von Systemen unter ändernden Lastbedingungen erlaubt. Sollte dies gelingen, stünde ein äusserst nützliches Werkzeug für die optimale Regeleinstellung von haustechnischen Anlagen und für Wirtschaftlichkeitsrechnungen zur Verfügung.

Grössere Wärmepumpen und WKK sind in ein Wärmeverteilnetz eingebunden. Durch deren richtige Dimensionierung und optimale Betriebsweise können Systemverluste minimiert werden. Dynamische Betriebszustände haben dabei wesentlichen Einfluss. Das weiterverfolgte Projekt **Simulation dynamique du comportement d'un réseau de chauffage à distance** [24] soll ein praxisgerechtes Werkzeug zur besseren Beherrschung der zeitlich ändernden Leistungen von Fernwärmenetzen - auch konventioneller mit beispielsweise Kehrlichtverbrennungsanlagen - liefern.

Einen weiteren Mosaikstein zum besseren Verständnis des Wärmetausches zwischen Medien mit Phasenwechsel resp. einen Schritt zu besseren Wärmetauschern versprechen wir uns von einem Mitte Jahr begonnenen Projekt zur **Optimierung von Verdampfern und Kondensatoren bei Lösungsmittel-Rückgewinnungsanlagen** [25].

Ein interessantes Projekt stellt schliesslich die **Machbarkeitsstudie für vier Latentwärmespeicher in der SIEG Roche** [26] dar. Verschiedene in Frage kommende Speichermedien werden vorerst auf ihre Eignung zur Speicherung der Wärme aus der Schlamm-trocknung untersucht. Die Ergebnisse könnten auch für andere Abwärmequellen ähnlicher Temperaturen Bedeutung erhalten.

Eher ein P+D-Projekt ist die im Rahmen einer Sanierung des Quartiers *Im Bilander*, Brugg, begonnene **Messkampagne**. In deren Zentrum steht eine **Grundwasser-Absorptions-Wärmepumpe** mit einer thermischen Leistung von 870 kW. Das Messprojekt umfasst aber auch Energiebilanzen des ganzen Systems, das u.a. Warmwasser-Wärmepumpen und Wärme-Rückgewinnungssysteme enthält.

## 3. Umsetzung der Ergebnisse

Die im vorherigen Kapitel vorgestellten Projekte erstrecken sich überwiegend auf mehrere Jahre. Nur ein kleiner Teil konnte abgeschlossen werden. Dementsprechend war auch der Bedarf für die Umsetzung klein. So wurden keine Spezialveranstaltungen durchgeführt. Ueber die abgeschlossenen Vorhaben stehen Berichte bei ENET/VTX zur Verfügung.

Wie bereits geschildert, sind mit RAVEL enge Kontakte vorhanden, um einige (voraussichtlich) 1992 vorhandene Resultate aus F+E-Projekten nahtlos und rasch in die Praxis zu überführen.

Einen wesentlichen Impuls zur Einführung neuer Wärmepumpen hoher Qualität in den Markt versprechen wir uns besonders von den Aktivitäten der *Fördergemeinschaft Wärmepumpen FW*. Sie hat einen Wettbewerb zunächst für kleine **Kompaktwärmepumpen** zum Einbau in Heizungsrückläufe lanciert. Die Industrie wird ihre den hohen Anforderungen entsprechenden Neuentwicklungen auf dem zur Verfügung gestellten, im Aufbau begriffenen Test- und Ausbildungszentrum prüfen lassen und allfällig notwendige Optimierungsmassnahmen direkt dort vornehmen können.

Auf **P+D-Anlagen** als ersten Umsetzungsschritt wurde bereits unter Kapitel 2 hingewiesen. Insgesamt wurden seit Inkrafttreten des Energienutzungsbeschlusses vier P+D-Projekte im Gebiet des vorliegenden Programms bewilligt. Es sind dies: Ein **Wärmeverbund mit WKK und Wärmepumpe für die Versorgung öffentlicher Bauten**,

eine Totalenergieanlage (*Gasturbine mit - direkt gekoppelt - Generator und Wärmepumpe*); eine WKK zur Verwertung von Holzabfällen aus einem Industriebetrieb; eine Elektro-Wärmepumpe mit Erdkollektor in grundwassergesättigtem Erdreich unter einer Einstellhalle und das erwähnte Wärmekollektiv mit Gasmotor-Wärmepumpe und Flusswasser als Wärmequelle. Ergebnisse liegen noch keine vor, da die Realisierung der Vorhaben ausnahmslos erst vorbereitet wird.

#### 4. Internationale Zusammenarbeit

Sie hat ausnahmslos wieder im Rahmen des *Implementing Agreement on ADVANCED HEAT PUMPS* der Internationalen Energieagentur IEA stattgefunden. Neben den bereits im Vorjahr lancierten Projekten mit Schweizer Beteiligung (*Simulationsprogramm, Erfahrungen mit neuen Kältemitteln in Verdampfern*) wurde 1991 neu dem Projekt *Working Fluid Safety* beigetreten. Es geht dabei um die systematische Analyse von Unfällen mit verschiedenen Kältemitteln und darauf aufbauend um eine Darstellung der Risiken und der notwendigen Sicherheitsmassnahmen zu deren Minimierung. Das Projekt steht in Zusammenhang damit, Freone als Kältemittel ersetzen zu müssen. Leider hat der "Strategieplan 1999" des *Implementing Agreement* Verzögerungen erfahren und ist noch nicht in Kraft. Von der damit beabsichtigten Neuorientierung versprechen wir uns wesentliche Impulse für eine aktivere, zielorientierte Zusammenarbeit. Bisher haben wir beim vor rund 10 Jahren gestarteten IEA *Heat Pump Centre, HPC*, einem Informations- und Analysezentrum für Wärmepumpen-Forschung, -Entwicklung und -Promotion nicht mitgemacht. Nun hat sich die Situation so grundlegend geändert, dass wir den Beitritt ab 1992 erklärt haben: Einerseits ist das konkrete Interesse der Industrie und der Elektrizitätswirtschaft der Schweiz an einer Mitwirkung erheblich gestiegen; andererseits hat sich das HPC nun ein Programm und Organisationsform gegeben, welche unseren Interessen besser entgegenkommt als früher. Partner in der Schweiz für das HPC - sogenanntes *National Team* - wird voraussichtlich INFOENERGIE sein.

Zwar sind wir ebenfalls Mitglied des *Implementing Agreement on HEAT TRANSFER AND HEAT EXCHANGERS* der IEA. Darüber gibt es aber leider nichts zu berichten: Dieses Programm hat grosse Identifikationsprobleme. Wir prüfen unseren Austritt, weil wir keine Möglichkeiten sehen, die stark divergierenden Interessen in unserem Sinne zu bündeln.

Die EG hat im Herbst ein Konzept für eine *konzertierte Aktion Wärmepumpen* [28] vorgestellt. Es nennt genau die auch von unserem Programm verfolgten Ziele. Erfreulicherweise können wir zudem feststellen, dass wir bei deren Realisierung doch einen schönen Vorsprung haben - den wir nach Möglichkeit auch halten wollen. Allfällige Gelegenheiten zur Zusammenarbeit werden wir gezielt wahrnehmen. Der Informationsaustausch ist vorläufig über das HPC gesichert.

#### 5. Geplante Arbeiten 1992

Die meisten der laufenden Projekte werden 1992 abgeschlossen werden können. Deren Umsetzung wird besonderer Anstrengungen bedürfen. Neu zu lancierende Vorhaben werden im Vierjahresprogramm 1992-1994 [28] beschrieben - allerdings nicht abschliessend, um Flexibilität zu wahren. Sie werden ausnahmslos einer weiteren Konzentration auf die Grundziele hin entsprechen und sich in die Absichten des Förderprogramms WÄRMEPUMPEN [29] einfügen müssen. Wir haben im übrigen die Absicht, ein Systemseminar zu organisieren, an dem die grundsätzlichen Aspekte komplexer Energiesysteme und des Zusammenspiels von deren Komponenten (Beispiel: Haustechnik und Gebäude) diskutiert werden und Ansätze zur Programmübergreifenden Beschäftigung mit diesen wesentlichen Fragen gefunden werden sollen. Ein Thema dürften dann auch Anwendungsmöglichkeiten und -grenzen der *Fuzzi Logic / Control* sein (s.a. Forschungsprogramm ELEKTRIZITÄT).

## 6. Liste der Projekte

- [1] Kanton Bern: **Thermoprogramm Erdsonden**. Informationen erhältlich beim Wasser- und Energiewirtschaftsamt des Kantons Bern
- [2] R. J. Hopkirk, POLYDYNAMICS, *Zürich*: **Minimale Grenzabstände von Erdwärmesonden**. (SB)
- [3] R.J. Hopkirk, POLYDYNAMICS, *Zürich*: **Untersuchungen über die Wirkungsweise von Erdwärmesonden für Raumheizungen; Wärmepumpen-Charakteristiken für Erdwärmesonden-Anlagen**. (SB)
- [4] W.J. Eugster / R.J. Hopkirk, POLYDYNAMICS, *Zürich*: **Messkampagne zur Untersuchung des Verhaltens eines Geröllspeichers als Energielieferant einer Luft / Wasser-Wärmepumpe**. (SB)
- [5] A. Reichlin, EKZ-Energieberatung, *Zürich*: **Messprojekt Schotterkoffer EKZ-Filiale Regensdorf**. (JB)
- [6] M. R. Conde, ETH - *Zürich*: **Simulationsmodell zur Unterstützung der Entwicklung besserer Wärmepumpen (HP Design)**. (JB)
- [7] Th. Afjei, ETH - *Zürich*: **Messungen einer drehzahlgeregelten Wärmepumpe und Modellierung**. (JB)
- [8] ENFOG, *Gossau*: **Wärmepumpenoptimierung WPO, Phase 2**. Informationen durch ENFOG AG, Gossau
- [9] M. Nani, NTB *Buchs*: **Softwareevaluation für bivalente Heizanlagen und WKK-Anlagen**. (JB)
- [10] D. Maurer, ETH - *Zürich*: **Expertensystem zur präventiven Wartung von Wärmepumpen**. (JB, SB)
- [11] B. Eggen, DR. EICHER & PAULI AG, *Bern*: **Gasmotor-Wärmepumpen: Erfahrungen und Planungsregeln**. (JB)
- [12] Ch. Erb, DR. EICHER & PAULI AG, *Zürich*: **Analyse der Betriebsstörungen bei gasmotorisch betriebenen WKK- und WP-Anlagen**. (JB)
- [13] H.R. Gabathuler, GABATHULER AG, *Diessenhofen*: **Katalog standardisierter Schaltungen für WKK, WP und WRG / AWN**. (JB)
- [14] F. von Allmen, SCHECO AG, *Winterthur*: **Praxiserprobung Kältemittel R134a**. (JB)
- [15] J. P. Budliger, TELMECO, *Genève*: **Entwicklung einer thermischen Wärmepumpe mit Stirling-Motor und Resonanzrohr**. (SB)
- [16] N. Herzog, HERZOG + LEE AG, *Reinach*: **Wärmepumpen-Warmwassererwärmer**. (JB)
- [17] P. Neuenschwander, ETH-*Zürich*: **Expertensystem für präventive Wartung und Alarminterpretation in der Haustechnik : Phase 2, Blockheizkraftwerke**. (JB)
- [18] M. Stalder, DR. EICHER & PAULI AG, *Liestal*: **Dynamische Betriebsweise von WKK - Anlagen, Phase I**. (JB)
- [19] J. Audergon, GEIMESA, *Fribourg*: **Intégration de deux groupes Stirling à la centrale thermique de Vaulruz**. (SB)
- [20] B. Nussbaumer / B. Eggen, DR. EICHER & PAULI AG, *Bern*: **Stirling-Pilotprojekt -SIBP Zollikofen**.
- [21] Ch. Gaegauf, ÖKOZENTRUM, *Langenbruck*: **Schnitzelfeuerung und Stirling-Motor**. (SB)
- [22] P. Renaud / G. Oreiller, PLANAIR SA, *La Sagne*: **Moteurs Stirling: Situations et objectifs des études et développements en Suisse et à l'étranger**. (JB)
- [23] Y. Allani, EPF - *Lausanne*: **Dynatherm, phase pilote**. (JB)
- [24] J. Kunz / P.-A. Haldi, EPF - *Lausanne*: **Simulation dynamique du comportement d'un réseau de chauffage à distance (phase 2)**. (JB)

- [25] H. Wälchli, IS - *Biel*: **Kondensatoren- und Verdampferoptimierung für Lösungsmittelrückgewinnung.** (JB)
- [26] F. Righetti, INTERTECHNIC SA, *Vevey*: **Stockage latent SIEG Roche: étude comparative, phase 1.** (JB)
- [27] P. Krüsi, AMENA AG, *Schlieren*: **Messprojekt Im Bilander, Brugg.** (JB)

(JB) Jahresbericht 1991 vorhanden

(SB) Schlussbericht vorhanden

## 7. Referenzen *(alle erhältlich beim Programmleiter)*

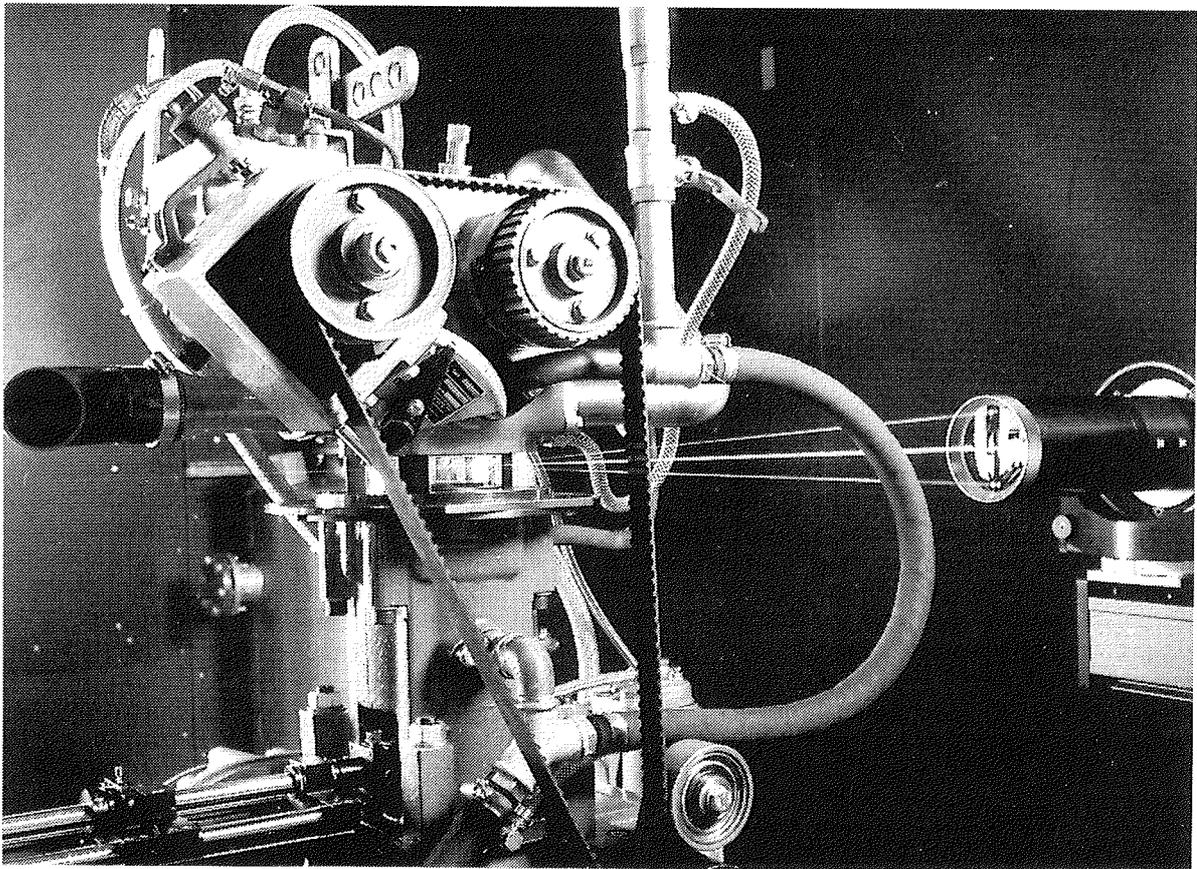
- [28] **Forschungs- und Entwicklungsprogramm 1992 - 1994.**
- [29] **Förderprogramm Wärmepumpen:** Programm im Rahmen des Aktionsprogramms ENERGIE 2000.
- [30] Th. Afjei, ETH - *Zürich*: **Bericht über das Symposium "Heat Pumps - an option for an energy efficient and clean society; Concerted action"** der EG-Kommission, *Paris* 1991.

# FEUERUNG UND VERBRENNUNG

Überblicksbericht  
zum Forschungsprogramm 1991

Programmleiter : Alphons Hintermann

---



## Laser Diagnostik im Forschungsmotor :

Der Einzylinder-Forschungsmotor des neu eingeweihten Laserlabors am Laboratorium für Verbrennungsmotoren und Verbrennungstechnik der ETH-Zürich ist, dank seiner grossflächigen transparenten Teile, ein weltweit einzigartiges Forschungsinstrument. Die im Bild sichtbaren Laserstrahlen des Laser-Doppler-Anemometer-Systems erlauben eine simultane dreidimensionale Erfassung der Strömungsverhältnisse im laufenden Motor.

## 1. Programmziele und Highlights 1991

Mit dem Berichtsjahr ist die erste Programmplanungsperiode 1988-1991 beendet. Abgesehen von einigen Verzögerungen konnten die kurzfristigen Programmziele, nämlich der Auf- und Ausbau der Verbrennungsforschung am Paul Scherrer Institut (PSI) und am Institut für Energietechnik der ETH-Zürich mit den beiden Laboratorien für Energiesysteme (LES) und für Verbrennungsmotoren und Verbrennungstechnik (LVV), dank grosszügiger Unterstützung seitens des Schweizerischen Schulrats, erreicht werden. Im selben Zeitraum setzten das BEW und der NEFF ebenfalls beträchtliche Mittel für die Verbrennungsforschung ein. Der Aufbau neuer Forschungsschwerpunkte über motorische und nichtmotorische Verbrennung am LVV, LES, PSI und in der Privatwirtschaft konnten so verstärkt werden. Teilweise unterkritisch dotierte Forschungsschwerpunkte wurden ausgebaut sowie neue Akzente im Rahmen des Energieforschungskonzepts des Bundes gesetzt. In verschiedenen Forschungsschwerpunkten konnte durch eigene Forschungsarbeiten der Anschluss an die sich stürmisch entwickelnde internationale Verbrennungsforschung erreicht werden.

In den weiteren Programmzielen, nämlich eine Fachkompetenz von internationalem Niveau aufzubauen, die nationale und internationale Verknüpfung der Projekte zu verstärken, die Kooperation unter Forschern wie auch zwischen den Hochschulen und der Privatwirtschaft zu verstärken, sind wesentliche Fortschritte gegenüber dem Zustand von 1988 zu verzeichnen. Verbessert wurde in diesem Zeitraum auch die Umsetzung der Methoden und Forschungsergebnisse in die Praxisanwendung. Wesentlich dazu beigetragen haben nicht zuletzt die konsequent gehandhabten Auflagen über Zusammenarbeit Hochschule/Privatwirtschaft in den BEW-Verträgen. In den von Industrie- und Hochschulforschern gut besuchten gemeinsamen Seminarien, wie auch über die im Jahre 1989 gegründete Schweizerische Interessensgemeinschaft für Feuerungsforschung SIFF und deren Arbeitsgruppen, kommt der Wille und das Bedürfnis zu gemeinsamen Anstrengungen klar zum Ausdruck.

Längerfristig gilt es nun, das Forschungsvolumen und die Kontinuität zu erhalten und durch Beiträge von internationalem Niveau zu sichern. In diesem Sinne sind auch die im Berichtsjahr abgeschlossenen Folgeaufträge in den Schwerpunktsgebieten zu verstehen. Die Bewilligung einer dritten Vertragsperiode wird wesentlich davon abhängen, ob international anerkannte Resultate vorzuweisen sind. Bei den BEW- und NEFF-Mitteln ist nicht zu vergessen, dass diese künftig eher zurückgehen als wachsen werden. Sie werden aber weiterhin dazu eingesetzt, den Forschungskuchen abzurunden.

Zwei Highlights im Infrastrukturaufbau prägten das Berichtsjahr: **Die Einweihung des Laserlabors am LVV mit seinem Kernstück, dem geschleppten Einzylinder-Forschungsmotor mit seinen grossflächigen, transparenten Teilen** (vergl. Titelbild). Bei der ABB in Baden lief am 22. November 1991 der **Hochdruckprüfstand DIVA (Druck in der Verbrennungsanlage) zum ersten Mal mit Verbrennung unter hohem Druck (13 bar)**. Die Inbetriebsetzungsversuche dieses LES-PSI-ABB-Gemeinschaftsvorhabens sind nun abgeschlossen und erste Experimente können ausgeführt werden. Überschattet wird dieses Ereignis durch die relativ hohen Budgetüberschreitungen und mehr als halbjährige Verzögerung der Inbetriebnahme. Mit diesen beiden Anlagen stehen unseren Forschern nun weltweit einzigartige Instrumente zur Verfügung. Die Attraktivität des Verbrennungsforschungsplatzes Schweiz wird damit beträchtlich erhöht. Erste internationale Zusammenarbeiten am LVV sind im Aufbau begriffen. Die DIVA eröffnet ein interessantes Forschungsfeld auf den Gebieten der Laserdiagnostik, der Schadstoffminderung in Abgasen, der experimentellen Erforschung von Grundlagen und deren Umsetzung in Gasturbinen-Brennkammern.

## 2. Durchgeführte Arbeiten und erreichte Ergebnisse

Im folgenden werden die laufenden Projekte 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. Speziell hervorzuheben sind neben den siebzehn BEW-Projekten [1-17] fünf NEFF-Projekte [18-22]. Zum Gesamtbild der laufenden Verbrennungsforschung gehören zudem verschiedene ergänzende und hier nicht explizite erwähnte Forschungsprojekte, die am LES, LVV und PSI mit eigenen Mitteln finanziert werden.

## GRUNDLAGEN

Die grundlagennahen BEW-Projekte der Verbrennungsforschung werden am PSI und an der ETHZ bearbeitet.

### a) *Thermochemische Energiespeicherung in Aluminium, Alu-Brenner* [1]

Im nun abgeschlossenen PSI-Projekt wurde die Aluminiumpulver-Verbrennung in einem umgebauten konventionellen Haushalt-Oelbrenner im 10-30-kW-Leistungsbereich erfolgreich demonstriert. Es ist also möglich, in einer kompakten Kleinanlage Aluminium kontrolliert zu verbrennen, die Wärme auszukoppeln, damit z. B. Warmwasser zu produzieren und das Aluminiumoxid abzuscheiden und zurückzugewinnen. Obwohl die Forschungsergebnisse für eine Weiterentwicklung ermutigend und durch Berichte [24] gut dokumentiert sind, konnte kein industrieller Partner zur Weiterführung des Projekts gefunden werden. Zu beachten ist, dass Aluminium alle Energiedienstleistungen übernehmen kann und das Potential eines ernsthaften Konkurrenten zur Wasserstoffwirtschaft besitzt.

### b) *Turbulenzparameter von Strömungen* [2]

Das heute noch geringe Verständnis der turbulenten Strömungen in der motorischen Verbrennung ist weltweit Gegenstand vertiefter Forschungsanstrengungen. Ziele dieses Projekts sind, aus systematischen Quervergleichen mit dem Experiment Schlüsse bezüglich Leistungsfähigkeit und Schwachstellen von numerischen Rechenodes zu ziehen. Mittels Laser-Doppler-Anemometrie konnten erste koinzidente 2-D-Messungen der Strömungsgeschwindigkeit im Brennraum des geschleppten, optisch grossflächig zugänglichen Einzylinder-Versuchsmotors (*siehe Titelbild*) ausgeführt werden. Wesentliche Fortschritte wurden auch in der numerischen Simulation erzielt. Parametrische Studien mit einem Navier-Stokes-Code führten zu interessanten Ergebnissen für die Turbulenzstruktur der Strömung in einfachen sowie zerklüfteten Brennräumen.

### c) *Katalytische Verbrennung* [3, 25].

Die Arbeiten konzentrierten sich auf die Herstellung und Charakterisierung von Katalysatoren (Zusammenarbeit mit Prof. Baiker, ETHZ) sowie die Untersuchung der Mechanismen der katalytisch unterstützten Verbrennung von Wasserstoff in einer 30-kW-Anlage und deren Modellierung. An dieser PSI-Anlage wurden die im Holographieprojekt entwickelte Temperaturfeldmessmethode eingesetzt sowie die OH-Konzentration durch die PSI-Lasergruppe gemessen. Die Resultate sind ermutigend und führen zur Vermutung, dass die homogenen und heterogenen Reaktionen nur physikalisch, aber nicht chemisch gekoppelt sind. Durch weitere Versuche und Modellrechnungen (Zusammenarbeit mit der Universität Kaiserslautern) soll diese Vermutung geklärt werden. Am Hochdruckprüfstand DIVA sind Experimente in Vorbereitung, die das Potential der katalytischen Verbrennung bezüglich  $\text{NO}_x$ -Bildung unter Gasturbinenbedingungen untersuchen sollen.

## LASER- UND ANDERE OPTISCHE MESSMETHODEN

Moderne optische Messmethoden eröffnen bisher ungeahnte experimentelle Möglichkeiten zur Erfassungen von Messdaten in der Verbrennungsforschung. Ihre Beherrschung ist ein Muss für den heutigen Verbrennungsforscher. Daher wird das entsprechende Know-how am PSI und an der ETH auf- und ausgebaut, in der Absicht, dieses Wissen allen Interessierten, insbesondere auch der Privatwirtschaft, zur Verfügung zu stellen.

### a) *Bestimmung dreidimensionaler Temperaturfelder in Gasflammen mittels Holographie* [4]

Nach einem Unterbruch von 9 Monaten wurde die Anlage umgebaut, sodass künftig auch Temperaturfeldmessungen in grösseren Brennern möglich sind. Durch einen Know how-Transfer mit der University of Warwick konnten in kurzer Zeit die Bildanalyse sowie -auflösung beträchtlich verbessert und automatisiert werden. Mit der Analyse hochauflöster photographischer Bilder von Ölparkeln in Ölsprays sollen empirische Korrelationen zwischen Partikelmessungen und Emissionen ( $\text{NO}_x$  und CO) abgeleitet werden.

### b) *Schnell-Messverfahren in Flammen* [5]

Aus den bisherigen Messungen der Emissionsspektren konnte eine rechnerische Methode zur Temperaturbestimmung abgeleitet werden, die im Rahmen des Schnellmessverfahrens befriedigende Resultate liefert. Dies hat das

Interesse zweier Firmen geweckt, welche nun in ihren Labors spektrale Messungen an Blaubrennern resp. Ziegeleiofen vornehmen lassen. In einer Dissertation soll die Genauigkeit der Temperaturbestimmung erhöht und die Temperatur bildmässig erfasst werden.

c) *Laser-Diagnostik in der Verbrennung* [6]

Die Kohärenten Antistokes-Raman-Spektroskopie (CARS) wurde am PSI in der ersten Projektperiode zusammen mit der dazu notwendigen theoretischen Bearbeitung soweit implementiert, dass der Bau einer für den mobilen Einsatz geeigneten Kompaktanlage möglich wurde. Sie bestand ihren ersten Einsatz zur Temperaturmessung an einem 150-kW-Brenner bei der ABB erfolgreich. Das Laser-Induzierte-Fluoreszenz (LIF)-Labor ist aufgebaut und erste Messungen am Projekt "Katalytische Verbrennung" sind ausgeführt. LIF-als zweidimensionale Messmethode wird nun in Angriff genommen. Eine weitere bildgebende Messmethode, die der "Entarteten-Vier-Wellen-Mischung" (DFWM) ist infolge ihrer grossen Signalstärke für gewisse Aufgaben geeigneter und wird daher mit höherer Priorität verfolgt als LIF. Die teilweise mit dem United Technology Research Center, Connecticut, ausgeführten DFWM-Experimente lieferten vor allem auf dem Gebiet der zweidimensionalen Messungen erfolgversprechende Resultate .

d) *Geometrische Partikeldetektion von Russteilchen* [7]

Die am LVV der ETH entwickelte berührungslose Messmethode zur Oberflächentemperaturmessung von Russpartikeln bei einer Diffusionsflamme (mit Blick auf die Anwendung bei der dieselmotorischen Verbrennung) ist auf dem Laser-Deflektionsverfahren abgestützt. Wesentliche Schwerpunkte der Arbeit sind die Optimierung der Temperaturmessung als Basis zur Erfassung des zeitlichen Ablaufs wie auch die Bestimmung der geometrischen Form- und Grössenverteilung der Partikel in Funktion einer Reihe von Betriebszuständen. Erste Kontakte über parallel laufende Programme mit dem Istituto Motori, Neapel, sollen ausgebaut werden.

e) *Flammenfront- und Schadstoffvisualisierung* [8]

Im Rahmen dieses LVV-Projekts sollen vertiefende Aspekte der instationären Verbrennung im Hinblick auf die Energieumsetzung und Schadstoffemissionen untersucht und deren Gesetzmässigkeiten besser verstanden werden. Neben Simulationsalgorithmen kommen im experimentellen Bereich neu zu entwickelnde berührungslose Messverfahren auf laseroptischer Basis zum Einsatz. Schwergewichte sind die Visualisierung der Flammausbreitung und die Schadstoffentstehung während der instationären Verbrennung. Auf dem Gebiet der numerischen Simulation werden - ausgehend von der Zusammenarbeit mit der Privatindustrie - neue Berechnungsmodelle auf spektraler Basis entwickelt.

## NUMERISCHE RECHENVERFAHREN

Numerische Rechnungen auf den stets leistungsfähiger werdenden Computern ermöglichen die Simulation von immer komplexeren Verbrennungsvorgängen. Es besteht die berechtigte Hoffnung, aufwendige Experimentierereien oder konstruktive Änderungen einer bestehenden Feuerung durch Rechnungen zu beschleunigen. Eigene Erfahrungen auf diesem sich schnell wandelnden Gebiet sind unerlässlich, um international mitsprechen zu können. In den folgenden LES-Projekten wird das Softwarepaket PHOENICS verwendet und darin noch eigene Teilmodule eingebaut. Die dabei gewonnene Erfahrung kommt insbesondere über die SIFF-Arbeitsgruppe "Numerische Simulationsmethoden" auch anderen Projekten zugute.

a) *Experimentelle Untersuchungen in Flammen und deren Modellierung* [9, 26]

Ziel dieses Projektes ist die Bereitstellung eines Werkzeugs für die numerische Simulation von Diffusionsflammen, speziell im Hinblick auf die Entwicklung von schadstoffarmen Feuerungen im Heizungsbereich. In der ersten Projektphase wurden verschiedene Modelle, die auch den Strahlungsaustausch innerhalb der Flamme berücksichtigen, anhand von Experimenten mit Erdgasflammen bis zu 300 kW Leistung getestet.

Für die nun startende zweite Dreijahresperiode steht die Verbesserung der Modellierung der NO-Emissionen im Vordergrund, um die teilweise beträchtlichen Abweichungen der numerisch ermittelten Schadstoffwerte gegenüber den Messwerten zu reduzieren.

*b) Basiswissen für Low NO<sub>x</sub>-Brenner und -Brennkammern [19, 27, 28]*

Ziel dieses seit zwei Jahren in enger Zusammenarbeit des LES der ETH und mit fünf Brenner- und Kesselherstellerfirmen laufenden NEFF-Projekts ist die Erarbeitung von Grundlagenwissen für eine möglichst schadstoffarme Verbrennung fossiler Brennstoffe. Hier soll der Problembereich des Zusammenwirkens verschiedener Brenner- mit unterschiedlichen Kesseltypen genauer erfasst werden und durch Simulationsrechnungen bisher gefundene Tendenzen erhärtet werden. Die Feldmessungen der beteiligten Firmen bei ihren Kunden ermöglichen dabei reale Vergleichsmöglichkeiten mit den Simulationsrechnungen.

## **SCHADSTOFFREDUKTION UND SCHADSTOFFASPEKTE**

Die Schadstoffreduktion bei den Verbrennungsprozessen ist ein wesentlicher Programmsschwerpunkt. Die auftretenden Probleme sind jedoch je nach Brennstoff- und Verbrennungsart verschieden gelagert. Viele Anstrengungen sind in den letzten Jahren unternommen worden, um die LRV86/92-Vorschriften zu erfüllen. Künftige, verschärfte Vorschriften erfordern tieferschürfende 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 Feuerungsanlagen zu erarbeiten. Dabei werden die noch notwendigen Grundlagen (Messtechnik von anderen Schadstoffen als CO und NO) zentral am PSI bearbeitet und gezielte Messprogramme an bestehenden Anlagen an die Privatwirtschaft delegiert.

*a) Schadstoffarme Verbrennung von Heizöl "Schwer"*

Um international wettbewerbsfähig zu sein, sind viele Industriebetriebe auf billiges Schweröl angewiesen. Damit unsere Industrie ihre Fachkompetenz in der Schwerölverbrennung erhalten kann, werden von ihr neue Technologien erforscht, um die NO<sub>x</sub>-Werte unter 400 mg/m<sup>3</sup> zu senken. Durch Messen von weiteren Schadstoffkomponenten wie Lachgas soll gleichzeitig gewährleistet werden, dass die NO<sub>x</sub>-Reduktion nicht auf Kosten anderer, nicht in der LRV-Verordnung erfassten Schadstoffe, erzielt wird.

In den beiden durch die Privatwirtschaft ausgeführten NEFF-Projekten **Schadstoffarme Verbrennung von Heizöl "Schwer"** [20] und **Selektive nicht katalytische Entstickung mit Harnstoff** [21] sind vielversprechende Feldtests in einer Papierfabrik an einem 6-MW-Brenner mit 8-t/h-Dampfkessel und in einem Metallwerk mit einem schwerölgefeuerten 10-t/h-Dreizugkessel in der Ausführung. Beim Projekt Harnstoffentstickung bestehen intensive Zusammenarbeiten mit dem PSI (Lachgasmessungen) und der HTL-Biel (Diplomarbeiten, Nachdiplomstudien). Das BEW-Projekt **NO<sub>x</sub>-Minderung an Schwerölanlagen** [10] musste infolge mangelndem Einsatz des Vertragspartners vorzeitig abgebrochen werden.

Zusätzliche Forschungsarbeiten auf dem Gebiete der Verbrennung von Heizöl "Schwer" werden nur dann empfohlen, wenn bis Ende 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*

Die enge Zusammenarbeit des PSI (Projekt **Reduzierung von Stickoxiden in Abgasen** [11]) mit einem privaten Ingenieurbüro [29] (Projekte **Abgasreinigung von Dieselmotoren mit Harnstoff** [12, 30], **Untersuchungen des Langzeitverhaltens von Gasmotoren mit Katalysator** [13] und NEFF-Projekt **Minimierung der Schadstoffemissionen von Gasmotoren mit Dreiwegkatalysator** [22]) auf dem Gebiet der Abgasentstickung mit Harnstoff wurde fortgesetzt und die erste Vertragsperiode beidseitig erfolgreich beendet. Der aufgrund der vorliegenden Resultate vielversprechende Ansatz des SCR-Verfahrens und die neu aufgetauchten Fragestellungen bezüglich des SNCR-Verfahrens bei hohen Temperaturen rechtfertigten die Fortsetzung der Arbeiten durch Folgeverträge. Zur Weiterentwicklung der Verfahrensgrundlagen wird am PSI eine Versuchsanlage aufgebaut. Das Ingenieurbüro konzentriert seine Aktivitäten auf die Eindüsung des Harnstoffs im Dauerbetrieb und die Ausdehnung des Verfahrens auf stationäre Magermotoren und Holzfeuerungen. Längerfristig ist die konkrete Umsetzung dieser Entstickungsmethode in die Praxis vorgesehen.

**Emissionsbekämpfung am Gross-Dieselmotor** [23]. Dass sich Grossdieselmotoren mit Leistungsbereich 5-20 MW<sub>e</sub> infolge ihres exzellenten exergetischen Wirkungsgrads, der auch im Teillastgebiet aufrecht erhalten werden

kann, sehr gut als WKK-Applikationen eignen, ist ein Ergebnis dieses nun beendeten LVV-NEFF-Projekts. Durch geänderte Einspritzung und Abgasnachbehandlung werden die kantonalzürcherischen Abgasvorschriften unterboten. Schemas zur Evaluation der optimalen Dieselmotoranlage bei gegebenem Energiebedarf und Standort wurden erarbeitet und das Marktvolumen für solche Anlagen in unserem Land auf eine Anlage pro Jahr abgeschätzt.

#### c) *Schadstoffarme Holzfeuerungen*

In Absprache mit dem Leiter des Forschungsprogramms BIOMASSE sind die schadstoffrelevanten Holzfeuerungsprojekte im Programm FEUERUNG UND VERBRENNUNG untergebracht. Das Projekt *Verbrennungsoptimierte Klein-Holzfeuerung* [14] wird im Frühjahr 1992 abgeschlossen. Ziel des Projekts *Erfassung des Emissionsverhaltens von Holzfeuerungen* [15] ist die Erarbeitung eines geeigneten Prüfverfahrens zur Bestimmung der während eines Betriebszyklus einer Holzfeuerung emittierten Schadstoffmenge. Vier verschiedene Mess- und Auswerteverfahren wurden einander gegenübergestellt und auf ihre Realisierbarkeit geprüft. Das ausgewählte Verfahren, in dem im Abgasstrom die Abgaszusammensetzung, -temperatur und -volumenstrom kontinuierlich erfasst werden, soll im kommenden Jahr an verschiedenen Feuerungen eingehend untersucht werden. Das Projekt wird in enger Zusammenarbeit mit der Privatwirtschaft sowie amtlichen Prüfstellen des In- und Auslandes durchgeführt und stiess am IEA-Biomass Combustion Meeting auf reges Interesse.

#### d) *Schadstoffarme Automotoren*

Trotz fehlender heimischer Automobilindustrie leistet die ETH Forschungs- und Entwicklungsarbeit auf dem Gebiet der individuellen Verkehrsmittel. Mit hochmodernen Prüfständen und Messgeräten wird am LVV nicht nur Grundlagenforschung betrieben, sondern es wird auch an der eigentlichen Verbesserung der Motorentechnik gearbeitet. Die Mehrjahresprojekte *OTTO 2000* und *Hybrid* visieren zukunftsweisende Motoren- und Automobilkonzepte an.

Auch die Privatwirtschaft ist in dieser Hinsicht nicht untätig. Im BEW-Projekt *Verbrennungstechnologie beim Automobil-Benzinmotor* [16] soll mittels einer schnellansprechenden Sauerstoffsonde eine wesentliche Schad- und Treibstoffreduktion in der Kaltstartphase eines Ottomotors erreicht werden. Das Problem, die Messsignale der inzwischen verbesserten Sonde in Steuersignale für die Zündung umzuwandeln ist gemäss Rapport des LVV gelöst und öffnet auch Perspektiven für den Dieselmotor.

#### e) *Saubere Kohleverbrennung*

*Advanced Atmospheric Coal Firing System (AACFS)* [17]. Die Effizienz der Entschwefelung der mit einer *Low Cost Kohle Slurry* befeuerten 2MW-Versuchsanlage auf dem Werkgelände von Sulzer AG konnte nicht verbessert werden. Trotz verschiedener Parametervariationen im Kleinversuch an der Einzeltröpfenanlage und am 100kW-Reaktor am PSI ergaben sich keine konkreten Anhaltspunkte, die Entschwefelungsrate beim Abbrand der Low Cost-Slurry-Ausbrandes zu verbessern. Es wird befürchtet, dass der Grund der hohen Schwefelkonzentration in den Abgasen im zu hohen Wassergehalt im Wirbelbett zu suchen ist. Dies würde das ganze Konzept der Low Cost Slurry-Verbrennung in Frage stellen.

### 3. Umsetzung der Ergebnisse

Viel Wert wird in diesem Forschungsprogramm auf einen starken Bezug der Projekte zur Privatwirtschaft gelegt. Auch wenn eine Zusammenarbeit in den Projektbeschreibungen nicht speziell erwähnt wird, ist eine solche in der Regel vorhanden oder wird als erster Schritt zur Umsetzung der Forschungsergebnisse in die Praxis zumindest angestrebt.

Um die aktuellen Forschungsergebnisse einem erweiterten Publikum zugänglich zu machen, fanden im Berichtsjahr folgende Veranstaltungen statt :

#### **18. Januar 1991 : Holzenergiekolloquium an der ETH-Zürich**

Zuerst wurde 24 Teilnehmern aus Hochschule und Privatwirtschaft das ETH Low-NO<sub>x</sub>-Holzenergieprojekt vorgestellt. Herr Kerschbaumer erklärte im Anschluss die Resultate seiner Dissertation *Regelung einer Holzfeuerung*.

#### **8. März 1991 : Verbrennungs-Seminar ETH/ PSI**

Zweck dieser nun jährlich stattfindenden und meist von ETH-internen Teilnehmern besuchten Veranstaltung ist die gegenseitige Vorstellung der laufenden wissenschaftlichen Arbeiten der einzelnen ETH- und PSI-Labors. In zehn Vorträgen wurde das ganze Spektrum der Aktivitäten im Programm FEUERUNG UND VERBRENNUNG abgedeckt. Künftig werden die Einladungen zu diesem Seminar auch an die interessierte Privatwirtschaft versandt.

#### **30. August 1991 : 3. Tagung der Schweiz. Interessensgemeinschaft für Feuerungsforschung (SIFF), ETH-Z**

Das ganztägige Seminar vereinigte über 50 Interessierte, wovon ungefähr die Hälfte aus der Industrie. Dem Hauptthema, den aktuellen Forschungsvorhaben in der Industrie und der Zusammenarbeit der Hochschule mit der Privatwirtschaft waren fünf Vorträge gewidmet. Gemeinsamer Nenner bildete die Low-NO<sub>x</sub>-Problematik in Zementöfen, Ölbrennern, Gasturbinen und bei der Altholzverbrennung. Zusätzlich wurden einige LES- und PSI-Forschungsschwerpunkte und eine Übersicht der Energieforschungsförderung durch den Bund präsentiert.

#### **14. November 1991 : Gedenkfeier zum 100. Geburtstag von Prof. G. Eichelberg, ETH-Zürich.**

Im vollbesetzten Auditorium Maximum der ETH-Zürich wurde das wissenschaftliche Werk von Prof. Eichelberg (erster ETH-Professor des damaligen Labors für Thermodynamik und Verbrennungsmotoren) gewürdigt. Gleichzeitig wurden die Schwerpunkte des heutigen Labors für Verbrennungstechnik und Verbrennungsmotoren zusammen mit aktuellen internationalen Forschungsaktivitäten zum Thema der motorischen Verbrennung vorgestellt.

Um dem in den Vorträgen meist einseitigen Informationsfluss entgegenzutreten, wurden 1990 die drei SIFF-Arbeitsgruppen (AG) **Numerische Simulationsmethoden**, **Laser-Messverfahren in Flammen** und **Abgasanalytik** ins Leben gerufen. Alle AG's sind mit einer kleinen Anzahl motivierter Teilnehmer gut angelaufen, hielten im Berichtsjahr je ein bis zwei Sitzungen ab und berichteten darüber anlässlich der SIFF-Jahrestagung.

Um Studenten für die Energieforschung zu motivieren bietet die ETH-Zürich im WS 91/92 im Bereich "Neue spezielle Techniken und Verfahren" die Vorlesungen **Laserdiagnostik in der Verbrennungsforschung** sowie **Verbrennung: Energie- und Umweltaspekte** an.

## **4. Internationale Zusammenarbeit**

Internationaler Informationsaustausch mit ausländischen Forschern ist bei den meisten BEW-Projekten die Regel und ist vor allem in der Aufbauphase des Programms intensiv gesucht und genutzt worden. Direkte, projektorientierte und längerfristige Kollaborationen sind jedoch weniger häufig und sollen vermehrt werden. Eine erste Zusammenarbeit des LVV mit dem Instituto Motori, Neapel, bahnt sich im Rahmen der IEA Aktivitäten an.

Längerfristig soll das Programm gegenüber der **Europäische Gemeinschaft** geöffnet werden. Deshalb wird vermehrtes Gewicht auf direkte Kollaborationen mit Forschern im EG-Raum gelegt. Dazu bieten sich sowohl die International Flame Research Foundation (IFRF) in IJmuiden, Holland, als auch die EG-Programme ERCOFTAC und JOULE II an. Eine stärkere schweizerische Beteiligung am international anerkannten Forschungsprogramm der IFRF wird nach wie vor angestrebt, erste Schritte müssen jedoch industrieseitig erfolgen. Die im ERCOFTAC-Programm laufenden Aktivitäten werden aufmerksam verfolgt. Eine direkte Beteiligung ist momentan nicht beabsichtigt. Hingegen werden EG-Zusammenarbeiten im Rahmen des JOULE II-Förderungsprogramms ins Auge gefasst. Dazu sollen die beiden folgenden Projektanträge bei der zuständigen EG-Kommission in Brüssel eingereicht werden :

**Modeling and Advanced Computer Simulation of Industrial Burner Systems** (Zusammenarbeit von Cuenod Thermotechnique, Annemasse, Frankreich, und ELCO Vilters, Schweiz, Hauptgesuchsteller, mit dem Institut für Computeranwendungen der Universität Stuttgart und dem Laboratorium für Energiesysteme, ETH-Zürich) und **Hydroperoxides and Soot Particles in Relation to Autoignition in a Diesel Engine at Cool Flame Temperatures: Interaction of Homogeneous and Heterogeneous Chemistry** (Zusammenarbeit des Laboratoire de Thermodynamique Appliquée aux Machines et de Thermique, CNRS, Saint-Cyr l'École, Frankreich, Hauptgesuchsteller, mit der École Centrale de Lyon, Ecully, Frankreich, und dem Laboratoire de Pollution Atmosphérique et Sol der ETH-Lausanne).

Das Treffen 1991 des IEA Combustion-Agreements fand im üblichen Rahmen vom 16.-19. 9. 1991 in Oakland statt. Insgesamt wird aus schweizerischer Sicht die Teilnahme und die Zusammenarbeit innerhalb dieses Agreements als nützlich und sinnvoll, wenn auch im Konzept als verbesserungsbedürftig beurteilt. Der Besuch beim auf dem Verbrennungssektor weltweit führenden Sandia National Laboratory beeindruckte die Teilnehmer durch die hohe Qualität und Originalität der geleisteten Arbeit wie auch durch den Umfang des laseroptischen Instrumentariums.

Ferner wurden durch unsere Forscher folgende internationale Veranstaltungen besucht, dabei Arbeiten vorgetragen sowie Kontakte gepflegt und ausgebaut:

**CARS-Workshop**, Garching, 18.3.91, [31].

**Gordon Conference**, 15.-19. 7. 1991, Washington, [31].

**Theory of Flames and Combustion Modelling**, 15. - 19. 7. 91, Udine,

**15. Deutscher Flammentag**, Bochum, Sept. 91, [27].

**First Int. Conference on Combustion Technologies for a Clean Environment**, Vilamoura, 3.-6. Sept. 91, [32].

**7th Interdisciplinary Laser Science Conference**, 22. - 26. 9. 1991, Montherey, brillante Übersichtsvorträge!

## 5. Geplante Arbeiten für 1992

Mit der Inbetriebnahme der DIVA werden für das PSI und das LES die Ausarbeitung der geplanten Forschungsvorhaben auf diesem Prüfstand im Vordergrund stehen. Das diesbezügliche NEFF-Gesuch des LES "**Russbildung und Flammenstrahlung bei hohem Druck**" ist zur Zeit noch pendent.

Parallel zum JOULE II-Antrag sind entsprechende Vorarbeiten zwischen ELCO-Vilters und dem Institut für Computeranwendungen (ICA) der Universität Stuttgart mit dem BEW-Projekt **Physikalisch-numerisches Verbrennungsmodell für turbulente Diffusionsflammen** angelaufen. Diejenigen zwischen dem LES und dem ICA-Stuttgart sollen im Projekt **Brennermodulierung mit der Finite Elemente Methode** geregelt werden.

Ganz im Sinne der für die Programmperiode 1992-95 angestrebten personellen Verstärkung auf dem Gebiet der Verbrennungssimulation liegt nicht nur der JOULE II-Antrag, sondern auch weitere geplante Projekte zum Thema *Numerische Simulation* und nicht zuletzt die Vertiefung der Aktivitäten der SIFF-Arbeitsgruppen.

Der Programmleiter wird versuchen, durch gezieltes Umfragen in der Industrie deren Interesse am IFRF-Forschungsprogramm zu steigern.

Das Verfahren zur Entstickung von Abgasen mit Harnstoff soll zur Anwendungsreife gebracht werden, um es für Anlagen in der Praxis in breitem Masstab zur Dauerentstickung von Dieselmotoren anzuwenden. Ein Vertrag mit einem privaten Ingenieurbureau ist in Vorbereitung.

Im Rahmen des P&D-Programms wird eine Turbomaschine mit intergrierter Konstant-Volumen-Verbrennung für Wärmekraftkopplungsanlagen gefördert werden. Endprodukt soll eine auf diesem Prinzip arbeitende und in einem Wärmeverbund integrierte P&D-Anlage sein. Solche Anlagen haben das Potential, einen signifikanten Beitrag zu den Zielen von ENERGIE 2000 zu leisten.

## 6. Liste der Projekte

- [1] 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] J. Gass, P. Stuber, LES / ETH - Zürich: **Schnell-Messverfahren in Flammen.** (JB)
- [6] T. Gerber, PSI - Villigen: **Laser-Diagnostik in der Verbrennung.** (JB)
- [7] B. Ineichen, B. Mandel, LVV / ETH - Zürich: **Geometrische Partikeldetektion von Russteilchen.** (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: **NO<sub>x</sub>-Minderung an Schwerölanlagen.**
- [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. Rüegg, RÜEGG CHEMINEE, Zumikon und C. Gaegauf, OEKOZENTRUM, Langenbruck : **Verbrennungsoptimierte Klein-Holzfeuerung.** (SB)
- [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)

(JB) Jahresbericht 1991 vorhanden

(SB) Schlussbericht vorhanden

## 7. Referenzen

- [19] J. Gass, H. Dreher, M. Ochs, O. Schuler, C. Towers, D. Towers, LES, ETH-Zürich: **Basiswissen für Low NO<sub>x</sub>-Brenner und -Brennkammern,** NEFF-ZB Dezember 1991.
- [20] M. Hauswirth, OERTLI, Dübendorf: **Schadstoffarme Verbrennung von Heizöl Schwer, Phase 1.** (SB /NEFF)
- [21] E. Capozzi, U. Trüb, PENTOMAG, Basel: **Selektive nicht katalytische Entstickung mit Harnstoff.** (NEFF-ZB 1991)
- [22] F. Künis, Hp. Eicher, Dr. EICHER & PAULI, Liestal: **Minimierung der Schadstoffemissionen von Gasmotoren mit Dreiwegkatalysator.** (NEFF-ZB 1991)
- [23] J. Vollenweider, Th. Werner, NEW SULZER DIESEL, Winterthur: **Emissionsbekämpfung am Gross-Dieselmotor.** (NEFF-SB 1991)
- [24] T. Marti, PSI - Villigen: **Alu-Brenner Heizkessel mit Zyklon.** (PSI-AN-51-91-04) / P. Hütter, T. Marti, J. Wochele, PSI - Villigen: **Technische Mitteilungen zum Aluminiumbrenner.** (PSI-TM-51-91-15, PSI-TM-51-90-21)

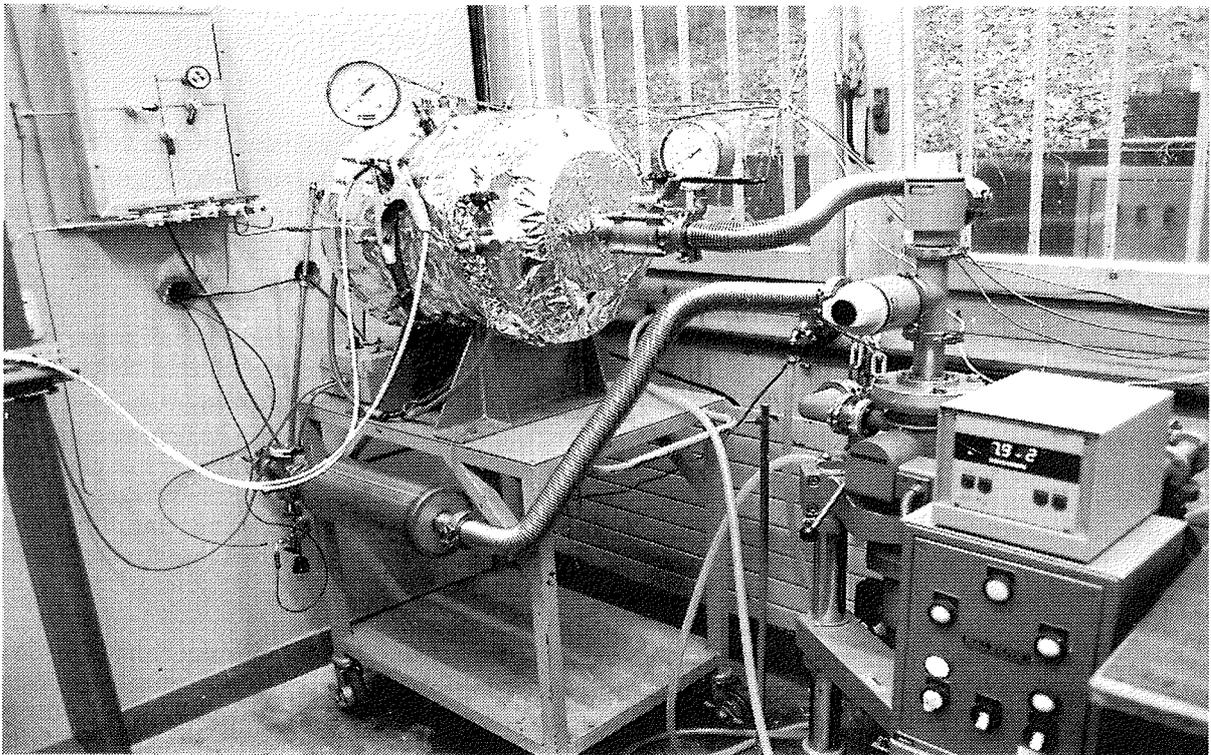
- [25] A. Schlegel, P. Benz, S. Buser, PSI - Villigen: **Bestimmung der Wärmeübergangskoeffizienten in keramischen Schaumstrukturen.** (PSI-TM-51-91-05)
- [26] D. Ajulfi, J. Gass, ETH - Zürich: **Prediction of NO-Emission by Numerical Simulation,** Proc. First International Conference on Combustion Technologies for a Clean Environment, Portugal, 1991.
- [27] H. Dreher/ P. Suter, ETH - Zürich: **Simulation der Gasverbrennung in einer realen Brenner/Brennkammer-Konfiguration mit dem *Mixed + Ignited = Burned* -Modell,** 15. Deutscher Flammentag, Bochum, 1991, VDI- Berichte 922, 121.
- [28] D. Ajulfi, ETH - Zürich: **Modelling of Technical Gas Combustion in View of the NO<sub>x</sub>-Formation.** (Dissertation ETHZ, 1991).
- [29] M. Koebel, M. Elsener, H.P. Eicher, PSI - Villigen: **Stickoxidminderung bei stationären Dieselmotoren mittels SCR und Harnstoff.** BKW, Heft 3 (1991), Special Luftreinhaltung.
- [30] F. Kühnis, Dr. EICHER & PAULI, *Liestal*: **Entstickung von Dieselmotoren mit Harnstoff,** Juni 1991
- [31] R. Bombach / B. Hemmerling, PSI - Villigen: **Hydrogen CARS-Spectra Influenced by High Laser Intensities,** Proc. Gordon Conf. 1991.
- [32] D. Ajulfi, J. Gass, LES, ETH - Zürich: **Prediction of NO-Emission by Numerical Simulation.** Proc.Conf.1991

# NUKLEARE SICHERHEIT

Überblicksbericht  
zum Forschungsprogramm 1991

Programmleiter : Sabyasachi Chakraborty

---



## Versuchsstand zur Bestimmung von Zündgrenzen

Apparatur beim PSI zur Untersuchung der Zündgrenzen eines Vierstoffgemisches Wasserstoff - Luft - Wasserdampf - Kohlendioxid, wie es sich im Reaktorsicherheitsbehälter eines Kernkraftwerkes nach einem schweren Unfall bilden könnte.

*Von links nach rechts* : Gasmischventile, beheizte Zündkammer mit Zündvorrichtung (total 6 Stück jeder Versuch eine neue benötigt), Vakuumpumpe, Entspannungsgefäß für Gasmassenspektrometrie.

## 1. Programmziele

Wie in den meisten Ländern mit Kernanlagen unterstützt die Aufsichtsbehörde HSK die nukleare Sicherheitsforschung für ihre Entscheidungsfindung nach dem aktuellen Stand der Wissenschaft und Technik. Die Forschungsvorhaben werden auf drei Ebenen durchgeführt:

- Ein Grossteil der Forschungsaktivitäten wird vom PSI wahrgenommen.
- Daneben werden einzelne Projekte mit speziellen Themen von den Technischen Hochschulen und Ingenieur-Unternehmungen bearbeitet.
- Beteiligung an verschiedenen internationalen Forschungsvorhaben.

## 2. Arbeiten und Ergebnisse 1991

Schwerpunktmässig wurden im *PSI* folgende Projekte mit Erfolg weitergeführt:

**Simulationsmodelle zur Transientenanalyse von LWR (STARS)** [1]. Im Mittelpunkt der Arbeiten 1991 stand die Durchführung von Störfallanalysen für die Kernkraftwerke Mühleberg und Beznau. Die Qualifizierung der Berechnungsmethoden und Computercodes für Störfalluntersuchungen ist ein wichtiger Bestandteil dieses Projektes. Eine Uebertragung der Forschungsergebnisse in die Sicherheits-Begutachtungs-Praxis der HSK erfolgt laufend.

**Kontaminationskontrolle im Primärkreislauf** [2]. Im Primärkreislauf von schweizerischen Siedewasserreaktoren wurde die Korrosionskinetik von austenitischen Chromnickelstählen in einem Schwebstoffloop weiter untersucht. Im Rahmen einer Dissertationsarbeit werden die **Massenbilanzen für Korrosionsprodukteintrag und -Transport** untersucht. Die Einflüsse der Zinkeinspeisung auf die  $\text{Co}^{60}$ -Aktivität des Reaktorwassers wurde qualitativ und quantitativ studiert. Um die Ablagerung von  $\text{Co}^{60}$  ohne und mit Zusatz von Eisen und Zink experimentell zu erfassen, wurden auch Laborautoklaven betrieben. Ein besonders intensives Messprogramm betraf die Untersuchung über die Aenderung der Wasserchemie in Abhängigkeit von Strahlung, Temperatur, Druck und Strömung. Da dieses Projekt schrittweise erfolgreich war und interessante Ergebnisse und Zusammenhänge noch bevorstehen, wurde es um weitere 3 Jahre verlängert.

Ein weiteres experimentelles Projekt über **Spannungsrissskorrosion von Stählen** [3] für Reaktorkomponenten im Heisswasser in einem Kreislauf verdient Beachtung, nachdem in einem langzeitigen Versuch mit simulierten Siedewasserreaktor-Kühlmittelbedingungen bei quasi-stagnierendem Wasser kein Risswachstum der Proben festgestellt werden konnte. Neben den Experimenten wird die theoretische Arbeit über Spannungsrissskorrosion ergänzt mit einem stufenweisen Bruchmechanikversuch an einer in der Bruchmechanik gebräuchlichen Doppelhebelprobe aus Stahl 20 Mn Mo Ni<sup>55</sup>. Die berechnete Grösse der Ausdehnung der plastischen Zone wurde mit diesem Experiment bestätigt. Am Institut für Metallforschung der ETHZ wurde der Einfluss des Elektrodenpotentials und der Temperatur auf das Risswachstum experimentell demonstriert [4].

In einer Dissertationsarbeit wurde das **Modell zum Filmsieden** bei inverser Ringströmung an zehn Einzelrohr- respektive Bündel-Wiederbenetzungsexperimenten getestet. Es konnten vielversprechende Resultate für die Verbesserung der Codes für Sicherheitsanalyse erzielt werden [5].

Im weiteren sind folgende Arbeiten im PSI von besonderem Interesse der Aufsichts- und Sicherheitsbehörde HSK:

- Forschungs- und Entwicklungsarbeiten auf dem Gebiet der **Neutronendosimetrie** [6, 7].
- Entwicklung eines Programmsystems *RADAU* [8] für die **Ermittlung der Dosisbelastung** durch atmosphärische Ausbreitung radioaktiver Stoffe im komplexen Gelände. Dazu wurden ca. 50

international vorhandene Dispersionsmodelle mit Hilfe eines Fragebogens erhoben. Eine erste provisorische Auswahl hinsichtlich der Güte der physikalisch-mathematischen Approximationen und der Analyse von realen, gemessenen Ausbreitungssituationen im komplexen Terrain konnte erfolgen.

An den *Hochschulen* wurden folgende Projekte weitergeführt:

- Die Forschungsgruppe Geothermik und Radiometrie des Instituts für Geophysik der ETHZ macht jährlich wiederholte Helikopteraufnahmen in der Umgebung der Kernkraftwerke und des PSI, um die **künstliche Radioaktivität** aerogammaspektrometrisch zu vermessen. Erstmals konnte die  $N^{16}$ -Aktivität der Kernkraftwerke Mühleberg und Leibstadt auf den Karten erkennbar aufgezeichnet werden [9].
- **Développement des techniques de mesure des Champs neutroniques et Campagne de mesure dans les centrales nucléaires suisses** [6] vom Institut der Radiophysique Appliquée, Centre universitaire, Lausanne.

Die wissenschaftlichen Expertisen der *Ingenieur-Unternehmungen* betrafen:

- **Einfluss von Einfach- und Vielfach-Rissen unter mechanischen Beanspruchungen im Rohrbogen**, durchgeführt von SDK Ingenieurunternehmen für spezielle Statik, Dynamik und Konstruktion, Basel [10].
- Entscheidungsgrundlage für eine **gefilterte Druckentlastung des Sicherheitsbehälters** der Kernkraftwerke in der Schweiz sowie **Verhalten des Sicherheitsbehälters bei schweren Kernschmelzunfällen**, beides durchgeführt von TECOVA, Wohlen [11, 20].
- **Vervollständigung der Auswertesoftware für Starkbebedaten in der Schweiz**, durchgeführt von BASLER & HOFMANN, Zürich [12].
- **Seismische Auswertungen von ausgewählten Profilen aus dem Molassebecken und der Nordschweiz**, durchgeführt von RICO RESEARCH, Niederrohrdorf [13].
- **Ueberprüfung der probabilistischen Risikoanalyse der Kernkraftwerke Mühleberg und Beznau**, durchgeführt von Energy Research Incorporation, Rockville (USA).

Die HSK unterstützte auch für sie wichtige Arbeiten in finanziell aufwendigen, internationalen Sicherheitsforschungsprogrammen. Dazu gehören :

- Im **Heiss-Dampf-Reaktor (HDR)**-Projekt erarbeitet und verifiziert das PSI das erforderliche Know-How auf dem Gebiet des strukturdynamischen Verhaltens von Rohrleitungen. Weiter zu erwähnen ist die Durchführung einer Messkampagne beim Rohrschädigungsversuch. Das PSI überwachte dabei den Riss lokal mit Schallemissionsmessungen [14]. Erstmals konnten die Messungen *on-line* ausgewertet werden.
- SULZER-INNOTECH, Winterthur, beteiligte sich am internationalen (OECD) **Versuchsprogramm PISC-III** [15, 16]. In einem Ringversuch wurde der derzeitige Stand der Prüftechnik der mechanisierten Ultraschallprüfung von Reaktordruckgefässen ermittelt.
- Nach einem elfjährigen Unterbruch beteiligt sich die HSK am **Halden Reactor Project** der OECD, um Fragen der Sicherheitsaspekte des Mensch-Maschine-Verhaltens und der KKW-Brennelemente und -Materialien zu behandeln [17]. Zu diesem Zweck wurden zwei junge Schweizer Ingenieure nach Halden (N) delegiert.
- Mit der Beteiligung am **Schwere-Unfallforschungs**-Programm der USNRC konnten aktuelle Forschungsergebnisse und Computercodes erhalten werden. Die HSK überprüft mit dem umfassenden Computercode MELCOR die Quellterm-Studien der schweizerischen Kernkraftwerke.

Die obgenannte Beschreibung von HSK-Aktivitäten ist nicht abschliessend. Die Aufsichtsbehörde hat sich auch mit radioökologischen Fragen und mit dem Strahlenschutz zu befassen [18, 19] sowie mit den Arbeiten der NAGRA [21].

### 3. Bewertung

Die im Auftrag der Aufsichtsbehörde durchgeführte Sicherheitsforschung machte im Berichtsjahr wesentliche Fortschritte. Die erhaltene Ergebnisse erlauben der HSK, die Kernanlagen gemäss dem Stand der Wissenschaft zu beurteilen, wie es das Atomgesetz vorschreibt. Die Vergabe der Forschungsaufträge an schweizerische Institutionen wie auch die Beteiligung an internationalen Projekten haben sich bewährt. Neben der wissenschaftlichen Ausbeute ergibt sich auch eine willkommene Nachwuchsförderung.

### 4. Liste der Projekte

- [1] E. Knoglinger, PSI - Villigen: **Simulationsmodelle zur Transientenanalyse (STARS) von LWR.** (JB)
- [2] E. Schenker, PSI - Villigen: **Kontaminationskontrolle im Primärkreislauf von schweizerischen Siedewasserreaktoren.** (JB)
- [3] R. Attinger, U. Ineichen, Ph. Tipping, PSI - Villigen: **Spannungsrisskorrosion von Stählen für Reaktorkomponenten in Heisswasser.** (JB)
- [4] R.M. Pedrazzoli, A. Kraus, M.O. Speidel, IMM / ETH - Zürich: **Spannungsrisskorrosion von Reaktordruckbehälterstählen.** (JB)
- [5] J. Dreier, PSI - Villigen: **Auswertung und Modellierung von NEPTUN-Wiederbenetzungsdaten.** (JB)
- [6] J.-F. Valley, IRA, Lausanne: **Développement des techniques de mesure des champs neutroniques et campagne de mesure dans les centrales nucléaires suisses.** (JB)
- [7] D. Azimi-Garakini, M. Boschung, PSI - Villigen: **Entwicklung Neutronendosimetrie.** (JB)
- [8] V. Herrnberger, PSI - Villigen: **Programmsystem RADAU für die Ermittlung der Dosisbelastung durch atmosphärische Ausbreitung radioaktiver Stoffe im komplexen Gelände.** (JB)
- [9] L. Rybach, ETH - Hönggerberg: **Aeroradiometrische Messungen in der Umgebung der schweizerischen Kernanlagen.** (JB)
- [10] H.J. Rensch, SDK Ing., Basel: **Einfluss von Einfach- und Vielfach-Rissen unter mechanischen Beanspruchungen im Rohrbogen (Nachtrag).** (JB)
- [11] B. Covelli, TECOVA, Wohlen: **Optimierung der gefilterten Druckentlastung.** (JB)
- [12] BASLER & HOFMANN, Zürich: **Vervollständigung der Auswertesoftware für Starkbebendaten in der Schweiz.** (JB)
- [13] RICO RESEARCH, Niederrohrdorf: **Strukturelle Verhältnisse der nördlichen und östlichen Schweiz (Fortsetzungstudie).** (JB)
- [14] S. Brosi, PSI - Villigen: **Heiss Dampf Reaktor HDR.** (JB)
- [15] SULZER-INNOTECH, Winterthur: **OECD Programme for Inspection of Steel Components (PISC III) Aktivität Nr.2 Full Scale Vessel Test (FSV) und Mitarbeit in der Data Analysis Group (DAG) Nr.2.2.** (JB)
- [16] SULZER-INNOTECH, Winterthur: **OECD Programme for the Inspection of Steel Components (PISC III) Aktivität Nr.3 Nozzles and Dissimilar Metal Welds (NDW) und Mitarbeit in der Data Analysis Group (DAG) Nr. 3.1, sowie Aktivität Nr. 4 Round Robin Test on Austenitic Steel (AST).** (JB)
- [17] P. Miazza, PSI - Villigen: **OECD Halden Reactor Project: Swiss secondment to the OECD Halden Reactor Project Participation to the Integrated Surveillance and Control System (ISACS) Project.** (JB)

- [18] T. Hinton, PSI - Villigen: **Radioökologische Studien und Validierung vom Rechenprogramm ECOSYS für Schweizer Verhältnisse.** (JB)
- [19] C. Schuler, PSI - Villigen: **Zusammenarbeit HSK-PSI in der Strahlenschutzmesstechnik.**
- [20] B. Covelli, TECOVA, Wohlen: **Verhalten des Sicherheitsbehälters bei schweren Kernschmelz-unfällen; Neue Entwicklungen.** (JB)
- [21] A. Milnes, Bergen (N): **Beurteilung der tektonischen Modelle der NAGRA und Ausarbeitung von Stellungnahmen zu spezifischen Untersuchungsberichten.** (JB)

(JB) Jahresbericht 1991 vorhanden

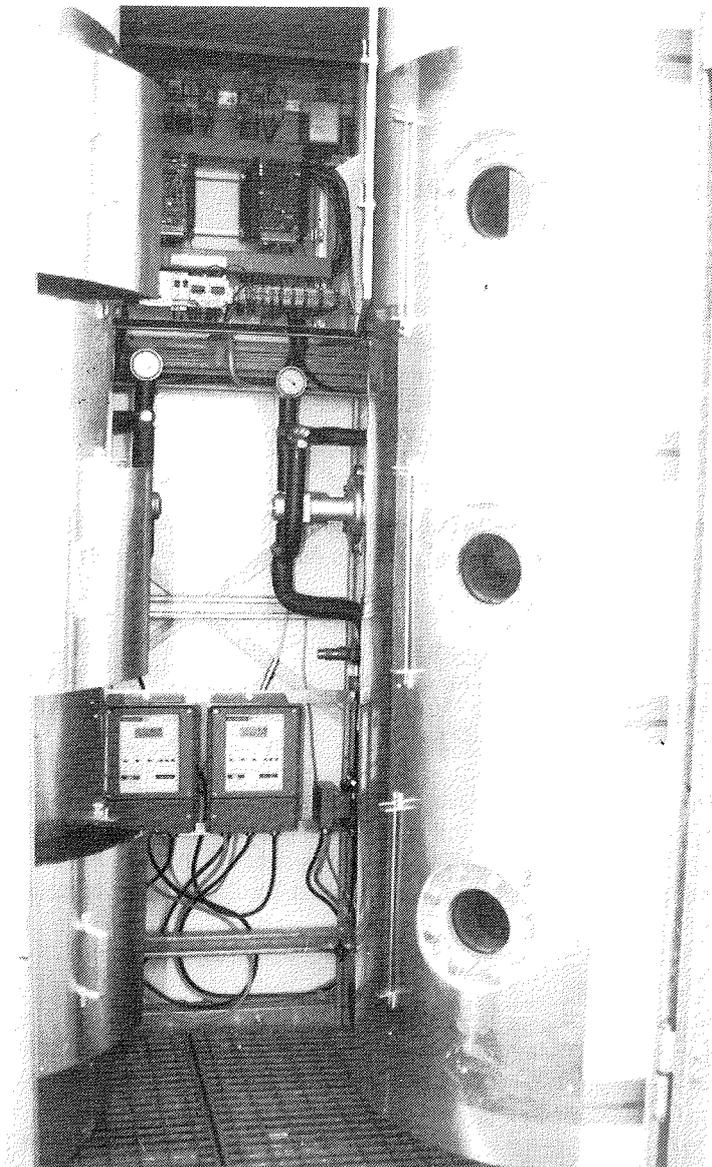


# SOLAIRE THERMIQUE ET STOCKAGE DE CHALEUR

Rapport de synthèse  
sur les activités 1991 du programme de recherche

Chef de programme : Pierre Bremer

---



**Accumulateurs expérimentaux comparatifs :**

Nouveaux stands d'essais systèmes à l'École technique supérieure intercantonale de Rapperswil

## 1. Objectifs

Le programme général 1988-1991 est arrivé à échéance. L'accent a été mis 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 naturelle.

En 1991, trois projets ont pu être menés à terme [5, 9, 17]. Sept projets sont en voie d'achèvement [1, 2, 6, 7, 8, 16, 18]. Six projets sont encore en cours [9, 3, 4, 10, 11, 12] et quatre projets sont nouveaux [13, 14, 15, 18].

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.

## 2. Les travaux effectués en 1991

### Météorologie solaire

Dans le cadre des recherches sous l'égide de l'Agence internationale de l'énergie, AIE, l'un des projets est coordonné par la Suisse et a pour but de déterminer les **techniques adéquates pour l'interpolation spatiale du rayonnement** à partir des réseaux nationaux, représenté en Suisse par le réseau ANETZ de l'Institut Suisse de Météorologie (ISM).

Bien que les travaux soient terminés, la rédaction du rapport final, qui exige l'intégration des contributions de divers auteurs dans un tout homogène, n'a pas pu être entièrement terminée. La date de parution a dû être reportée à 1992.

Deux procédures de calcul développées et validées internationalement se sont avérées très utiles dans la pratique. Il s'agit de la *détermination du rayonnement direct* lorsque le rayonnement global horizontal seul est mesuré (ce qui est le cas pour le réseau ANETZ) et la *séparation du rayonnement diffus* en composantes isotrope et anisotrope [1].

Le projet international dévolu à l'établissement de données météorologiques de référence **DRY (Design Reference Year)** à l'intention des utilisateurs est terminé en ce qui concerne la partie pratique : 16 DRY ont été établis pour les diverses régions climatiques suisses. Les données sont obtenables sur demande auprès de l'EMPA, Abt. Bauphysik, Dübendorf. La partie rédactionnelle (manuel d'utilisation) est en cours [2].

### Composants

Une intense activité a régné tout au long de l'année au **Laboratoire fédéral d'Héliotechnique** installé à l'ETS intercantonale de Rapperswil. Depuis la mise en service des nouveaux stands d'essais des capteurs thermiques, dont l'exploitation est entièrement automatique, quelque 30 paires de capteurs (dont près de 2/3 proviennent de l'étranger!) ont été testés. Un classeur contenant tous les résultats (et les prix) a été publié pour la première fois à l'occasion de SWISSBAU 1991. Cette publication a rencontré un grand succès auprès des particuliers : plus de 500 exemplaires ont été acquis. Une mise à jour régulière est assurée.

L'instrumentation des stands d'essais a été complétée pour la mesure des capteurs hybrides (thermiques et photovoltaïques). En outre, afin de permettre l'analyse complète de systèmes solaires (capteurs + accumulateurs + pompes + régulation), l'infrastructure de mesure a été équipée de 2 cabines pouvant abriter 2 systèmes

complets (*voir la photographie en page de garde*). Il est ainsi possible de faire des essais comparés de 2 systèmes différents dans des conditions d'ensoleillement et de charge identiques.

Une première application, effectuée dans le cadre du projet AIE *Advanced Active Solar Energy Systems* est la comparaison entre 2 systèmes de production d'eau chaude sanitaire. Le premier correspond à l'état actuel de la technique pratiquée en Suisse et le second tend à maximiser par convection naturelle la stratification de température dans l'accumulateur. Un des paramètres principaux est le débit d'irrigation spécifique des capteurs qui, dans le second cas, est réduit d'un facteur de 5 à 10, afin d'augmenter la température de sortie des capteurs. La mise en service de ce nouveau complexe a eu lieu en novembre 1991.

Outre les activités de recherche proprement dites, l'équipe du laboratoire est de plus en plus sollicitée par des activités de relations publiques. Rapperswil devient un lieu de visite privilégié des milieux économiques et politiques. Plus de 16 visites, avec un total de 500 personnes, ont dû être organisées [3, 4].

## 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 identiques au Grand-Saconnex, dans le but de **mettre au point et de tester des systèmes à injection directe**.

Dans la variante *injection directe*, la chaleur solaire est transmise directement au circuit de chauffage d'appoint, seuls les excédents (à midi, par exemple) sont stockés. Dans la variante *en vrac amélioré*, toute la chaleur est d'abord stockée pour être consommée au fur et à mesure. Dans la dernière variante dite *injection directe simple*, la chaleur est également d'abord stockée, mais une consommation quasi-directe est atteinte par la configuration interne du stock. La campagne de mesure qui a couvert 2 saisons de chauffage est terminée et le rapport final est en cours de rédaction. Les premières conclusions générales sont les suivantes: *L'injection directe* donne le taux de couverture annuel le *plus élevé*. Ses meilleures prestations s'observent surtout au printemps, moins en automne. En été, tous les 3 systèmes sont équivalents, le chauffage étant hors service. Il y a match nul entre les 2 autres variantes, les différences n'étant pas significatives [5].

L'installation **SOLARIN 2** (400 m<sup>2</sup> de capteurs évacués intégrés en toiture-*shed* d'une fabrique de pâtes alimentaires), qui avait subi de graves avaries (surchauffes+évaporation) en 1990 a été assainie, de sorte qu'en 1991 l'installation a fonctionné sans interruption. Les mesures d'assainissement ont principalement consisté en une réduction des températures limites d'exploitation au prix d'une baisse de rendement et d'une diminution de la capacité de stockage sensible des réservoirs. Cette dernière mesure a exigé l'introduction d'un refroidissement nocturne (décharge du stock à travers les capteurs). La conclusion principale à tirer pour les installations de cette puissance est de n'utiliser un mélange antigel à base de glycol que dans le cas de températures d'exploitation inférieures à 100 °C. Au-delà de cette valeur, l'utilisation d'huile thermique devient obligatoire [6, 7].

L'analyse des divers composants du système énergétique du Centre industriel et artisanal Marcinhès, Genève, a été poursuivie. Cette installation comporte 1'000 m<sup>2</sup> de capteurs de fabrication suisse, dont la chaleur est injectée dans un stock en terre de 20'000 m<sup>3</sup>. La chaleur stockée est soutirée par une pompe à chaleur à gaz. L'analyse du comportement des capteurs est terminée. Leur fonctionnement est fiable et stable et le rendement annuel est de plus de 40 % (efficacité optique 0,72, pertes système 4,7 W/m<sup>2</sup>K). Le modèle et programme **G<sup>3</sup>** développé à l'Université de Genève a pu être vérifié: calculs et mesures concordent remarquablement. Le fonctionnement de la pompe à chaleur ayant été, comme par le passé, épisodique, la décharge du stock n'a été que partielle. Les travaux de simulation du comportement du stock ont été néanmoins poursuivis et une collaboration fructueuse avec les chercheurs suédois a été établie [8].

Le bilan énergétique d'une **maison familiale énergétiquement autonome** (thermiquement et électriquement) a été établi pour la saison de chauffage 1990/91. Comme déjà indiqué dans le rapport 1990, cette installation est largement surdimensionnée (84 m<sup>2</sup> de capteurs, 118 m<sup>3</sup> stockage en cuve à eau) par rapport à la faible demande de cette maison extrêmement bien isolée. Dans ces conditions, les performances ne peuvent être que faibles: indice de dépense d'énergie annuelle 150 MJ/m<sup>2</sup> (chauffage: 81; eau chaude sanitaire: 69), rendement de captage 16,4 %, rendement de stockage 34 %, rendement système 5,6 %. L'installation va être modifiée et livrera ses excédents à une halle industrielle voisine [9].

La première phase charge/décharge d'un **projet pilote de stockage saisonnier en nappe phréatique** a pu être analysée. Le rendement de captage des capteurs (188 m<sup>2</sup>) constitués uniquement d'un absorbeur en inox sans couverture transparente, a été excellent et une température de stockage de 45 °C a été atteinte. Par contre, le stock a perdu sa charge en moins de 2 mois, la bulle de chaleur sous le bâtiment de l'usine s'étant déplacée. Cette éventualité avait été prévue et la mise en oeuvre d'un écran hydraulique protecteur devient nécessaire [10].

Le neuvième et début du dixième cycle **SPEOS** (Stockage chaleur en nappe phréatique, EPF-Lausanne) ont permis de tester l'échangeur à lit fluidisé sans injection chimique continue. La plus haute charge annuelle de 5'000 GJ et la plus haute température de 68 °C ont été atteintes. Par contre, la quantité prévue de calcaire à éliminer du circuit n'a de loin pas été obtenue et, malgré cela, aucun colmatage particulier de la nappe n'a pu être constaté. Ce phénomène reste inexpliqué et devra être maîtrisé pour éviter un entartrage éventuel à plus long terme [11, 12].

Une préétude concernant la possibilité d'un **stockage latent de chaleur de récupération dans un système industriel** a pu être entreprise sur un cas concret. Il s'agit d'équilibrer par stockage la différence entre la chaleur de récupération d'allure constante, mais intermittente, et la demande de chaleur variable. Le cycle est journalier. Pour l'instant, les paramètres du système sont mesurés afin de déterminer les puissances, la plage des températures utiles et les quantités d'énergie à stocker. Par la suite, il s'agira de concevoir les stocks et choisir les substances latentes fonctionnant à des températures relativement élevées (~ 80 °C) [13].

Il a été montré avec succès qu'une **régulation prévisionnelle**, c.à.d. sachant prévoir l'ensoleillement et la température externe, contrôlant la température d'un local pourvu d'un chauffage par sol, permettait une économie substantielle d'énergie. Un projet appliquant ces méthodes sur une installation solaire avec chauffage et production d'eau chaude combiné a pu être mis en place dans une maison familiale, afin d'étendre le champ d'application de la régulation prévisionnelle. Une seconde maison identique et voisine de la première servira de témoin, étant équipée du même système solaire, la régulation étant cependant conventionnelle. Le projet prendra toute son ampleur l'année prochaine. [14]

Le **Laboratoire d'Énergie Industrielle de l'EPFL** a développé une conception originale pour la génération d'électricité au moyen de capteurs solaires. L'idée maîtresse est l'utilisation d'un fluide organique porté à évaporation dans des capteurs évacués avec concentrateur à lamelles, puis détendu dans une turbine *SCROLL* équipée d'un générateur électrique. La condensation a lieu dans les lamelles servant à la concentration (cycle de Rankine). Afin de maintenir l'infrastructure aussi légère que possible, les capteurs seront montés sur des installations de paravalanche existantes. Le projet est subdivisé en plusieurs tranches. La première, la phase d'approche technologique, consistera à identifier des sites pour tester les performances techniques des capteurs dans un environnement alpin. Deux sites ont été localisés en Valais. Un premier montage est prévu en début 1992 [15].

## Logistique

Le projet d'une **signature énergétique pour installations solaires** (*KTSA, Kurztestmethode für Solaranlage*) a presque pu être mené à terme avec succès. La procédure d'identification des paramètres développée a été testée sur les données simulées d'une installation dont les paramètres sont par ailleurs parfaitement connus. A part quelques instabilités d'ordre numérique, la corrélation obtenue entre valeurs calculées et simulées est quasi-parfaite. Malheureusement, la poursuite du projet a dû être interrompue, un des partenaires de l'étude ayant brusquement fait défaut. En 1992, il s'agira de restructurer le projet sur de nouvelles bases [16].

En 1988, les performances de **5 installations solaires chauffant l'eau de piscines publiques** avaient été mesurées pendant une saison entière. La banque de données ainsi acquise étant d'une excellente qualité, une analyse plus détaillée fut décidée afin d'en extraire des algorithmes simples utilisables dans un programme de dimensionnement. Ce travail a pu être exécuté dans un laps de temps remarquablement court. Le modèle et programme *G<sup>3</sup>* de l'Université de Genève représente bien la performance des capteurs non-couverts utilisés pour de telles applications. Des algorithmes décrivant le délicat bilan énergétique d'une piscine ont été développés. Ils requièrent cependant des données météorologiques assez complexes telles que la force et la direction du vent, ainsi que l'humidité. Il est probable que des *DRY* (voir plus haut) pourraient être adaptés à cette fin [17].

Le projet **TOURNESOL, un logiciel informatique convivial pour praticiens**, est en bonne voie d'achèvement. Il est géré graphiquement sous *WINDOWS.3*, contient une banque de données solaires pour tout lieu en Suisse

(METEONORM) et est ouvert à tout programme nécessitant des données d'ensoleillement sur plan incliné. Les premiers programmes incorporés permettent le dimensionnement d'installations solaires actives selon les logiciels *s/w/w/x* développés à l'Ecole d'Ingénieurs de Burgdorf (ISB). Un soin particulier a été donné à la saisie des données dont la plupart sont adéquatement prédimensionnées. En outre, des catalogues techniques (capteurs, tuyauteries, etc.) sont intégrés [18].

Dans le cadre des **nouveaux programmes énergétiques de la Confédération** (ENERGIE 2000, DIANE, etc.) une analyse socio-économique des facteurs limitant l'utilisation de l'énergie solaire est en cours. Il s'agit d'analyser les moyens mis en oeuvre par la nouvelle législation en matière d'énergie pour lever certains facteurs de blocage. Dans une première phase, les obstacles entravant le développement de l'utilisation de l'énergie ont été identifiés. Lors de la deuxième phase, une enquête menée sous l'angle de la demande auprès des gros investisseurs sera réalisée [19].

### 3. Activités internationales

La Suisse participe à la plupart des projets de l'Agence Internationale de l'Energie dans le domaine de l'énergie solaire thermique (*SOLAR HEATING AND COOLING PROGRAMME*).

- Le projet *Advanced Solar Energy Systems* entrera dans sa 3<sup>e</sup> année en 1992.
- Le projet *Solar Materials R&D* touche à sa fin.
- Un nouveau projet *Advanced Glazings and Associated Materials for Solar and Building Applications* débutera en 1992.
- Un projet intitulée *Central Solar Heating Plants with Seasonal Storage in the Built Environment* est à l'étude. La Suisse pourrait y participer avec au moins deux de ses projets importants.

### 4. Références

- [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] U. Frei, IT - *Rapperswil*: **Leistungsfähigkeit und Lebensdauer von Solaranlagen.** (RA)
- [4] U. Frei, IT - *Rapperswil*: **Optimierung von solaren Wassererwärmungsanlagen mittels 'Low-Flow' - Technik.** (RA)
- [5] O. Zahn, L. Keller/ ER, *Lavigny*: **Mise au point et test d'installations solaires à injection directe simplifiée.** (RA+RF)
- [6] J.V. Hurdes, HURDES ENERGIE CONSULTING, *Feuerthalen*: **Solar erzeugte Prozesswärme (SOLARIN 2).** (RA)
- [7] O. Guisan, CUEPE / GAP, UNI - *Genève*: **SOLARIN 2, partie sous-traitée.** (RA)
- [8] O. Guisan, CUEPE / GAP, UNI - *Genève*: **Intégration et optimisation de systèmes solaires actifs. Etude du Centre industriel et artisanal Marcinhès à Meyrin.** (RA)
- [9] K. Marti, IS - *Burgdorf*: **Energiemessungen am Solarhaus Jenni.** (RA + RF)
- [10] R. Groux, CREM, *Martigny*: **Recherches basées sur l'installation pilote solaire avec stockage saisonnier.** (RA)

- [11] B. Saugy, LMS-GPGU / EPF - *Lausanne*: **Suivi scientifique de SPEOS.** (RA)
- [12] B. Saugy, SE / LENI / EPF - *Lausanne*: **Mise en exploitation "Pilote" de SPEOS.** (RA)
- [13] F. Righetti, INTERTECNIC SA, *Vevey*: **Stockage latent intégré dans un système industriel.** (RA)
- [14] J.-L. Scartezzini, EAUG / CUEPE, UNI - *Genève*: **Régulateur prévisionnel appliqué à une installation solaire active.** (RA)
- [15] Y. Allani, LENI / EPF - *Lausanne*: **Projet de mini-centrale alpine à capteurs extra-plats intégrés aux structure de paravalanches.** (RA)
- [16] A. Eggenberger, EGGENBERGER BAUPHYSIK A G , *Burgdorf*: **Kurztestmethode für Sonnenenergieanlagen (KTSA).** (RA)
- [17] B. Molineaux, B. Lachal, O. Guisan, CUEPE / GAP, UNI - *Genève*: **Analyse thermique de cinq piscines avec capteurs solaires.** (RA + RF)
- [18] E. Rohner, EXERTEC Engineering AG, *Rapperswil*: **TOURNESOL: Allgemeine Benutzeroberfläche für solartechnische Programme aus der Schweizer Forschung.** (RA)
- [19] P. Rezzonico: **Analyse socio-économique des facteurs limitant l'utilisation de l'énergie solaire**

(RA) rapport annuel 1991 disponible  
(RF) rapport final disponible

# SOLARARCHITEKTUR

Überblicksbericht  
zum Forschungsprogramm 1991

Programmleiter : S. Robert Hastings

---



## Solarhaus Lehnerr in Schwyz

Die wichtigsten Merkmale dieses Hauses sind ein grosser vorgelagerter Wintergarten, der sich über die ganze Südfassade erstreckt und dessen äussere Verglasung in den untern zwei Stockwerken als Fensterkollektor ausgelegt ist. Ein Teil der einfallenden Sonnenstrahlung wird aufgefangen, in Wärme umgewandelt, welche über Luftkanäle abgeführt und in den massiven Betonwänden und -böden gespeichert wird. Die im meteorologisch durchschnittlichen Winter 90 / 91 benötigte Heizenergie lag mit  $70 \text{ MJ/m}^2$  bei einem Viertel des SIA-Zielwertes von  $280 \text{ MJ/m}^2$ , während der Elektrizitätsverbrauch mit  $100 \text{ MJ/m}^2$  nur wenig unter dem SIA- Zielwert lag. Es zeigte sich, dass eine einstufige Ventilation genügt, der jetzige zweistufige Betrieb der Anlage bringt keinen höhern Kollektorsertrag sondern verteuert nur die Installation. Der vorgelagerte Wintergarten hat sich auch als Ueberhitzungsschutz bewährt, da er sich im Sommer durch die grossen Fenster im Mittelteil sehr wirksam entlüften lässt, sodass der Wohnteil optimal kühl gehalten werden kann.

## 1. Programmziele 1991

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 Ueberhitzungsschutzes. Im Rahmen dieser Programmbeschreibung ergaben sich folgende Ziele für 1991 :

- Abschluss der schweizerischen Forschungsbeiträge zum IEA-Projekt **Solaranwendungen in Nicht-Wohnhäusern** und Beginn der Umsetzung der internationalen Ergebnisse auf die Schweiz.
- Erarbeitung der Grundlagen für optimale **Tageslichtnutzung**, mit minimalem Energiebedarf für künstliche Beleuchtung, Heizung und Kühlung.
- Untersuchung und Entwicklung von **Solar-Luftheizsystemen**.
- Weiterentwicklung von Konzepten für **Niedrig-Energie-Solarhäuser** in internationaler Zusammenarbeit.
- Weiterführung der Arbeit an **Planungshilfsmitteln**.

## 2. Arbeiten und Ergebnisse 1991

### Solaranwendungen in Nicht-Wohnhäusern

Die Zusammenarbeit im Rahmen der IEA [15] wurde weitergeführt. Behandelt wurden die Themen passive Heizung, Tageslichtnutzung, natürliche Kühlung und Atrien. In England wurde ein internationaler Workshop über Ergebnisse aus Messprojekten in zwölf Ländern veranstaltet, und in Zürich wurde im März ein schweizerisches Symposium über das gesamte IEA-Projekt durchgeführt. Nicht abgeschlossen sind die schweizerischen Arbeiten im Bereich Tageslichtnutzung und Atrien. Ein Handbuch wurde zu 90 % fertiggestellt. Das Projekt **Modellentwicklung für grosse Atrien** [12] wurde erst gegen Jahresende gestartet mit dem Ziel, die in grossen verglasten Räumen auftretenden Verhältnisse in einem Simulationsprogramm einzubauen. Unter dem Projekt **Berichterstattung über interne Lasten und die Ausnutzung der Sonnenenergie** [14] wurden die Resultate der 1990 beendeten Arbeit mit Ergebnissen aus Oesterreich ergänzt und in einem Kapitel in das IEA-Handbuch eingebaut.

### Tageslichtnutzung

Im Projekt *Éclairage naturel : modèles et mesures* [4] sind die Messinstrumente kalibriert und in Betrieb genommen worden. Mit den Messresultaten sind zwei bestehende Simulationsmodelle überprüft worden, wie sie in rechnerischen Analysen verwendet werden. Die Modellierung vermag aber noch nicht in allen Teilen zu befriedigen.

Im Projekt **Möglichkeiten der Tageslichtnutzung** [5] wurden für Schulhäuser und Bürogebäude mittels Simulationsrechnungen die Auswirkungen intensiver Tageslichtnutzung auf den gesamten Energieverbrauch für künstliche Beleuchtung, Heizung und Kühlung ermittelt. Die Ergebnisse zeigen, dass mit wachsender, nach Süden orientierter Glasfläche der Energiebedarf für künstliche Beleuchtung und Heizung stark sinkt, dass die benötigte Gesamtenergie zwar auch abnimmt, aber wegen erhöhten Kühlbedarfs nicht im gleichen Ausmass. Nicht nach Süden gerichtete Glasflächen brachten noch Einsparungen an Kosten, wenn der für die Beleuchtung benötigte Strom zum dreifachen Preis von Heizenergie angerechnet wird. Die Hauptarbeit lag 1991 bei der Bereinigung des Teils *Tageslichtnutzung* für ein *IEA Sourcebook*. Die Ergebnisse, ergänzt mit Resultaten aus Belgien, Dänemark und Norwegen werden demnächst in einem Dokument für Architekten vorgestellt.

Für das Projekt *Laboratoire de lumière naturelle et analyse de systèmes d'éclairage naturel latéral* [7] wurde intensiv an den nötigen Vorrichtungen gearbeitet, insbesondere wurde die Steuerung für das Heliodon fertiggestellt, so dass dieser Modellträger in jede gewünschte Position gefahren werden kann, wobei auch ganze Abläufe programmiert werden können. Weiter wurden Messvorrichtungen gebaut, welche an Modellen Messungen und visuelle Aufnahmen erlauben. Architekten und Studenten haben bereits Anwendungsmöglichkeiten gefunden.

## **Solar - Luftheizsysteme**

Das Messprojekt **Solarhaus Lehnerr** [3] hatte zum Ziel, im Winter 90/91 und Sommer 91 den Energiehaushalt zu erfassen und mit Simulationsergebnissen zu vergleichen. Resultate sind in der Legende auf der Titelseite zusammengefasst.

Gegen Ende des Jahres wurde das Messprojekt **Solarhaus Bühler** [9] gestartet. 50 m<sup>2</sup> Luftkollektoren an der Südfassade und massive Böden und Wände als Wärmespeicher sind die Hauptmerkmale. Die Messkampagne soll Grundlage sein für die Weiterentwicklung und Optimierung des Prinzips.

Die erste Phase des Projektes **Modellierung von Komponenten für Luftheizsysteme** [2] wurde abgeschlossen. Es handelt sich um eine Bestandesaufnahme der heute bekannten Elemente an Kollektoren und Speichern sowie eine Abschätzung des Bedarfs an Simulationsmodulen für diese Elemente. Für die gebräuchlichen Kollektortypen sind geeignete Module bekannt, hingegen bestehen bei Speichern noch Lücken. Die Entwicklung entsprechender Module wurde in die Wege geleitet.

## **Niedrig-Energie-Solarhäuser**

Finanziert vom Kanton Zürich und vom NEFF wurden Messungen am **Null-Energiehaus** Wädenswil begonnen und ergänzende Parameterstudien mittels Computersimulationen sind in Planung.

Die Potentialstudie des Forschungsprojektes **Luftabsaugfassaden** [1] wurde abgeschlossen. Die mit dem Simulationsprogramm TRNSYS durchgeführten Berechnungen zeigen, dass Luftabsaugfassaden auch in unserem Klima mit einem hohen Wirkungsgrad eingesetzt werden können. Ein Schlussbericht ist vorhanden.

Die Arbeiten am Projekt **Gebäude mit transparenter Isolation - Optimierung des Ueberhitzungsschutzes** [10] zeigen, dass Bleche mit eingestanzten Lamellen gegen Ueberhitzung sehr wirksam sind. Es muss noch die beste Auslegung von Schlitzgrösse und Winkel ermittelt werden.

Die Suche nach nicht brennbarem transparentem Isolationsmaterial hat erste Früchte gebracht. Die Arbeit im Projekt **Transparente Isolation auf Glaskapillarbasis** [11] macht grosse Fortschritte. Ein Muster (40 x 40 cm) konnte hergestellt werden und dessen optische und wärmetechnische Eigenschaften sind im Labor ausgemessen werden. Die Werte für Wärmedämmung sind gut, aber der erreichte Gesamtenergiedurchlassgrad bleibt noch hinter den Erwartungen zurück. Die Ursachen dafür liegen beim Ablängen der Kapillarrohre und dem Verkleben. Andere Lösungen sind bekannt. Neue Muster werden 1992 produziert.

## **Planungshilfsmittel**

Das **Expertensystem zur Sonnenenergienutzung "ISOLDE"** [6] liegt nun als Prototyp vor, wobei zwei Abschnitte soweit bereit sind, dass sie gegen Ende 1991 zur Benützung freigegeben werden können. Ein vollständiges benutzerfreundliches System ist aber erst für Mitte 1993 vorgesehen.

Für das Konzept einer **interaktiven graphischen Datenbank** [8] über Solarbauten ist die Hardware gekauft und die Benutzeroberfläche festgelegt worden. Eine Demonstrationsversion konnte im November 1991 vorgestellt werden. Sie soll nächstes Jahr den Architekten vorgeführt werden. Die Programmierarbeiten sind z.Zt. noch im Gange.

Gegen Jahresende konnte das Projekt **PC-Rechenprogramm "HELIOS I"** [13] gestartet werden. Das bestehende Programm soll benützerfreundlicher gestaltet werden und neue solare Bauelemente werden hinzugefügt.

Das *Laboratoire d'énergie solaire, LESO* an der ETH-Lausanne verbesserte das Planungshilfsmittel LESOSAI für Solarbauten. Es arbeitet weiter an einem entsprechenden Expertensystem. Gegen Ende des Jahres wurde zusätzlich zur französischen auch eine deutschsprachige Fassung fertiggestellt.

### 3. Internationale Zusammenarbeit

- IEA Projekt **Planungshilfsmittel für Sonnenenergienutzung** : Zusammenarbeit an der Entwicklung von Algorithmen und Anpassung bestehender Modelle um Atrien, neuartige Gläser und Tageslichtsysteme besser rechnen zu können [16].
- IEA Projekt **Niedrig-Energie Solarhäuser** : Berichte über intelligente Regelsysteme und über den Energieverbrauch von Haushaltgeräten wurden an die IEA-Programmleitung (Norwegen) abgegeben. Die Schweiz war im September Gastgeber für eine internationale Expertensitzung und organisierte eine Vortragsreihe über energiesparende Haushaltgeräte [17].
- IEA Projekt **Luftkollektorsysteme** : Erarbeitung eines detaillierten Vorschlag für ein Forschungsprojekt. Dieses wurde im Oktober vom Exekutivkomitee genehmigt [18].
- Jurymitglied für den Solarhauspreis 1991 (Teilnehmer 80 Studenten aus Oesterreich, Deutschland, der Schweiz und Liechtenstein), Energiesparverein Vorarlberg, Dornbirn.
- Mitglied des Kuratoriums und des wissenschaftlichen Beirats der Arbeitsgemeinschaft "Solar", Nordrhein- Westfalen, Deutschland.
- Mitglied des technischen Komitees *Passiv Solar Design* der *International Solar Energy Society* und *Session Chair* am *1991 Solar World Congress*.

### 4. Transfer von Ergebnissen

#### Tagungen und Workshops

- "Sonnenenergienutzung in Gemeinschafts- und Geschäftsbauten", Schlussergebnisse des IEA-Projekts, 6. März 1991, ETH-Zentrum, Zürich.
- "Energie- und Schadstoffbilanzen im Bauwesen", 7. März 1991, ETH-Zentrum, Zürich.
- Internationales Seminar : IEA-Messprojekte (Oxford, April 1991).
- "PSTAR - eine Methode zur energetischen Gebäudeanalyse", 19. September 1991, Volketswil. Ein renommierter Forscher aus der USA, erläuterte diese Methode zur raschen thermischen Beurteilung eines Gebäudes.

#### Publikationen

- "Bulletin Forschungsstelle Solararchitektur", Redaktion eines zweimal jährlich erscheinenden Bulletin, in welchem die neuesten Erkenntnisse kurzgefasst vorgestellt werden. Das Bulletin wird kostenlos abgegeben an Interessierte. Es geht bereits an über 500 Adressaten.

- "Jahresübersichtsbericht der Forschungsstelle Solararchitektur" mit allen Berichten über die laufenden Projekte.
- "Sonnenfibel", Informationsbroschüre über bauliche und energetische Aspekte der Sonnenenergienutzung (Editor und Autor von Kapitel 1 : Direktgewinn).
- "Sonnenenergienutzung in Gemeinschafts- und Geschäftsbauten", Tagungsband vom 6. März 1991.
- "Energie- und Schadstoffbilanz im Bauwesen" (mit Vademecum), Tagungsband vom 7. März 1991.

### **Mitwirkung bei grossen Bauprojekten**

- PSI-Laborgebäude West, Villigen.
- "Haus / Tech / Zentrum", Winterthur.
- Zentrum für Sonnenenergie und Wasserstoffforschung für das Land Baden-Württemberg.
- *DPIE Bureaux Accommodation Project*, Canberra, Australien.

## **5. Perspektiven für 1992**

### **Geplante Veranstaltungen und Publikationen für 1992**

- IEA Workshop: *Solar Air Heating Systems*, Kandersteg, Februar 1992.
- Computermodellierungs-Workshop : TRNSYS, Frühjahr 1992, Zürich.
- Einführung des Wahlfaches "Bauen und Sonnenenergienutzung" im Sommersemester 1992 an der ETH-Zürich.
- Internationale Sommerschule, Kursteil "Solararchitektur", August 1992, Klagenfurt, Oesterreich.

Betreuung der weiterlaufenden Projekte (wie unter 2 aufgeführt)

### **Initiierung neuer Projekte**

- In Zusammenarbeit mit der HTL - Horw : Ein Projekt über **Solarfassaden**.
- Arbeiten an einem **Simulationsmodul zu TRNSYS für hypokauste Speicher**.
- Versuche mit **LAF-Elementen für Büro- und Wohnhäuser**, Messungen in Labor und Feld.
- **Wärmedämmung in Gewächshäusern**.
- **IEA-Task : Solar Air Heating Systems**. Es beginnt nun eine einjährige Vorphase.

## **6. Liste der Projekte 1991**

- [1] R. Peter, PETER CONSULTING, Zürich: **Potentialstudie bezüglich Luftabsaug-Fassaden**. (SB)
- [2] N. Zamboni, BASLER & HOFMANN, Zürich: **Modellierung von Komponenten für konvektive Solarsysteme**. (JB)
- [3] A. Gütermann, AMENA, Schlieren ZH: **Solarhaus Lenherr**. (JB)

- [4] O. Guisan, GAP / UNI-Genève: **Éclairage naturel à Genève : mesures et modèles.** (JB)
- [5] N. Hopkirk, EMPA , *Dübendorf*: **Möglichkeiten der Tageslichtnutzung.** (JB)
- [6] N. Morel, LESO-PB / EPF-Lausanne: **Pilot-Expertensystem ISOLDE.** (JB)
- [7] J. L. Scartezzini, LESO-PB / EPF-Lausanne: **Analyse de systèmes d'éclairage naturel latéral.** (JB)
- [8] W. Weber, CUEPE / UNI-Genève: **Banque de données interactive.** (JB)
- [9] M. Blatter, *Reinach*: **Messprojekt Solarhaus Bühler.**
- [10] P. Schneiter, E. SCHWEIZER AG, *Hedingen*: **Gebäude mit transparenter Isolation - Optimierung des Überhitzungsschutzes.** (JB)
- [11] L. Perincioli, INFRACONSULT AG, *Bern*: **Transparente Isolation auf Glaskapillarbasis.** (JB)
- [12] D. Aiulfi, SORANE SA, *Lausanne*: **Modellentwicklung für grosse Atrien.** (JB)
- [13] T. Frank, EMPA - *Dübendorf*: **PC-Rechenprogramm HELIOS I.**
- [14] P. Case, EN - SOLAR, *Bern*: **Berichterstattung über interne Lasten und die Ausnutzung der Sonnenenergiegewinne.** (JB)
- [15] R. Hastings, HBT / ETH - *Zürich*: **IEA/SHC Annex XI : Passive Solar Commercial Buildings.** (JB)
- [16] J.L. Scartezzini, LESO-PB / EPF - *Lausanne*: **IEA/SHC Annex XII: Building Energy Analysis Tools.** (JB)
- [17] R. Hastings, HBT / ETH - *Zürich*: **IEA/SHC Annex XIII : Advanced Solar Low Energy Houses.** (JB)
- [18] R. Hastings, HBT / ETH - *Zürich*: **IEA/SHC Annex XIX : Solar Air Heating Systems.** (JB)

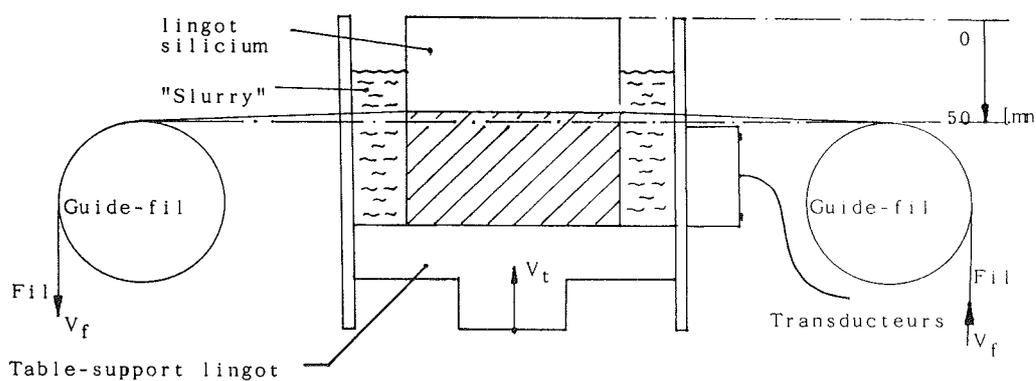
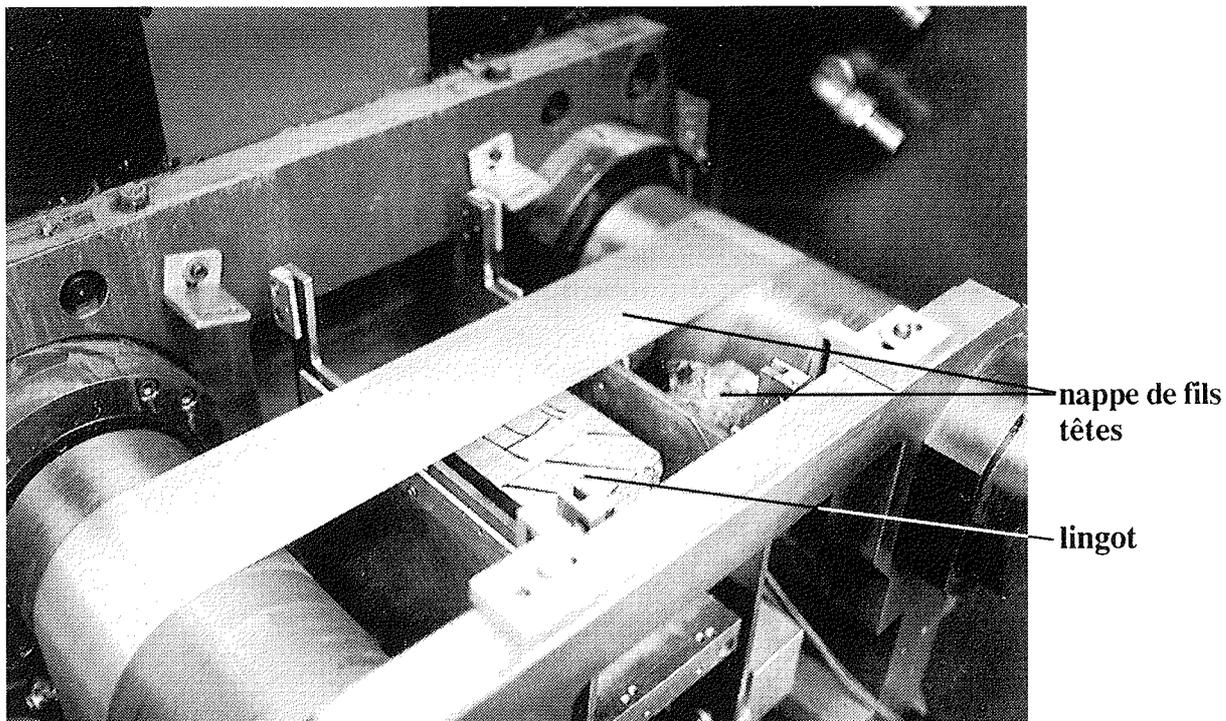
(JB) Jahresbericht 1991 vorhanden

(SB) Schlussbericht vorhanden

# ÉNERGIE PHOTOVOLTAÏQUE

Rapport de synthèse  
sur les activités 1991 du programme de recherche

Chef de programme : Christophe de Reyff



## Machine à découper les wafers :

Cette machine à fils avec assistance vibrationnelle (pour découper des wafers par sciage de lingots de silicium) a été réalisée par HCT SHAPING SYSTEMS, à Étoy (VD), dans le cadre du Programme européen JOULE.

## 1. Objectifs pour 1991

Les activités du Programme suisse de recherche *PV-CH* se sont concentrées en 1991 sur les cinq axes suivants :

- **CELLULES** : élever et stabiliser le rendement des cellules au silicium amorphe ; mieux comprendre leur fonctionnement ; améliorer le rendement des cellules au silicium cristallin par piégeage de la lumière ; affiner le sciage par fil des lingots en *wafers* de silicium cristallin pour les amincir et améliorer leur géométrie.
- **MODULES** : développer des techniques nouvelles pour l'encapsulation de cellules, pour la fixation de modules par collage et pour le câblage ; développer de nouvelles formes et de nouvelles tailles.
- **ONDULEURS** : améliorer leur rendement, leur compatibilité électromagnétique ; diminuer leurs harmoniques et leur sensibilité aux signaux d'asservissement ; les tester sur site.
- **INSTALLATIONS PV** : poursuivre des mesures globales et fines de production d'électricité pour évaluer la fiabilité et le rendement des composants et des installations complètes sous diverses conditions réalistes.
- **INTÉGRATION DU PV À L'ESPACE CONSTRUIT** : poursuivre la mise en oeuvre et le développement de l'intégration au bâtiment d'éléments PV architecturaux : tuile, toiture, façade, etc., en collaboration internationale ; mettre sur pied un site de démonstration.

À ces cinq têtes de chapitre s'ajoutent encore diverses *ÉTUDES*, des activités de *COORDINATION*, ainsi que des travaux pour la planification, la construction et la mise en place des premières mesures des installations PV ayant un caractère *P & D* (pilotes et de démonstration).

## 2. Travaux effectués et résultats obtenus en 1991

### TECHNOLOGIE DES CELLULES

#### a) Cellules équipées d'un système de *light trapping* [1] :

Le but final visé au PSI - Zürich est d'atteindre un rendement de 20 % sur des cellules au silicium cristallin (c-Si) ultraminesces (env. 40  $\mu\text{m}$ ) équipées d'un système optique de *light trapping* à l'arrière de la cellule et d'une couche anti-reflet à sa surface. En partant de cellules de 250 à 380  $\mu\text{m}$  et d'un rendement de 16 %, on atteint maintenant des rendements de 17 à 18 %. L'efficacité du *light trapping* n'est pas encore mise en évidence, car le dépôt du réseau (avec une constante de réseau de 0,62  $\mu\text{m}$ ), occasionne une détérioration des propriétés électriques de la cellule au c-Si. Une couche de séparation de 10 nm en silice devrait permettre de maintenir aussi basses que possibles les recombinaisons en surface. Les contaminations dues aux impuretés, aux manipulations, et surtout à la température, sont des paramètres à effet négatif sur le rendement de conversion.

#### b) Découpe avec assistance vibrationnelle de lingot de silicium [2] :

HCT SHAPING SYSTEMS, Étoy, propose de préparer des *wafers* entre 80  $\mu\text{m}$  et 180  $\mu\text{m}$  d'épaisseur par découpe par abrasion avec assistance vibrationnelle. Les limites de la vitesse de sciage par fil (de 175  $\mu\text{m}$  de  $\varnothing$ ) avec abrasif sont étudiées. La machine, pourvue de jauges pour la mesure des efforts de coupe, a permis de faire des essais en vraie grandeur avec un contrôle constant des paramètres (voir la figure de l'en-tête). Cette machine a été réalisée dans le cadre du projet *Wire saw slicing ultra thin silicon wafers* du Programme JOULE I, en collaboration avec E.N.E. (Énergies Nouvelles et Environnement), Bruxelles (B), et PHOTOWATT, Caen (F). L'assistance vibrationnelle (150 W à 16 kHz) a permis d'améliorer la géométrie des tranches de *wafers* et leur état de surface, en augmentant les efforts de coupe parallèles à la direction du fil et en diminuant ceux qui sont perpendiculaires. Selon E.N.E., l'optimum d'épaisseur recherché pour minimiser les pertes se situe vers 120  $\mu\text{m}$ , alors que selon HCT il est atteint pour une vitesse de fil maximale de 7 m/s et une vitesse de table maximale de 700  $\mu\text{m}/\text{min}$  ; ce qui est un gain de 30 à 40 % en regard de la technique sans assistance vibrationnelle (5 m/s et 500  $\mu\text{m}/\text{min}$ ). PHOTOWATT a essayé de son côté des fils fins (100  $\mu\text{m}$  de  $\varnothing$ ). Les tranches vont de 10 cm x 10

cm (avec 80 µm d'épaisseur) à 30 cm x 30 cm (avec 180 µm d'épaisseur). On observe que des tranches fines, au lieu d'être cassantes, deviennent souples ! Le rapport final est disponible.

**c) Cellules photovoltaïques au silicium amorphe [3] :**

À l'Institut de Microtechnique (IMT), Uni - Neuchâtel, on poursuit, avec l'application de la méthode *Very High Frequency (VHF) Deposition* dans l'emploi de la technique *Plasma Enhanced Chemical Vapor Deposition (PECVD)*, l'amélioration des cellules au a-Si:H (silicium amorphe hydrogéné), de leur rendement et de leur stabilité. Un nouveau sas a été mis en oeuvre pour éviter les contaminations ; des cellules en tandem tout silicium ont été faites. L'étude du phénomène de dégradation a été affinée et un effet antagonisme de régénération a été observé. L'adjonction de xénon ou d'argon au plasma de silane montre un effet positif dès 10 % de dilution. Il y a corrélation entre microstructure et dégradation : tailles et distribution de tailles des micropores sont encore à quantifier.

Une étude approfondie [63] a encore été menée sur l'énergie grise — sous forme d'énergie primaire équivalente contenue dans un produit (définie comme l'énergie thermique égale à 2,5 fois l'énergie électrique, obtenue par une machine thermique ayant 40 % de rendement de conversion) — et sur le coût de fabrication des modules PV au silicium amorphe. En voici les résultats essentiels : 273 kWh(th.)/m<sup>2</sup> pour des modules avec un verre simple et 325 kWh(th.)/m<sup>2</sup> avec un encapsulage en polycarbonate ; ceci donne un temps de remboursement énergétique (compté en énergie primaire équivalente) de 2,18 et 2,6 ans. [Ces calculs sont faits sous les conditions suivantes : un rendement PV stable actuel de 5 % (soit 50 W<sub>crête</sub>/m<sup>2</sup>, sous une irradiance solaire de 1000 W/m<sup>2</sup>), avec un ensoleillement moyen donnant une énergie solaire de 1000 kWh/m<sup>2</sup> an ; ceci donne une production PV électrique de 50 kWh(él.)/m<sup>2</sup> an, équivalant à une énergie thermique primaire de 125 kWh(th.)/m<sup>2</sup> an]. Quant au prix, il s'élève à 67 \$/m<sup>2</sup>, soit 100 Fr./m<sup>2</sup> (verre simple), et à 76 \$/m<sup>2</sup>, soit 114 Fr./m<sup>2</sup> (avec encapsulage), autrement dit à 1,34 \$/W, soit 2 Fr./W (verre simple) et à 1,52 \$/W, soit 2,25 Fr./W (avec encapsulage). Le procédé VHF à l'IMT à vitesse de dépôt plus grande devra permettre d'abaisser ces coûts.

**d) Influence des paramètres physico-chimiques du plasma de silane sur le dépôt de a - Si [4] :**

En collaboration avec l'IMT, le Centre de recherches en physique des plasmas (CRPP), EPF - Lausanne, a construit un réacteur pour étudier la mise en oeuvre de la méthode *VHF* dans l'emploi de la technique *PECVD*, sous des conditions identiques à celles de Neuchâtel. Les plasmas de silane pur et avec hydrogène ont été examinés et des dépôts de silicium amorphe et microcristallin ont été faits. Leur comportement et leurs caractéristiques sont mesurés, en particulier la caractérisation électrique et la modélisation de la décharge *VHF* pour corrélérer la formation de poudre aux paramètres de décharge. De nouvelles méthodes de diagnostic de plasma ont été établies. La conclusion principale est que la puissance plasmaitique critique (où commence la formation indésirée de poudre) est plus élevée lorsque la fréquence appliquée au plasma est plus élevée (10 W à 80 MHz au lieu de 4 W à 30 MHz) ; ceci va de pair avec une vitesse de dépôt plus élevée (10 Å/s à 70 MHz contre 3,3 Å/s à la fréquence classique de 13,56 MHz, toujours sous 5 W de puissance du plasma) et avec une homogénéité plus grande de la couche déposée (plus faible densité de défauts 1-2 10<sup>16</sup> cm<sup>-3</sup>).

• D'autres travaux sont soutenus par le NEFF à l'AFIF / ETH - Zürich dans le domaine des couches minces en tellure de cadmium mono-cristallin [5] et celui des couches minces de silicium obtenues par électrochimie [51].

## TECHNOLOGIE DES MODULES

**a) Procédés de fabrication de modules photovoltaïques [6] :**

Un projet NEFF a été lancé en juin par GLAS TRÖSCH SOLAR & ALPHA REAL, Zürich, pour étudier un procédé de fabrication de modules (en principe, de toute taille) avec encapsulation par des résines synthétiques coulées — et non plus introduites sous forme de feuilles polymérisées et réticulées sous pression et à température supérieure à l'ambiante — autour de cellules PV très fines (~200 µm et moins) en une sorte de sandwich verre/polymère/verre. Ceci devrait conduire à une plus grande durée de vie et à une intégration facilitée en façade du bâtiment. Il s'agit de tester le comportement (transparence, caractéristiques électriques et diélectriques : par exemple, conductivité variable selon l'humidité, fragilisation, dureté, teneur en eau, étanchéité, dilatation ou contraction, etc.) de ces résines dans le temps et sous des conditions physiques réalistes (températures de -40 à +150 °C, rayonnements UV, humidité, agents oxydants et acidifiants, etc.) sans oublier leur comportement avant polymérisation (faible viscosité, stabilité, caractère non corrosif, etc.). Le choix se porte sur 4 résines candidates, deux types de résine méthacrylique à plusieurs composants, une résine silicone, et un autre système à un seul composant durcissant à l'UV. Des prototypes de modules PV ainsi encapsulés ont été faits et sont actuellement en phase de test de longue durée.

**b) Techniques de montage et de câblage pour des modules photovoltaïques [7, 45] :**

La simplification de la fabrication et du montage de grands modules PV 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 d'une installation PV. EWI, à Zürich, a achevé ses essais d'une technique de collage de lamifiés par de la colle au silicone. Un grand module (composé de 8 lamifiés et d'une longueur de 2,5 m) est encore manipulable par 2 personnes ; ce qui facilite les opérations de montage. Cette technique a été appliquée en grand pour la centrale de 500 kW du Mont-Soleil. La stabilité aux efforts a été examinée, celle à longue durée le sera.

## ONDULEURS PHOTOVOLTAÏQUES

**a) Onduleur SOLCON [8] :**

L'onduleur SOLCON a été testé *sous conditions réelles* sur le site du TISO à la STS - Lugano en collaboration avec l'ETS - Bienne du 14.03.90 au 4.11.91. Durant cette période SOLCON a produit 6000 kWh et a fonctionné durant 5829 h, soit durant 49 % du temps des 496 j de fonction, dans l'espace des 533 j de la période de mesure. Cela donne une moyenne de production de 70 kWh/semaine avec des pointes à plus de 100 kWh. Pour ce qui est de la mesure des harmoniques, faite à l'ETS - Bienne, la présence du SOLCON atténue les distorsions du réseau et l'améliore.

**b) Mesures comparées d'onduleurs PV [9, 55] :**

L'IS - Burgdorf a étendu ses mesures d'onduleurs PV du SI-3000 et du SOLCON à d'autres appareils du marché (PV-WR-1500, EGIR 10, ECOVERTER 1000) pour mesurer leur rendement, leurs harmoniques (entre 100 Hz et 2,5 kHz), leur compatibilité électromagnétique (EMV), leur fonctionnement après chute du réseau, leur sensibilité aux signaux d'asservissement du réseau. À cette fin a été développé un simulateur de signaux d'asservissement (à fréquence et tension variables) puisque ceux-ci diffèrent d'une compagnie d'électricité à l'autre. Ce point est une faiblesse pour certains onduleurs qu'il faut améliorer.

**c) Onduleurs de 3 kW par la technique de résonance [10] :**

L'ETS - Bienne vient d'entreprendre un projet visant à concevoir un onduleur PV dans la gamme de 3 kW plus performant et meilleur marché par l'application de transistors IGBT et de la technique de résonance qui est plus économique.

**d) Onduleurs dans la gamme de 50 kW [11] :**

Le développement par INVERTOMATIC, Riazzino, soutenu par le NEFF, d'un onduleur de 50 kW a permis de fabriquer une présérie de 3 prototypes. Une présérie à 20 kW est en cours. Les tests prévus en 1991 avec le simulateur de champ PV se feront en 1992 seulement à cause de son instabilité. Le comportement thermique a été amélioré ; le refroidissement naturel va jusqu'à 60 kW. Il reste encore à optimiser avec précision le fonctionnement du *MPP-tracking*. Les travaux préliminaires à la fabrication du prototype à 100 kW sont terminés. Un système de suivi et d'asservissement à distance a été développé et éprouvé. Tous les tests existent pour les puissances de 10, 15, 20 et 60 kW. Un onduleur de 60 kW est suivi en ligne directement depuis Arisdorf.

- D'autres travaux, soutenus par la CERS, sur des onduleurs de 25 kW et triphasés se sont achevés à l'ETS - Bienne [12] et à l'ÖKOZENTRUM, Langenbruck, l'IS - Burgdorf et ASCOM - HASLER, Bern [50].

## INSTALLATIONS SUR SITE

**a) Rayonnement solaire et technique photovoltaïque [13] :**

Le rapport final sur les mesures de la station de Laj Alv-I par le PSI - Villigen, achevées en août 1991, est constitué principalement par la thèse de B. Hofer qui a été publiée en été 1991. L'année 1991 a vu l'achèvement quelque peu retardé (de février à septembre) des modifications de la station pour le projet Laj Alv-II. Le nombre de canaux de mesures a été étendu pour obtenir des données spectrales en vue d'applications PV avec des cellules composites ou en tandem. Les premières mesures spectrales ont été faites à Würenlingen au moyen du nouveau spectromètre (domaine spectral : 300 à 1100 nm, résolution : 2 et 10 nm). Ces mesures sont faites en parallèle avec la mesure du rendement de cellules en silicium amorphe.

**b) Campagne de mesures fines en diverses régions [14] :**

Le projet de campagne de mesures fines, réalisé par ALPHA REAL, Zürich, sur 5 installations PV situées dans différentes régions climatiques de Suisse, s'est achevé en février 1991. Le rapport final est disponible. Le rendement moyen global de toutes les installations s'élève à 9,5 % ; les pertes sont de 23 % par rapport au rendement initial de 12,4 % (sous conditions standard) des modules PV : les principales sont dues à l'effet de la température, au câblage, à l'onduleur, à la neige et aux interruptions de fonctionnement de l'onduleur (en moyenne 1,5 fois par an). La fiabilité de l'ensemble d'une installation s'est accrue. L'expertise acquise s'est révélée fructueuse pour l'élaboration du cours PV préparé et donné dans le programme PACER.

**c) Influence de l'albédo sur des installations photovoltaïques dans les Alpes [15] :**

L'année 1991 a été la 3<sup>e</sup> où l'installation (2,5 kW, 17,1 m<sup>2</sup>), située à la station intermédiaire du téléphérique du Titlis, à 2'450 m, a été mesurée par le PSI - Villigen. Son fonctionnement a été perturbé par une irradiance trop élevée (plus de 1700 W/m<sup>2</sup> et donc 4 kW à l'entrée de l'onduleur !), due à un très fort albédo, et par des phénomènes transitoires sur le réseau ; ce qui a arrêté plusieurs fois l'onduleur. La part de l'albédo à l'irradiation globale se monte annuellement à 17 % (210 kWh/m<sup>2</sup> an sur 1241 kWh/m<sup>2</sup> an).

**d) Alimentation PV de 2,2 kW des Transports Publics Genevois (TPG) [16] :**

La campagne de mesure par l'Uni - Genève de l'installation de 650 V continu, directement couplée au réseau des TPG, et construite en mai 1990, se poursuit, avec prise en compte d'effets secondaires : variations de température, rapport des rayonnements direct et diffus, ombrages. L'efficacité est de 9,3 % (130 kWh(él.)/m<sup>2</sup> an, avec une irradiance reçue de 1404 kWh/m<sup>2</sup> an, soit 2332 kWh(él.)/an pour l'installation de 18 m<sup>2</sup>).

**e) Installation de 2 kW à la Gewerblich-Industrielle Berufsschule Bern (GIBB) [17] :**

Cette installation en ville de Berne, à la disposition des apprentis en montage électrique et électronique de la GIBB pour leurs travaux de perfectionnement, est reliée au réseau 230 V via un onduleur SI-3000. Depuis un an un système d'acquisition de données est en fonction. Avec une irradiance globale de 1143 kWh/m<sup>2</sup> an, reçue en 1991, l'installation (2,2 kW, 20 m<sup>2</sup>) a produit 1756 kWh/an de courant alternatif, soit un rendement de 7,7 %.

**f) Installation triphasée de 7,5 kW des Services Industriels Genevois (SIG) [18] :**

L'Université de Genève en collaboration avec les SIG, étudie tous les aspects d'une installation PV triphasée de 3 x 2,5 kW. Le fonctionnement de l'installation et du système d'acquisition de données est suivi depuis février 1991. L'efficacité moyenne des 3 phases est de 8,5 %. Le seuil de fonctionnement des 3 onduleurs correspond à une irradiance minimale de 70 W/m<sup>2</sup>. Les caractéristiques individuelles des 144 modules ont été mesurées (sous une irradiance de 1 kW/m<sup>2</sup> et à 50 °C). Il en ressort une efficacité du champ PV total de 9,9±0,4 % alors que les références spécifiées par le fabricant de cellules se situent à 11,1±0,6 %, soit à plus de 12 % au-dessus des mesures.

**g) Tests de composants et de systèmes photovoltaïques au TISO [19] :**

La phase III du projet *Ticino Solare (TISO)* à la STS - Lugano a débuté en fin 1990. En collaboration avec l'*ESTI (European Solar Test Installation)* du Centre de Recherche d'Ispra (I), il s'agit d'offrir des tests normalisés de paramètres mécaniques, thermiques et électriques (caractéristiques courant-tension, y compris l'isolation sous haute tension : 0,5 à 10 kV et 1 à 10 mA) pour les composants et les systèmes PV. Une banque de données PV est en construction ; elle comprend déjà 253 types de modules PV et 34 fabricants, avec caractéristiques et liste des distributeurs ; le but est d'arriver à un outil intégrable à l'interface TOURNESOL (voir Programme SOLAIRE THERMIQUE). D'autre part, le champ PV de 4 kW, constitué de modules au silicium amorphe (a-Si), installé au TISO de la STS - Lugano, a continué d'être mesuré. L'étude des cycles de dégradation et de régénération du a-Si selon les saisons est l'objet intéressant : ce cycle suit celui des saisons avec une variation du rendement allant jusqu'à 2 % d'amplitude, prouvant l'effet de recuite (*annealing*) du a-Si en été.

**h) Étude, réalisation et exploitation de la station de mesures de la centrale photovoltaïque du Mont-Soleil [20] :**

Le projet du Consortium *PHALK 500 Mont-Soleil* et de l'EISI (ETS - St-Imier) va de l'acquisition des mesures à leur évaluation en vue d'analyser les performances de la centrale de 500 kW sous différentes conditions météorologiques et opérationnelles. Dès février 1991 ont été installés un module d'acquisition, avec fibres optiques pour éviter les interactions, un module de transfert et un module de traitement et de visualisation des données. L'EISI gère sur son micro-VAX la banque de données en constitution qui sera accessible par tous.

## INTÉGRATION À L'ARCHITECTURE

### a) *Intégration optimale au bâtiment d'installations photovoltaïques* [21] :

Les travaux réalisés par ALPHA REAL, Zürich, ont consisté dans le transfert à la pratique des idées travaillées les années passées. Façades, toitures inclinées et plates, tuiles ainsi que les techniques de fixation et de collage et les problèmes d'étanchéité ont été les objets de recherche. Il s'agit d'optimiser la mise en oeuvre du PV dans le bâtiment. Les travaux ont montré l'importance de la collaboration entre l'architecte et l'ingénieur pour concilier les aspects esthétiques et les exigences techniques qui descendent jusqu'aux problèmes de contacts et de câblages.

### b) *Intégration de générateurs photovoltaïques sur les marquises de gares (phase I, évaluation du potentiel)* [22]:

Il est établi que les CFF consomment pour l'éclairage des 200'000 lampes des gares une puissance totale de 12 MW. L'étude entreprise par BONNARD & GARDEL, Lausanne, permet d'évaluer le potentiel de toitures de marquises de gare, par extrapolation à partir de l'analyse du 1er arrondissement des CFF, à 400'000 m<sup>2</sup> permettant d'installer 56'000 m<sup>2</sup> de modules PV inclinés ou 160'000 m<sup>2</sup> de modules PV à plat, susceptibles de représenter une puissance installée allant de 6 à 24 MW pouvant produire entre 6 et 20 GWh/an.

### c) *Intégration de générateurs photovoltaïques à l'enveloppe du bâtiment* [23, 57] :

ATLANTIS ENERGIE, Bern, et ZETTER, Solothurn, ont réalisé l'installation de 9 kW(él.) en façade du bâtiment dit *Windmühle* à Bienne et celle, hybride, (de 53 kW(él.) et 105 kW(th.)) répartie en 8 *sheds* de 500 m<sup>2</sup> sur la fabrique AERNI à Arisdorf. Les modules (de 1,5 m x 1,2 m) ont une puissance nominale de 185 W et sont refroidis à l'air. La chaleur ainsi récupérée est stockée dans le sous-sol. L'onduleur de 60 kW est fonctionnel et son comportement est suivi en ligne directement par le fabricant. L'ensemble des senseurs et points de mesures est en fonction. Les grandeurs thermiques sont encore à analyser pour permettre un fonctionnement optimisé.

### d) *DEMOSITE* [24, 25, 26] :

Le Laboratoire d'énergie solaire (LESO), EPF - Lausanne, a étudié et réalisé le site de démonstration (*LESO-Demosite*) dans le cadre du projet **PV dans l'espace construit** de l'AIE. Les futurs pavillons recevront des solutions originales proposées pour l'intégration architecturale par tous les participants à la tâche. À ce jour 17 inscriptions de projets ont été reçues dont 7 seront réalisés en 1992. De son côté, le LESO a entrepris d'intégrer à différents types d'objets architecturaux de l'EPF - Lausanne des générateurs PV. Un 1<sup>er</sup> *shed* du bâtiment de Génie civil a été équipé d'un champ (de 2,4 kW en 40 modules de 60 W) monté dans une structure porteuse s'intégrant à la forme du *shed* ; un brise-soleil sur le fronton du bâtiment du LESO est en construction et sera pourvu de capteurs (de 3,23 kW en 36 modules de 90 W de 1,7 m x 0,46 m). Enfin, 4 *sheds* supplémentaires sont en voie d'être équipés, permettant de diviser le champ PV total en 3 parties différentes (de 2,4 kW, de 4 kW et de 5,6 kW) pour tenter d'évaluer une optimisation de surface pour un type d'onduleur [29].

## ÉTUDES DIVERSES

Une étude se poursuit chez ALPHA REAL, Zürich, pour l'optimisation de la sécurité des champs PV [27]. Après évaluation de 4 solutions différentes, un prototype de dispositif de sécurité a été mis au point et a commencé à être testé. Un cahier de charge pour une électronique de sécurité a été établi à la suite d'une définition d'une stratégie de sécurité.

Une simulation a montré qu'un surdimensionnement du champ PV, pour un onduleur donné, qui est de l'ordre de 20 à 40 %, selon les conditions, représente un optimum du point de vue économique. Le Bureau d'études KELLER-BURNIER, Lavigny, a étudié en plus une optimisation saisonnière de la surface des modules PV en fonction de l'onduleur [28], le paramètre nouveau est celui de la température hivernale plus favorable au rendement PV. Ce modèle est en train d'être validé expérimentalement [29], une première fois à Herden (ZH) (avec des onduleurs interruptibles à puissance excessive) et sous d'autres conditions à l'EPF - Lausanne (avec des onduleurs à puissance maximale limite non-interruptibles). Le projet est de diviser 1 champ PV en 3 sous-champs de tailles différentes surdimensionnées par rapport à la puissance admise par chacun des 3 onduleurs.

Une autre étude d'un an a été entreprise par ALPHA REAL, Zürich, pour l'évaluation des technologies PV en vue de futurs centres de gravité pour la R & D [30]. L'ensembles des filières possibles a été examiné ; les institutions de recherches ont été visitées ainsi que les fabricants. Les critères sont complexes, ils vont de la compatibilité écologique (un sujet à approfondir encore) à des questions de coûts de production, sans oublier les

abondances naturelles limitées de certains des composants de semi-conducteurs utilisés et les difficultés de l'*up-scaling* de cellules de moins de 1 cm<sup>2</sup> à des modules de plus de 1 m<sup>2</sup>.

Une investigation préliminaire pour la couverture de l'autoroute à Breite (BS) au moyen d'éléments PV a débuté chez ALPHA REAL, Zürich [31]. De grands modules (consistant en lamifiés de 1,73 m x 1,94 m) ont été développés par différents constructeurs. Ils seront testés à l'horizontale à côté de l'autoroute pour vérifier leur comportement mécanique et thermique dans la durée. Les problèmes de salissure et d'éblouissement sont aussi considérés. Des tests ont été faits à l'ESTI d'Ispra (I) pour les cycles de température.

Une importante étude, soutenue par le NEFF, a été achevée par ALPHA REAL, Zürich [32]. Elle porte sur les mesures instantanées de la performance d'un champ PV en vue d'une méthodologie normalisée pour la procédure d'homologation des prestations (valeur à accorder aux puissances de crête déclarées par un fabricant). La procédure doit protéger l'acquéreur (qui veut acheter une certaine puissance), aider le constructeur d'installations PV et être acceptée par le fabricant. Elle devra être reconnue comme valable partout, établie et utilisée.

Une étude de faisabilité pour la construction d'installations PV le long du réseau des CFF avait déjà démontré que 30 MW d'installations PV pouvaient être installés le long des tracés des voies CFF. À sa suite, une autre étude, entreprise par TNC, Chur, avec essais chez ABB, Baden-Dättwil, soutenue par le NEFF [33], porte sur la compatibilité électromagnétique (*EMV*) entre les 2 équipements électriques. Les interactions réciproques, les problèmes de mise-à-terre, etc. feront l'objet de recommandations dans le futur rapport final.

METEOTEST, Berne, entreprend une nouvelle édition de METEONORM. La 1<sup>re</sup> phase comprend l'évaluation des critiques et des *desiderata* des utilisateurs actuels avant d'entreprendre une refonte de l'ouvrage [52].

## TRAVAUX DE COORDINATION

Le Dipartimento Dell'AMBIENTE, à Bellinzona, participe à l'évaluation des projets de recherche et des travaux du programme de recherche PV-CH ; un collaborateur est membre du Groupement européen de travail pour l'évaluation des centrales PV de puissance, et assure les contacts avec le Centre Commun de Recherche, Ispra (I) [34] (voir le Chap. 3).

L'année 1991 a été consacrée à la mise en oeuvre de la contribution suisse au projet AIE *PV in Buildings* et au sous-projet **Intégration de la technologie PV à l'architecture** [35]. Le groupe de travail en Suisse (PVB16), sous la direction de P. Toggweiler (PMS ENERGIE, Mönchaltorf), s'est réuni à 3 reprises en 1991. D'autre part, 2 ateliers internationaux ont eu lieu, dont l'un à Zürich en septembre. Un *Expert Meeting* s'est tenu à Helsinki en juin. À la journée d'information de la SIA à Muttenz en avril [57], à celle de l'ETG (SEV/ASE) à Bellinzona en mai [58] et au congrès CISBAT à l'EPF - Lausanne en octobre [62], le programme de travail a été présenté.

Au lendemain du 23 septembre 1990, TNC Consulting, Chur, se mettait à la tâche pour élaborer un programme suisse de TRANSFERT PV [36, 53, 58]. Celui-ci propose une collaboration entre institutions et marché pour réussir ce transfert dans les 10 années du moratoire.

Un nouveau projet du programme de CHAUFFAGE ET CLIMATISATION SOLAIRE de l'AIE vise la mesure du rayonnement spectral de l'énergie solaire. La coordination suisse est assurée par l'Uni - Genève [37] (voir aussi le Chap. 3)

## INSTALLATIONS P & D [38 - 49]

Les installations P&D dans le domaine PV de la Confédération, dites *intra muros*, comprennent celle de 10 kW sur l'Office fédéral de métrologie à Wabern (BE), mesurée par ALPHA REAL, Zürich [38], celle de 103 kW le long de la N13 à Domat-Ems (GR), mesurée par TNC, Chur [40], celle de 20 kW de Giubiasco (TI) (mesurée par EWI, Zürich) [39] et deux en construction, celle de 106 kW le long du tracé des CFF sur la ligne Bellinzona-Locarno (TI) (planifiée par TNC, Chur) [42], ainsi que l'installation de 33 kW de production d'hydrogène à la station aérologique de l'ISM à Payerne (VD), planifiée par EWI, Zürich [41].

D'autres installations P&D, dites *extra muros*, sont à l'étude : celle de 116 kW le long du tracé du funiculaire de Corviglia/ St.Moritz (GR), par TNC, Chur [43], celle de 80-100 kW à Caischavedra (GR), par DESERTASOL, Disentis [46], celle de 110 kW le long de la N2 à Giebenach (BL), soutenue par le Ct BL, par TNC, Chur [49], celles prévues dans le cadre du projet *Energie-Pioniergemeinde Bergün (GR)*, par TNC, Chur [44]. De son côté, INFOSOLAR, Brugg (AG), a entrepris la planification d'une installation PV de 50 kW [47], et D. KÄSTELI, Zollikofen (BE), a commencé d'équiper une maison de 54 m<sup>2</sup> de capteurs thermiques et de 32 m<sup>2</sup> (3 kW) de

modules PV [48]. D'autres installations PV sont achevées ou en construction : 13,3 kW (120 m<sup>2</sup>) intégrés au toit de l'Alp Findels, Pfäfers (SG), 10 kW intégrés au bâtiment DEC Morgines à Genève, 30 kW à Hitzkirch (LU), 65 kW à Oberburg (BE), et 80 kW pour le réseau continu des trams bernois à Neufeld (BE).

Enfin, soutenue par le NEFF, la centrale de 500 kW du Mont-Soleil, construite par le Consortium PHALK 500 Mont-Soleil dès juin 1991, est achevée [45] ; les modules sont tous fixés par collage (voir projet [7]) ; l'onduleur de 500 kW, d'une conception nouvelle, a été mis en station (voir Programme ÉLECTRICITÉ), la production électrique va débiter en février 1992 ; le programme de mesures est assumé par EWI, Zürich et l'ETS - St-Imier (voir projet [20]).

### 3. Collaboration internationale

L'année 1991 a été marquée par la *10th E. C. PV Solar Energy Conference*, organisée par la Communauté Européenne, qui s'est tenue à Lisbonne (P) du 8 au 12 avril. La Suisse y a été présente avec 16 contributions. Mentionnons encore la *22nd IEEE PV Specialists Conference*, Las Vegas (USA), avec une présentation suisse et l'*ISES 1991 Solar World Congress* à Denver (USA), avec également une présentation suisse.

- Le PSI - Zürich collabore avec le *Fraunhofer Institut für Solare Energiesysteme* à Freiburg-im-Breisgau (D), le *Max-Planck-Institut* à Stuttgart (D), le SERI à Golden (USA), et avec l'Uni - New South Wales (Australia).
- Le projet de HCT SHAPING SYSTEMS, Etoy, est incorporé au projet JOUR / 0095 du Programme communautaire JOULE, en collaboration avec E.N.E., Bruxelles (B), et PHOTOWATT, Caen (F).
- L'IMT, Uni - Neuchâtel, a collaboré en 1991 avec l'Uni - Delaware (USA), l'Académie des Sciences de Prague (CS), l'Uni - Princeton (USA), le LEPES à Grenoble (F), l'Uni - Konstanz (D), le KFA à Jülich (D), l'Uni - Marburg (D), l'Uni - Stuttgart (D) et l'École Polytechnique à Palaiseau (F).
- Le CRPP, EPF - Lausanne, participe au Programme communautaire BRITE-EURAM et collabore avec l'École Polytechnique à Palaiseau (F), l'Uni - Orléans (F), l'Uni - Eindhoven (NL), l'Uni - Barcelona (E), la communauté de travail française ARC (Uni - Toulouse, PIRSEM, AFME, SOLEMS à Palaiseau), et le KFA à Jülich et l'Uni - Düsseldorf (D).
- L'AFIF / ETH - Zürich collabore avec le Laboratoire de Physique du Solide et celui d'Énergie solaire du CNRS à Valbonne (F).
- Le projet de collage de grands modules d'EWI, Zürich, a été réalisé avec SIEMENS-SOLAR à München (D).
- INVERTOMATIC, Riazzino, collabore avec ENEL et le Laboratoire CESI à Adrano (I) et RWE à Essen (D).
- Le site de mesures du TISO à la STS - Lugano est en contact permanent avec l'ESTI (*European Solar Test Institute*) du Centre Commun de Recherches de la CE à Ispra (I). Un collaborateur du TISO est membre du groupe de travail européen (*European Working Group on PV Plant Monitoring*) qui a procédé à la révision du document *Guidelines for the Assessment of PV Plants - Doc. A : PV System Monitoring*.
- Le projet AIE PV dans l'espace construit et son volet *Intégration du PV à l'Architecture*, que la Suisse coordonne, ont donné lieu à un 2<sup>e</sup> *Expert Meeting* à Helsinki (SF) et à deux *workshops*, l'un à Freiburg (D) (*Irradiation distribution on building surfaces, Specifications & safety for PV building elements*) et l'autre à Zürich (*PV-elements : wall, roof, tile*).
- En février s'est tenu au SERI à Golden (USA), le *Project Definition Workshop* du projet AIE Mesures spectrales du rayonnement solaire et, en début décembre, a eu lieu à Freiburg (D) le 1<sup>er</sup> *Expert meeting*.
- Le projet NEFF, entrepris par ALPHA REAL, Zürich, sur les procédures de validation d'un champ PV, s'est appuyé sur des travaux du SERI et de l'ESTI ; il a donné lieu à un document final *PV Array Power Output : Fields Measurement and Analysis*, présenté à la *22nd IEEE PV Specialists Conference*, Las Vegas (USA).
- Les résultats des mesures sur l'installation de la N13 ont été présentés par TNC, Chur, en avril à Lisbonne (P) à la *10th E.C. PV Solar Energy Conference*, en mai à Ispra (I) lors du *5th PV Contractors' Meeting*, organisé par la CCE, Directeurat général pour l'énergie, et en août au *ISES 1991 Solar World Congress* à Denver (USA).

## 4. Transferts à la pratique

Échange et coordination entre recherche et industrie, telle est l'une des justifications d'un PROGRAMME DE TRANSFERT : c'est donc étudier les perspectives de recherche à objectifs particuliers et préparer des actions de coopération entre équipes publiques de recherche et entreprises ; c'est devoir faire évoluer les programmes scientifiques et le développement des travaux interdisciplinaires, compte-tenu des enjeux technologiques, énergétiques et économiques. Mentionnons des étapes actuelles touchant en particulier le Programme de recherche PV-CH.

Le CRPP, EPF - Lausanne, a plusieurs contacts intéressés en vue de l'application, éprouvée maintenant, du procédé VHF dans la possibilité aussi bien d'*inhiber* que de *favoriser* la formation de poudre de a-Si ; la première de ces possibilités représente bien sûr un acquis dans la fabrication de modules PV au a-Si.

Les nouvelles propositions de fixation par collage et de câblage de lamifiés, entrepris par EWI, Zürich, ont été appliquées avec succès à la construction de la centrale de 500 kW du Mont-Soleil (BE) ; trois entreprises ont participé à ces premiers montages et ont acquis ainsi le savoir-faire nécessaire dans ce nouveau domaine d'activité.

Une nouvelle société a été créée, SOLUTION AG FÜR SOLARTECHNIK, Härkingen, pour la production industrielle de grands modules PV. Actuellement elle utilise des cellules PV importées pour en faire un encapsulage sur mesure.

Les résultats acquis par L'ETS - Bienne dans les essais sur le site du TISO à la STS - Lugano de l'onduleur SOLCON et ceux de divers autres onduleurs à l'IS - Burgdorf ont permis d'améliorer les appareils de série ou en voie de l'être, tant du point de vue de l'asservissement au *MPP* que pour ce qui est de la compatibilité électromagnétique (*EMV*), de l'absence d'harmoniques et de la sensibilité aux signaux de commandes des réseaux.

Plusieurs onduleurs d'INVERTOMATIC, Riazzino, dans la gamme 10 - 60 kW ont été mis en fonction sur différents sites ; leur comportement va permettre d'optimiser, voire de corriger la ligne de production.

ALPHA REAL, Zürich, a tiré de son étude de 5 installations reliées au réseau dans différentes régions climatiques de la Suisse un savoir-faire qui a été intégré au contenu d'une documentation vidéo et des cours mis sur pied par le Programme PACER à l'intention des électriciens, ingénieurs, architectes et installateurs ; de plus la stratégie et les moyens mis en oeuvre pour l'acquisition de données sont maintenant largement utilisés en Suisse pour suivre les installations PV.

À Genève les deux installations des TPG et des SIG permettent de poursuivre une bonne collaboration entre l'Uni - Genève et deux entreprises de services publics. Les TPG projettent une installation de puissance.

À l'EPF - Lausanne, les installations PV intégrées à l'architecture ainsi que le *DEMOSITE* ont permis un début de prise de conscience par le milieu des architectes de la possibilité de l'intégration architecturale du PV.

L'optimisation de la sécurité des installations PV, mise au point par ALPHA REAL, Zürich, va être mise en pratique en grandeur réelle dans la centrale du Mont-Soleil.

L'étude du NEFF, entreprise par TNC, Chur, sur l'interaction du réseau des CFF avec une installation PV, a encadré la planification de la centrale de 106 kW le long du tracé CFF à Tenero (TI) : les spécifications de l'onduleur, le câblage, la mise à terre et la protection contre les décharges s'en trouvent améliorés. De son côté, l'appel d'offres a encouragé les fournisseurs de modules PV à proposer des modules aussi grands que possibles et ceux des onduleurs à respecter au mieux les spécifications, normes et valeurs limites d'un réseau non perturbé.

L'exploitation durant une nouvelle année de l'installation de 103 kW le long de l'autoroute N13 à Domat/Ems (GR) et les analyses minutieuses par TNC, Chur, du comportement du champ PV et de l'onduleur ont permis au fabricant (Kyocera) de fournir un nouveau jeu complet de modules PV, dont les caractéristiques de dispersion de puissance — et surtout celles d'isolation électriques — sont meilleures, et au fournisseur (Siemens) de l'onduleur de proposer des améliorations pour l'atténuation des harmoniques supérieures indésirables.

## 5. Perspectives pour 1992

**Cellules** : le développement de cellules en tandem et leur amélioration ainsi qu'une meilleure compréhension des relations entre microstructure et dégradation et, finalement, la préparation de couches au germanium sont les buts de l'IMT, Uni - Neuchâtel pour 1992. Le CRPP, EPF - Lausanne, mettra en oeuvre son *Plasma Monitor* et étudiera les effets de la dilution des plasmas par les gaz inertes xénon et argon. L'AFIF / ETH-Zürich va étudier l'hétéroépitaxie et des couches minces avec hétérojonctions, soit la croissance d'une couche de semi-conducteurs, tels le tellure de cadmium, le diséléniure de cuivre et d'indium (CIS), l'arséniure de gallium, sur le silicium. Les 2 variétés stoechiométriques de phosphore de zinc sous formes polycristalline et amorphe, cette dernière forme étant particulièrement stable vis-à-vis de l'oxygène, seront examinées à l'ETH - Zürich.

**Modules** : plusieurs type de modules pilotes, réalisés avec différents matériaux, seront mis au point et mis en production industrielle par GLAS-TRÖSCH SOLAR, Ursenbach.

**Onduleurs** : l'IS - Burgdorf va poursuivre ses mesures d'onduleurs et les étendre aux ECOVERTER 1000 (Victron) PV-WR-1500 (SMA), TOP CLASS 1500 & 3000 GRID et SIEMENS (3 kW). INVERTOMATIC, Riazzino, va poursuivre l'optimisation du système de *MPP-tracking* ainsi que l'amélioration en matériel et en logiciel pour l'asservissement à distance, et en particulier le prototype de 100 kW de l'onduleur ECOPOWER.

**Installations sur site** : un projet d'évaluation statistique mensuelle et annuelle de toutes les installations PV reliées au réseau électrique suisse vient d'être lancé sous la houlette de l'UCS, Zürich. L'IS - Burgdorf vient d'entreprendre un projet de mesures et d'évaluation de la fiabilité des installations PV du Canton de Berne. Les TPG vont planifier la réalisation d'une injection de 200 à 400 kW dans leur réseau continu de 600 V. Au TISO de la STS - Trevano-Lugano, qui fêtera ses 10 ans le 13 mai 1992, de nouveaux modules commerciaux vont être mis en services et examinés ainsi qu'un onduleur ECOPOWER de 10 kW ; une collaboration de cette École est prévue avec l'ITR - Rapperswil pour établir des procédures de test sur site pour des modules hybrides thermophotovoltaïques et pour la réalisation d'une application de la technique PV dans l'interface TOURNESOL. Au Mont-Soleil (BE), l'installation de mesures de la centrale de 500 kW sera opérationnelle et le programme de recherche de base pourra commencer, entrepris par EWI, Zürich, et l'ETS - St-Imier.

**Intégration architecturale** : dans son projet d'intégration architecturale optimale d'installations PV, ALPHA REAL, Zürich, va présenter une tuile PV et des modules de tailles variables, en appliquant aussi la technique de collage. L'intégration du PV "à plat" en général va être étudiée par PMS Energie, Mönchaltorf et le LESO de l'EPF - Lausanne. Une nouvelle installation PV hybride (18 kW(él.) et 12 kW(th.)) avec intégration en façade à Kirchberg va être entreprise par la Communauté de travail ATLANTIS ENERGIE et ZETTER, Berne. Au LESO de l'EPF - Lausanne, le site de démonstration pour l'AIE sera opérationnel et pourra recevoir régulièrement des nouvelles variantes d'intégration d'éléments PV proposées par les pays membres ; sur le bâtiment du LESO lui-même l'installation PV de 3,23 kW intégrée dans un brise-soleil sera achevée et mise en service ; 4 nouveaux *sheds* seront encore équipés de 9,6 kW pour porter l'ensemble des 5 *sheds* à 12 kW.

**Études diverses** : l'optimisation de la sécurité des installations PV, au moyen d'une électronique de sécurité, comprendra la mise en production du prototype avec une évaluation en grandeur réelle de la stratégie de sécurité par ALPHA REAL, Zürich. Le Bureau KELLER-BURNIER, Lavigny, outre ses mesures de validation à Herden (ZH) et à l'EPF - Lausanne dans d'autres conditions, va aussi entreprendre une étude de faisabilité d'une installation PV le long de l'autoroute dans le Lavaux. L'étude d'ALPHA REAL, Zürich, sur les diverses voies technologiques PV sera complétée par une étude de leur impact environnemental en vue de déterminer lesquelles satisferront à une compatibilité écologique ; l'autre étude sur la couverture de l'autoroute à Breite (BS) sera concrétisée par la mise sur pied d'un stand d'essai comportant les différentes solutions envisagées dont les modules PV seront testés sur place et à l'ESTI, à Ispra (I), pour vérifier leur comportement thermique et mécanique ; l'étude mandatée par le NEFF sur la procédure d'homologation d'installations PV sera parachevée par des propositions de normes internationales qui seront adoptées par l'IEC (*International Electrotechnical Commission*).

**Travaux de coordination** : le projet AIE, PV dans l'espace construit, coordonné par PMS Energie, Mönchaltorf, aura deux nouvelles réunions d'experts en 1992, la 3<sup>e</sup> à Madrid en février et la 4<sup>e</sup> à Chexbres en octobre à la suite de la Conférence PV de Montreux ; de nouveaux "modules" de travail seront mis en route et un atelier sur les techniques de fixation d'éléments PV au bâtiment se tiendra aussi en juillet au LESO de l'EPF - Lausanne ; lce projet sera aussi présenté à la *11th EC PV Solar Energy Conference* de Montreux. Quant au nouveau projet AIE, Mesures spectrales du rayonnement solaire, coordonné en Suisse par l'Uni - Genève, une 2<sup>e</sup> réunion d'experts aura lieu en juin à Bergen (N).

**Installations P&D, installations PV de la Confédération** : celle de 20 kW sur le bâtiment de pilotage de la gare de Giubiasco (TI) sera équipée d'instruments de mesures et analysée par EWI, Zürich ; celle de 103 kW le long de la N 13 sera mesurée encore toute cette année par TNC, Chur, et l'acquisition de données sera ensuite réduite à l'essentiel pour assurer un bon fonctionnement de l'installation ; enfin celle de 106 kW le long du tracé des CFF, dans la plaine de Magadino (TI), sera réalisée et mise en service cette année par TNC, Chur. Dans le projet HYDROSOL, à la Station aérologique de l'ISM à Payerne, après une étude de faisabilité entreprise par EWI, Zürich, va se réaliser une installation pilote de production d'hydrogène (H<sub>2</sub>) grâce à de l'électricité d'origine PV (33 kW) pour le gonflage des ballons stratosphériques quotidiens. En gare de Lausanne 5 kW seront intégrés en façade. Une installation PV de 20-24 kW sera construite à Berne sur le bâtiment de la *Taubenhalde* pour produire l'énergie électrique nécessaire au funiculaire du *Marzilibahn*.

**Autres installations PV P&D** : celle de 116 kW le long du téléphérique de CORVIGLIA à St. Moritz (GR) devrait être réalisée en 1992/93. La réalisation de l'installation PV de 80 - 100 kW à Caischedra (GR) par DESERTASOL, Disentis, est aussi prévue. Au Mont-Soleil, la centrale de 500 kW, réalisée par le Consortium PHALK 500, Zürich, sera inaugurée le 28 avril. À Zürich, la centrale de 500 kW des EWZ devrait être mise en chantier en 1992/93. Le Canton de Neuchâtel va alimenter l'éclairage du tunnel de la Vue-des-Alpes grâce à une installation PV. La Ville de Lausanne a le projet de faire une centrale PV de puissance sur un stade.

L'année 1992 verra se dérouler du 12 au 16 octobre, à Montreux, la *11th E. C. PV Solar Energy Conference and Exhibition*, sous le patronage de la CE et du Département fédéral des transports, des communications et de l'énergie. Toute la "Suisse photovoltaïque" y sera présente : ce sera aussi l'occasion, lors de visites techniques, de montrer aux spécialistes venus du monde entier nos laboratoires, le *DEMOSITE* de l'AIE (sur le site de l'EPF - Lausanne) et nos installations PV P&D. Sur le plan international un nouveau programme EUROVOLTAIC sera lancé sous la houlette d'EUREKA en juillet alors que se dessine un nouveau projet de programme dédié uniquement au PV au sein de l'AIE. Dans la CE, le nouveau programme JOULE II comprend plusieurs volets PV.

## 6. Liste des projets de recherche

- [ 1 ] H. Kiess, K. Knop, PSI - Zürich: **Bestimmung und Vergleich des Wirkungsgrades von PV- Solarzellen mit und ohne *Light trapping***. (RA+RF)
- [ 2 ] C. Hauser, HCT SHAPING, Etoy: **Étude des paramètres de découpe du silicium par abrasion**. (RA+ RF)
- [ 3 ] A. Shah, IMT / UNI - Neuchâtel: **Cellules PV en silicium amorphe**. (RA)
- [ 4 ] C. Hollenstein, F. Troyon, CRPP / EPF - Lausanne: **Einfluss von plasma-physikalischen und plasma-chemischen Eigenschaften von VHF Silan Plasmen auf die Abscheidung von amorphem und mikrokristallinem Silizium**. (RA+RF)
- [ 5 ] A.N. Tiwari, H. Zogg, AFIF / HPT / ETH - Zürich: **Einkristalline Dünnschicht-PV-Solarzellen — Phase I, II und IIIa**. (RA+RF / NEFF 378)
- [ 6 ] S. Kessler, GLAS TRÖSCH SOLAR & ALPHA REAL, Zürich: **Untersuchungen zu einem Herstellungsverfahren für PV-Solarzellenmodule**. (RA / NEFF 520)
- [ 7 ] M. Hubbuch, R. Minder, EWI, Zürich: **Untersuchung moderner Montage- und Verkabelungstechniken für PV-Solarmodule**. (RA+RF)
- [ 8 ] V. Crastan, ETS - Bienne, DIP. AMBIENTE, Bellinzona, & TISO / STS- Lugano: **Testversuche des 3-kW-SOLCON-Wechselrichters unter realen Arbeitsbedingungen an der PV-Forschungsanlage TISO**. (RA+RF)
- [ 9 ] H.R. Rötliberger, H. Häberlin, HTL - Burgdorf: **Vergleichsmessungen an PV-Wechselrichtern**. (RA)
- [ 10 ] V. Crastan, ETS - Bienne: **Netzgekoppelter 3-kW-PV-Wechselrichter (Resonanzwandlertechnik mit IGBT-Transistoren)**. (RA)
- [ 11 ] C. Giovannini, F. Donati, INVERTOMATIC, Riazzino: **PV-Solarwechselrichter mit Netzeinspeisung im 50-kW-Bereich**. (RA+RF / NEFF 419)
- [ 12 ] V. Crastan, ETS - Bienne, W. Schellenberg, ELEKTRIZITÄTSWERK, Biel: **Netzgekoppelte 25-kW-PV-Anlage Elektrizitätswerk Biel**. (RF / CERS 1862.1)

- [13] B. Hofer, W. Durisch, PSI - Villigen: **PV-Solkraftwerksspezifische Meteodaten.** (RA+RF)
- [14] R. Moser, E. Anderegg, S. Kaiser, M. Real, ALPHA REAL, Zürich: **Betriebsauswertung an fünf netzverbundenen PV-Solarzellenanlagen in klimatisch verschiedenen Regionen der Schweiz.** (RA+RF)
- [15] M. Brack, W. Durisch, PSI - Villigen: **Albedo einfluss auf PV-Anlage in den Alpen.** (RA)
- [16] P. Schaub, O. Guisan, GAP / Uni - Genève: **Alimentation PV de 2,2 kW pour les TPG à Genève.** (RA+RF)
- [17] H. Kägi, GIBB - Bern: **Pilot- und Demonstrations - PV -Anlage der Gewerblich Industriellen Berufsschule Bern (GIBB).** (RA)
- [18] P. Schaub, O. Guisan, GAP / UNI - Genève: **Étude d'une installation PV de 7,5 kW couplée au réseau des Services Industriels de Genève (SIG).** (RA+RF)
- [19] M. Camani, D. Chianese, S. Rezzonico, DIP. AMBIENTE, Bellinzona, & TISO/STS - Lugano: **Testi di componenti e sistemi per progetti nel campo della tecnica fotovoltaica ; TISO — periodo III .** (RA)
- [20] J.-R. Leidner, Konsortium PHALK MONT-SOLEIL c/o EWI, Zürich & ETS - St-Imier: **Étude, réalisation et exploitation de la station de mesures de la centrale PV PHALK Mont-Soleil — Recherche de base.** (RA)
- [21] M. Real, J. Schmid, C. Meier, R. Moser, ALPHA REAL, Zürich: **Optimierte Gebäudeintegration von PV-Solarzellenanlagen.** (RA)
- [22] R. Rechsteiner, BONNARD & GARDEL, Lausanne: **Intégration de générateurs PV sur les marquises de gare — Phase I.** (RA+RF)
- [23] M. Posnansky, ATLANTIS ENERGIE, Bern, H. Metzner, ZETTER, Solothurn: **Integration von PV-Stromgeneratoren in die Gebäudehülle — AZ90.** (RA)
- [24] C. Roecker, J.-B. Gay, LESO - PB / EPF - Lausanne: **Site de démonstration d'éléments de construction PV intégrés au bâtiment — Phase I : 1991-1993.** (RA)
- [25] C. Roecker, J.-B. Gay, LESO - PB / EPF - Lausanne: **Installations-pilotes d'intégration architecturale d'éléments PV au bâtiment.** (RA / NEFF 507)
- [26] C. Roecker, J.-B. Gay, LESO - PB / EPF - Lausanne: **Installations-pilotes d'intégration architecturale d'éléments PV au bâtiment — Phase II : Effet de série et optimisation des surfaces.** (RA)
- [27] J. Schmid, M. Real, ALPHA REAL, Zürich: **Optimierung der Sicherheit von PV-Solarzellenfeldern.** (RA)
- [28] P. Affolter, L. Keller, Bureau d'études KELLER-BURNIER, Lavigny: **Optimisation saisonnière de la surface des panneaux dans une installation PV.** (RA+RF)
- [29] P. Affolter, L. Keller, Bureau d'études KELLER-BURNIER, Lavigny: **Optimisation de la surface du champ PV — Mesures & validation de la simulation.** (RA)
- [30] M. Real, ALPHA REAL, Zürich: **Evaluation der PV-Technologien für zukünftige F&E-Schwerpunkte.** (RA+RF)
- [31] C. Meier, M. Real, ALPHA REAL, Zürich: **Voruntersuchung für PV-Kraftwerk Autobahnüberdeckung 'Breite'.** (RA)
- [32] C. Leboeuf (NREL / SERI), R. Moser, M. Real, ALPHA REAL, Zürich: **Untersuchung zu verschiedenen Abnahmeverfahren von PV-Solarzellenfeldern.** (RA+RF / NEFF 441)
- [33] R. Hächler, H. Schär, T. Nordmann, TNC, Chur: **PV-Nutzung im schweizerischen Eisenbahnnetz.** (RA/NEFF 486)
- [34] P. Ceppi, M. Camani, DIP. AMBIENTE, Bellinzona, & TISO / STS - Lugano: **TISO : Valutazione e sorveglianza di lavori nel settore dei sistemi fotovoltaici.** (RA)
- [35] P. Toggweiler, PMS ENERGIE, Mönchaltorf: **PV in Gebäuden (Leitung, Betreuung und Koordination in Zusammenarbeit mit IEA Solar Heating and Cooling (SH&C) Programme, Task 16, sowie Leitung Subtask B und Koordination des schweizerischen Beitrages).** (RA)
- [36] T. Nordmann, TNC, Chur: **Projektstudie für das schweizerische PV-Umsetzungsprogramm.** (RA+RF)
- [37] P. Ineichen, GAP / UNI - Genève: **Mesures spectrales du rayonnement solaire (Coordination suisse de la Tâche 17 du Programme SH&C de l'AIE).** (RA)

- [38] E. Anderegg, M. Real, ALPHA REAL, *Zürich*: Messtechnische Auswertung der PV-Solartankstelle Wabern für Elektrobus. (RA)
- [39] M. Keller, R. Minder, EWI, *Zürich*: PV-Solarzellenanlage Giubiasco. (RA + RF)
- [40] L. Clavadetscher, T. Bähler, R. Hächler, T. Nordmann, TNC, *Chur*: Bau der PV-kW-Netzverbundanlage N13 — Messkampagne der PV-kW-Netzverbundanlage N13—Betrieb und Unterhalt der PV-Anlage. (RA)
- [41] M. Hubbuch, EWI, *Zürich*: HYDROSOL. (RA)
- [42] R. Hächler, T. Nordmann, TNC, *Chur*: 100-kW-PV-Anlage entlang dem SBB-Trasse Bellinzona-Locarno (Mark II) — Machbarkeitsstudie und Projektierungsarbeiten. (RA)
- [43] H. Knöpfel, T. Nordmann, TNC, *Chur*: Machbarkeitsstudie und Projektierungsarbeiten (PV-Standseilbahn Corviglia St. Moritz, Mark IV). (RA)
- [44] T. Ceccon, T. Nordmann, TNC, *Chur*: Energie-Pioniergemeinde Bergün. (RA)
- [45] R. Minder, Konsortium PHALK MONT-SOLEIL c/o EWI, *Zürich*: 500-kW-PV-Solarzellenkraftwerk PHALK Mont-Soleil. (RA / NEFF 442)
- [46] R. Gadola, DESERTASOL, *Disentis*: DESERASOL, hochalpine PV-Anlage. (RA)
- [47] M. Rauber, INFOSOLAR, *Brugg*: 50-kW-PV-Anlage, Brugg. (RA)
- [48] D. Kästli, D. KÄSTLI, *Zollikofen*: Sonnenenergiehaus D. Kästli, Zollikofen. (RA)
- [49] H. Knöpfel, T. Nordmann, TNC, *Chur*: Bau der 100-kW-PV-Netzverbundanlage entlang der Autobahn N2 bei Giebenach BL (Mark III). (RA / Kt. BL)
- [50] C. Gaegauf, ÖKOZENTRUM, *Langenbruck*, M. Zellweger, IS - *Burgdorf*, G. Jordi, ASCOM-HASLER, *Bern*: Störungsfreie PV-Netzeinspeisung mit 3-Phasen-Wechselrichter. (RF / CERS 1782.1)
- [51] O. Dossenbach, P. Rys, H. Siegmann, ETH - *Zürich*: Verfahren zur Herstellung von Siliziumschichten für PV-Solarzellen. (RF / NEFF 160.1)
- [52] S. Kunz, METEOTEST, *Bern*: METEONORM Neuauflage — Etappe 1 : Neudefinition von Konzept und Inhalt. (RA)

(RA) rapport annuel 1991 disponible

(RF) rapport final disponible

## 7. Références

- [53] TNC Consulting & SOFAS: Das schweizerische PHOTOVOLTAIK Umsetzungsprogramm, *Chur*, 3.1991.
- [54] P. Dind, A. Rosselet, H. Mottier, ADER, *Lully & ETS - Yverdon*: Installations solaires photovoltaïques mobiles pour chalets d'alpage — Analyse et synthèse des résultats de la 1<sup>re</sup> expérience réalisée dans le Pays-d'en-Haut en 1990, *Lully*, 1991.
- [55] Heinrich Häberlin (IS - *Burgdorf*): Photovoltaik — Strom aus Sonnenlicht für Inselanlagen und Verbundnetz, A T Verlag, *Aarau*, 2.04.1991.
- [56] Commission of the European Communities: Tenth E. C. Photovoltaic Solar Energy Conference (Proceedings), *Lisbon*, Portugal, 8-12 April 1991, Kluwer Academic. Publ., *Dordrecht, Boston, London*, 1991.
- [57] SIA & Bau- und Umweltschutzdirektion des Kantons Basel-Landschaft: Photovoltaik—Gebäude-Bestandteil im Jahr 2010, Referate der Fachtagung vom 16. April 1991, *Muttenz*, SIA-Dok. D 073, *Zürich*, 1991.
- [58] ETG - SEV/STE - ASE: ETG & SGA - Informationstagung — Journée d'information de l'ETG et de l'ASSPA, 14.05.1991, Espocentro, *Bellinzona*: Photovoltaik, additive Energie zur Stromerzeugung — Photovoltaïque, énergie additive pour la production d'électricité (Reihe ETG / Série STE : Bd. / Vol. 19 d/f), *Zürich*, 1991.
- [59] VSE / UCS — SEV/ASE Bulletin 10 (22.05.1991), S. 9-55, *Zürich*.

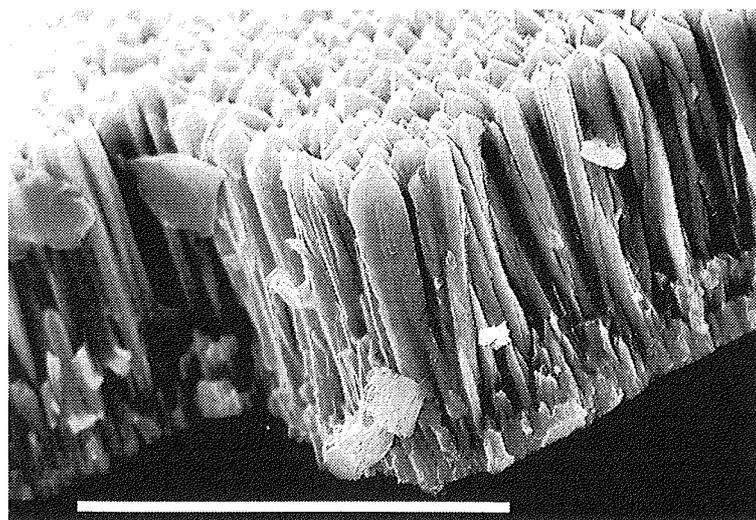
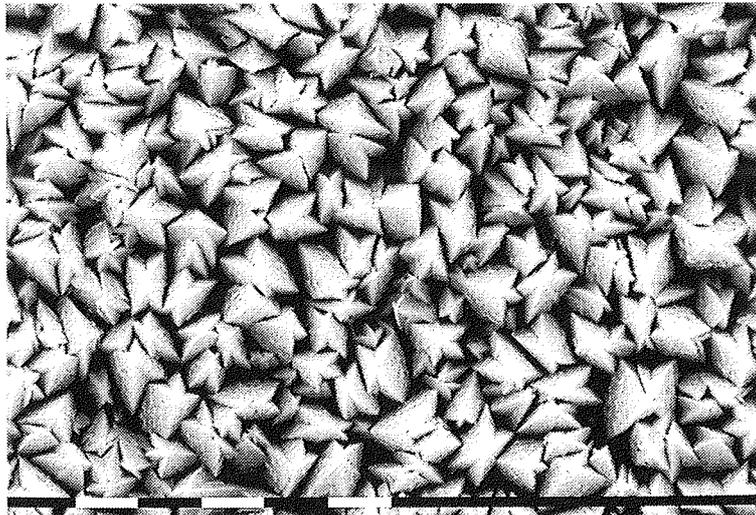
- [60] Studie zuhanden der VSE-Projektgruppe SOLARENERGIE: **Abschätzung des Potentials von photovoltaischen Anlagen in der Schweiz**, EWI, *Zürich*, 24.05.1991.
- [61] VSE / UCS — SEV/ASE Bulletin 16 (21.08.1991), S. 33-48, *Zürich*.
- [62] LESO - PB / EPF - *Lausanne* ; ENET / OFEN: **CISBAT '91 : Énergie solaire et bâtiment**, 10-11.10.1991.
- [63] K. S. Srinivas: **Energy Investments and production Costs of Amorphous Silicon PV Modules**, IMT/Uni - *Neuchâtel*, 31.10.1991 ; K. S. Srinivas, M. Vuknic, R. Tschärner, A. V. Shah, *in* : PVSEC-6, Proceedings, Febr. 10-14, 1992, New Dehli, India, pp. 549-554, Oxford & IBH Publ., *New Dehli*.
- [64] VSE / UCS — SEV/ASE Bulletin 23 (4.12.1991), S. 11-20, *Zürich*.
- [65] E. Kiener: **Photovoltaik - Strom aus Sand und Sonne : Sonnenklare Energienutzung, aber ...** , SMM — Schweizer Maschinenmarkt, 2 / 1992, S. 38-40, *Goldach*.
- [66] Commission of the European Communities: **Photovoltaic demonstration projects — Proceedings of the 4th contractors' meeting**, W. B. Gillet, R. J. Hacker, W. Kaut, EUR13105, *Brussels/Luxembourg*, 1991.

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

Überblicksbericht  
zum Forschungsprogramm 1991

Programmleiter : Armin Reller

---



## Photothermischer Sonnenenergieumwandler

Oberfläche und Bruchkante einer durch Sputtern hergestellten Niobschicht, die als photothermischer Sonnenenergieumwandler angewandt wird. Weiße Balken entsprechen  $1\ \mu\text{m}$  bzw.  $10\ \mu\text{m}$ . (Aufnahme: Physik Inst.+ REM-Labor, Uni Basel) .

## 1. Anvisierte Zielpunkte für 1991

Das Programm THERMOCHEMIE hat zum Ziel, Strahlungsenergie in chemisches Potential umzuwandeln, wobei die entstehenden Stoffflüsse ökologisch verantwortbar bzw. geschlossen sein müssen. Dies erfordert einerseits die Kenntnis der Verteilung, Verfügbarkeit und Intensität von Energiequellen, insbesondere von Sonnenstrahlung, andererseits die Entwicklung, den Bau und die Prüfung unter realen Bedingungen von Konzentratoren und Reaktoren sowie die Erforschung und materialwissenschaftliche und verfahrenstechnische Optimierung von physikalischen und chemischen Prozessen, welche für die effiziente Speicherung und/oder Umwandlung der gesammelten Energie zum Einsatz kommen. Als *Wunschprozesse* werden einerseits die Umwandlung von Kohlendioxid in verwendbare Kohlenstoffverbindungen mittels selektiver Reduktion mit Wasserstoff sowie andererseits die Herstellung von Wasserstoff mittels thermochemischer Spaltung von Wasser oder pyrolytischem Abbau von Biomasse bearbeitet, alles meist stark endotherme Prozesse und daher für die chemische Energiespeicherung geeignet.

Im Berichtsjahr 1991 wurden folgende Projekte ausgeführt :

- Messungen der Intensitätsverteilung der Sonnenstrahlung in dem für Konzentratoren wesentlichen Winkelbereich.
- Entwicklung und Prüfung von selektiven Schichten für die Hochtemperatursolartechnologie.
- Planung und Entwicklung von volumetrischen Receivern; Bau eines 500 kW-Gitterabsorbers und Prüfung des Betriebsverhaltens im Heliostatenfeld der Sandia National Laboratories (New Mexico, USA).
- Bau eines Zyklon-Reaktors für die Umwandlung pulverförmiger Stoffe in einem Strahlungsfeld hoher Leistungsdichte.
- Optimierung von Schüttspeichern zur Wärmespeicherung mittels Experimentierspeicher und computer-gestützten Modellierungen.
- Evaluation und Charakterisierung thermo- und photochemischer Reaktionen zur Umwandlung und Speicherung konzentrierter Strahlungsenergie bei hohen Temperaturen.
- Entwicklung katalytisch aktiver Schichten für die Herstellung von Methanol aus  $\text{CO}_2$  und  $\text{H}_2$  sowie die Herstellung von  $\text{H}_2$  mittels Pyrolyse von Abfall.
- Optimierung der katalytischen Synthese von Methanol ausgehend von konzentrierten mineralischen  $\text{CO}_2$ -Quellen.

Die Aktivitäten im Programm THERMOCHEMIE wurden in dem Sinne erweitert, dass nicht nur solare Strahlungsenergie mittels thermochemischer Prozesse umgewandelt und gespeichert werden soll, sondern dass auch das Energiepotential anderer vorhandener Quellen mit hoher Abfall-Wärme ausgenutzt wird. Dies hatte zur Folge, dass vermehrt Aktivitäten im Gebiet der Angewandten Forschung und damit entsprechende Forschungs- und Entwicklungsarbeiten von Industriebetrieben in das Programm integriert wurden.

### Intensitätsverteilung der Sonnenstrahlung

Die für den effizienten Betrieb der Konzentratoranlage am PSI notwendigen Messeinrichtungen und Auswertungsprogramme für die Erfassung der Intensitätsverteilung des direkt auf die Erdoberfläche einfallenden Sonnenlichts sowie der Flussdichteverteilung der konzentrierten Solarstrahlung wurden bereitgestellt [1]. Damit lässt sich das Potential der für die chemische Energiespeicherung verwendbaren Sonnenenergie mit der seit Sommer 1991 an einem neuen Standort aufgebauten Konzentratoranlage des PSI abschätzen.

### Selektive Absorptionsschichten

Die Herstellung von dünnen Schichten mit gewünschten Absorptionseigenschaften wurde einerseits durch gezielte Wahl der absorbierenden Materialien, andererseits durch die Beeinflussung der Mikrostruktur der Schichten optimiert [2]. So gelang es, metallisches Niob in Form dünner Filme auf z. B. Siliziumsubstraten zu

präparieren, die von spiegelnd bis praktisch schwarz aussehen. Der Grund für dieses weite Spektrum von Absorptions- bzw. Reflexionseigenschaften liegt in der Mikrostruktur / Morphologie der Schichten (siehe auch Abb. Titelblatt). Die hochgeordneten dendritischen Kristalle können in ihren Dimensionen durch die Herstellungsbedingungen so beeinflusst werden, dass die Absorptionskante über grosse Wellenlängenbereiche verschoben werden kann und z.B. Schichten entstehen, deren Reflektivität  $< 0.4 \%$  liegt, also eigentliche *Lichtfallen* bzw. *Energiefallen* kontrolliert hergestellt werden können. Die erzielten Resultate lassen sich nicht nur in der Hochtemperatursolartechnologie verwerten, sondern stellen für weite Bereiche der Gewinnung und Umwandlung von Strahlungsenergie die notwendigen Grundlagen und Technologien zur Verfügung.

## Solar - Reaktoren

Im Berichtsjahr wurde einerseits der Bau und die technische Prüfung eines volumetrischen Receivers abgeschlossen [3], andererseits ein Testreaktor für die Umwandlung hoch konzentrierter Strahlungsenergie mittels chemischer Prozesse gebaut und in Betrieb genommen [4]. Im erstgenannten Projekt wurden verschiedene Receiversysteme betreffend Aufbau, optimaler Energietransfereigenschaften und verfahrenstechnischer Aspekte ausgearbeitet. Es wurde ein volumetrischer 500-kW-*Gasreceiver* (Keramik-Gitter-Konzept) gebaut und bezüglich seiner Eigenschaften in der Solaranlage der Sandia National Laboratories (New Mexico, USA) geprüft. Es konnten Gastemperaturen bis  $970^{\circ}\text{C}$  erzeugt werden, wobei die mittlere Ausgangstemperatur des aufgeheizten Gases um  $750^{\circ}\text{C}$  lag. Für die Energieabsorption wurde ein Wirkungsgrad von  $\sim 70 \%$  erreicht. Die Experimente erlauben es, den Receiver weiter zu optimieren. Es wird auch untersucht, inwiefern dieses System mittels (katalytisch) aktiver Beschichtungen für thermochemische Prozesse eingesetzt werden kann. Im zweitgenannten Projekt wurde ein atmosphärisch offener Reaktor realisiert, in dem thermochemische Prozesse mittels konzentrierter Strahlungsenergie durchgeführt wurden. Als Modellreaktion wurde die stark endotherme Zersetzung von Kalk ( $\text{CaCO}_3 \rightarrow \text{CaO} + \text{CO}_2$ ) untersucht und es konnte gezeigt werden, dass der Absorptions-Wirkungsgrad dieses Reaktors bei  $> 40 \%$  liegt. Dieses Resultat ist für die Weiterentwicklung im Gebiet der chemischen Energiespeicherung vielversprechend. Da im Berichtsjahr die Solarkonzentratoranlage des PSI disloziert werden musste (Bau des Bundeszwischenlagers für radioaktive Abfälle am bisherigen Standort), konnten mit diesem Reaktor noch keine in situ-Versuche durchgeführt werden.

Aufbauend auf repräsentativen Experimenten und einem bereits entwickelten theoretischen Modell wurde die Möglichkeit der Wärmespeicherung bei hohen Temperaturen in Schüttspeichern weiter untersucht [6]. Im Vordergrund stehen die Kurzzeitspeicherung in solarthermischen Kraftwerken im Temperaturbereich bis  $600^{\circ}\text{C}$ . Vorerst werden Schüttungen mit sensiblen Speichermaterialien untersucht (Schüttmaterial: Chromstahl-Kugeln), anschliessend sollen aber auch latente Wärmespeicher, d.h. der Einsatz schmelzbarer Stoffe in Betracht gezogen werden. Der Temperaturbereich der Experimente erstreckt sich bis  $800^{\circ}\text{C}$ . Mit Hilfe eines physikalisch-mathematischen Modells wird versucht, die in einem kleinen Experimentierspeicher gemachten Erfahrungen so zu verwerten, dass festgestellte Randeffekte eliminiert werden können. Zur Zeit besteht keine Notwendigkeit für den ursprünglich vorgesehenen Bau eines grösseren Experimentierspeichers.

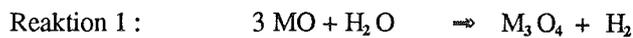
## Prozesse zur thermochemischen Energiespeicherung

Für die effiziente Umwandlung von Strahlungsenergie in chemisches Potential wurde ein System von Reaktionen bearbeitet, welches einerseits auf die gegenwärtig durchgeführten technischen Prozesse angepasst ist, aber auch für zukünftige Entwicklungen notwendige Erkenntnisse liefern sollte. Ausgehend von der Tatsache, dass die Verbrennung von fossilen Energieträgern zu einer Akkumulation von  $\text{CO}_2$  als thermodynamisch sehr stabilem, ökologisch jedoch bedenklichem (Abfall)-Produkt führt, wurde ein System von Prozessen untersucht, die mittels Strahlungsenergie zur Herstellung von Wasserstoff eingesetzt werden können, welcher seinerseits zur Reduktion bzw. Umwandlung von konzentriert anfallendem  $\text{CO}_2$  in verwendbare Kohlenstoffverbindungen wie Methanol dient [7, 8, 9, 10, 11].

## Thermochemische Herstellung von Wasserstoff

In Zusammenarbeit zwischen PSI und anorganisch-chemischem Institut (ACI) der Universität Zürich wurden derartige Metalloxidsysteme gesucht und bezüglich ihres thermochemischen Redoxverhaltens charakterisiert,

welche aufgrund thermodynamischer Daten für die Spaltung von Wasser mittels eines mindestens zweistufigen Reaktionszyklus in Frage kommen. Als Beispiel für einen derartigen Zyklus sei genannt:



Am PSI wurden in erster Linie die thermodynamischen Grundlagen, die Synthese und das Reaktionsverhalten des Modellsystem  $\text{Fe}_x \text{Mn}_{1-x} \text{O}_y$  sowie dessen thermische Reduktion (Reaktion 2) in einem Durchfluss-Pulverwolkenreaktor bearbeitet. Am ACI konzentrierten sich die Arbeiten auf den Aufbau einer Wasserspaltungs-Apparatur mit vorgeschaltetem Wasserdampfgenerator und Gasanalytik mittels Massenspektrometrie, auf das Testen der Anlage anhand der Reaktion  $2 \text{Fe}^\circ + 3 \text{H}_2 \text{O} \Rightarrow \text{Fe}_2 \text{O}_3 + 3 \text{H}_2$ , sowie auf die Synthese von  $\text{Fe}_{1-x} \text{Ru}_x \text{O}_y$  Oxiden bzw.  $\text{Fe}_{1-x} \text{Ru}_x$  Legierungen ( $0 < x < 0.05$ ). Das System Fe - Ru wurde aufgrund von früheren Untersuchungen (Jahresbericht 1990) weiter bearbeitet. Mit den zur Verfügung stehenden Messeinrichtungen konnten erste erfolgreiche Experimente durchgeführt werden.

In einem Pilotprojekt wurden eine Anzahl signifikanter  $\text{CO}_2$ -Quellen in der Schweiz evaluiert, bezüglich der aufzubringenden Kosten für die Gasreinigung sowie das Auskoppeln und Speichern von  $\text{CO}_2$  charakterisiert und schliesslich eine Machbarkeitsstudie für die Methanolsynthese durchgeführt. Als wichtigste  $\text{CO}_2$ -Quellen wurden Zementwerke und, *mit Vorbehalt*, auch Kehrlichtverbrennungsanlagen ausgewählt. In weiteren Verlauf dieser Projektarbeiten wurde die Möglichkeit untersucht, eine in Frankreich bestehende Holzvergasungsanlage in der Schweiz zu installieren und zu betreiben. D.h. dass nun anstelle der Reduktion von  $\text{CO}_2$  mit Wasserstoff ein weiterer Weg zur Methanolsynthese ausgehend von Biomasse verfolgt wurde. Das weitere Vorgehen betreffend dieser Anlage wird von einer grösseren Arbeitsgemeinschaft geplant und realisiert.

In der zweiten Hälfte 1991 wurde in Zusammenarbeit mit der Zementindustrie [10] ein Projekt begonnen, das zum Ziel hat, einerseits katalytisch aktive Schichten zur Herstellung von Methanol aus  $\text{CO}_2$  ("Abfall" aus der Zementproduktion) und  $\text{H}_2$  zu entwickeln. Andererseits wird die Pyrolyse von Abfallstoffen (Holz, Altpneus und weitere Brennstoffe, die in Zementwerken eingesetzt werden) bezüglich Synthese von  $\text{H}_2$  bearbeitet. Die für derartige Prozesse notwendige Entwicklung neuartiger und die Optimierung konventioneller Katalysatorsysteme wird in einem an der ETH - Zürich laufenden Projekt ausgeführt [11]. Es ist zu erwarten, dass die Zusammenarbeit zwischen grundlagenwissenschaftlich orientierter und angewandter Forschung ein für die Schweiz und international vielversprechendes Modell für die Entwicklung und Realisierung zukunftsorientierter Technologien darstellt.

### 3. Internationale Zusammenarbeit

Im Berichtsjahr spielte die internationale Zusammenarbeit eine sehr wichtige Rolle, indem nicht nur die grundlagenwissenschaftlich orientierten Projekte durch intensive Zusammenarbeit mit ausländischen Gruppen sowie in Koordination mit den Aktivitäten der International Energy Agency vorangetrieben wurden, sondern auch Projektarbeiten und Tests direkt an ausländischen Institutionen vorgenommen wurden. Als wichtigste Partnerinstitutionen sind zu nennen:

- *Deutsche Forschungsanstalt für Luft- und Raumfahrt (DLR)*, Köln, Deutschland
- *Sandia National Laboratories*, Albuquerque, New Mexico, USA
- *Solar Energy Research Center, The Weizmann Institute of Science*, Rehovot, Israel
- Verschiedene Universitäten in Europa und Uebersee

## 4. Umsetzung der Ergebnisse

Im Berichtsjahr wurde eine teilweise Umstrukturierung und Straffung des Programms THERMOCHEMIE vorgenommen. Dies beinhaltet vor allem die Koordination von verwandten Projekten, insbesondere die Abstimmung der Aktivitäten im Gebiet der Methanol - Synthese, sowie der vermehrte Miteinbezug von Projekten aus dem Gebiet der Angewandten Forschung bzw. von Aktivitäten in Industrieunternehmen. Dadurch konnte das Programm THERMOCHEMIE über die vor allem auf Hochschulinstitutionen konzentrierte Grundlagenforschung hinaus in praxisnahe und für Wirtschaft und Industrie interessante Gebiete erweitert werden. Ueber die geleisteten Arbeiten wurde eine grosse Anzahl von Publikationen in der Fachliteratur veröffentlicht (siehe Jahresberichte der Projektleiter). Im Sommer 1992 wird am PSI einerseits eine Demonstration des Solarreaktors (neue Anlage mit verschiedenen Spiegelsystemen und Reaktoren) für Presse und interessierte Kreise stattfinden, andererseits ein kleines Symposium mit allen am Programm THERMOCHEMIE Beteiligten zwecks Informationsaustausch, Koordination und Festlegung der weiteren Aktivitäten stattfinden.

## 5. Geplante Forschungsarbeiten für 1992

Aufgrund der erzielten Fortschritte bezüglich technischer Grossanlagen (PSI), Reaktorsystemen sowie Test- und Messeinrichtungen ist zu erwarten, dass im kommenden Jahr die für die Energieumwandlung und -speicherung thermochemischen Prozesse optimiert werden. Dieses Vorhaben erfordert eine möglichst umfassende grundlagen- und materialwissenschaftliche Charakterisierung der interessierenden Prozesse, d.h. einerseits der Reaktionen zur Herstellung von Wasserstoff, andererseits der katalysierten Methanol-Synthese. Durch die vermehrte Zusammenarbeit mit Industriebetrieben sollen die Resultate der Forschungsarbeiten vermehrt in die Praxis einfließen. Umgekehrt sollen kommende Forschungsarbeiten vermehrt mit praxisorientierten Fragestellungen koordiniert werden.

Ein schon in Angriff genommener Schwerpunkt der Forschungsarbeiten wird sich auf die Entwicklung optimaler Absorbersysteme auf der Basis von selektiv absorbierenden dünnen Schichten konzentrieren. Diese Arbeiten erfolgen unter Miteinbezug von Ingenieurschulen und Industriebetrieben.

Es ist geplant, die Aktivitäten des Programms THERMOCHEMIE weitergehend mit internationalen Programmen zu koordinieren. Dies betrifft in erster Linie die Rückgewinnung bzw. Umwandlung von CO<sub>2</sub> sowie die Entwicklung der genannten selektiven Absorberschichten.

## 6. Publikationen

Von den im Jahresbericht beschriebenen Projekten wurden insgesamt über 20 Publikationen bzw. Vorträge in wissenschaftlichen Fachzeitschriften bzw. an Konferenzen einem weiteren Publikum präsentiert. Eine Liste dieser Beiträge kann in den entsprechenden Projekt-Jahresberichten eingesehen oder beim Programmleiter angefordert werden.

## 7. Liste der Projekte

- [1] M. Schubnell, PSI - *Villigen*: **Messungen der Intensitätsverteilung der Sonnenstrahlung in dem für Konzentratoren wesentlichen Winkelbereich.** (JB)
- [2] P. Oelhafen, J. Eitle, UNI - *Basel*: **Selektive Schichten in der Hochtemperatursolartechnologie.** (JB)
- [4] M. Posnansky, T. Pyrkänen, ATLANTIS ENERGIE AG, *Bern*: **Grundlagen für die Konzeption und den Bau von Strahlungsreaktoren für thermochemische Prozesse.** (JB)
- [5] W. Durisch, A. Imhof, A. Steinfeld, PSI - *Villigen*: **Solar-Reaktoren zur chemischen Umwandlung pulverförmiger Stoffe in einem Strahlungsfeld hoher Leistungsdichte.** (JB)
- [6] W. Durisch, A. Meier, PSI - *Villigen*: **Speicherung solarer Hochtemperaturwärme.** (JB)
- [7] W. Durisch, P. Kuhn, H. Ries, Dr. H.R. Tschudi, PSI - *Villigen*: **Thermo - / Photochemische Reaktionen zur chemischen Speicherung konzentrierter Solarstrahlung bei hohen Temperaturen.** (JB)
- [8] A. Reller, P. Hug, UNI - *Zürich*: **Festkörperchemische und materialwissenschaftliche Untersuchungen des thermo-chemischen Reaktionsverhaltens von Phasen, die für die chemische Speicherung von Sonnenenergie relevant sind.** (JB)
- [9] M. Real, B. Covelli, ALPHA-REAL AG / TECOVA AG, *Zürich*: **Untersuchungen über CO<sub>2</sub>-Quellen, Potential und Kostenabschätzungen für Energiespeicher-Szenario mittels synthetisch aus Wasserstoff und CO<sub>2</sub> hergestelltem Methanol.** (JB)
- [10] P. Brunner, VILAB AG, *Bern*: **Entwicklung katalytisch aktiver Schichten zur Herstellung von Methanol aus CO<sub>2</sub> und H<sub>2</sub> sowie Herstellung von H<sub>2</sub> aus Abfall durch Pyrolyse.** (JB)
- [11] A. Baiker, Ch. Fröhlich, ETH - *Zürich*: **Katalytische Synthese von Methanol ausgehend von mineralischen CO<sub>2</sub>-Quellen.** (JB)

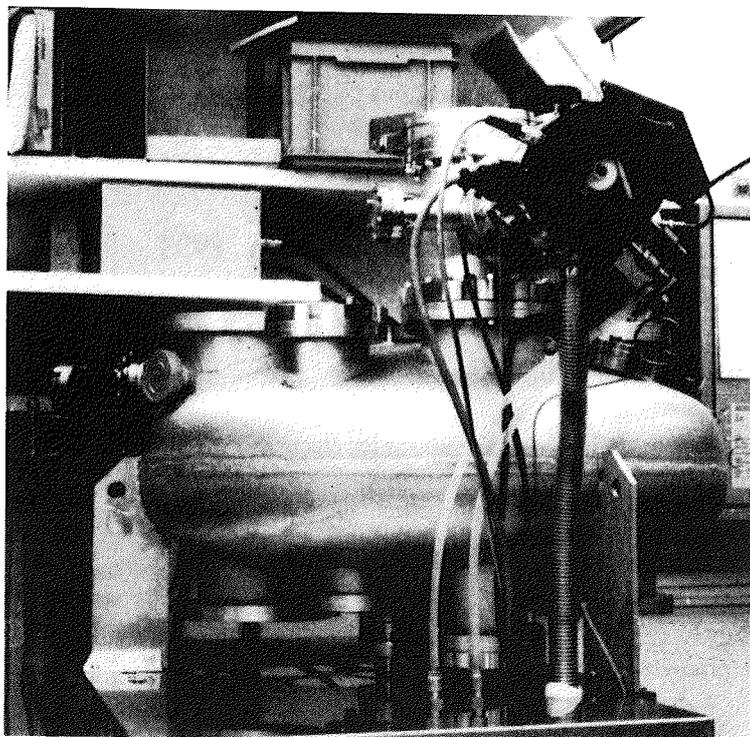
(JB) Jahresbericht 1991 vorhanden

# P H O T O C H I M I E

Rapport de synthèse  
sur les travaux de recherche 1991

Chef de programme : Jean-Claude Courvoisier

---



## Cellules solaires par pulvérisation cathodique

L'appareil pour la pulvérisation cathodique de matériaux utilisés pour la fabrication de cellules photovoltaïques a été conçu et construit à l'EPF-Zürich.

## 1. Objectifs du programme 1991

L'objectif à moyen terme du programme **PHOTOCHIMIE** n'a pas changé depuis l'année dernière. Exprimé en termes généraux, il consiste à trouver une voie utilisable pratiquement menant au stockage sous forme chimique de l'énergie solaire. La décomposition photochimique de l'eau pour en extraire l'hydrogène et la réduction photochimique du gaz carbonique ( $\text{CO}_2$ ) restent les réactions sur lesquelles notre attention se concentre. Compte tenu des progrès réalisés en 1991 et qui sont décrits dans le présent rapport, on peut conclure que notre objectif général n'est pas utopique et qu'il y a de bonnes raisons de croire que l'investissement consenti pour l'atteindre n'est pas vain.

Les buts spécifiques pour 1991 des groupes engagés dans ce programme étaient :

- pour l'Université de Genève : explorer la possibilité d'activer la réduction électrochimique du  $\text{CO}_2$  au moyen d'un flux de lumière.
- pour l'Université de Berne : réaliser l'oxydation photochimique de l'eau en oxygène sur une monocouche de zéolithe.
- pour l'EPF de Lausanne : réaliser des cellules photoélectrochimiques d'un rendement proche de 10% et nouer des relations de collaboration avec l'industrie.
- pour l'EPF de Zürich : maîtriser les conditions de dépôt du phosphore de zinc en vue de réaliser une jonction p-n utilisable comme cellule photovoltaïque.

## 2. Travaux effectués et résultats obtenus en 1991

### Réduction photoélectrochimique du $\text{CO}_2$ [1]

À la suite des travaux exploratoires réalisés en 1990 sur les électrodes destinés à la réduction électrochimique du  $\text{CO}_2$ , le travail s'est concentré sur les électrodes métalliques, plus particulièrement en cuivre, argent et or qui sont connues en électrochimie pour une certaine efficacité dans cette réaction. Les électrodes de cuivre, par ailleurs efficaces, se désactivent rapidement, ce qui constitue un défaut majeur. Il a été possible de trouver une méthode consistant à entrecouper périodiquement la réaction par une courte séquence d'oxydation anodique de la surface de l'électrode. La durée d'efficacité de l'électrode a ainsi été multipliée par un facteur 20 en comparaison d'une électrode ordinaire. Les résultats sont intéressants et seront poursuivis l'année prochaine afin de pouvoir envisager l'application pratique.

En ce qui concerne les électrodes d'argent, une découverte très importante a été faite. Il s'agit de l'effet de la lumière visible sur l'efficacité de ce type d'électrode. Cet effet était totalement inconnu jusqu'ici. La lumière provoque le doublement du courant d'électrolyse à tension constante et parallèlement une augmentation d'un facteur deux du rendement faradique, c'est-à-dire du nombre de molécules participant à la réaction par charge électrique mise en jeu. La recherche s'est concentré sur l'examen approfondi de cette découverte afin d'assurer qu'il ne s'agisse pas d'un artefact. Bien entendu ces résultats qui pourraient se révéler d'une grande importance dans la pratique seront développés dans toutes leurs conséquences en 1992. L'étude du comportement de l'or comme électrode utilisée pour la réduction du  $\text{CO}_2$  visait à comparer l'effet photoélectrochimique découvert sur l'argent avec celui qu'on pourrait attendre sur l'or. Aucun effet n'a pu être observé, ce qui montre que, jusqu'ici, l'argent a un comportement tout à fait spécifique de ce point de vue.

## Réduction photoélectrochimique du CO<sub>2</sub> et photolyse de l'eau [2, 3]

Les travaux conduits à l'Université de Berne se poursuivent en vue d'exploiter la découverte faite il y a quelques années de la possibilité de libérer l'oxygène de l'eau par une réaction photochimique. Il faut préciser que cette part de la photolyse est celle qui est la plus difficile à réaliser. Le progrès significatif effectué durant cette année consiste dans la mise au point d'une méthode de production de monocouche de zéolithe à partir de laquelle l'évolution photochimique d'oxygène a lieu avec un rendement qui n'est pas encore quantitativement mesuré, mais qui apparaît devoir être satisfaisant. Des résultats préliminaires encourageants sur l'évolution d'hydrogène à partir de complexes photosensibles ont été obtenus. De plus, la réalisation de membranes couplant la réaction d'oxydation de l'eau en oxygène avec celle de réduction des protons ou du CO<sub>2</sub> a également progressé par la mise en évidence de la possibilité d'introduire une molécule dans une cage de zéolithe lui conférant les propriétés de conduction des électrons nécessaires à la combinaison des deux étapes de la réaction.

Parallèlement, l'étude par la chimie théorique, mettant en jeu le calcul par ordinateur des réactions régissant les processus photochimiques de décomposition de l'eau, de réduction du CO<sub>2</sub> et de fixation de l'azote a été développée. Plusieurs programmes développés à l'étranger, entre-autres lors du séjour sabbatique de G. Calzaferri aux USA en 1990, ont été introduits et adaptés au but poursuivi. Cet instrument très puissant doit d'abord servir à renforcer l'effort en cours ; il doit, de plus, devenir un instrument à disposition de la recherche chimique en Suisse.

## Cellules photoélectrochimiques [4]

Le groupe de l'EPF de Lausanne a concentré ses efforts sur l'amélioration des performances des cellules constituées d'une couche rugueuse de TiO<sub>2</sub> dont la surface est activée par une couche monomoléculaire d'une substance photosensible. Des progrès substantiels ont été accomplis dans trois domaines : développement de nouvelles molécules de photosensibilisateur augmentant l'étendue spectrale de la sensibilité à la lumière visible; le rendement de conversion du spectre solaire en est amélioré. Une nouvelle méthode de dépôt des couches de TiO<sub>2</sub> a également été mise au point et donne de bons résultats. Enfin, l'effort a porté sur la composition de l'électrolyte et du couple redox dont dépendent la valeur de la tension aux bornes de la cellule. Là encore, des progrès substantiels ont été réalisés. En fin d'année, le rendement des cellules produites atteint 10% pour un ensoleillement normal. La collaboration qui avait été entamée avec SANDOZ en 1990 a été étendue à ABB en 1991. Cette collaboration est très satisfaisante. Elle permet de bénéficier de compétences complémentaires et ouvre la voie à une valorisation industrielle qui, faut-il le rappeler, est le but concret des recherches appliquées financées par la Confédération.

## Photoélectrolyse de l'eau par des semiconducteurs [5]

La recherche s'est poursuivie à l'EPF de Zürich visant à réaliser des couches de phosphure de zinc utilisable pour la photoélectrolyse de l'eau.

Les composés de phosphore et du zinc sont particulièrement intéressants, car ils présentent des caractéristiques physiques analogues à celles du GaAs — à partir duquel les cellules photovoltaïques de très haut rendement ont été obtenus (>30 %) —, sans les inconvénients qui sont la haute toxicité des composants (As) et la rareté (Ga). Les efforts se sont concentrés sur la maîtrise des paramètres de déposition des couches qui peuvent avoir plusieurs compositions stoechiométriques. La forme Zn<sub>3</sub>P<sub>2</sub> s'est révélée être la plus prometteuse et a été choisie en conséquence pour la suite de la recherche. Le groupe de Zürich a pu établir les paramètres de dépôt des couches devant permettre la réalisation de cellules photovoltaïques de bonnes performances. Il reste à trouver comment obtenir une jonction p-n à partir de ce point. Considérant d'une part l'ampleur du travail à accomplir pour le dépôt et la réalisation de jonctions p-n et l'effort qu'il faudra consentir pour permettre l'utilisation des cellules en vue de la photoélectrolyse de l'eau et d'autre part l'intérêt potentiel de réaliser une cellule photovoltaïque en Zn<sub>3</sub>P<sub>2</sub>, il a été décidé de modifier l'objectif initial et d'en réduire l'ambition à la mise au point de cellules photovoltaïques, quitte à reprendre le but initial lorsque cet objectif intermédiaire aura été atteint.

## Collaboration

Le dialogue s'est poursuivi au cours de l'année écoulée entre les groupes de Genève, Berne et Lausanne en vue de réaliser et de mettre en œuvre la synergie de leurs compétences pour attaquer avec le maximum de chances de réussite le difficile problème de la décomposition de l'eau au moyen de l'énergie solaire. Plusieurs réunions de travail ont eu lieu au cours desquelles un concept a été élaboré, mettant en œuvre les compétences accumulées par ces trois équipes. Le résultat est une proposition de recherche commune qui est soumise à l'OFEN en cette fin d'année. Nous ne sommes pas les seuls dans le monde de la recherche à poursuivre ce but. Mais nous sommes convaincus que la ligne que nous avons décidée de suivre peut aboutir au succès de l'entreprise grâce à la complémentarité des partenaires qui n'existe nulle part ailleurs à notre connaissance.

### 3. Collaboration internationale

Les groupes de Genève, Berne et Lausanne ont établi des relations de collaboration efficaces avec des homologues étrangers. À Genève, c'est avec un groupe canadien que la collaboration se développe en vue de comprendre le phénomène observé de photoactivation de l'électrode d'argent utilisée pour la réduction du  $\text{CO}_2$ . À Lausanne, outre la collaboration industrielle mentionnée plus haut, la participation du chef de projet à de nombreux congrès à l'étranger assure une liaison optimale avec la recherche internationale dans le domaine. À Berne, outre la participation active aux rencontres professionnelles internationales (congrès, etc.), il faut mentionner l'activité du chef de projet au comité d'organisation de l'*International Conference on photochemical transformation and storage of solar energy*, et à l'organisation du 4<sup>e</sup> *Workshop on frontiers in quantum solar energy conversion: photovoltaics and photoelectrochemistry*.

### 4. Transfert à la pratique

Les travaux du groupe de l'EPFL suscitent un très vif intérêt de la part de l'industrie. On a de bonnes raisons de penser que le développement des cellules photoélectrochimiques va aboutir, à performances égales, à un prix de revient de cellules nettement inférieur à celui des cellules conventionnelles. L'accord de collaboration avec SANDOZ et ABB témoigne de cet intérêt et de la clairvoyance de ces entreprises. Cette collaboration permet en outre de faire bénéficier le projet de la compétence scientifique et technologiques des groupes impliqués aussi bien que de l'expérience industrielle de ces firmes.

### 5. Perspectives 1992

Les projets décrits dans le présent rapport seront poursuivis en 1992. Les résultats exposés, et qui peuvent être jugés très satisfaisants, justifient que les lignes de recherche actuelles soient prolongées durant l'année à venir. Si le travail entrepris à l'EPFL est maintenant mûr pour une action de valorisation industrielle, il n'en va pas de même pour les autres projets. Toutefois, les progrès accomplis en regard des buts fixés montrent que l'objectif de réalisation d'un stockage chimique de l'énergie solaire n'est pas hors de portée. Le projet de collaboration exposé sous chiffre 2 devrait constituer un élément essentiel du progrès, étayé par les projets en cours.

## 6. Liste des projets

- [1] J. Augustynski, UNI - *Genève*: **Réduction électrolytique du bioxyde de carbone dans des solutions aqueuses.** (RA)
- [2] G. Calzaferri, UNI - *Berne*: **Photochemische und photoelectrochemische Umwandlung und Speicherung von Sonnenenergie.** (RA)
- [3] G. Calzaferri et K. Hädener, UNI - *Berne*: **Photochemische und photoelectrochemische Umwandlung und Speicherung von Sonnenenergie, quantenchemische Simulationen.** (RA)
- [4] M. Grätzel, EPF - *Lausanne*: **Conversion d'énergie solaire par des piles photoélectrochimiques régénératrices et par des systèmes photocatalytiques.** (RA)
- [5] H. von Känel, ETH - *Zürich*: **Entwicklung polycrystalliner Elektroden für die Photoelektrolyse von Wasser.** (RA)

(RA) rapport annuel 1991 disponible  
(RF) rapport final disponible

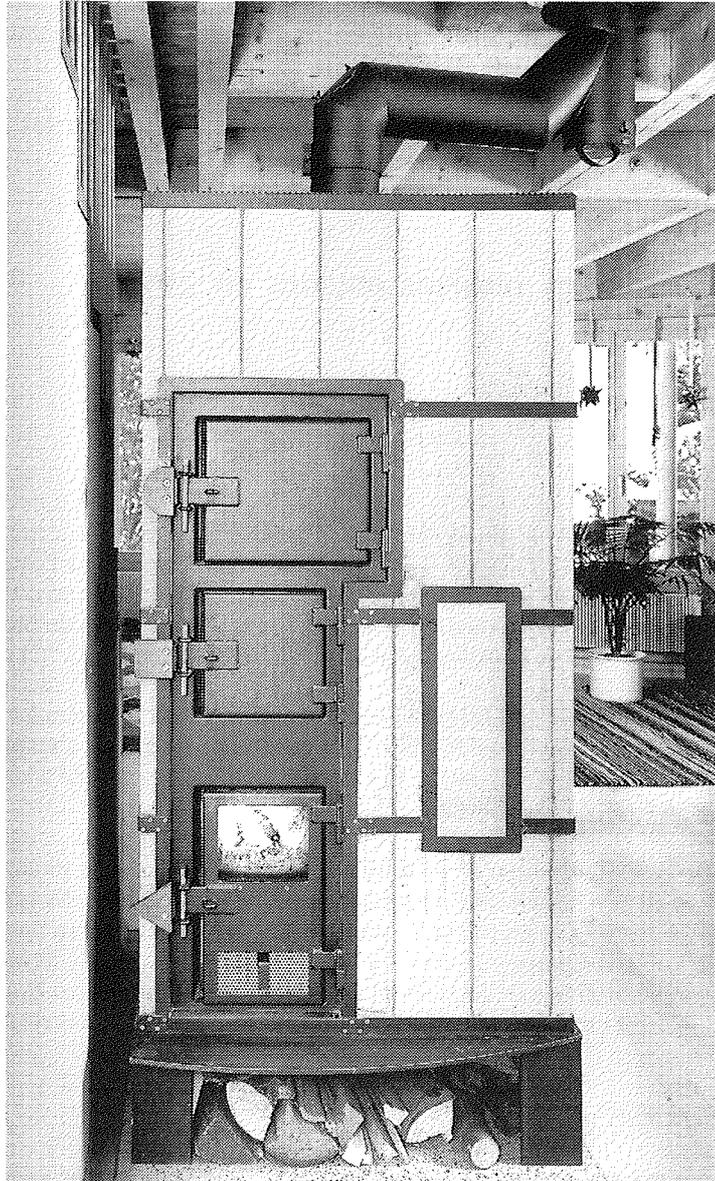


# BIOMASSE

Rapport de synthèse  
sur les activités 1991 du programme de recherche

Chef de programme : Michel Roux

---



**Poêle en faïence, de conception moderne**

Ce poêle, installé dans une villa dans les environs de Bâle, se distingue par un foyer horizontal à turbulateur, visible derrière une fenêtre d'observation au-dessus du cendrier (porte inférieure), un orifice pour l'introduction des bûches (porte médiane) et un four à pizza ou autres plats à réchauffer (porte supérieure). Un ventilateur à la sortie du poêle, non visible sur la photo, sert à l'allumage du foyer ou à la modulation de la puissance.

## 1. Objectifs du programme pour 1991

Les objectifs retenus en 1991 pour les divers types de biomasse étaient :

- poursuivre le développement et passer à des réalisations pilotes sur des installations de **fumiers solides et liquides**,
- développer les filières pour le traitement des **déchets organiques urbains et industriels**,
- forcer l'étude des technologies pour l'utilisation du **bois**, en particulier du bois usagé,
- mettre sur pied un programme de recherche sur les **matières premières renouvelables** (Nachwachsende Rohstoffe),
- participer activement aux travaux et aux séances du programme *BIOENERGY* de l'Agence internationale de l'énergie (AIE).

## 2. Travaux effectués et résultats obtenus en 1991

### Production de biogaz

#### a) *À partir de fumiers solides*

- L'**installation pilote** de 7 m<sup>3</sup>, fonctionnant **en continu** [1] à 50 °C, a été encore fortement améliorée afin de supprimer la formation de canaux préférentiels de biogaz et de ponts de matière à l'intérieur du digesteur. Les essais sont terminés et ont prouvé la sécurité de son fonctionnement, en particulier pour l'amenée de fumier frais et l'extraction du substrat digéré. La production s'établit à plus de 320 litres de biogaz par kg de matière organique et par jour. La préparation de la recherche à température mésophile (~ 33 °C) est en cours.

- Les essais sur le **canal horizontal** de 430 litres [1] sont terminés. Avec 12 paniers à 12 kg de matière fraîche chacun, traversant le canal dans le lisier liquide à 32 °C, la production de biogaz s'établit à 320 litres par kg de matière organique après un temps de résidence de 16 jours. La stabilité du procédé ayant pu être ainsi vérifiée, une installation pilote est en cours de planification.

- Le **système modulaire de méthanisation en discontinu** [2] est entré dans sa phase de réalisation par la construction des 3 cuves de 30 m<sup>3</sup> chacune chez un agriculteur-viticulteur de Lully / Morges (VD). Le financement de cette étape a été possible grâce à l'engagement responsable de l'agriculteur et à un financement par le Délégué à l'énergie du Canton de Vaud, la Compagnie vaudoise d'électricité (CVE) et l'Energie Ouest Suisse (EOS). A cette occasion, une technique originale de fabrication de panneaux préfabriqués et isolés a été employée. Les équipements auxiliaires, tels que circuits d'eau, de gaz et de purin sont en cours d'installation.

#### b) *À partir de fumiers liquides*

- L'objectif du projet **petit digesteur clé en main** [3] était de mettre sur le marché une installation capable de capter une grande partie du potentiel en biogaz des exploitations agricoles suisses, de ne pas coûter plus de la moitié d'une installation actuelle et de présenter un bilan énergétique positif même en considérant l'énergie (grise) nécessaire à sa construction. Le groupe d'experts a fixé des critères, tels que commodité d'exploitation et coûts, et a retenu les 2 solutions métal et bois parmi celles usuelles en Suisse (acier, bois, résine renforcée, béton, cuve à mazout ou à eau), les autres exécutions étant soit trop gourmandes en énergie (plastique), soit trop chères à la construction. Il a poussé la planification jusqu'à la description détaillée de chaque élément (chauffage par chaudière à biogaz traditionnelle, alimentation en fumier liquide frais, brassage et extraction par pompe, équipement de gaz compact avec sécurité, installation électrique avec circuit de réglage). Les coûts s'entendent

pour une série de 5 pièces, d'une capacité de 30 m<sup>3</sup> ; ils s'élèvent respectivement à Fr. 72'000.- pour un silo en acier couché, montable en atelier et à Fr. 68'000.- pour un silo en bois, debout, étanchéifié par une membrane plastique et monté par éléments préfabriqués. La production brute de biogaz attendue est de 200 litres par kg de matière organique et la production nette supérieure à 100 litres. Il est prévu en phase II du projet de construire une unité pilote selon l'exécution en bois avec ses composants de conception nouvelle et de laisser au marché le développement plus conventionnel d'un digesteur en acier.

c) *À partir de déchets organiques*

L'Ordonnance technique sur les déchets (OTD) donne la priorité au recyclage. Le tri à la source devrait en être le résultat et le développement de divers types de traitements adéquats la conséquence.

- L'un de ces traitements est la **digestion anaérobie de déchets organiques provenant des ménages, de l'industrie et de l'artisanat** qui a fait l'objet d'un rapport final [4].

- Les conclusions de ce rapport ont conduit à la construction d'une **installation expérimentale** en semi-continu à 2 phases (hydrolyse et méthanisation) [5], présentée à l'exposition scientifique HEUREKA à Zürich. Elle a été utilisée pour digérer des restes du restaurant de la Tour Galilée, ainsi que pour des tests sur les propriétés d'hygiénisation du procédé sur les substrats digérés. Le digesteur a été déplacé sur un nouveau site approprié près de Leibstadt où il va être équipé d'un système de réglage automatique afin de faciliter sa surveillance et son fonctionnement.

Durant 1991, trois nouveaux projets ont été définis et mis en route :

- Un projet concerne certains des travaux à effectuer sur un digesteur pilote existant de 15 m<sup>3</sup> pour planifier une **installation de démonstration de 200 m<sup>3</sup>**, capable de traiter en anaérobie et en continu à 50 °C les déchets ménagers et de jardin d'une population équivalente à 30'000 habitants [6]. Ce système *KOMPOGAS* sera le plus important du genre en Suisse avec récupération d'énergie.

- Le deuxième projet, couplé à l'installation *KOMPOGAS*, vise à vérifier la **qualité hygiénique du substrat après digestion** [7]. Il s'agit en l'occurrence de déterminer le taux de survie et de destruction de virus, bactéries et parasites au moyen d'une technique originale à filtre sandwich. L'objectif est d'obtenir un amendement libre de toute infection pour les humains, les animaux et les plantes.

- Le troisième projet se propose de vérifier si le système de digestion de fumier en discontinu [2], en construction, peut aussi être appliqué à la **méthanisation des déchets ménagers triés à la source** [8]. A cet effet, une 4<sup>ème</sup> cuve a été installée sur le site de l'agriculteur-viticulteur de Lully et une étude préliminaire couvrant les plans, l'aspect logistique et les coûts a été réalisée en vue de traiter l'équivalent des déchets des 1000 habitants des communes avoisinantes.

- Un projet pilote relatif à un système de **digestion et de compostage intégrés**, destiné à concrétiser le concept de traitement des déchets ménagers du Canton de Genève n'a pas pu être lancé jusqu'ici.

## Utilisation du bois

a) *Gazéification*

Les gazogènes montés durant la dernière guerre sur les véhicules étaient alimentés par des morceaux de bois d'environ 5 cm de côté. Les secousses du trajet et leur nettoyage chaque soir rendaient leur fonctionnement relativement sûr et régulier. Les gazogènes développés actuellement doivent satisfaire à des exigences tout autre : ils sont d'abord stationnaires, ils doivent fonctionner en continu et automatiquement durant de longues périodes, présenter un confort élevé et être alimentés par du bois déchiqueté de fine granulométrie. Pour entraîner un moteur à explosion (par exemple dans une unité chaleur-force), ils doivent être exempts de toute trace de goudrons; cette exigence est moindre si les gaz produits sont brûlés en chaudière.

- Le **gazogène de moyenne puissance** [9], d'une centaine de kW, développé à Curio (TI) se présente sous deux exécutions : l'un à contre-courant (mouvement du bois et des gaz à contre-sens), l'autre à co-courant (bois et gaz se déplaçant dans la même direction). Le premier est plus sujet à la formation de goudrons, le second semble en être totalement dépourvu d'après les premiers essais effectués. Plusieurs modifications ont été apportées au gazogène à **contre-courant**, en particulier l'intégration de la chambre de combustion des gaz dans la structure même du gazogène, afin de les brûler complètement avant qu'ils n'arrivent dans la chaudière, celle-ci faisant alors office d'échangeur de chaleur entre les gaz chauds ( $\text{CO}_2$ ) et la tubulure de chauffage de l'eau. Ce prototype a été installé à l'école de Novaggio et fonctionne depuis novembre 1991 à satisfaction. Le gazogène à **co-courant** se distingue de l'exécution précédente par une relativement simple modification de l'arbre hélicoïdal intérieur. Les premiers essais ont été très concluants. Ce gazogène a fait l'objet d'une demande de brevet.

- Le **gazogène de puissance supérieure**, un système Imbert existant amélioré et initialement prévu pour fournir 2500 kW, [10] a atteint 600 à 700 kW. Il continue d'être l'objet d'essais et d'analyses. Il a été testé avec du bois naturel déchiqueté, du bois usagé imprégné et du bois non traité. Il a atteint récemment un état technique fiable.

- La petite installation pilote améliorée de **carbonisation de bois** [11] est actuellement soumise à des tests en Italie sur différentes sortes de déchets végétaux et évaluée quant à l'utilisation comme combustible de ses produits sous forme de charbon, d'huile de pyrolyse et de gaz. Une unité industrielle traitant jusqu'à 2 t/h est installée en Espagne pour la fabrication de charbon de bois pour barbecue.

## b) *Combustion*

La combustion de bois et particulièrement de bois usagé, tel que bois de démolition, palette et caisses, devra satisfaire aux exigences de la nouvelle Ordonnance sur la protection de l'air (OPair 92) en ce qui concerne les rejets de  $\text{NO}_x$ .

- La **combustion de bois usagé avec système de dénitrification** [12] [13] étudie les diverses possibilités techniques de réduire la quantité d'oxydes d'azote ( $\text{NO}_x$ ) dans les fumées. Parmi les procédés envisagés figure un concept de recirculation de l'ammoniac réducteur, rendant superflu un lavage des fumées, un système avec et un autre sans catalyseur, mais avec une chambre *DENOX*. Ces deux derniers systèmes sont ou vont être montés et testés sur une chaudière TIBA existante de 200 kW. D'autres firmes industrielles (SCHMID et VON ROLL) sont associées à cette recherche.

- L'étude sur le comportement des **petits foyers domestiques à bois**, d'une puissance jusqu'à 15 kW [14], s'est poursuivie par la construction et les premiers tests des 6 types choisis (chauffage par étage ou pour villa, avec ou sans échangeur de chaleur incorporé, d'exécution fourneaux ou poêles en faïence) De bonnes valeurs ont été obtenues pour le CO et  $\text{NO}_x$  résiduels dans les fumées lors de la combustion complète d'une charge et également lors de la phase critique en fin de cycle.

Quatre projets nouveaux ont été mis en chantier durant l'année :

- Un projet sur les foyers à bûches cherchera à comparer les émissions et les rendements de deux prototypes identiques de **chauffages centraux individuels** au bois, l'un avec et l'autre **sans réglage automatique** [15].

- Le deuxième projet joint les connaissances de deux constructeurs de chauffages à bois pour développer une **chaudière automatique à air chaud** [16] brûlant aussi bien des copeaux de bois que des bûches. Ce genre de chauffage est demandé par les propriétaires d'ateliers, de halles de fabrication et autres (grandes) surfaces artisanales. Un prototype de plusieurs dizaines de kW sera construit et mesuré sur une longue période de fonctionnement.

- Le troisième projet s'adresse aux **déchets faiblement pollués** par des traitements chimiques [17], tels que papier recyclé de mauvaise qualité, carton, restes d'emballages en bois. Ces déchets représentent selon une première estimation un potentiel énergétique équivalent à environ 2.4 % de la consommation finale de la Suisse. Sa phase préliminaire devra définir quelles matières exactement entrent dans cette catégorie de déchets et quelles techniques sont à disposition pour leur traitement.

- Enfin le quatrième projet, préliminaire aussi, doit formuler le concept d'un **laboratoire d'essais et de développement de foyers à bois** [18], destiné à évaluer, tester et améliorer des fourneaux et chaudières à bois d'une puissance inférieure à environ 50 kW.

c) *Autres recherches en combustion* ( cf. Programmes COMBUSTION et UTILISATION RATIONNELLE DE L'ÉNERGIE DANS LES BÂTIMENTS)

- L'amélioration de **cheminées** [19] avait pour objectif de diminuer les émissions lors de la mise à feu et en fin de charge. Ce projet est terminé et va faire l'objet début 1992 d'un rapport final.

- Lancé dans le cadre du programme UTILISATION RATIONNELLE DE L'ÉNERGIE DANS LES BÂTIMENTS, l'étude sur le **comportement de petits fourneaux, poêles en faïence et cheminées au cours de leur mise à feu et en fin de charge** est terminée et a fait l'objet d'un rapport final [20]. Cette recherche a entre autres développé mathématiquement et mis en pratique trois facteurs relatifs aux émissions et au rendement de telles installations, permettant leur comparaison avec des valeurs de référence.

## **Bois d'énergie**

La difficulté d'augmenter la part du bois dans l'approvisionnement suisse en énergie tient pour une bonne part aux coûts de production, très élevés dans le pays, et à l'absence d'un programme coordonné au sein des institutions en place.

- La conception du programme de recherche **BOIS D'ÉNERGIE** [21] vise à intégrer les différentes étapes de travail de la récolte, de la préparation et de la manutention du bois d'énergie par l'étude de chantiers très contrastés puis, dans une phase ultérieure, par la mise en oeuvre d'engins mécanisés. Les aspects techniques et économiques ainsi que l'acceptation par la population de nouvelles méthodes de travail feront partie de cette recherche.

## **Cultures énergétiques**

En décembre 1990, le rapport d'un groupe ad hoc présidé par l'Office fédéral de l'agriculture était remis au Conseiller fédéral A. Ogi sur les "Possibilités techniques et économiques de l'utilisation de matières premières renouvelables dans le domaine énergétique en Suisse". Dans ses recommandations, il proposait de faire démarrer rapidement un projet sur le colza comme substitut au carburant diesel et de lancer un programme pluridisciplinaire sur les plantes énergétiques.

a) *Méthylester de colza*

- Le projet de transformer le **colza en carburant diesel** [22] par adjonction d'une petite quantité de méthanol a progressé comme prévu avec du méthylester de colza importé. Des essais à l'EMPA sur un moteur de bus MERCEDES ont eu lieu et ont été suivis par la mise en service de 5 bus sur des lignes régulières des Transports publics de la Ville de Zürich. Les résultats obtenus jusqu'à présent n'indiquent aucun problème technique, mais quelques plaintes ont été formulées par des chauffeurs allergiques à l'odeur de friture dégagée par les bus.

- Parallèlement à ces essais, une étude de **faisabilité technique, économique, écologique et logistique d'une production de méthylester de colza en Suisse** a été entreprise [23]. Elle couvre les technologies connues ou en cours de développement, le ou les sites adéquats où placer une unité de production, les bilans énergétique et écologique, les coûts et des propositions d'organisation. Elle fera l'objet d'un rapport final au printemps 1992.

b) *Plantes énergétiques*

- Le programme de recherche **PLANTES ÉNERGÉTIQUES** [24] a été défini en vue de démarrer en 1992 un certain nombre de projets sur les moyens optimaux de planter, récolter et transformer en énergie différentes matières premières renouvelables. Il comporte en particulier les divers types de plantes et de bois sur terrain agricole, la combustion, la gazéification et la digestion anaérobie, les bilans de matière et écologique, l'économie et la logistique. Une première étape de 2 ans permettra de déterminer les options les plus prometteuses avant de passer durant une période de 3 ans à des essais pilotes.

### c) *Alcools*

- L'idée de transformer en **éthanol** des plantes et autres déchets organiques de la collectivité, tels que plantes sucrières, joncs ou vieux papier, suscite de la part d'associations et de chercheurs individuels l'ébauche de plusieurs projets. Le responsable du programme **BIOMASSE** suit les développements en cours. Le projet **moteur à alcool** a subi un gros retard de sorte qu'aucune nouvelle donnée ne peut être rapportée ici.

## Compostage

### a) *Compostage en enceinte fermée*

- Le projet *Energia Verde* consistait à composter des déchets végétaux dans une enceinte étanche et ventilée, d'un volume de 450 litres, afin d'en récupérer la chaleur dégagée (environ 500 W) par les microorganismes [25]. Le projet est terminé dans la mesure où toutes les difficultés mécaniques liées à l'approvisionnement de la cuve, au brassage et surtout à l'extraction du compost fibreux ont été résolues et où les processus biologiques ont été maîtrisés. La mise en valeur de la chaleur n'a pas pu être réalisée par manque d'une pompe à chaleur pouvant fonctionner à cette faible puissance. Le rapport final fourni entre autres des recommandations pour concevoir une unité d'environ 7 kW pour laquelle des pompes à chaleur sont disponibles sur le marché.

### b) *Récupération de chaleur à partir de compostages industriels*

- Une étude préliminaire recense le **potentiel théorique de chaleur par compostage** prélevée sur l'air de ventilation qu'il serait possible d'atteindre à partir de déchets organiques triés provenant des ménages, des jardins, de l'industrie et des soins aux paysages et compostés dans des halles fermées [26]. De telles halles sont en effet nécessaires dès le moment où le contrôle des odeurs s'impose pour des raisons environnementales. L'étude arrive à un potentiel utilisable libéré par le compost oscillant entre 2.5 et 6.5 PJ/an selon les hypothèses retenues. Le rapport final doit encore être complété par un exemple concret et sera disponible au cours du printemps 1992.

## 3. Collaboration internationale

Dans le cadre de l'Agence internationale de l'énergie (AIE), la Suisse a participé aux projets **Biomasse de la forêt** et **Techniques de conversion** du programme *BIOENERGY*. Les délégués suisses ont activement poursuivi l'échange d'informations, participer à la visite de sites intéressants et rédiger les rapports de la contribution suisse. Ces documents sont disponibles auprès du chef de programme. Au cours de l'année écoulée, les tâches pour la période allant de 1992 à 1994 ont été définitivement arrêtées. La Suisse participera à 3 activités du nouveau projet **Technologie de conversion de la biomasse**, soit *Combustion*, *Gasification* et *Anaerobic Digestion*. Grâce aux excellents contacts établis, la Suisse pourra profiter officieusement des résultats obtenus dans d'autres projets.

## 4. Transfert à la pratique

Un des objectifs de la recherche est de présenter ses résultats dans un langage accessible à un public donné, que ce soit d'autres chercheurs, des autorités locales ou l'industrie. Ce langage peut prendre la forme d'articles dans la presse quotidienne ou spécialisée, d'installations pilotes ou de démonstration ou encore de portes ouvertes.

- Il est intéressant de noter la croissance du nombre d'articles traitant de l'utilisation énergétique de la biomasse. La prise de conscience de la population aux problèmes de l'énergie et de l'environnement mène fréquemment aux énergies renouvelables et en particulier à la biomasse comme solution à la substitution de pétrole ou à la diminution globale de CO<sub>2</sub>.

- Dans le domaine de la digestion des déchets organiques, l'**exposition scientifique HEUREKA**, à Zürich présentait l'installation expérimentale à 2 phases [5] fonctionnant avec les déchets du restaurant de la Tour Galilée. Le rapport final [4] ayant précédé le développement de ce digesteur a été demandé à plus de 700 exemplaires par les visiteurs, tant suisses qu'étrangers.

- Dans le domaine du bois, rares sont les projets qui ne font pas déjà appel à une collaboration technique et souvent même financière de l'**industrie** ou des **associations** concernées. Le transfert est ici immédiat. Dans ce contexte également, la préparation d'un 2<sup>ème</sup> Symposium sur l'énergie du bois (23 octobre 1992) a été lancée.

- Dans le domaine des cultures énergétiques, la mise en service à Zürich de **5 bus à l'huile de colza** est une contribution au transfert des connaissances étrangères aux conditions suisses.

## 5. Perspectives 1992

La production de **biogaz** à partir de fumier ou de déchets organiques sera représentée par au moins 5 installations pilotes ou de démonstration. Trois rapports finals seront publiés en 1992.

L'urgent problème de la combustion du **bois usagé** trouvera au cours de l'année vraisemblablement une solution provisoire grâce à une des options de dénitrification mises à l'épreuve dans des conditions proches de la réalité. L'amélioration des petits foyers à bois fera un pas important en direction d'un meilleur contrôle de la combustion et d'une réduction des émissions, en particulier en fin de charge. Les gazogènes à copeaux de bois, l'un à contre-courant et l'autre à co-courant, devraient pouvoir terminer l'essentiel de leur développement et de leur test préliminaire dans une école du Tessin avant d'entamer une période d'essais prolongée. Pour tenter de diminuer les coûts frappant la récolte du bois d'énergie en forêt, l'analyse du travail sur des chantiers ciblés devrait fournir les premiers indices favorables ou non à l'introduction d'engins mécanisés.

Le lancement d'un programme de recherche **MATIÈRES PREMIÈRES RENOUEVABLES** (en allemand *Nachwachsende Rohstoffe*) empoignera les 9 domaines caractérisant une nouvelle utilisation possible des surfaces libérées par l'agriculture. L'année 1992 permettra en outre d'arriver à des conclusions scientifiquement fondées sur l'opportunité ou non d'introduire en Suisse la culture du colza à des fins énergétiques.

## 6. Liste des projets

- [1] U. Baserga, INFOSOLAR / FA - *Tänikon*: Demonstrationsanlage zur Biogasproduktion aus Festmist. (RA)
- [2] Y. Membrez, EREP S.A., *Aclens*: Système modulaire de méthanisation en discontinu. (RA)
- [3] K. Egger, INFOSOLAR / FA - *Tänikon*: Kleine, schlüsselfertige Biogasanlage, Phase I. (RF)
- [4] W. Edelmann / A. Pfirter, Arbeitsgemeinschaft ARBI / PROBAG, *Maschwanden*: Vergärung biogener Abfälle aus Haushalt, Industrie und Landschaftspflege. (RF)
- [5] W. Edelmann, ARBI, *Maschwanden*: Zweistufige Vergärung von festen biogenen Abfällen. (RA)
- [6] W. Schmid, W. SCHMID UMWELTECHNIK, *Glattbrugg*: Erstellen einer Biomüll - Entsorgungsanlage mit Energiegewinnung, Kompogas. (RA)
- [7] A. Metzler, Arbeitsgruppe für UMWELTHYGIENE der Universität Zürich, *Zürich*: Human-, Tier- und Pflanzenpathogene Keime in der Feststoffvergärung. (RA)
- [8] Y. Membrez, EREP S.A., *Aclens*: Méthanisation en discontinu de déchets ménagers. (RA)
- [9] L. Jaccard, ENSOFOR S.A., *Curio*: Gazogènes à bois. (RA)
- [10] H. Juch / Ch. Gaegauf, *Hägendorf*: Vergaser zur Verwertung von Abfällen für Prozesswärme-Phase-I.

- [11] B. Groux, Bio-Alternative S.A., *Engollon*: **Procédés de carbonisation et de pyrolyse pour le traitement de déchets végétaux.**
- [12] R. Bühler, Ingenieurgemeinschaft Bühler - IEU - Nussbaumer, *Maschwanden*: **Altholzfeuerung mit Entstickung.** (RA)
- [13] R. Bühler, Ingenieurgemeinschaft BÜHLER - IEU - NUSSBAUMER, *Maschwanden*: **Abgasenstickung nach dem SNCR-Verfahren bei der Verbrennung von Holz und Restholz in einer Rostfeuerung.** (RF)
- [14] A. Jenni, Arbeitsgemeinschaft IEU - CHIQUET, *Liestal*: **Schadstoffarme holzbeschickte Kleinfeuerung.** (RA)
- [15] P. Schweizer, PASOL AG, *Liestal*: **Wirkungsgrad- / Emissionsvergleich verschiedener Stückholzheizsysteme.**
- [16] H. J. Schaffner, W. Schmid AG / Gebr. HÄFLIGER AG, *Eschlikon*: **Warmluftofen mit automatischer Schnitzelfeuerung und Stückholz.**
- [17] W. Vock, ABFALL und RECYCLING, *Niederlenz*: **Energetische Verwertung von Biomasse aus leichtbelasteten Abfälle, Teilprojekt I : Logistik, Aufbereitung und Stoffflüsse.**
- [18] Ch. Gaegauf, OEKOZENTRUM LANGENBRUCK, *Langenbruck*: **Versuchs- und Entwicklungsstätte Holzenergie, Vorprojekt I".**
- [19] W. Rüegg, RÜEGG CHEMINÉE, *Zumikon* : **Verbrennungsoptimierte Klein-Holzfeuerung.**
- [20] Ch. Gaegauf, OEKOZENTRUM LANGENBRUCK, *Langenbruck* : **Das Abbrandverhalten von Klein-Holzfeuerungen.** (RF)
- [21] Ph. Steinmann, XYLON S.A., *Le Mont-sur-Lausanne*: **Mise en valeur du bois d'énergie : Récolte, préparation et transport.** (RA)
- [22] FAT, *Tänikon*: **Zwischenbericht über die Versuche mit Biodiesel (RME) (nur für internen Gebrauch).**
- [23] R. Minder, Ingenieurgemeinschaft EWI AG - NOVAMONT SRL, *Zürich*: **Rapsmethylester - Produktionsanlage (Engineering - Studie).** (RA)
- [24] J.-L. Hersener, FA - *Tänikon*: **Konzeptionelles Erarbeiten eines interdisziplinären Forschungsprogrammes zum Thema Energiegras + Feldholz.** (RA)
- [25] L. Jaccard, ENSOFOR S. A., *Curio*: **Energia Verde.** (RF)
- [26] W. Edelmann, Arbeitsgemeinschaft ARBI / PROBAG, *Maschwanden*: **Möglichkeiten der Wärmerückgewinnung bei der Kompostierung, Vorstudie.** (RF)

(RA) rapport annuel 1991 disponible

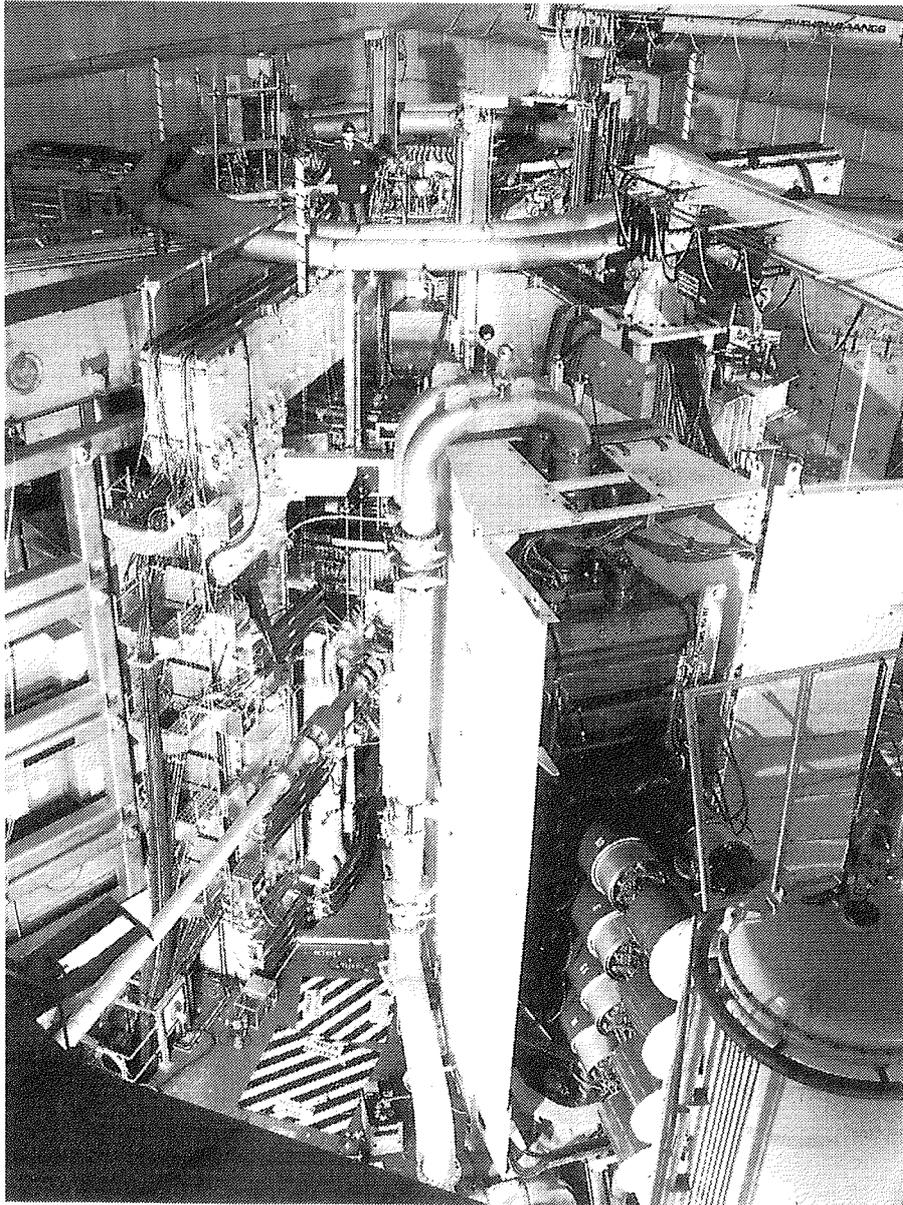
(RF) rapport final disponible

# KONTROLLIERTE KERNFUSION

Überblicksbericht  
zum Forschungsprogramm 1991

Programmleiter : Paul E. Zinsli

---



Die europäische Fusionsforschungsanlage Joint European Torus JET

Im Vordergrund rechts die Plasma-Zusatzheizung durch energetische Wasserstoffstrahlen.

## 1. Übersicht

Die Fusionsforschung wird heute in wenigen, grossen, weitgehend koordinierten Programmen im internationalen Rahmen durchgeführt. Diese Programme in Europa, den USA, in Japan und der UdSSR wachsen immer näher zusammen, insbesondere auch darum, weil im nun folgenden Entwicklungsschritt, dem Bau der nächsten grossen Fusionsforschungsanlage ab ca. 1996, mit Kosten von über 5 Milliarden Fr. gerechnet werden muss.

Die Konzepte und die Technologien der Energiegewinnung durch Fusionsreaktionen - dem Ziel, zu dessen Realisierung in Europa eine klar ausformulierte Strategie besteht - können nur in sehr grossen Anlagen weiterentwickelt werden. Eine solche grosse, weltweit einmalige Anlage könnte der *International Thermonuclear Experimental Reactor ITER* werden, dessen Realisierung gegenwärtig vorbereitet wird.

Die Schweiz bearbeitet einen beschränkten, spezialisierten, aber anerkannten Teil des europäischen und damit des weltweiten Fusionsforschungs-Programms. Sie erhält damit Einblick in die ganze Breite der Forschung und ist sowohl auf Stufe der Hochschule wie der Industrie in die Entwicklung der Fusions-Technologien einbezogen.

Für die Öffentlichkeit herausragendes Ereignis des Jahres war das Experiment des *Joint European Torus JET*, der grossen Fusionsanlage des EURATOM-Programms in Culham (GB) an welcher auch die Schweiz beteiligt ist, vom 9. November 1991. In diesem Experiment konnte durch Einführung von Tritium zusammen mit Deuterium weltweit erstmals eine grössere Energiemenge durch Fusionsreaktionen (Leistung von ca. 2 MW in einem Puls während ca. 2 sec, Erzeugung von  $7 \cdot 10^{17}$  Neutronen/sec von einer Energie von 14 MeV, welche aus Tritium-Deuterium-Reaktionen entstehen) erreicht werden. Dieses Experiment ist ein erfolgreicher und folgerichtiger Schritt im Experimentierprogramm von *JET*, einer Anlage, die seit 1983 im Betrieb steht. Die Ergebnisse des Tritium-Experiments entsprachen den Voraussagen und Erwartungen. Das Experiment diente dem Test der Tritium-Anlagen des *JET*, welche gemäss der ursprünglichen Planung 1991/1992 in Betrieb gehen sollten (die eigentliche Tritium-Phase von *JET* ist nach einer Erweiterung des Programms nun auf 1995/96 verschoben worden), einer Ueberprüfung der Annahmen bezüglich der physikalischen Konsequenzen von Tritium-Deuterium Reaktionen, aufgrund von denen eventuell noch Änderungen an der Anlage im Hinblick auf die Tritium Phase 1995/96 vorgenommen werden könnten und ersten Versuchen bezüglich der Retention von Tritium in den Anlageteilen.

Dieses Experiment war ein wichtiger Schritt der Fusionsforschung, aber kein Durchbruch. Eine kommerzielle Nutzung der Fusion liegt sicher noch 40 Jahre in der Zukunft und ist stark davon abhängig, ob die grossen Mittel für die notwendigen Zwischenschritte der Forschung und Entwicklung zur Verfügung gestellt werden können. Diese Mittel sind in letzter Zeit, vor allem in den USA, aber auch in Europa, stark reduziert worden, was den Zeitplan zur Realisierung der Fusion als Energiequelle immer weiter in die Länge zieht.

Während des ganzen Jahres 1991 gingen die Verhandlungen über die *ITER Engineering Design Activities EDA* weiter, an denen über EURATOM auch die Schweiz teilnehmen wird. Man einigte sich schliesslich auf ein zentrales *Design-Team*, verteilt auf die drei Zentren *San Diego* (USA, verantwortlich für die Gesamtintegration), *Garching* (D, verantwortlich für das Innere des Reaktorgefässes) und *Naka* (J, verantwortlich für den Bereich ausserhalb des Reaktorgefässes). Der Direktor der *ITER EDA* wird ein Europäer sein. Die entsprechenden Verträge sollten Mitte 1992 unterschrieben sein. Die *ITER EDA* Phase soll ca. 5 Jahre dauern. Der anschliessende effektive Bau der Anlage muss separat beschlossen werden; er wäre die erste weltweit gemeinsam finanzierte grosse Forschungsanlage.

## 3. Forschungsarbeiten in der Schweiz

Die Arbeiten im Jahr 1991 wurden weiterhin im wesentlichen am CRPP/ETH-Lausanne, am PSI Villigen und an der Universität Basel (Institut für Physik) durchgeführt. Die Finanzierung erfolgte hauptsächlich über Institutskredite und EURATOM (Rückfluss der schweizerischen Zahlungen). Das FUSIONS-Energieforschungsprogramm BBW/BEW unterstützte punktuell ergänzende Arbeiten (siehe Kap. 4).

Am **CRPP-Lausanne**, dem Zentrum der schweizerischen Fusionsforschung, wurde im Januar 1991 der Tokamak *TCA* stillgelegt und während des Jahres demontiert. Parallel dazu gingen die Aufbauarbeiten am neuen **Tokamak**

*TCV (Tokamak à Configuration Variable)* weiter. Der *TCV*, ein Projekt mit Vorzugsunterstützung durch EURATOM, soll Mitte 1992 seinen Betrieb aufnehmen. Die Zusatzheizung des *TCV* soll auf *ECR (Electron Cyclotron Resonance)* beruhen, wofür zwischen 1992 und 1995 u. a. Gyrotrons neuester Technologie zu beschaffen sein werden. Das CRPP erarbeitet jetzt die Grundlagen für einen Unterstützungsantrag zu dieser Zusatzheizung im Rahmen EURATOM und entwickelte das Konzept des Quasi-optischen Gyrotrons weiter. (Das BBW/BEW-Projekt Kap. 4 ist ein Teil dieser Entwicklung.)

Neben dem Aufbau des *TCV* und der Gyrotron-Entwicklung verfolgte das CRPP weiterhin ein diversifiziertes Forschungsprogramm mit einem Schwergewicht auf Theorie und Entwicklung von höchst komplexer Software im Bereich der Plasma-Stabilität. Alle diese Arbeiten werden in enger Zusammenarbeit mit Gruppen aus den USA, Japan, Deutschland, Grossbritannien wie auch über Abkommen mit Schweden, UdSSR und Griechenland durchgeführt.

Am **Paul Scherrer Institut** wurde der Ausbau der Supraleiter-Testanlage SULTAN im Rahmen EURATOM weitergeführt. Die zwei letzten von sechs Spulen für die Anlage wurden über ein BBW/BEW-Projekt (Kap. 4) finanziert, da die ursprünglichen Partner die verprochenen Magnete aus technischen Gründen nicht liefern konnten. Das Programm für den Einsatz dieser Anlage ab 1992 leidet unter der finanziell bedingten Reduktion des europäischen MAGNET-Programms, wodurch die Anzahl der zu testenden Leiter reduziert wird. Ein Testprogramm bis 1994 ist jedoch nun definiert worden. SULTAN ist die einzige geeignete Testanlage für Supraleiter im Hinblick auf *ITER*-Magnete in Europa.

In der Anlage PIREX des PSI wurden weitere Materialproben (Strukturmaterial-Kandidaten künftiger Fusionsanlagen) durch 600-MeV-Protonen bestrahlt und auf Ermüdung und Zugfestigkeit geprüft. Diese Tests, die in Absprache mit dem *Next European Torus NET -Team* in Garching und im Rahmen des europäischen MATERIAL-Programms durchgeführt werden, simulieren die 14-MeV-Neutronen-Bestrahlung in einem Fusionsreaktor, da nach wie vor weltweit keine genügend intensive Neutronen-Quelle zur Verfügung steht.

Am PSI und insbesondere an der **Universität Basel** wurden die Untersuchungen zur Beschichtung der Reaktor-Innenwand mit Borcarbid (BC) - Schichten und ähnlichen Beschichtungen mit niedriger Kernladungszahl weitergeführt. Durch diese Beschichtungen werden die Verunreinigungen des Plasmas, einer sehr wichtigen Grösse im Hinblick auf die Zündung der Fusionsreaktion, reduziert. Die in der Schweiz entwickelte BC-Beschichtung wird heute weltweit angewendet und weiterentwickelt. Sie hat sich als äusserst effektive Methode herausgestellt und erlaubt eine deutliche Verbesserung der Betriebsparameter in einer Vielzahl von Fusions-Forschungsanlagen.

## 4. Ziele und Ergebnisse der direkt finanzierten Projekte

### IEA Programme on Plasma / Wall Interaction in TEXTOR [1]

Die Arbeiten am PSI zur **Plasma-Wand-Wechselwirkung** wurden 1991 endgültig abgeschlossen. Am TEXTOR wurden unter Verwendung des CH-Manipulators die poloidale Verteilung der in-situ abgeschiedenen amorphen Borcarbid-Schichten ausgemessen und die Alterung dieser Schichten in Abhängigkeit der Anzahl der Plasma-pulse, denen die Schichten ausgesetzt waren, untersucht. Ein Schlussbericht über die Gesamtergebnisse dieser Arbeiten, die über 10 Jahre liefen und deren Ergebnis, die BC-Beschichtung nach einer Methode, welche ursprünglich am Anorganisch-Chemischen Institut der Univ. Zürich durch Prof. Veprek entwickelt wurde und grosse Anerkennung fand, ist in Vorbereitung.

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

Die Charakterisierung der Proben, welche in Tokamaks dem Plasma ausgesetzt waren, wurde weitergeführt, wobei insbesondere die Stöchiometrie der in-situ abgeschiedenen Proben, die Bindungszustände in den abgeschiedenen Filmen, die Homogenität, sowie die chemische Zusammensetzung und deren Aenderung durch die Plasmaeinwirkung mit *X-ray photoelectron spectroscopy* und Auger-Elektronen-Spektroskopie bestimmt wurde. Messresultate - z. B. an TCA-Proben - zeigten beträchtliche Anteile (10 %) von Kohlenstoff und Sauerstoff in

den Bor-Schichten. Die Frage der Redeposition der Schichten während der Plasma-Entladungen wurde durch Vergleich von Proben, die in TEXTOR eingebaut wurden, mit nicht dem Plasma ausgesetzten Proben untersucht.

Im Bereich der in-situ-Abscheidungen wurde eine Verfahren erprobt, in welchem von giftigen Ausgangsstoff Diboran auf ein ungiftiges Prozessgas (Bortrimethyl) umgestellt wurde.

### **SULTAN II (EURATOM-Fusionstechnologieprogramm, Bereich Magnete) [3]**

Unter diesem Vertrag wurden zwei Magnetspulen (9 Tesla und 12 Tesla) für den Ausbau der SULTAN-Anlage in die *Split-Coil*-Konfiguration gebaut. Nach empfindlichen Rückschlägen im Jahr 1990, grösstenteils bedingt durch industrielle Herstellungsschwierigkeiten beim Basismaterial für die Hochfeldleiter, konnte 1991 der Aufbau der SULTAN-Anlage zügig vorangetrieben werden. Nach Durchführung der geplanten, umfassenden Änderungen und der Ausbauten der mechanischen, kryotechnischen, messtechnischen Systeme und der Versorgungssysteme konnte die komplette erste Spulenhälfte erfolgreich im Kältetest gefahren werden. Die zweite Spulenhälfte soll noch 1991 eingebaut werden. Die Inbetriebnahme der ganzen Anlage ist auf Anfang 1992 geplant.

### **Construction de gyrotrons de haute puissance destinés au chauffage des plasmas thermonucléaires [4]**

Das Mandat deckt zwei Teilprojekte ab. Das erste befasst sich mit einer neuen Struktur zur Auskopplung der Mikrowellenleistung aus dem quasi-optischen Gyrotron. Dazu mussten verschiedene neue Komponenten entwickelt werden, u. a. ein Reflexionsgitter, dies in enger Zusammenarbeit mit der Industrie. Das zweite betrifft die erste Phase eines Experiments, in welchem durch Thomson-Streuung die Geschwindigkeitsverteilung im Elektronenstrahl des Gyrotrons im Hinblick auf dessen Optimierung gemessen wird. Der Versuchsaufbau umfasst einen Nd-Glas-Laser und einen weitgehend bestehenden Versuchsstand mit einer Gyrotron Elektronen-Kanone. Beide Teilexperimente liefern Grundlagen zur technologischen Verbesserung der quasi-optischen Gyrotrons und sind gegenwärtig in der Aufbauphase gemäss Planung. Die Tests sollen in beiden Teilprojekten Ende 1991/Anfangs 1992 aufgenommen werden.

## **5. Geplante Forschungsarbeiten 1991**

Die laufenden Arbeiten am CRPP werden weitergeführt. Am PSI wird die SULTAN-Anlage ihren Betrieb in der neuen Konfiguration mit dem Test französischer Leiter des EURATOM-Fusionsprogramms aufnehmen. Das PIREX-Programm wird weitere Materialtests in Absprache mit dem Team des *NEXT EUROPEAN TORUS* in Garching durchführen und eine Ausweitung seines Programms in Richtung von *Low-Activation Materials* prüfen. Die Universität Basel wird die Beschichtungs-Untersuchungen mit Borcarbid Ende 1992 abschliessen und Versuche mit neuen vielversprechenden Beschichtungs-Materialien aufnehmen. Die Zusammenarbeit mit dem IEA-Programm TEXTOR wird weitergeführt.

## **6. Liste der Projekte**

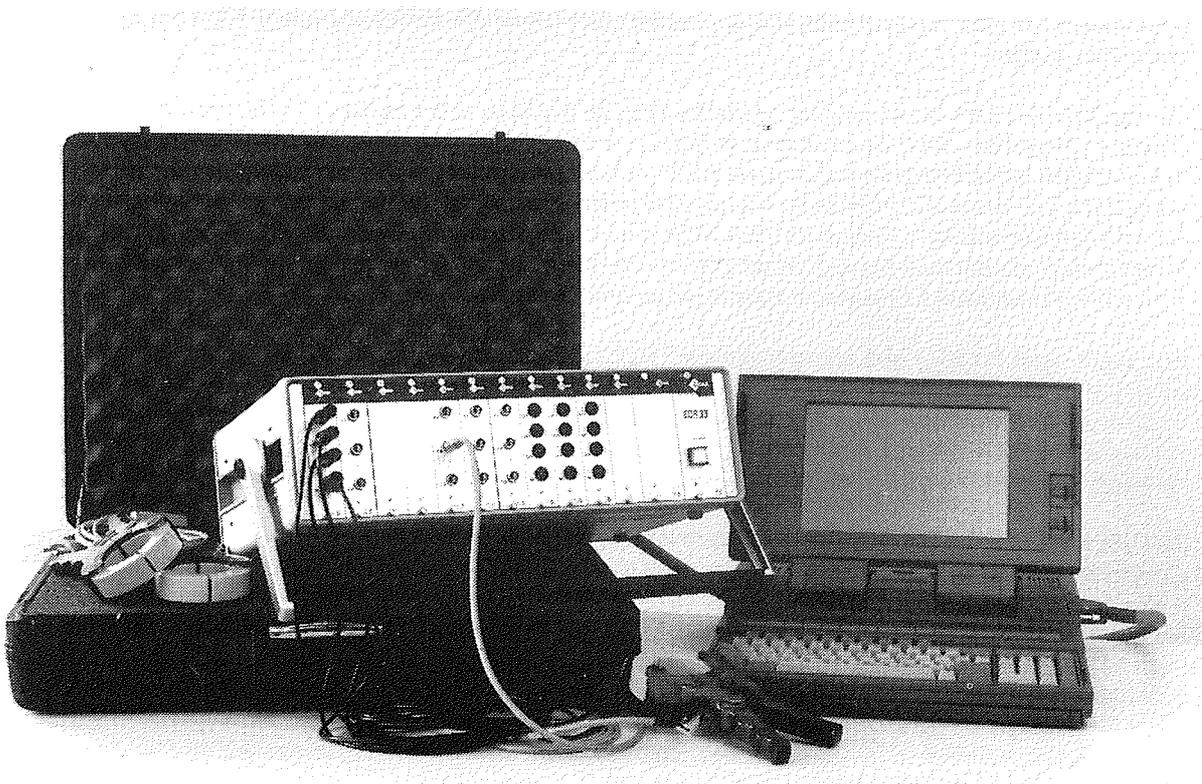
- [1] J. Stiefel, PSI - *Villigen*: **IEA Programme of Research and Development on Plasma / Wall Interaction in TEXTOR.** (JB)
- [2] P. Oelhafen, UNI - *Basel*: **Herstellung und Charakterisierung dünner Schichten und anderer Materialien für Fusionsreaktoren.** (JB)
- [3] M.Q. Tran, F. Troyon, CRPP / EPF - *Lausanne*: **Construction de gyrotrons de haute puissance destinés au chauffage des plasmas thermonucléaires.** (JB)
- [4] G. Vecsey, PSI - *Villigen*: **SULTAN II; EURATOM-Fusionstechnologieprogramm/ Bereich Magnete.** (JB)  
(JB) Jahresbericht 1991 vorhanden

# ELEKTRIZITÄT

Überblicksbericht  
zum Forschungsprogramm 1991

Programmleiter : Roland Brüniger

---



## Mess-System für Strömanalysen :

Das mit BEW-Unterstützung bis zum Prototyp entwickelte Messgerät wurde von einer Privatunternehmung zur Marktreife gebracht. Es ist ein wertvolles Hilfsmittel für Stromverbrauchsanalysen bei komplexen Verteilstrukturen, da bis zu 33 Messkanäle gleichzeitig aufgenommen werden können.

## 1. Anvisierte Zielpunkte für 1991

Nachdem das Forschungskonzept im August 1990 von der Eidgenössischen Energieforschungskommission genehmigt wurde, bestanden die wesentlichen Bestrebungen für das Jahr 1991 im Initiieren und Betreuen der vorgesehenen Forschungsprojekte. Daneben wurden konzeptionell weitere Forschungsstossrichtungen definiert, respektiv bereits grob skizzierte Gebiete auf deren Eignung und Unterstützungswürdigkeit hin detaillierter untersucht.

## 2. Durchgeführte Arbeiten und erreichte Ergebnisse 1991

### Erzeugung

Ursprünglich war vorgesehen, diverse Problemkreise bezüglich **Kleinwasserkraftwerke** aufzugreifen und zu bearbeiten. Da wenige grundsätzliche, technische Problemkreise als Basis für Forschungsprojekte identifiziert werden konnten, stand die Absicht im Vordergrund, eine detaillierte ökologische, umweltpolitische, wirtschaftliche und genehmigungstechnische Analyse unter Einbezug aller Beteiligten durchzuführen. Damit sollten die Grundlagen für eine rasche Reaktivierung bestehender sowie die Erstellung neuer Kleinwasserkraftwerke geschaffen werden.

Im Verlaufe des Jahres hat sich aber gezeigt, dass im Rahmen anderweitiger Aktivitäten gleichgerichtete Projekte vorgesehen sind. Zu erwähnen ist dabei insbesondere das Programm DIANE (Durchbruch innovativer Anwendungen neuer Energietechniken) des BEW, welches im Projekt Nr. 10 als Zielsetzung die Reaktivierung stillgelegter und Erneuerung veralteter Kleinwasserkraftwerke unter Berücksichtigung der vernehmlassungstechnischen Aspekte aufweist. Zudem ist beim BEW eine Unterstützung bei Demonstrations-Anlagen vorgesehen. Ferner werden im Rahmen des Aktionsprogramms ENERGIE 2000 Konfliktlösungsgruppen geschaffen, die auch im Bereich **Wasserkraft** Lösungen aufzeigen und ausarbeiten sollen.

Aufgrund dieser Projekte und der zusätzlichen Tatsache, dass der Ausgang der für das Jahr 1992 vorgesehenen Abstimmungen der Initiative "Zur Rettung unserer Gewässer" sowie das revidierte "Gewässerschutzgesetz" wesentlich den weiteren Einsatz von Kleinwasserkraftwerken beeinflussen wird, wird im Rahmen des vorliegenden Forschungsprogrammes vorerst auf diesbezügliche Projekte verzichtet. Es ist aber dennoch vorgesehen, alle Aktivitäten genau zu verfolgen und soweit sinnvoll und notwendig aktiv zu unterstützen.

Sowohl mittels der **Thermoelektrik** als auch der **Thermionik** ist es möglich, thermische Energie direkt in elektrische Energie umzuwandeln. Der thermoelektrische Effekt ist zudem umkehrbar. Im Anschluss an eine in Auftrag gegebene Literaturstudie über dieses Gebiet [12] wurde gesamtschweizerisch eine Interessensabklärung bei über 60 Adressaten gestartet. Dabei steht die Frage im Vordergrund, ob bei schweizerischen Forschungsinstituten oder in der schweizerischen Industrie ein grundsätzliches Interesse besteht, auf diesen Gebieten Forschungsaktivitäten aufzunehmen. Falls sich Interessenten finden lassen und zudem der Nachweis einer gesamtschweizerischen Technologie-Perspektive im energetischen Sinne erbracht werden kann, ist das BEW grundsätzlich an einer Aufnahme diesbezüglicher Forschungsaktivitäten interessiert. Die Auswertung dieser Umfrage wird im Frühling 1992 verfügbar sein und als Grundlage für das weitere Vorgehen dienen.

### Speicherung

Die Umlagerung von elektrischer Energie innerhalb von kürzeren Zeitperioden durch eigens dazu vorgesehene *nichthydraulische* Spitzenlastkraftwerke könnte auch in der Schweiz in speziellen Fällen eine förderungswürdige Technik darstellen. Bessere Nutzung der Uebertragungseinrichtung durch Glättung des Energiebezugs, Erhöhung der Versorgungssicherheit durch Standort des Spitzenlastkraftwerks unmittelbar beim Verbraucher sowie ein weiter zu erwartender Leistungspreisanstieg sind die wesentlichen Gründe, die für den Einsatz lokaler Spitzenlastkraftwerke sprechen dürften.

**Batteriebetriebene Spitzenlastkraftwerke** werden weltweit bereits seit längerer Zeit erfolgreich betrieben. Zur Beurteilung, ob deren Einsatz in der Schweiz sowohl technologisch als auch wirtschaftlich allenfalls von

Interesse sein könnte, wurde am Beispiel des Ferienorts Arosa eine diesbezügliche Machbarkeitsstudie [1] durchgeführt. Das EW Arosa besitzt zwei eigene, kleine Wasserkraftwerke mit rund 12 Megawatt Leistung. Im Winter können diese aufgrund der geringen verfügbaren Wassermenge und wegen des sehr hohen, unregelmässigen Energiebezugs speziell der Weisshorn-Bahnen den Bedarf nicht selber abdecken. Zur Deckung dieser Spitzen muss deshalb kostenintensive Spitzenenergie von den Industriellen Betrieben Chur bezogen werden. Die Machbarkeitsstudie hat aufgezeigt, dass durch das Installieren eines optimal dimensionierten batteriebetriebenen Spitzenlastkraftwerks, die Leistungsspitzen erheblich gesenkt werden können. Aufgrund der Tatsache, dass die Weisshorn-Bahnen mit Gleichstrommotoren betrieben werden und damit kein Wechselrichter notwendig wird, können zudem die geschätzten Investitionskosten für den Bau des Spitzenlastkraftwerks erheblich verringert werden. Vom wirtschaftlichen Standpunkt her wäre die vorgeschlagene Idee deshalb interessant. Obwohl die Realisierung des Projekts zurückgestellt wurde, sind die Ergebnisse der Studie für andere, ähnlich gelagerte Anwendungsfälle von Interesse. Es wäre wünschenswert, wenn sich anhand eines konkreten Falls ein entsprechendes Pilotprojekt realisieren liesse.

Weltweit laufen verschiedene Aktivitäten zur Untersuchung der **Supraleitertechnologie** als mögliches Speichermedium für die Spitzenlastversorgung. Seit einiger Zeit sind intensive gemeinsame Anstrengungen seitens des PSI und der ABB im Gange, ein Demonstrationsprojekt für einen **supraleitenden, magnetischen Energiespeicher (SMES)** auszuarbeiten und zu starten. Die vorbereitenden Arbeiten sind nun soweit fortgeschritten, dass ein Projektbeginn anfangs 1992 ins Auge gefasst wird. Im wesentlichen wird beabsichtigt, mit dem Aufbau einer Demonstrationsanlage (mit einem Energieinhalt von 50 kWh) den Nachweis der Machbarkeit zu erbringen sowie Untersuchungen der Wirtschaftlichkeit und des mittel- und langfristigen Einsatzpotentials der supraleitenden, magnetischen Speicher in öffentlichen Netzen und in Bahnnetzen genauer zu untersuchen.

## Übertragung / Verteilung

Im Gegensatz zum Übertragungsnetz, dessen Zustand mittels vor Ort gemessener und fernwirkübertragener Netzdaten sowie *State Estimation* Methoden bestimmbar ist, kann dies aufgrund der Vielzahl von Netzelementen und der entsprechend kostenintensiven Ausrüstung im Verteilnetz nicht realisiert werden. Deshalb wurde ein dreijähriges Forschungsprojekt [2] unter Führung eines Ingenieurbüros und mit aktiver Mitarbeit von zwei Elektrizitätswerken und der Fachgruppe Energieübertragungssysteme der ETHZ gestartet, welches sich mit der **Führung des Verteilnetzes und der Entwicklung eines Lastbestimmungsmodells** beschäftigt. Das zu entwickelnde Lastbestimmungsmodell soll dem Netzbetreiber aufgrund weniger *on line*-Messungen möglichst aussagekräftige und bedarfsgerechte Informationen über den Belastungszustand seines Verteilnetzes vermitteln. Damit können genauere Analysen und Bewertungen des Netzes für die Netzbetriebsführung ermöglicht werden, was besonders im Hinblick auf die stetige Zunahme des Verbrauchs bei gleichbleibender Anzahl Elemente wichtig wird.

Das Projekt wurde in zwei parallel verlaufende Teilprojekte unterteilt. Im *theoretischen Teil* stand die Entwicklung eines Lastbestimmungsmodells im Vordergrund. Damit soll mittels ausgewählten und repräsentativen *on line*-Messungen über Hochrechnungen der Belastungszustand des Verteilnetzes als Schätzgrösse ermittelt werden. Im *Messteil* wurden im Sommer während dreier Wochen zwei bestimmte Verteilnetzstränge ausgemessen. Sie dienen zur Überprüfung des theoretischen Lastbestimmungsmodells. Erste Auswertungen zeigen, dass die gewählten Modellvoraussetzungen mit der Realität recht gut übereinstimmen. Gewisse Sondereinflüsse wie Temperatur, Licht und Rundsteuerungen werden aber noch zuwenig eingebunden und müssen durch weitere Modellverfeinerung miteinbezogen werden.

Als nächster Schritt sind weitere Messreihen im Winter geplant, um zusätzliche Grundlagen für die Verfeinerung des Lastbestimmungsmodells zu liefern. Daneben sind genauere Untersuchungen bezüglich den erwähnten Einflussgrössen anzustellen.

In enger Zusammenarbeit mit dem Programmleiter des Forschungsprogrammes **UMGEBUNGS- UND ABWÄRMENUTZUNG, WÄRME-KRAFT-KOPPLUNG** wurde in einer Studie [3] untersucht, inwiefern eine **Wärmerückgewinnung von zwangsgekühlten Hochspannungskabeln** konzeptionell, technisch und wirtschaftlich in der Schweiz sinnvoll ist. Die Studie ist einerseits zum Schluss gekommen, dass eine grundsätzliche Wärmerückgewinnung aufgrund des effektiv geschätzten Gesamtpotentials wirtschaftlich nicht vertretbar ist. Es werden andererseits aber technische und konzeptionelle Bedingungen, resp. Möglichkeiten aufgezeigt, unter denen eine lokale Wärmerückgewinnung durchaus angezeigt sein könnte. Da es sich aber dabei stets um relativ spezielle Situationen handeln dürfte, werden die diesbezüglichen Arbeiten, insbesondere die beabsichtigte Idee einer Pilotanlage, vorerst nicht mehr weitergeführt.

## Verwendung / rationelle Nutzung

### a) *Beleuchtung*

Mit dem Einsatz **vollelektronischer Vorschaltgeräte (EVG)** für Fluoreszenzlampen ergeben sich im Vergleich zu konventionellen Geräten Vorteile wie Energieeinsparung, Komfortverbesserung durch flimmerfreies Licht, Verbesserung des Leistungsfaktors, Erhöhung der Lampenlebensdauer sowie Reduktion des Unterhaltsaufwands. Daneben ist aber auch bekannt, dass deren Einsatz neben erhöhten Investitionskosten technische Probleme verursachen kann. Einige davon betreffen die mögliche Beeinflussung von IR-Uebertragungsanlagen und Personensuchanlagen sowie die höhere Empfindlichkeit bei Ueber- oder Unterspannungen.

Im Rahmen eines abgeschlossenen Projekts [4] wurden die Eigenschaften und Planungsgrundlagen bezüglich elektronischen Vorschaltgeräten für Fluoreszenzlampen detailliert untersucht. Die Ergebnisse sind in der Schriftenreihe des BEW publiziert worden. Die Verbreitung der erarbeiteten Grundlagen soll wesentlich dazu beitragen, dass der Einsatz von EVGs, der zu Energieeinsparungen von 11-20 % führt, vermehrt erfolgt.

### b) *Kraft / elektrische Antriebe*

Eine in Auftrag gegebene Studie mit dem Titel **Grundlagen für Forschungs- und Entwicklungsschwerpunkte bei elektrischen Antrieben** [5] hat als Ziel, den Energieverbrauch und das Verbesserungspotential bei elektrischen Antrieben zu analysieren und daraus Konsequenzen für Forschung und Entwicklung abzuleiten. In einem ersten Schritt wurden der Energieverbrauch und die Wirkungsgrade von den einzelnen Komponenten eines typischen Antriebssystems zusammengestellt. Trotz bescheidenen statistischen Grundlagen resultierten einige interessante Ergebnisse. Der geschätzte Verbrauchsanteil von elektrischen Antrieben beträgt gegen 40% des gesamten schweizerischen Elektrizitätsverbrauchs. Geht man von der realistischen Annahme aus, dass der durchschnittliche Wirkungsgrad der Motoren 75% beträgt, entsprechen die gesamten Verluste bei elektrischen Antrieben gegen 10% des gesamtschweizerischen Elektrizitätsverbrauchs. Ferner hat sich gezeigt, dass Motoren in der Leistungsklasse zwischen 100 - 1000 Watt ca. 1/3 des Energieverbrauchs der elektrischen Antriebe ausmachen. Da zudem der geschätzte Anteil der motorischen Verluste gerade bei dieser Leistungsklasse mit Abstand der Grösste ist, kann mit einiger Sicherheit vermutet werden, dass das grösste Verbesserungspotential bei Motoren, resp. Antriebssystemen dieser Leistungsklasse liegen dürfte.

Aufbauend auf den vorliegenden Erkenntnissen und unter Einbezug von Experten von Hochschulen und Industrie werden in einem zweiten Schritt die verschiedenen Komponenten auf die Verbesserungsmöglichkeiten hin genauer untersucht. Aus dem bisherigen Stand der Untersuchung kristallisieren sich die folgenden Entwicklungsschwerpunkte heraus:

- Steuerung von Antrieben mit Schwergewicht Umrichtersteuerung.
- Pumpen, Kompressoren, Motoren und Getriebe mittlerer Leistungen.
- Dynamischer Betrieb von Motoren (Rekuperation).
- Optimale Auswahl der Komponenten sowie Optimierung von Laufzeit und Drehzahl bei Antriebssystemen mittlerer und kleinerer Leistung.

Durch vier BEW-Zusatzaufträge im Ressort **Kraft** des Impulsprogramms RAVEL (Rationelle Verwendung von Elektrizität) wird ferner ergänzendes Datenmaterial aufgearbeitet. Es handelt sich dabei um die Chemie-, Werkzeugmaschinen-, Zement- und Textilindustrie.

In einem kürzlich gestarteten interdisziplinären Projekt mit dem Titel **Kleinumwälzpumpen mit hohem Wirkungsgrad** ist beabsichtigt, gemeinsam mit der entsprechenden schweizerischen Industrie den Gesamtwirkungsgrad von Kleinumwälzpumpen zu verdoppeln. Umwälzpumpen für Heizanlagen von Ein- und Mehrfamilienhäusern weisen einen sehr schlechten Gesamtwirkungsgrad von ca. 10% auf. Dies liegt einerseits an den verwendeten Spaltnmotoren, deren Verluste sich mit abnehmender Nutzleistung immer mehr auswirken. Andererseits werden auch bedeutende strömungstechnische Verluste vermutet.

### c) *Bürogeräte / Unterhaltungselektronikgeräte*

Diverse Bürogeräte und EDV-Einrichtungen sowie Unterhaltungselektronikgeräte besitzen *Stand by* - Schaltungen und/oder sind den ganzen Tag eingeschaltet. Zudem beziehen gewisse Gerätekategorien im

ausgeschalteten Zustand ebenfalls Energie. Das Projekt **Energieverluste bei Büro- und Unterhaltungselektronikgeräten** [6] soll einerseits eine klassifizierte Bestandsaufnahme des in der Schweiz vorhandenen, diesbezüglichen Geräteparkes inkl. geschätzten Energieverlusten durchführen. Andererseits sollen umfangreiche Marktklärungen sowie technische Untersuchungen Aussagen über die technischen und bedienungstechnisch akzeptablen Möglichkeiten einer Verlustvermeidung und/oder Verlustverminderung machen.

Die **Bestandsaufnahme des Geräteparks** sowie eine erste Hochrechnung der geschätzten Verluste haben ergeben, dass in der Schweiz (Basis 1990) jährlich gegen 900 Mio. kWh im *Stand by* - Modus verbraucht wurden. Als hauptsächliche *Stand by* - Verbraucher wurden die Videogeräte (TV und Videorecorder) mit ca. 230 Mio. kWh und die Kopier- und Druckergeräte mit ca. 175 Mio. kWh ermittelt. Für weitere Details sei auf einen separaten Zwischenbericht [7] verwiesen.

Mit der Abklärung, welchen Einfluss ein vermehrtes Ein- und Ausschalten zur Verminderung der *Stand by* - Verluste auf die Lebensdauer der Geräte hat, wurde das Institut für Zuverlässigkeit an der ETH Zürich betraut. Bezüglich Videorecorder und Telefax ergaben erste Untersuchungen, dass dadurch die Lebensdauer praktisch nicht tangiert wird. In Form von Unteraufträgen wurden ferner die Teilgebiete **Technische Marktanalyse** [8] und **Betriebsmessungen** [9] bearbeitet und die entsprechenden Ergebnisse ins Gesamtprojekt eingebunden.

Gegen Ende Februar 1992 soll ein erster Teil-Bericht für die beiden Geräte *Videorecorder* und *Telefax* fertiggestellt werden.

#### d) *Verbrauchserfassung*

Durch die Erforschung neuer und einfacher Elektrizitätsmessmethoden soll die Grundlage geschaffen werden, mit vertretbarem Aufwand die Verbrauchsstrukturen eines Gebäudes rasch und zuverlässig zu bestimmen. Damit soll eine effiziente Durchführung von Stromsparanalysen, ein Identifizieren von Verbraucherverhalten sowie ein Erkennen technischer Schwachstellen durch Vergleich mit "Normverbrauchskennlinien" ermöglicht werden.

Das Ziel des Projekts **Computerunterstützte Elektrizitätsverbrauchsanalyse** [10] bestand einerseits darin, eine hardwareseitige Grundlage zur schnellen und kostengünstigen Analyse des Elektrizitätsverbrauchs von grösseren Anlagen und Gebäudekomplexen mittels Computer zu untersuchen und eine entsprechende Gerätekonfiguration aufzubauen und auszutesten. Im Rahmen des Projekts wurde eine Prototypversion aufgebaut und ausgetestet, mit der bis zu 20 dreiphasige Wirk- und Scheinleistungen gleichzeitig erfasst und mittels PC gespeichert werden können. Die Messergebnisse waren erfolgversprechend und eine private Industrieunternehmung hat sich entschlossen, die Herstellung und den Vertrieb des Geräts zu übernehmen. Die Messeinrichtung ist nun käuflich erhältlich.

Andererseits wurden diverse Analysemethoden auf ihre *praktische Einsetzbarkeit* untersucht. Als erfolgversprechender Ansatz hat sich die Methode des typischen Tagesganges herauskristallisiert. Sie baut auf typischen Tagesverläufen diverser Verbrauchertypen auf und versucht, aufgrund bekannter Verläufe die gemessenen Leistungen den einzelnen Verbraucherkategorien zuzuordnen. Aufgrund der ermutigenden Ergebnisse ist beabsichtigt, in einem Folgeprojekt diese Methode zu einer **kompletten Elektrizitätssparanalysemethode** weiterzuentwickeln und zur Anwendungsreife zu bringen. Die Methode soll bei mittleren und grossen Objekten eingesetzt werden können und gemäss SIA 380/4 den Verbrauch einzelner Infrastrukturfunktionen ermitteln.

In Ergänzung zu den vorerwähnten Aktivitäten ist in einem neuen Forschungsprojekt beabsichtigt, mit einem interdisziplinären Team unter Einbezug der Industrie eine *neue Messmethode* zu entwickeln, welche aufgrund von speziellen Netzzuständen (transiente Netzschwankungen, Oberwellen, Einschaltspitzen, Blindleistungen, etc.) Rückschlüsse auf die **Verbrauchsstrukturen** erlauben.

### **Leistungselektronik**

Wechselrichter werden vermehrt zur effizienten Steuerung des Energieflusses eingesetzt. Im Rahmen des Projekts **Hocheffizienter Netzstromrichter in Hybrid-Struktur** [11] wird untersucht, inwiefern ein Hybrid-Wechselrichter, zusammengesetzt aus zwei parallel geschalteten, unterschiedlich grossen zwangskommutierten Stromrichtern, ein optimaler Wirkungsgrad bei geringen Netzverzerrungen in allen Lastbereichen ermöglicht. Falls die zur Zeit durch Computersimulationen ermutigenden Ergebnisse sich bestätigen sollten, wäre ein weites Einsatzgebiet (z.B. grössere Photovoltaik-Anlagen, Lokomotiven) für die neue Wechselrichter-Hybrid-Struktur möglich.

Für die Erzeugung, Speicherung, Verteilung, Umwandlung und zur rationellen Nutzung der elektrischen Energie stellt die Leistungselektronik eine bereits erfolgreich eingesetzte Technologiebasis dar. Durch die Entwicklung neuer Bauelemente und der Optimierung gesamter Leistungselektroniksystemen kann der Wirkungsgrad noch erheblich erhöht werden. Das ETH-Schwerpunktprogramm LESIT [14] hat sich neben anderem dieser Zielsetzung angenommen. Drei spezifische Module von LESIT befassen sich speziell mit Komponenten, Schaltungen und Systemen der Leistungselektronik. Die Vorbereitungen sind weitgehend abgeschlossen, und es wird erwartet, dass mit den Arbeiten 1992 begonnen werden kann.

### 3. Internationale Zusammenarbeit

Die IEA beabsichtigt, auf dem Gebiet *Demand Side Management* verstärkt aktiv zu werden. Das BEW wird soweit sinnvoll und möglich an diesen Aktivitäten partizipieren. Durch Teilnahme an der IEA-Konferenz in Sorrento mit dem Thema *Advanced Technologies for Electric Demand Side Management* [15] konnten bereits Kontakte geknüpft und ein Informationsaustausch erreicht werden.

Im Rahmen des Projekts **Führung des Verteilnetzes und Entwicklung eines Lastbestimmungsmodells** bahnt sich eine engere Zusammenarbeit mit dem Lehrstuhl für elektrische Energieversorgung der Universität Dortmund an.

Da Oesterreich teilweise eine ähnliche Versorgungsstruktur wie die Schweiz aufweist, wurde für einen engeren Informationsaustausch diverse Kontakte mit Elektrizitätswerken, mit der Universität Wien sowie mit Vertretern der Forschungsstätte Seibersdorf etabliert.

### 4. Umsetzung der Ergebnisse

Zur Verbreitung der Ergebnisse der Studie **Batteriebetriebenes Spitzenlastkraftwerk** wurde von einem Wissenschaftsjournalist ein diesbezüglicher Fachartikel verfasst. Dieser wurde zur Publikation verschiedenen Fachzeitschriften sowie Tageszeitungen zugestellt [13].

Im April 1991 wurde gemeinsam mit der INFEL (Informationsstelle für Elektrizitätsanwendung) ein Workshop mit dem Titel "Elektrizitätsmessmethoden" durchgeführt. Im Vordergrund stand dabei das Ziel, die Ergebnisse der Studie **Elektrizitätsverbrauchsmessmethoden** [16] einem interessierten Publikum bekannt zu machen sowie gemeinsam Bedürfnisschwerpunkte zu erarbeiten. Die Veranstaltung wurde von gegen 70 Fachleuten aus der Elektrizitätswirtschaft, der Industrie und von Ingenieurbüros besucht. Das angesprochene Thema stiess auf ein breites Echo, und es wurde am Workshop durch die Teilnehmer angeregt, in ca. 1 - 2 Jahren diesen aktualisiert zu wiederholen. Eine Auswertung des Workshops ist für Interessierte verfügbar [17].

Forschungsergebnisse, welche im Impulsprogramm RAVEL für die Ausbildung verwendet werden können, werden jeweils den entsprechenden RAVEL-Ressortleitern zugestellt. So wird der Bericht über elektronische Vorschaltgeräte im Ressort **Haustechnik, Licht** als Ausbildungsgrundlage Verwendung finden. Ebenfalls werden die Ergebnisse des Projekts **Energieverluste bei Büro- und Unterhaltungselektronikgeräten** im RAVEL-Ressort **Geräte** verwendet.

## 5. Geplante Forschungsarbeiten 1992

Ein wesentlicher Teil der geplanten Aktivitäten wird weiterhin im Betreuen und Fortführen der laufenden Projekte liegen. Daneben werden aber auch neue Gebiete detaillierter untersucht und bei positivem Befund in Form eines Forschungsprojekts konkretisiert. Neben bereits erwähnten Projekten sind folgende Thematiken Gegenstand weiterer Untersuchungen.

Der Begriff *Demand Side Management (DSM)* hat sich speziell in den Vereinigten Staaten zu einem festen Ausdruck etabliert. Darunter werden im allgemeinen alle Aktivitäten verstanden, mit denen ein rationeller Einsatz von elektrischer Energie sowohl bei der Uebertragung als auch beim Verbraucher erzielt, resp. unterstützt werden kann. Es ist beabsichtigt, im Rahmen von DSM zu untersuchen, welche diesbezüglichen Massnahmen in der Schweiz allenfalls noch zu wenig forciert werden und welche Anstrengungen noch unternommen werden sollten.

Gemeinsam mit weiteren BEW-Programmlleitern ist beabsichtigt, mögliche Einsatzgebiete im Energiebereich für die momentan sehr aktuelle *Fuzzy-Logic* zu untersuchen.

Nach eingehender Untersuchung der Thematik *Home Automation* unter Einbezug verschiedener Vertretern der Industrie und dem BEW-Programmlleiter RATIONELLE ENERGIENUTZUNG IN GEBÄUDEN konnten keine relevanten Erkenntnislücken als Forschungsgrundlage identifiziert werden. Die Thematik wird zwar weiterverfolgt, es sind aber z.Z. keine konkreten Projekte beabsichtigt.

## 6. Liste der Projekte

- [1] F. Steffens, *Neuchâtel*: **Feasibility Study über eine Batterie-Energiespeicheranlage zur Deckung des Spitzenleistungsbedarfs des EW Arosa.** (SB)
- [2] D. Brunner, *ETH - Zürich* und G. Schnyder, *AMSTEIN + WALTHERT AG, Zürich*: **Führung des Verteilnetzes und Lastbestimmungsmodell.** (JB)
- [3] J. Van Gilst, *ARGUS ENGINEERING SA, Lausanne* und F. Gaille, *CABLERIES & TREFILERIES DE COSSONAY SA, Cossonay*: **Évaluation du potentiel de récupération de chaleur par refroidissement des cables électriques.** (SB)
- [4] Ch. Vogt, *AMSTEIN+WALTHERT, Zürich*: **Elektronische Vorschaltgeräte für Fluoreszenzlampen.** (SB)
- [5] A. Neyer, *AMSTEIN + WALTHERT AG, Zürich*: **Grundlagen für Forschungs- und Entwicklungsschwerpunkte bei elektrischen Antrieben.** (SB)
- [6] U. Graune, *EWI, Zürich*: **Energieverluste bei Büro- und Unterhaltungselektronikgeräten.** (JB)
- [7] U. Graune, *EWI, Zürich*: **Abschätzung der Stand by - Verluste.**
- [8] B. Schaltegger, *MEYER + SCHALTEGGER AG, St. Gallen*: **Technische Marktanalyse im Rahmen des Projekts Energieverluste bei Büro- und Unterhaltungselektronikgeräten.** (JB)
- [9] N. Herzog, *HERZOG + LEE AG, Reinach*: **Betriebsmessungen im Rahmen des Projekts Energieverluste bei Büro- und Unterhaltungselektronikgeräten.** (JB)
- [10] H.P. Eicher, *DR.EICHER+PAULI, Liestal*: **Computerunterstützte Elektrizitätsverbrauchsanalysen.** (SB)
- [11] M. Meyer, *ETH, Zürich*: **Hocheffizienter Netzstromrichter in Hybrid-Struktur.** (JB)

(JB) Jahresbericht 1991 vorhanden

(SB) Schlussbericht vorhanden

## 7. Referenzen

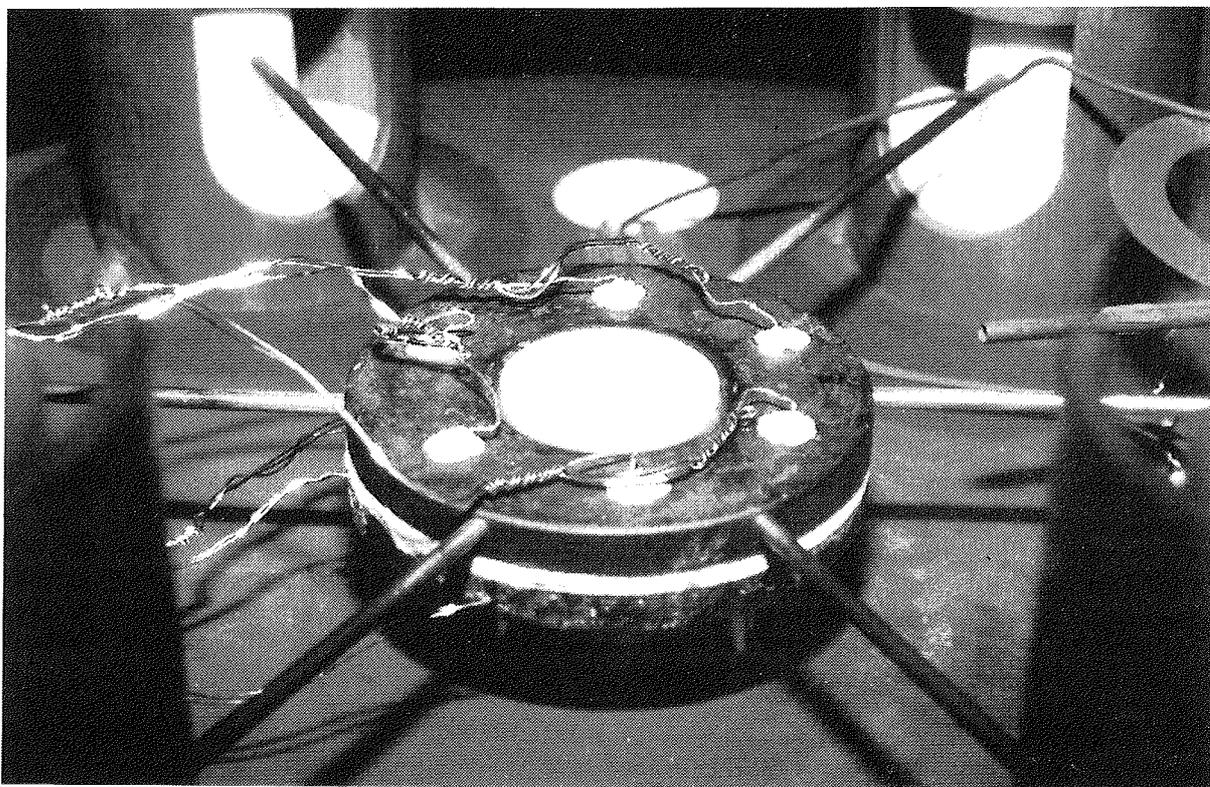
- [12] Ph. Girard, F. K. von Willisen, CENTREDOC, *Neuchâtel*: **Literaturrecherche und -analyse über das Gebiet der Thermoelektrik.**
- [13] VSE-Bulletin 22/1991: **Feasibility-Studie über eine Batterie-Energiespeicheranlage zur Deckung des Spitzenleistungsbedarfs des EW Arosa.**
- [14] **LESIT 92 - 95 Research Plan**, ETH - *Zürich*, November 1991
- [15] **Conference on Advanced Technologies for Advanced Demand Side Management**, *Sorrento*, Unterlagen der IEA Konferenz.
- [16] R. Minder / A. Huser, EWI, *Zürich*: **Elektrizitätsverbrauchsmessmethoden**
- [17] **Elektrizitätsmessmethoden**: Unterlagen des Workshops.

# PILES AU GAZ NATUREL

Rapport de synthèse  
sur les activités 1991 du programme de recherche

Chef de programme : Léo Dubal

---



## Piles sur banc d'essai

La première pile HEXIS (*Heat Exchanger Integrated Stack*) de 70 mm de diamètre de la maison SULZER, Winterthur, au cours des essais qui ont permis de démontrer la validité de son principe de circulation des gaz.

## 1. Objectifs du programme

Ce programme de recherche vise la maîtrise d'un procédé de conversion électrochimique du gaz naturel en électricité, sans émission de  $\text{NO}_x$ , en vue de son application à la cogénération avancée, c'est-à-dire aux installations chaleur-force décentralisées.

Un élément de pile à combustible comporte deux électrodes poreuses, positive côté air et négative côté combustible gazeux, séparées par un électrolyte, *conducteur ionique* étanche aux gaz, le tout constituant une structure modulaire dite *PEN*. Par l'empilement de *PEN*, la tension pourra être élevée jusqu'au niveau d'utilisation. Les piles au gaz naturel devraient, à terme, évincer les installations classiques basées sur le cycle de Carnot (agrégats avec moteurs à gaz), qui ont un rendement fortement dépendant de la charge, qui sont gourmandes en énergie et polluent l'environnement.

Dans le programme **PILES AU GAZ NATUREL**, l'option choisie pour l'*électrolyte* est une membrane céramique, de la *zircone* stabilisée à l'yttria. Cet oxyde réfractaire *conduit les ions oxygène à partir de 800°C*. Pour d'autres types de piles à combustible, d'autres électrolytes sont employées. Par exemple, un électrolyte *polymère* permet de réaliser des *piles opérant à moins de 100°C*. Ces piles doivent cependant être alimentées à l'*hydrogène pur*. Bien que le prix actuel des piles polymères soit très élevé, ATEL, à Olten en a acheté deux de 3,5 kW<sub>e1</sub> dans le cadre de son programme d'installations de démonstration. Les recherches dans le domaine des piles polymères sont intégrées, elles, au programme **ÉLECTROCHIMIE**.

Les objectifs pour 1991 ont été d'une part de reprendre l'objectif non atteint en 1990, à savoir la réalisation de *PEN* fonctionnels, et d'autre part de tester la faisabilité du concept **HEXIS<sup>TM</sup>** (*Heat EXchanger Integrated Stack*) proposé par SULZER-INNOTEC, à Winterthur. *Ces deux objectifs ont été atteints.*

Par ailleurs, des contacts ont été pris en vue de la mise sur pied d'un programme **INSTALLATIONS PILOTES & DÉMONSTRATION DES PILES AU GAZ NATUREL**. Le lancement de celui-ci pourrait avoir lieu en 1992.

## 2. Mise en oeuvre et collaboration internationale

Le programme de l'OFEN a été lancé en 1988. Grâce au dynamisme du groupe de travail, qui comprend les représentants des industries concernées, une intense activité de recherche a pu être mise sur pied. Après le lancement d'une collaboration internationale sous l'égide de l'Agence Internationale de l'Énergie, AIE, et du tracé d'une *voie suisse*, les efforts actuels sont axés sur le projet **HEXIS**, qui vise à la réalisation d'un modèle fonctionnel de 1 kW, de conception très originale. Avec la terminaison précoce du projet ABB (conclue par le rachat par la Confédération des bancs d'essais ABB, à Baden), c'est SULZER INNOTEC, à Winterthur qui est devenu le partenaire industriel principal du programme.

Afin de coordonner au mieux ses efforts de recherche avec ceux effectués à l'étranger, l'OFEN conduit, depuis avril 1990, un projet AIE intitulé *Modelling & Evaluation of Advanced Solid Oxide Fuel Cells (SOFC)* et a mandaté comme Agent exécutif un chercheur de l'EPF-Lausanne [1]. 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**. Alors que le projet de l'AIE s'attache aux aspects génériques des piles, le programme suisse comprend en outre l'exploration et l'évaluation de procédés de fabrication compétitifs, ainsi que la réalisation et l'évaluation de modèles fonctionnels avancés.

Le projet de l'AIE est divisé en 7 domaines d'activité pour chacun desquels l'un des 7 pays participants est rapporteur. Le domaine qui incombe à la Suisse est celui de la **micromodélisation**, c'est-à-dire la compréhension détaillée des mécanismes impliqués au niveau de l'électrolyte et des électrodes et pour cette tâche l'OFEN a mandaté un ingénieur-conseil [2]. Les autres activités sont: *Stack design tool* (modélisation numérique d'une batterie), conduite par la Norvège, avec la participation d'ABB, Baden, et l'EPF-Lausanne [3]; *SOFC Data*, conduite par le Danemark, avec la participation d'un ingénieur-conseil [4]; et quatre pratiques recommandées pour l'**évaluation électrochimique**, conduite par le Royaume-Uni, avec la participation de l'EPF-Lausanne [5],

l'évaluation thermomécanique, conduite par l'Italie, avec la participation de l'EPF-Lausanne [6], la caractérisation des poudres, conduite par les Pays-Bas, avec la participation d'ALUSUISSE-LONZA SERVICES, Neuhausen [7], l'évaluation des batteries, conduite par le Japon, avec la participation de SULZER-INNOTECH, Winterthur [8], et d'un ingénieur-conseil [9]. Une importante réunion de travail a eu lieu en août 1991, en Norvège [16]. La plupart des travaux de cette première phase de la collaboration internationale devraient être terminés début 1992 et le rapport final disponible au printemps 1992. Notons encore que l'Allemagne vient de s'associer au projet *SOFC* de l'AIE, et qu'elle s'est déclarée prête à devenir l'Agent exécutif d'une deuxième phase, à partir de 1993.

Il y a 3 ans, un projet intitulé *Polymer Electrolyte Fuel Cells* a été proposé dans le cadre AIE. Il vient finalement de trouver un Agent exécutif, le Canada. L'Institut Paul-Scherrer, à Villigen, qui est actif dans ce domaine de recherche s'est déclaré intéressé à participer à ce projet.

### 3. Travaux effectués et résultats obtenus en 1991

#### Modélisation

##### a) *Micromodélisation*

Le travail de thèse sur la modélisation expérimentale de la réduction de l'oxygène à l'interface d'une cathode et d'un électrolyte céramique à l'EPF-Lausanne [12] progresse. Des électrodes denses, en or, de géométrie très précise pour la détermination de la zone effective de réaction, ont pu être déposées et ont permis des mesures reproductibles du courant par unité de longueur. La résistivité des électrolytes a été mesurée, ainsi que la résistance au transfert de charge pour des électrodes poreuses d'argent et de platine. Ce projet a été suivi par H. Tannenberger [2], qui l'a en son temps suggéré.

De l'activité AIE, il ressort [2, 16] que des améliorations d'un facteur 3 à 5 pourraient être obtenues dès que les mécanismes aux électrodes sont mieux compris. Deux faits sont déjà acquis: a) la diffusion dans la phase gazeuse au travers des pores des électrodes ne limite pas les performances à condition que les pores aient un diamètre supérieur à 5  $\mu\text{m}$ ; b) la dispersion de la phase métallique dans le cermet de l'anode doit être très fine et les grains de zircone inférieurs à 3  $\mu\text{m}$ . Ce potentiel d'améliorations vient en fait d'être démontré par OSAKA GAS qui, avec un cermet à base de Ruthénium, a obtenu 1,55 W /  $\text{cm}^2$  (avec de l' $\text{H}_2$  et  $\text{O}_2$  à 1000 °C).

##### b) *Modélisation numérique*

La formulation des équations décrivant les diverses cellules élémentaires a été effectuée par ABB-Baden, alors que l'EPF-Lausanne a mis au point les équations mathématiques et l'élaboration des méthodes numériques permettant d'identifier les paramètres, tels les conductivités et les coefficients de transfert de chaleur [3]. Testé sur des problèmes simplifiés, le code est maintenant appliqué à l'étude de géométries réelles. L'étude mathématique concerne l'influence du caractère ponctuel du contact effectif entre l'électrolyte et les électrodes sur la résistance apparente de l'électrolyte.

##### c) *Banque de données*

La qualité des prédictions d'une modélisation numérique est entièrement tributaire de la qualité des données de base servant aux calculs. Une première contribution suisse à cette activité de l'AIE a été l'édition en 1989 du recueil *Facts & Figures*. Une version révisée et sensiblement améliorée de ce précieux instrument de travail est disponible sous forme d'avant-projet [4].

## Évaluation

### a) Concept *HEXIS*

R. Diethelm de SULZER-Innotec avait présenté au groupe de travail à fin 1990 le concept *HEXIS* [14], et sur recommandation de ce dernier, l'OFEN a co-financé l'étude de faisabilité de ce concept. Les progrès enregistrés au cours de ces douze premiers mois sont si encourageants qu'ils ont conduit SULZER à élire *HEXIS* comme *Konzern-Projekt*. Pour tenter de réaliser d'ici 1993 un modèle fonctionnel de 1 kW de cette pile, c'est l'ensemble du programme suisse qui a été recentré sur l'exploration de solutions aux problèmes posés par *HEXIS*.

Dans la phase exploratoire, SULZER-Innotec [8] a réussi à démontrer la validité du concept sur un banc d'essai: la configuration d'*HEXIS* permet la combustion des imbrûlés. Par ailleurs, une solution a été trouvée pour le drainage du courant: une méthode de contactage satisfaisant des drains métalliques avec une plaque de céramique conductrice d'interconnexion a été mise au point et ne présente pas de détérioration de la conductivité aux températures d'opération d'*HEXIS*. La plaque d'interconnexion est, elle, développée par CERAMATEC, à Salt Lake City. Elle devrait pouvoir être liée aux électrodes par SULZER. Quant aux PEN, MEDICOAT, à Niederrohrdorf, en développe en forme de disque de 12 cm de diamètre. La fabrication de membranes annulaires de zircone de 7 cm de diamètre a déjà pu être réalisée. Le Laboratoire des matériaux non-métalliques de l'EPFZ développe, lui, les joints étanches pour l'amenée centrale du gaz qui permettra de séparer les côtés air et fuel. Dans le cadre de ce travail de diplôme qui vient de commencer, plusieurs colles céramiques ont déjà pu être testées, mais la solution satisfaisante reste encore à trouver.

### b) Procédés de fabrication

Les voies *humides* doivent affronter les problèmes posés par les très forts rétrécissements des composants, plus de 20%, lors du frittage. Il est impérieux d'accorder : a) les rétrécissements des couches PEN et des interconnexions, b) la température de co-frittage (ou l'ordre décroissant des températures lors de frittages successifs), c) les coefficients de dilatation des couches. MURATA, à Kyoto, est parvenue à ajuster la préparation des composants de sorte que la température de co-frittage se situe entre 1300 et 1400 °C, le rétrécissement entre 20 et 22 % et la dilatation thermique entre 10 et 11. 10<sup>-6</sup>, et comme performance 600 mW/cm<sup>2</sup>. Avec de pareils résultats, même si ces performances ne se maintiennent actuellement encore que pour quelques heures, la compétition s'annonce stimulante !

#### o Coulage de bande

Concernant le procédé par coulage de bande, l'EPF-Zürich a étudié l'effet des impuretés, en particulier du SiO<sub>2</sub>, et a mis en évidence une température critique à partir de laquelle la phase vitreuse à la frontière des grains ne joue plus qu'un rôle secondaire. Les travaux sur le développement d'une cathode à base d'oxyde d'indium progressent [11], bien qu'une couche aux caractéristiques électrochimiques satisfaisantes n'ait pas encore pu être obtenue. Cette cathode est frittée sur un électrolyte préfritté. Côté anode, l'électrode est déposée par sérigraphie. Divers masques sont maintenant disponibles. Il est cependant nécessaire que l'électrolyte soit très plane pour permettre un dépôt sérigraphique. Pour les électrolytes de grandes dimensions, il reste à trouver comment éviter qu'elles ne soient cassées par la pression de la raclette.

#### o Projection sous vide au chalumeau à plasma (VPS, Vacuum Plasma Spray)

A l'aide du procédé VPS, MEDICOAT est parvenu [10] à réaliser des membranes de zircone autoportantes. Ces membranes ont été recouvertes par VPS d'une anode et d'un collecteur de courant, sans interruption du vide. Les performances électrochimiques de cette demi-PEN sont très encourageantes. En ce qui concerne la cathode, les premiers essais en vue d'un dépôt de manganite par VPS sont en cours.

#### o Cathode par Spin-coating

BATTELLE-Genève a déposé des cathodes sur des demi-PEN [13]. Une manganite réactive, frittant à relativement basse température, produite par la maison SSC Inc., aux USA, a été utilisée et des couches entre 10 et 30 µm, montrant une assez bonne adhérence à des électrolytes de diverses origines, ont pu être déposées. Les performances électrochimiques sont cependant médiocres.

o *Cathode par évaporation cathodique (Electron Beam Evaporation)*

BATTELLE-Genève vient d'examiner les possibilités de réactiver le savoir-faire acquis il y a une quinzaine d'années en matière de cathode. Grâce au dépôt d'une couche catalytique d'oxyde d'uranium très mince, la polarisation à l'interface cathode-électrolyte est très fortement réduite. Malgré une géométrie défavorable (disques de 3 cm de diamètre) pour la collection du courant, des puissances de 450 mW/cm<sup>2</sup> avaient été observées. Une décision sur ce projet de réactivation devra être prise début 1992, les brevets suisses qui couvraient ce savoir-faire sont aujourd'hui caducs.

c) *Caractérisation des poudres*

ALUSUISSE-LONZA SERVICES, Neuhausen [7], a participé au *Round-Robin Test* organisé par les Pays-Bas dans le cadre AIE. Ces mesures ont été soumises au responsable de cette activité qui les évaluera avec celles des autres participants. Une première version d'une pratique recommandée pour l'évaluation des poudres sera publiée en mai 1992.

d) *Caractérisation électrochimique des structures PEN*

Le banc d'essai de l'EPFL [5], mis en service au début de cette année, a été complété par ceux rachetés par l'OFEN à ABB, après la liquidation de leur programme sur les piles au gaz naturel. De nombreux échantillons ont été testés. Les pertes ohmiques importantes dues à la résistance dans le plan (*in-plane*) de la cathode ont pu être quantifiées. L'expérience acquise ainsi a permis de contribuer de manière originale à l'activité conduite par le Royaume-Uni en soulignant l'importance des conditions standards pour la caractérisation des PEN.

e) *Caractérisation structurelle*

L'Institut de céramique de l'EPF-Lausanne a effectué diverses analyses structurelles d'électrolytes [6]. Ces résultats joueront sans doute le rôle-clé dans l'évaluation économique des procédés de fabrication.

Cette activité de recherche sera renforcée à l'avenir grâce à une collaboration entre l'EMPA-Dübendorf et de l'EPF-Lausanne. Elle devrait en outre permettre à la Suisse d'assumer un rôle actif dans la seconde phase du projet AIE, actuellement en préparation.

## 4. 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 et une vue d'ensemble du programme a fait l'objet d'un article [15].

## 5. Liste des projets en cours en 1991

- [1] A. McEvoy, ICPII / EPF-Lausanne: IEA SOFC Task, Operating Agent report. (RA)
- [2] H. Tannenberger, Ing.-conseil, Le Château de Ste-Croix: Micromodélisation des piles SOFC. (RA)
- [3] R. Herbin, EPF - Lausanne et J. Ferguson, ABB, Baden: Stack Design Tool. (RA)
- [4] U. Bossel, Ing.-conseil, Baden: Facts & Figures. (RF)
- [5] R. Thampi, ICPII / EPF - Lausanne: SOFC Test Bed Facilities. (RA)
- [6] P. Carry, EPF - Lausanne: Microstructure des éléments de piles au gaz naturel. (RA +RF)

- [7] H. Hofmann, ALUSUISSE-LONZA SERVICES, *Neuhausen*: **Recommended Practices for Powder Evaluation.** (RA + RF).
- [8] R. Diethelm, SULZER INNOTECH, *Winterthur*: **SULZER-HEXIS SOFC-SYSTEM.** (RA)
- [9] U. Bossel, Ing.-conseil, *Baden*: **SOFC Data & Stack Evaluation.** (RA)
- [10] H. Gruner, MEDICOAT, *Niederrohrdorf*: **SOFC PEN durch VPS.** (RA)
- [11] K. Sasaki, NMW / ETH - *Zürich*: **Mixed-conducting Cathode Materials for SOFC.** (RA)
- [12] J. van Herle, ICP II / EPF - *Lausanne*: **Etude de la réduction de l'oxygène à l'interface d'une cathode et d'un électrolyte solide YSZ.** (RA)
- [13] J. P. Issartel, BATTELLE - *Genève*: **Dépôt d'une cathode de manganite.** (RA)

(RA) rapport annuel 1991 disponible

(RF) rapport final disponible

## 6. Références

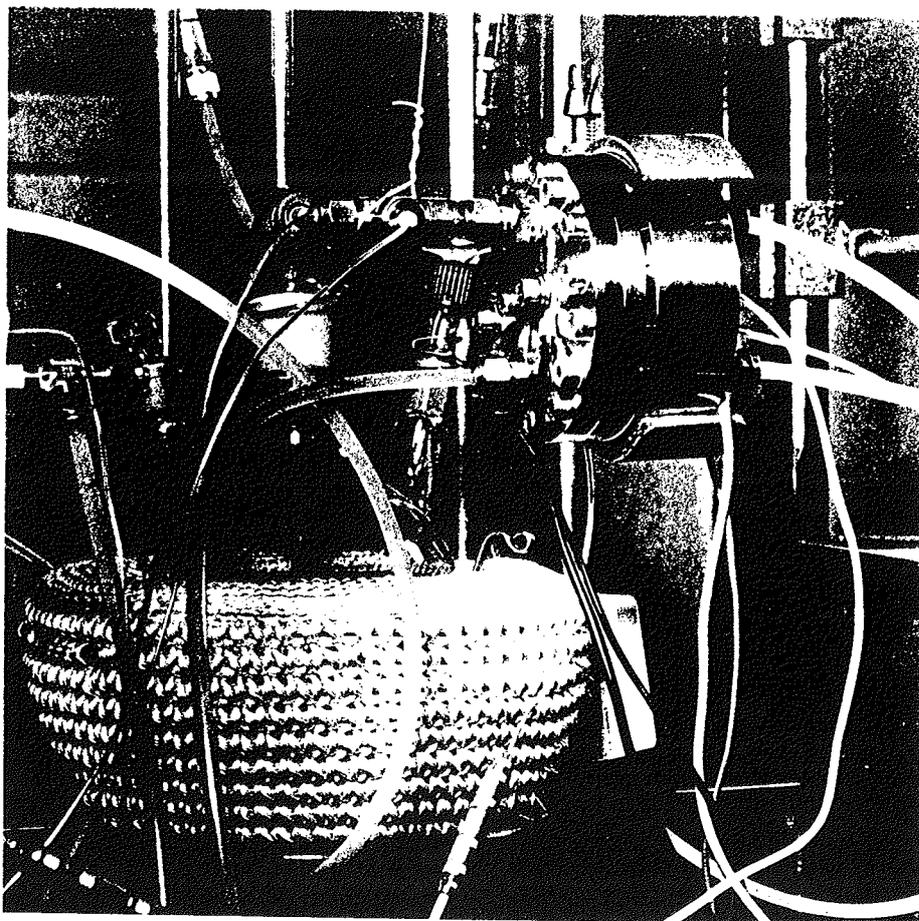
- [14] **The SULZER HEXIS™ SOFC SYSTEM**, R.Diethelm, K. Honegger and B.Barp, Intern. Fuel Cell Conference, Febr. 3, 1992, *Makuhari* (Japan)
- [15] **Gaz naturel: La tension monte !**, L. Dubal, GWA 10 (1991), 673-677
- [16] **Proceedings of the IEA SOFC Workshop**, Aug. 18 to 22, 1991,, ed. by B. Thorstensen, SI, *Oslo* (N)

# ELEKTROCHEMIE

Überblicksbericht  
zum Forschungsprogramm 1991

Programmleiter : Otto Haas

---



## Elektrochemische Zelle zum Testen von Membranen für Brennstoffzellen

Umweltfreundliche Wasserstoff/Luft-Membran-Brennstoffzellen sind wegen der erreichbaren Leistungsdichte von über 1 Watt/cm<sup>2</sup> bei 80-100 °C von grossem Interesse für Traktionsanwendungen. Am Paul Scherrer Institut wird an der Entwicklung kostengünstiger Polymermembranen gearbeitet. Die abgebildete Laborzelle mit einer aktiven Fläche von 30 cm<sup>2</sup> dient zum Testen neuer strahlengefropfter Membranen. Während des Betriebes muss der Wassergehalt der Membran konstant gehalten werden. Der Wasserstoff wird deshalb in einem Wasserbad befeuchtet, bevor er der Zelle zugeführt wird. Ohne aufwendige Präparation des Membran/Elektrodenverbundes wurde bei 60 °C (H<sub>2</sub>/O<sub>2</sub> Normaldruck) und bei 500 mV Spannung mit einer käuflichen Membran eine Leistung von 200 mW/cm<sup>2</sup> und mit den in Entwicklung stehenden Membranen 110 mW/cm<sup>2</sup> über einen Zeitraum von einigen hundert Stunden erreicht.

## 1. Anvisierte Ziele

Im vergangenen Jahr wurde das Programm ELEKTROCHEMIE ausführlich diskutiert und neu überarbeitet. Die anvisierten Ziele sollen deshalb etwas ausführlicher als üblich behandelt werden. Hauptziel der ersten Forschungsperiode von 1989-1992 war der Aufbau kompetenter Forschungsgruppen, welche wichtige Forschungsthemen der elektrochemischen Energieumwandlung und -speicherung bearbeiten können. Die Forschungsschwerpunkte wurden im ursprünglichen Programm [22] definiert. Bis jetzt wurden 18 Projekte bewilligt, die an 9 verschiedenen Forschungsinstituten bearbeitet werden. Es handelt sich im allgemeinen um kleinere Projekte, die mehrheitlich an Hochschulen durchgeführt werden.

Die Diskussion und Überarbeitung des Programms ergab, dass in Zukunft die Forschungs- und Entwicklungsprojekte viel stärker auf einige konkrete, praktisch aussichtsreiche Projekte konzentriert werden sollen. Im gegenwärtigen Zeitpunkt wäre es zwar noch verfrüht, wenn die Forschungsarbeiten auf ein oder zwei Zellsysteme beschränkt würden. Eine Gruppierung der Projekte um potentiell interessante Zellsysteme mit stark überlappenden Forschungsthemen ist aber bereits möglich und sinnvoll.

Nachdem auch mit der Industrie im vergangenen Jahr vermehrt Kontakt aufgenommen wurde und deren Interessen so weit wie möglich abgeklärt wurden, zeichnet sich eine allgemeine Forschungs- und Entwicklungsrichtung ab.

Für die nächsten drei Jahre wurde der CORE folgendes konkretes Forschungsprogramm vorgeschlagen:

### Zellen mit hoher Energiedichte

Die Arbeiten zur Entwicklung von *Metall/Luft-Batterien* und *H<sub>2</sub>/Luft-Brennstoffzellen* mit ionenleitenden Polymermembranen sollen weitergeführt werden. Diese Zellen haben zumindest theoretisch eine sehr hohe Energiedichte und sind wenig entwickelt. Ein gemeinsames Forschungsziel in diesen beiden Projekten ist die Entwicklung einer effizienten, eventuell bifunktionellen Sauerstoffelektrode.

### Zellen mit hoher Leistungsdichte

Dabei sind *Dünnschichtzellen* mit bipolarer Elektrodenanordnung vom Typ Metall/Redoxpolymer, Redoxpolymer/Redoxpolymer oder Metall/Metalloxid entwicklungswürdig. Zum letzten Typ gehört auch der bipolare Bleiakku, der bei der schweizerischen Batterieindustrie auf grosses Interesse stösst. Wichtig wäre die Konstruktion einer geeigneten Testzelle, die es erlaubt, verschiedene Elektroden in bipolarer Anordnung einzusetzen.

### Insertions - Elektroden

Insertions-Elektroden sind im Zusammenhang mit den erwähnten Dünnschichtzellen besonders interessant. Das Ziel ist hier die Insertion von Ionen in Metalloxid- oder Redoxpolymer-Elektroden. Insertions-Elektroden sind die Voraussetzung für den Bau von *Ionentransfer-Batterien*. Bei diesen Batterien werden die an einer Elektrode frei werdenden *Ionen in der Gegenelektrode* eingebaut (insertiert) und *nicht wie üblich im Elektrolyt gespeichert*. Damit kann das Elektrolytvolumen auf ein Minimum beschränkt werden. Mit Lithium konnte dieses Prinzip in mehreren Li-Batterie-Systemen bereits zur Anwendung gebracht werden. Interessant wäre, wenn dieses Prinzip auch mit anderen Ionen (z. B. Na<sup>+</sup>, H<sup>+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, Zn<sup>2+</sup> usw.) verwirklicht werden könnte. Auch Anionentransfer-Batterien sind im Prinzip möglich.

### Katalysforschung und Modellierungsarbeiten

Diese Arbeiten sind zur Unterstützung der Entwicklungsarbeiten der oben erwähnten Zellsysteme nötig. Speziell für die Verbesserung der Katalyse der Sauerstoffreduktion in Sauerstoffelektroden sind weitere Forschungsarbeiten nötig. Die Modellierungsarbeiten sind besonders im Zusammenhang mit der Optimierung von bipolaren Zellen von Interesse.

## P & D - Projekte

Zur Entwicklung von wiederaufladbaren Batterien für das Elektromobil sind P&D - Projekte mit starker Industriebeteiligung anzustreben.

## 2. Durchgeführte Arbeiten und erreichte Ergebnisse 1991

### Elektroaktive Polymere

Elektroaktive Polymere sind attraktive Elektronenspeicher, die in neuen Batteriesystemen *als Elektrodenmaterialien* eingesetzt werden können. Für den Einsatz in Batterien ist es wichtig, dass das Polymer chemisch stabil ist und dass die Molmasse pro austauschbarem Elektron klein ist. Daneben ist das Diffusionsverhalten von Anionen und Metallionen sowie deren Abhängigkeit von der Porosität und der Mikrostruktur des Polymers ausschlaggebend für den Einsatz in Batterien. Im vergangenen Jahr haben sich die meisten Projekte auf dem Gebiet der elektroaktiven Polymere auf die Untersuchung des Polyanilins konzentriert. *Polyanilin* ist das zur Zeit international am meisten untersuchte *leitende Polymer*. In kleinen Knopfzellen wurde Polyanilin auch schon in kommerziellen Batterien auf den Markt gebracht. Polyanilin wurde innerhalb des Programms von verschiedenen Gruppen [2, 3, 6, 10, 14, 15] teils mit neuen Methoden (Mikrowaage, Ellipsometrie, Scanning Tunneling Mikroskopie, Impedanzspektroskopie, UV-, vis- und IR-Spektroskopie, Auftriebswaage- und Laserstrahlauslenkungs-Experimenten) untersucht. Die dabei erhaltenen Ergebnisse sollten die Vor- und Nachteile von Polyanilin quantifizieren und eine Basis zum Vergleich von neuen, noch zu untersuchenden Polymeren schaffen. In einem Workshop wurden die erhaltenen Resultate letzten Dezember ausführlich diskutiert. Es zeigt sich, dass durch Veränderung der Reaktionsbedingungen bei der Elektropolymerisation die Struktur und Porosität des Polymers in weiten Grenzen gehalten werden kann [2, 6, 10, 15]. Erfreulicherweise gelangen auch erste in-situ tunneltomographische Experimente an elektrochemisch polymerisierten *Polyanilinfilmen* [2]. Die gravimetrischen und volumetrischen Ladungsdichten konnten mit einer dazu entwickelten Auftriebswaage experimentell sehr praxisnah bestimmt werden [10]. In wässrigen, sauren Lösungen beträgt die gravimetrische Ladungsdichte je nach Gegenion 90 - 130 Ah/kg. In *nichtwässrigen Systemen* können beide Redoxstufen von Polyanilin ausgenützt werden, und es konnten Ladungsdichten bis zu 180 Ah/kg bestimmt werden. Die volumetrische Ladungsdichte liegt je nach Herstellungsverfahren aufgrund der unterschiedlichen Porosität von 70 - 95 % bei 70 - 10 Ah/l.

Die mechanistischen Untersuchungen [3] zeigen, dass die Ladungskompensation im Polymer in wässrigen Lösungen gemischt mit Anionen und Protonen erfolgt, in organischen Lösungsmitteln jedoch nur mit Anionen. Durch Substitution des Protons am Stickstoff im *Polyanilin* kann der Mechanismus auch in wässrigen Lösungen so abgeändert werden, dass nur Anionen zur Ladungskompensation gebraucht werden. Die Einführung von Sulfongruppen im Benzylring des Anilins hat zur Folge, dass in wässrigen Lösungen auch Kationen zur Ladungskompensation verwendet werden können. Diese *molecular Engineering* - Arbeiten sind nicht nur wissenschaftlich von grossem Interesse, sondern zeigen auch, dass es praktisch möglich wäre, mit Polyanilin eine Anionentransfer-Batterie oder eine Kationentransfer-Batterie herzustellen. Beides wären neue Systeme, welche bis jetzt nicht eingesetzt wurden. Die oben erwähnten Ladungsdichten zeigen, dass *Polyanilin* praktisch nur in Ionentransfer-Batterien zu den hohen Energiedichten führen kann, die *für Anwendungen im Elektromobil* nötig sind. Polyanilin wird in diesem Programm deshalb nur noch auf diese Anwendung hin weiter untersucht.

Neben den Arbeiten über Polyanilin wurden auch *Nafion-Filme*, welche mit organischen oder anorganischen Redoxsystemen beladen sind [1, 2, 9] sowie das *Poly-(1-hydroxyphenazin)* [3, 4] und *Polypyrrol* [8] untersucht. Bei den Arbeiten mit *Nafionfilmen* stand besonders die Präparationstechnik im Vordergrund. Es zeigt sich, dass die Eigenschaften der *Nafion-Filme*, die aus *Nafion*-Lösungen hergestellt werden, stark von der Luftfeuchtigkeit bei der Präparation abhängig sind. Diese Tatsache erklärt viele irreproduzierbare Daten in der Fachliteratur. Das Beispiel zeigt auch, dass konkrete Fortschritte in der Forschung oft nur mit zeitraubender Kleinarbeit erreicht werden. Durch den Einbau von Diquat in *Nafion* konnten Ladungsdichten von 65 Ah/kg erhalten werden [1]. Mit Poly-(1-hydroxyphenazin) konnten bis jetzt durch Elektropolymerisation nur sehr dünne Schichten abgeschieden werden. Durch Vermischen von chemisch hergestelltem Poly-(1-hydroxyphenazin) mit einer *Teflon*-Kohle-Mischung und Auswalzen dieser Mischung konnten nun 0.5 mm dicke Elektroden hergestellt werden [10, 4]. Die Verbundelektroden (50 % Polymer 37.5 % Russ, 12.5 % PTFE) ergaben Ladungsdichten

von bis zu 150 Ah/kg (theoretischer Wert von Poly-(1-hydroxyphenazin): 275 Ah/kg). Das Polymer hat eine ausgezeichnete chemische Stabilität. Es kann reversibel mehrere hundert mal oxidiert und reduziert werden und könnte wegen dem relativ negativen elektrochemischen Potential (0 V vs. SCE) als negative Elektrode eingesetzt werden. Mit optischen Methoden [3,4] wurde auch der Redoxmechanismus an diesem Polymer abgeklärt. Ähnlich wie beim Polyanilin werden beim Elektronentransferprozess Anionen und Protonen für die Ladungskompensation benötigt.

Die Arbeiten mit **Polypyrrol als Anodenmaterial für eine Polymer-Polymer-Batterie** [8] zeigen, dass Polypyrrol auf Graphitfasern mit und ohne Nafion in Propylenkarbonat sowohl als Anodenmaterial als auch als Kathodenmaterial eingesetzt werden könnte. Die Ladungskapazität ist jedoch besonders bei der Verwendung als Anode für eine praktische Anwendung zu klein.

Im Projekt **Polymere als Lösungsmittel in elektrochemischen Zellen** [7] konnte gezeigt werden, dass das in Polyiminin eingelagerte Brom elektrochemisch oxidiert und reduziert werden kann. Als Elektrolyten können Li-Salze in Acetonitril verwendet werden. Das Polymer ist allerdings nur stabil, solange nicht mehr als die stöchiometrische Menge Brom eingelagert wird. Die Bromelektrode ist besonders im Zusammenhang mit neuartigen Anionentransfer-Batterien interessant.

Zur *Abklärung der Energiespeicher-Möglichkeiten* mit elektroaktiven Polymeren wurde am PSI ein Minisymposium organisiert und mit einem Gastprofessor eine Literaturstudie durchgeführt. Es zeigt sich, dass für die elektrochemische Energiespeicherung noch viele elektrochemisch aktive Polymere eingesetzt werden könnten, welche theoretisch noch wesentlich höhere Ladungsdichten ergeben als das Polyanilin und das Poly (1-hydroxyphenazin). Eine verstärkte Zusammenarbeit mit der chemischen Industrie ist anzustreben.

## Modellierung

Für das richtige Verständnis und für die Optimierung der im Programm ELEKTROCHEMIE untersuchten elektrochemischen Systeme ist die numerische Modellierung von grosser Bedeutung. An der ETH-Lausanne, der Uni-Fribourg und am PSI werden Computercodes zur Modellierung elektrochemischer Systeme entwickelt. Bis jetzt wurden diese Rechenprogramme für grundlegende Prozesse wie die **Stromverteilung bei der Abscheidung und Auflösung von Metallen** [18], die **Simulation einer bipolaren Elektrolysenzelle** [19] und die **Simulation der Ionen- und Elektronentransportvorgänge in Redoxpolymerelektroden** [20] entwickelt. Die in den Projekten vorgesehenen Ziele wurden erreicht. Es gilt nun, diese Methoden auf die im Programm ELEKTROCHEMIE zu untersuchenden Zellsysteme konkret anzuwenden, damit diese optimal ausgelegt werden können. Eine wesentlich engere Zusammenarbeit mit den Gruppen, die sich mit dem Zellengineering beschäftigen, wird dazu nötig sein.

## Elektrokatalyse

Die Projekte [14, 15, 16] stehen im Zusammenhang mit der **Langzeitspeicherung elektrischer Energie**. Dabei wurde auf elektrokatalytischem Wege versucht,  $\text{CO}_2$  und  $\text{N}_2$  zu energiereichen Produkten zu reduzieren. Bei diesen Arbeiten wurden zwar wissenschaftlich interessante Resultate erhalten, *die erreichten Ausbeuten sind jedoch für praktische Zwecke noch zu gering* (weit unter 10 %), und deren Verbesserung ist offenbar nur schwer zu verwirklichen. Selbst bei hohen Ausbeuten ist es zumindest fraglich, wie weit die Speicherung elektrischer Energie durch elektrochemische Herstellung energiereicher Produkte sinnvoll ist. Im europäischen Verbundnetz gibt es immer Kraftwerke, welche mit fossilen Brennstoffen Strom erzeugen. Für die Minimierung des Energieverbrauchs wäre es deshalb besser, wenn diese Kraftwerke abgestellt würden, statt deren Energie zur Reduktion von  $\text{CO}_2$  (Methanol-Produktion) oder  $\text{N}_2$  (Ammoniak-Produktion) zu verwenden. Zur optimalen Nutzung der Photovoltaik könnte dieses Forschungsgebiet eventuell zu einem späteren Zeitpunkt wieder an Bedeutung gewinnen. Die **Reduktion von  $\text{CO}_2$  und  $\text{N}_2$**  hat jedoch zumindest vorläufig eine niedrigere Priorität. Zur Straffung des Programms wurde daher beschlossen, diese Arbeiten vorläufig nicht mehr zu unterstützen. Auch die **direkte elektrokatalytische Oxidation von Methanol**, welche in den Projekten [13, 14] untersucht wurde, hat bis jetzt zu wenig ermutigende Resultate gezeigt. Eine Fortsetzung dieser Projekte ist deshalb nicht geplant. Hingegen sind Forschungsprojekte zur **Entwicklung von Katalysatoren zur Reduktion von Sauerstoff** [13, 17] und die **Entwicklung von porösen Sauerstoffelektroden** [10] nach wie vor von grossem Interesse. Eine Zusammenarbeit der zwischen den Forschern der Projekte [10] und [13] hat bereits zu einer sehr effizienten, chloridunempfindlichen Sauerstoffelektrode geführt. Durch eine kontrollierte Pyrolyse von Kobalt-Polychloramid/Dicyandiamid konnten *hochaktive edelmetallfreie Katalysatoren* für die Reduktion von Sauerstoff

entwickelt werden. In **Aluminium / Sauerstoff-Batterien** [10] wurden mit diesen Elektroden bessere Resultate erzielt als mit Platin-katalysierten Sauerstoffelektroden.

## **Elektroden- und Zellenengineering**

**Al / O<sub>2</sub> -Batterie und Al / Polyanilin-Batterie** [10]. Über die Resultate dieses Projekts liegt nun ein ausführlicher Bericht vor [23]. Die Al / Luft-Zelle wurde zusammen mit ALUSUISSE patentiert. Im Rahmen einer Doktorarbeit wird zurzeit an der ETH-Lausanne, zur Verbesserung der Leistungsdichte, eine Zelle mit bipolarem Elektrodenaufbau konstruiert.

Wie in diesen Berichten festgehalten wurde, kann bei der wiederaufladbaren Al-Batterie nur dann die Energiedichte des Bleiakkus wesentlich übertroffen werden, wenn es gelingt, Aluminium aus basischen Schmelzen (mit einem Gehalt von weniger als 50 mol% AlCl<sub>3</sub>) abzuscheiden. Diese Möglichkeit wurde im Projekt [11] durch **Zusätze von geeigneten Komplexbildnern zum Elektrolyten** getestet. Dabei konnte zwar das Abscheidungspotential und wahrscheinlich auch der Abscheidungsmechanismus beeinflusst werden, die Abscheidung des Aluminiums gelang aber trotzdem nur in sauren Lösungen. Es wurde deshalb beschlossen, die Aktivitäten dieser Gruppe in Richtung Magnesiumabscheidung zu verlagern, wobei an der Uni Fribourg die am CSEM begonnenen, zum Teil erfolgversprechenden Arbeiten über die **elektrochemische Auflösung und Abscheidung von Mg in nichtwässrigen Lösungsmitteln** [12] weiter verfolgt werden. Mit diesem Projekt und dem im letzten Sommer gestarteten Projekt **elektrochemische Einlagerung von Mg<sub>2</sub><sup>+</sup> aus nichtwässrigen Medien in Metalloxide** [21] sollen die Voraussetzungen für eine Dünnschicht-Mg/Metalloxid-Batterie geschaffen werden. Die reversible Einlagerung von Mg<sub>2</sub><sup>+</sup> in Metalloxide (z.B. V<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) gelang bis jetzt erst aus nicht völlig wasserfreien organischen Lösungsmitteln.

Für diese Arbeiten ist die Ionenbewegung in Festkörpern von grosser Bedeutung. Im Projekt **Ionen-Beweglichkeit in Festkörpern und Super-Ionenleitfähigkeit** [5] soll abgeklärt werden, wie weit die Ionenbeweglichkeit mit **Neutronen-Streu-Untersuchungen** quantitativ erfasst werden kann.

Das Hauptziel des Projektes **Neuartige Membranen für saure Brennstoffzellen und Wasserelektrolyseure** [9] ist die Herstellung solcher Membranen. Im vergangenen Jahr musste jedoch für den Test der Membranen auch eine beträchtliche Arbeit in Richtung Zellenengineering geleistet werden. Die durch Strahlenpfropfung hergestellten Membranen konnten nun erstmals in einer Grösse von 13 x 13 cm hergestellt und in kleinen Brennstoffzellen getestet werden (siehe Titelseite). Wichtige Engineeringprobleme waren dabei das Aufbringen des Katalysators auf die Membrane und dessen Kontaktierung für die Stromableitung. Die erhaltenen Daten (siehe Legende zum Titelbild) sind in Anbetracht der noch nicht optimierten Kontaktierung und der einfachen Herstellungsmethode des Membran/Elektrodenverbundes erfreulich. Ermutigend ist vor allem auch die Tatsache, dass die neu hergestellten Membranen eine bessere Ionenleitfähigkeit haben als die kommerziell erhältliche, aber sehr teure Nafion-Membran.

Ein Teil der Arbeiten in Richtung **Methanol-Brennstoffzelle** [13] wurde teilweise bereits erwähnt. Es konnten in diesem Projekt zumindest einige Teilerfolge erreicht werden, so zum einen der oben erwähnte Katalysator und zum anderen eine 1-2 µm dicke Palladium/Silber-Membran, die nun erstmals auch als Wasserstoffelektrode getestet werden konnte. Die dabei erzielten Resultate sind ermutigend, bedürfen aber einer weiteren Bestätigung. Diese beiden Teilerfolge sind auch für andere Projekte von Interesse (der Katalysator für die Metall/Luft-Batterien und die Membran für die Wasserstoffabtrennung beim Methanol- oder Erdgasreformingprozess).

Der Weg bis zu einer funktionierenden **Methanolbrennstoffzelle** ist aber noch sehr weit, und es dürfte bei den beschränkten Mitteln sinnvoll sein, wenn in Zukunft nur noch die erwähnten erfolgreichen Teilprojekte weiterverfolgt werden.

### 3. Internationale Zusammenarbeit

Obwohl mehrere internationale Kontakte angeknüpft wurden, konnte das Projekt der Internationalen Energie-Agentur *Polymer Electrolyte Fuel Cells* unter der Leitung Kanada noch nicht gestartet. Es bestehen gute Aussichten, dass das Projekt **Membranen für Brennstoffzellen** demnächst im Rahmen eines Joule-Programms weitergeführt werden kann. Bereits jetzt besteht innerhalb dieses Projektes eine Zusammenarbeit 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 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 Electrochemistry* der *Federation of European Chemical Societies* zu fördern versucht. Im Rahmen dieser Tätigkeit wurde eine Adressliste der Forschergruppen und eine Namenliste der Forscher, welche auf dem Gebiet der elektrochemischen Energiespeicherung arbeiten, zusammengestellt. Es bestehen auch gute persönliche Kontakte mit regem Informationsaustausch mit den Programmleitern des *Technology Base Research Project* des elektrochemischen Forschungsprogramms, welches vom U.S. DOE unterstützt wird. Der internationale Kontakt wird auch durch die Organisation von Symposien gefördert.

### 4. Umsetzung der Ergebnisse

Die Resultate wurden in Form von Publikationen, durch die Organisation von vier Workshops, einem Minisymposium und mehreren Exponaten an der HEUREKA, sowie einer Sitzung mit möglichen industriellen Partnern dem interessierten Publikum zur Kenntnis gebracht.

### 5. Geplante Forschungsarbeiten 1992

Das Programm wird in etwas gestraffter Form entsprechend den im Kapitel 1 erwähnten Zielsetzungen weiterverfolgt. Zurzeit werden mit der einheimischen Industrie die Möglichkeiten sinnvoller P&D - Programme diskutiert. Zur Diskussion steht die Weiterentwicklung der Metallhydrid / NiOOH-Batterie, der Zn / Br<sub>2</sub> -Batterie und des bipolaren Bleiakkus.

### 6. Liste der Projekte

- [1] E. Schmidt, UNI - Bern: **Elektrochemische Impedanz - Spektroskopie an stromleitenden und Redox - Polymeren.** (JB)
- [2] H. Siegenthaler, UNI - Bern: **In-situ Rastertunnelmikroskopie an nichtmetallischen Elektrodensubstraten.** (JB).
- [3] O. Haas, R. Kötzt, PSI - Villigen: : **Charakterisierung von leitenden Polymeren und Redoxpolymeren** (NF 20.5424.87). (JB)
- [4] H. Kiess, PSI - Zürich: **Simultanuntersuchungen der optischen Absorption und der Voltammogramme von leitenden Polymeren und Redoxpolymeren.** (JB)
- [5] W. Bühner, ETH - Zürich: **Ionen-Beweglichkeit in Festkörpern und Super-Ionenleitfähigkeit: Neutronen-Streu-Untersuchungen zum mikroskopischen Verständnis** (NEFF 478). (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 Wasserelektrolyseuren.** (JB)
- [10] O. Haas und J. Desilvestro, PSI - *Villigen*: **Stromspeicherung mit elektrochemischen Aluminium-Zellen (NEFF 382).** (JB)
- [11] F.P. Emmenegger, UNI - *Fribourg*: **Beeinflussung des Redoxpotentials 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 und T. Allmendinger, ETH - *Zürich*: **Alkalische Methanol/Luft-Brennstoffzelle.** (JB)
- [14] M. Koudelka, UNI - *Neuchâtel*: **Préparation et caractérisation de catalyseurs dispersés dans des couches de polymères conducteurs.** (JB)
- [15] J. Augustynski, UNI - *Genève*: **Fixation de l'azote moléculaire par réduction électrochimique.** (JB)
- [16] H. Grüniger, ETH - *Zürich*: **Elektrolytische Kohlendioxidreaktion.** (JB)
- [17] B. Kräutler, ETH - *Zürich*: **Elektrophile, monomere und dimere Metalloporphyrine als Oberflächenkatalysatoren.** (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* und E. Deiss, PSI-*Villigen*: **Numerische Simulation elektrochemischer Prozesse an Redoxpolymer-Elektroden.** (JB)
- [21] J. Desilvestro, PSI - *Villigen*: **Einlagerung von Mg<sup>2+</sup> aus nichtwässrigen Medien in Metalloxide.** (JB)

(JB) Jahresbericht 1991 vorhanden

## 7. Referenzen

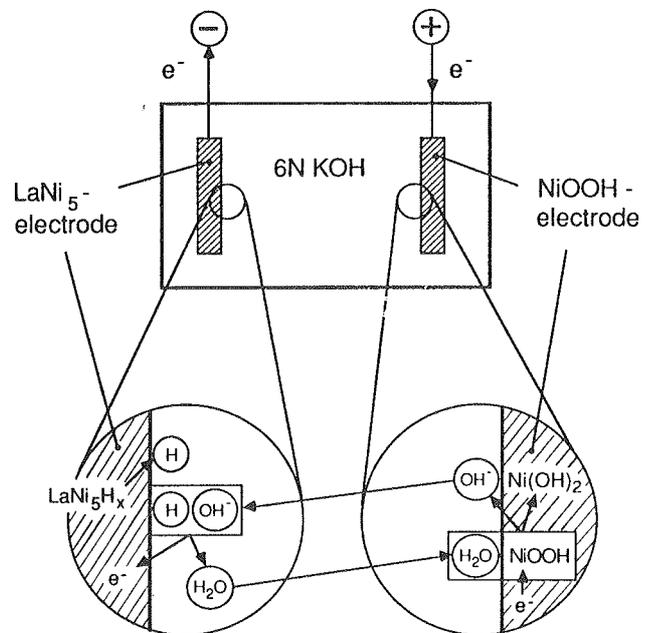
- [22] O. Haas und R. Kötz, PSI - *Villigen*: **Schweizerisches Energieforschungsprogramm Elektrochemie, Chimia 44 (1990) 283-287.**
- [23] J. Desilvestro, F. Holzer, S. Müller und O. Haas, PSI - *Villigen*: **Aluminiumbatterien, NEFF 382 / PSI - Bericht Nr. 94 (April 1991).**



# WASSERSTOFF

Überblicksbericht  
zum Forschungsprogramm 1991

Programmleiter : Thomas H. Schucan



## Wasserstoffspeicher

Wasserstoffspeichernde Metall-Legierungen (Metallhydride) können als Elektroden in wiederaufladbaren Batterien verwendet werden, die umweltschädigende Cadmium-Elektrode ersetzen und dabei erst noch die spezifische Kapazität erhöhen.

*Links* : Rasterelektronenmikroskopische Aufnahme von  $\text{LaNi}_5$  (5000x).

*Rechts* : Schema der Metallhydridbatterie (aus dem Projekt "Metallhydridelektroden" der Forschungsgruppe Festkörperphysik der Universität Fribourg).

## 1. Anvisierte Zielpunkte für 1991

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 auf dem Gebiet der Wasserstofftechnologie. Davon ausgehend wurden für das schweizerische Energieforschungsprogramm **WASSERSTOFF** die folgenden drei Schwerpunkte gesetzt :

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

Summarisch wurden für 1991 folgende Ziele für die drei Schwerpunktsbereiche gesetzt :

Im Schwerpunktsbereich **Druck-Elektrolyseur** sollten die 1989 bzw. 1990 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) bzw. auf einem höheren Temperatur-Niveau (100° bis 150°C) erzeugt wird, abgeschlossen werden. Von beiden Verbesserungen wird eine deutliche Erhöhung der energetischen Gesamteffizienz und eine Vereinfachung der Gesamtsysteme erwartet.

Im Schwerpunktsbereich **Speicherung** steht die Untersuchung der Möglichkeit einer Metall-Hydrid-Elektrode im Vordergrund. Eine solche Elektrode bildet die Grundlage für die Konstruktion einer wiederaufladbaren Nickel-Hydrid-Batterie. Diese wiederum kann die heute wegen ihrer Giftigkeit unter Beschuss geratenen Nickel-Cadmium-Batterien ersetzen. Die 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 Wasserstoffgehalt 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 Gesamtsysteme zuzuordnen ist.

Das Ziel für das Programm 1991 im Schwerpunktsbereich **Gesamtsysteme** bestand in Vorbereitung und Beginn der Durchführung von zwei Wasserstoff-Energie-Nutzungs-Systemen verschiedener Art und Grösse. Die beiden in diesem Bereich 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 *Wasserstoffantrieb von fünf Autobussen* in einer Schweizer Stadt demonstriert wird.

Ein wesentliches Jahresziel für diesen Bereich war der Beginn des vom PSI 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 1991

In Übereinstimmung mit der Planung wurden im Berichtsjahr lediglich zwei neue Projekte ins Programm aufgenommen. Die wichtigsten der 1991 durchgeführten Arbeiten und die erreichten Resultate werden in den folgenden Abschnitten nach Schwerpunkten geordnet zusammengestellt.

Im Rahmen der schweizerischen Forschungsausstellung HEUREKA wurden zahlreiche Experimente zum Thema Wasserstoff ausgestellt, die meisten davon durch Forschungsgruppen und Firmen, welche am BEW-Programm Wasserstoff beteiligt sind.

### Erzeugung von Wasserstoff

Von der Firma METKON, Mendrisio, wurde untersucht [1], 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. Die im Vorjahr durchgeführten Prüfungen der mechanischen Widerstandsfähigkeit verschiedener Zellmaterialien wurden ergänzt durch die Entwicklung der für die Zellverstärkung notwendigen *Filament Winding* - Technik. Zusätzlich zu den hydraulischen Berstdruck-Versuchen wurde die wesentlich anspruchsvollere Prüfung der Zellen durch zyklische Drucktests durchgeführt. In Übereinstimmung mit den amerikanischen Normen für mit Fiberglas verstärkte Kunststoff-Druckbehälter wurde dabei der Druck in schnellem Wechsel 33'000 mal zwischen 1 bar und 30 bar variiert. Zum Abschluss des Projektes wurde ein vollständiger Zellmodul (mit einer elektrischen Leistung von 5 kW) gebaut und in Langzeitversuchen (3 bis 15 Tage) bei 80°C und 30 bar erfolgreich erprobt. In einem zweiten Projekt [2] wurde die im Vorjahr begonnene Untersuchung verschiedener Zellmaterialien im Hinblick auf ihre Verwendbarkeit bei höheren Temperaturen (100° bis 150°C) weitergeführt. Neben der bisher vor allem untersuchten Permeabilität und der Porosität wurde vor allem der elektrische und der thermische Widerstand für verschiedene Zell-Diaphragmata gemessen. Die erwartete Abnahme der Zellspannung mit steigender Temperatur wurde experimentell bestätigt und hat eine Verbesserung der energetischen Effizienz zur Folge. Aufgrund dieser Messungen konnte die Materialauswahl für eine Demonstrationsanlage getroffen werden, welche anfangs 1992 erstellt werden wird.

Im Rahmen des weiter unten erwähnten Demonstrationsprojektes der ATEL wird für die Elektrolyse die von BBC 1987 gebaute erste Anlage in MEMBREL-Technik eingesetzt. Die Anlage wurde im Januar von ihrem früheren Standort (STELLRAM AG in Nyon) nach Niedergösgen verlegt. Die vor der Wiederinbetriebsetzung notwendige Revision der Zellenblöcke (Austausch der Membranen und Kathoden) wurde im Rahmen eines vom KWF unterstützten Forschungsprogramms vom PSI durchgeführt. Im Sommer 1991 konnte die Elektrolyseanlage wieder installiert und in Betrieb genommen werden.

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

Im Berichtsjahr wurden die Untersuchungen zur *Verminderung der an Metallhydridelektroden auftretenden Korrosion* weitergeführt [4]. Ziel dieses Forschungsvorhabens ist es, Prototypen von korrosionsbeständigen Metallhydridelektroden für reversible Batterien zu entwickeln. Dazu wurde die Korrosionsbeständigkeit der hydridbildenden Legierung mit oberflächenanalytischen Methoden in Vakuum und mit elektrochemischen Methoden im KOH-Elektrolyten untersucht. Zudem wurden verschiedene Möglichkeiten des Kompaktierens des Metallhydridpulvers getestet. Die erarbeiteten Ergebnisse wurden zur Weiterentwicklung der Legierung eingesetzt, und es gelang so, korrosionsbeständigere Legierungen mit nur noch 2.5 % Kapazitätsverlust pro 100 Zyklen herzustellen.

In einem weiteren Projekt [5] wurden 23 **neue Metallhydrid-Verbindungen** gefunden und hergestellt, die jeweils aus drei oder vier verschiedenen Elementen zusammengesetzt sind. 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). Ihre Kristallstruktur wurde mit röntgenkristallographischen Methoden bestimmt. Mit der Messung der für die praktische Eignung dieser Metallhydride für die Speicherung von Wasserstoff wichtigen thermischen Stabilität konnte gegen Ende des Berichtsjahres begonnen werden.

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. Die Reproduzierbarkeit der im Vorjahr durchgeführten Labormessungen an verschiedenen Katalysatoren für diese Umwandlung wurde in industrieller Umgebung überprüft [6]. Die Bestätigung der Laborresultate durch Messungen an einer im industriellen Betrieb stehenden Wasserstoff-Verflüssigungsanlage (in Kanada) wurde verzögert, weil die Anlage durch den Kunden erst Ende 1991 bei auslegungsnaher Last in Betrieb genommen werden konnte.

In Bezug auf das vor allem in der Schweiz entwickelte Speicherkonzept (flüssige organische Hydride) wurden weitere Messungen mit **Palladium-Silber-Membranen** durchgeführt [7]. Sie haben in einigen Fällen zu einer deutlichen Verbesserung (im besten Falle von 70 % auf 94 %) der Wasserstoff-Ausbeute geführt. Die in anderen Fällen festgestellte Verschlechterung durch die verschiedenen Reaktionsprodukte konnte weitgehend durch einfache zusätzliche Behandlung rückgängig gemacht werden. In allen Anlagen für die Freisetzung von Wasserstoff durch chemische Reaktionen spielt neben Auswahl, Anordnung und Behandlung der Katalysatoren vor allem die Tatsache eine wesentliche Rolle, dass relativ grosse Wärmemengen in kurzer Zeit der Reaktionszone zugeführt werden müssen. In einem weiteren Projekt [8] wurde deshalb untersucht, wie weit die **Wärmeübertragungskoeffizienten** dadurch *verbessert* werden können, dass die innere Oberfläche der Reaktor-Röhren durch Rippen vergrößert wird. Erste Resultate zeigten Verbesserungen um 20-30 %, was in Anbetracht des Projektziels von 50 % als gutes Zwischenresultat bezeichnet werden kann.

In einem neuen, Ende 1991 begonnenen Projekt [9] wird untersucht, ob Wasserstoff in einem **quasi-flüssigen Medium** gespeichert werden kann, indem eine Grobsuspension aus metallischem Magnesium und einer wärmeleitenden Flüssigkeit mit Wasserstoff unter Druck und bei erhöhter Temperatur zu Magnesium-Dihydrid umgewandelt wird. Auf diese Weise liesse sich der Wasserstoff leichter als Ersatztreibstoff verwenden, weil der Tankvorgang erheblich erleichtert werden könnte.

Die *Hydrierung von Abfall-CO<sub>2</sub> zu Methanol* als Wasserstoff speichernde Reaktion und das dazu gehörende Umfeld (z.B. die Bereitstellung von CO<sub>2</sub> in ausreichender Reinheit) wurde im Rahmen des Forschungsprogramms THERMOCHEMIE und in einem vom NEFF unterstützten Projekt untersucht. Vom PSI wurde im Berichtsjahr ein Grossprojekt zur Verwertung von Abfallbiomasse angeregt. Das Ziel des Projekts ist die Umwandlung von Biomasse über die Vergasung mit Sauerstoff und Dampf in den flüssigen Energieträger Methanol. Berührungspunkte mit dem Programm WASSERSTOFF ergeben sich durch die längerfristig vorgesehene Koppelung des Prozesses mit der Wasserelektrolyse. Über die Konversion zu Methanol könnten *in einer Tonne trockener Biomasse (z.B. Holz) bis zu 150 kg Wasserstoff gespeichert* werden. Das Ziel des Projekts ist eine Demonstrationsanlage für die *Biomasseumwandlung in Methanol* bis zum Ende des Jahrhunderts. Das PSI wird im kommenden Jahr mit einer Reihe von externen Partnern in die erste Phase des Projekts (Machbarkeit) einsteigen.

## Nutzung von Wasserstoff und Gesamtsysteme

Das im Berichtsjahr abgeschlossene Projekt **Wasserstoff-Solarmobil** [10] hatte zum Ziel, erstmals ein kleines Experimentalfahrzeug mit ausschliesslich solar hergestelltem Wasserstoff zu betreiben, mit ähnlichen, rein elektrisch betriebenen Fahrzeugen zu vergleichen und das ganze System öffentlich zu demonstrieren. Der gewählte Lösungsweg war :

Solarzellen ⇒ Druckelektrolyseur ⇒ Druckspeicher ⇒ Verbrennungsmotor ⇒ Reibradgetriebe ⇒ Räder

Drei Probleme wurden erkannt, welche spezifisch auf die Koppelung des Solarstroms mit dem Druckelektrolyseur zurückzuführen sind. Sie werden in einem Folgeprojekt näher untersucht.

In bezug auf das Fahrzeug zeigte sich, dass die Fahrleistungen im Vergleich zu ähnlichen Solarfahrzeugen recht bescheiden sind und der Wirkungsgrad sehr viel schlechter ist. Trotzdem ist die erzielbare Reichweite pro Ladung bis zwei Mal grösser. Es wurde gezeigt, dass sich die Reichweite mit optimierten Kunststoffdruckflaschen nochmals um einen Faktor 4 vergrössern lässt, und beschrieben, wie sich der Gesamtwirkungsgrad mit einem Hybridkonzept auf akzeptable Werte vergrössern liesse.

Die für die Weiterentwicklung des Schweizer Speicherkonzepts notwendigen Arbeiten an der Verbesserung der mit **Wasserstoff betriebenen Verbrennungsmotoren** [11] haben im Berichtsjahr infolge des unerwarteten Ausfalls eines wichtigen externen Mitarbeiters eine wesentliche Verzögerung erlitten. Gegen Ende des Jahres konnte mit dem Bau des Prüfstandes begonnen und der für den Umbau vorgesehene Motor spezifiziert werden.

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: Das eine betrifft die Weiterentwicklung des am Paul Scherrer Institut in Zusammenarbeit mit der ETH Zürich und mit der Privatindustrie entwickelten **Wasserstoff-Lastwagens**. Die neue, verbesserte und verkleinerte Dehydrieranlage für den Betrieb des Lastwagens wurde fertiggestellt und auf dem Lastwagen installiert. Darin sind auch die am PSI neu entwickelten katalytischen Wasserstoffbrenner enthalten. Ende 1991 wurde mit den ersten stationären Tests begonnen. Zum zweiten wurde in einem Vorprojekt ein konkreter Vorschlag unterbreitet, wie der für die Wettersonden-Ballone in Payerne benötigte Wasserstoff mit Hilfe von solar erzeugtem Strom aus Wasser hergestellt werden könnte, anstatt wie bisher aus Gas-Druckflaschen. Der von der Elektrowatt Ingenieurunternehmung vorgelegte Vorschlag für eine autonome solare Erzeugung wurde Ende 1991 akzeptiert und der Bau der kompletten Anlage ist für 1992 vorgesehen.

### 3. Internationale Zusammenarbeit

In der Internationalen Energie-Agentur (IEA) werden zurzeit im Bereich Wasserstoff zwei Projekte durchgeführt. In beiden, **Wasserstoffherzeugung und Speicherung, Umwandlung und Sicherheit** ist die Schweiz mit Projekten aus den Programmen PHOTOCHEMIE und WASSERSTOFF aktiv beteiligt.

Im März 1991 wurde die Phase 2 des von der EG initiierten internationalen Demonstrationsprojekts abgeschlossen, in welchem Wasserstoff in Kanada erzeugt und zum Zweck der energetischen Nutzung in Europa über den Atlantik transportiert werden soll. Darin wurde unter anderem festgestellt, dass die Mehrzahl der im Raume Hamburg vorgesehenen Benutzer den Wasserstoff in flüssiger Form einzusetzen wünscht. Deshalb wurde für eine eventuelle zukünftige Realisierung des Gesamtprojekts vorgeschlagen, auch für den **transatlantischen Transport** nur flüssigen Wasserstoff vorzusehen. Damit ist auch die Beteiligung der Schweiz an diesem Demonstrationsprojekt [12] abgeschlossen. Weiterhin sind dagegen sowohl die Firma METKON SA als auch das PSI mit direkten Forschungsaufträgen im Rahmen des von der EG finanzierten Begleitprogramms aktiv.

Mit den Arbeiten zum oben erwähnten, vom PSI gemeinsam mit DAIMLER-BENZ ins europäische Forschungsprogramm EUREKA eingebrachten Projekt *HYPASSE* wurde im Berichtsjahr plangemäss begonnen. Die vorgesehene Partnerschaft einer englischen Firma am Projekt musste leider wegen der durch die englische Regierung gestellten unrealistischen Randbedingungen nachträglich widerrufen werden.

Auch im Bereich der Erzeugung von Wasserstoff werden die in der Schweiz stattfindenden Entwicklungen international mit grossem Interesse verfolgt. Die Firma METKON SA hat im Berichtsjahr einige 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 Programms 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 Metallhydrid-Batterien in einem bisher allein von einem Hochschulinstitut 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 Programm WASSERSTOFF, Demonstrationsanlagen in Funktion oder im Bau sind. Insbesondere ist hier das **Wohnhaus Friedli** in Zollbrück zu erwähnen, welches besonders auch international viel Beachtung findet. Dort wird Wasserstoff durch Nutzung von *Sonnenenergie erzeugt*, gespeichert, und *für den Hausbetrieb* (Kochherd, Waschmaschine) *genutzt*. Im Berichtsjahr wurde das gesamte System weiter verbessert und insbesondere wurde zusätzlich ein Fahrzeug auf Wasserstoffantrieb eingerichtet und in Betrieb genommen.

Die Firma ATEL hat in einer **Wasserstoff-Demonstrationsanlage** eine vollständige Kette von Erzeugung bis Nutzung implementiert. Neben der mit Hilfe des PSI instandgestellten *MEMBREL-Elektrolyse-Anlage* (mit einer Produktionsleistung von 100 kW, bzw. 20 Normkubikmeter Wasserstoff pro Stunde), *Gasreinigung und -kompression* auf 200 bar und den entsprechenden *Speichertanks* ist auch eine *Brennstoffzelle* installiert worden, in welcher der Wasserstoff mit einer Leistung von 3 kW in elektrischen Strom umgesetzt wird. Der reguläre Betrieb wird 1992 aufgenommen.

## 5. Geplante Forschungsarbeiten 1992

Für vier der Ende 1991 kurz vor dem Abschluss stehenden Projekte (Elektrolyse, Metallhydrid-Elektroden, Ortho-Para-Konversion, Wärmeüberganskoeffizienten) ist eine Weiterführung vorgesehen. Ueber die genauen Zielsetzungen wird nach Vorliegen der Schlussberichte und Folge-Anträge entschieden werden.

Drei Projekte, [7, 8, 11], 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 1992 eine wesentliche Unterstützung durch den NEFF bewilligt worden. In diesem Zusammenhang wird auch die für die Elektrizitätswirtschaft interessante Frage näher untersucht werden, inwiefern sich die in der Schweiz entwickelte Methode der Speicherung in organischen Hydriden für stationäre Sommer-Winter-Speicherung und Wiederverstromung eignet.

Eine Erweiterung des Programms um Membranentwicklung für Brennstoffzellen ist in Anbetracht der möglichen Einbindung in das europäische JOULE-Programm in hohem Masse wünschenswert und wird zu Beginn des Jahres 1992 zur Entscheidung kommen.

## 6. Liste der Projekte

- [1] G.C. Sioli, METKON SA, *Mendrisio*: **Zellen für Hochdruck-Wasserelektrolyse.** (JB)
- [2] G.C. Sioli, METKON SA, *Mendrisio*: **Zellen für Hochtemperatur-Wasserelektrolyse.** (JB)
- [3] G.C. Sioli, METKON SA, *Mendrisio*: **Sunlyzer (Phasen 1 bis 3).** (JB)
- [4] L. Schlapbach, UNI - *Fribourg*: **Metallhydride als Elektroden in Batterien.** (JB)
- [5] K. Yvon, UNI - *Genève*: **Synthèse et caractérisation de nouveaux hydrures métalliques ternaires et quaternaires.** (JB)

- [6] B. Ziegler, SULZER AG, *Winterthur*: **H<sub>2</sub> Ortho-Para-Konversion.** (JB)
- [7] D.W.T. Rippin, ETH - *Zürich*: **Experimental Investigation of Multimetallic Catalysts for Hydrogen Storage Reactions including Membrane Reactors to reduce Equilibrium Restrictions.** (JB)
- [8] E. Newson, PSI - *Villigen*: **Messung von Wärmeübergangskoeffizienten in Reaktor-Rohren mit und ohne Rippen.** (JB)
- [9] K. Marti, IS - *Burgdorf*: **Quasi-flüssige Metallhydride als Wasserstoffträger für Automobile.** (JB)
- [10] G.C. Sioli, METKON SA, *Mendrisio*: **Wasserstoff-Solarmobil.** (JB)
- [11] J. Jäger, LARAG AG, *Wil*: **Weiterentwicklung des Wasserstoff-Motors für das MTH-System.** (JB)
- [12] Th. H. Schucan, PSI - *Villigen*: **Beteiligung der Schweiz am 'Euro-Québec-Hydro-Hydrogen Pilot Project'.** (JB)

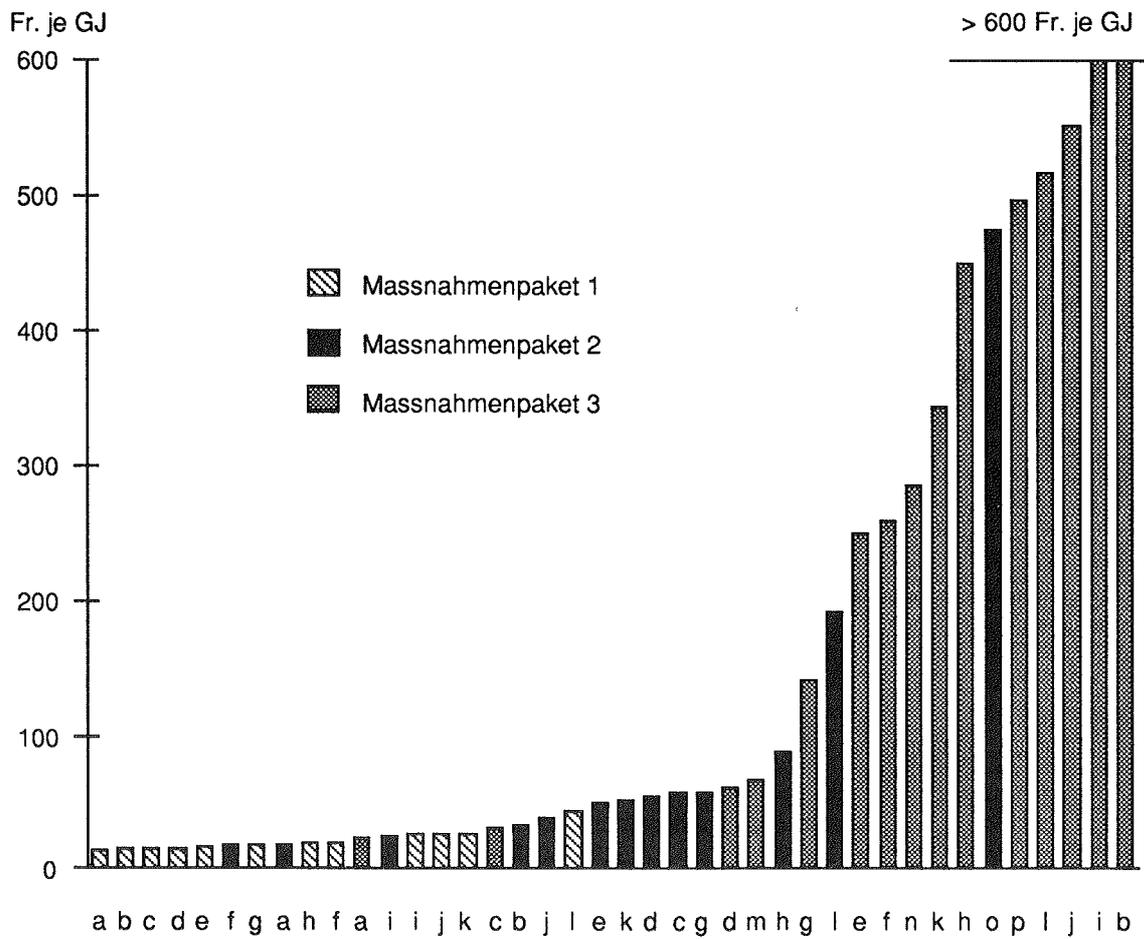
(JB) Jahresbericht 1991 vorhanden



# SOZIOÖKONOMIE

Überblicksbericht  
zum Forschungsprogramm 1991

Programmleiter : Walter Baumgartner



## Energiesparkosten im Raumwärme- und Warmwasserbereich für fossil beheizte Gebäude

Die Grafik zeigt die Kosten von verschiedenen Energiesparmassnahmen (*Massnahmenpakete 1, 2 oder 3*) bezogen auf die eingesparte Energie für 16 (*a bis p*) verschiedene Gebäudetypen. Dabei wird ein Realzinssatz von 1.5 % p. a. unterstellt. (Quelle: Basler & Hofmann)

## 1. Programmziele

Verschiedene *klassische* Forschungsrichtungen machen in ihrer Kombination das Thema der sozio-ökonomischen Energieforschung aus: Psychologische, soziale, ökonomische, statistische, ökologische und technisch-ökonomische Fragen werden untersucht. Die Fülle der angeschnittenen Themenkreise bringt Abgrenzungsprobleme mit sich, sei es in bezug auf die Forschungsanstrengungen anderer Bundesämter, sei es in bezug auf die übrige vom Bundesamt für Energiewirtschaft (BEW) getragene, vorwiegend technisch orientierte Forschung; denn sozio-ökonomische Aspekte sind häufig von Belang. Was ein Thema der sozio-ökonomischen Energieforschung ist und was nicht, kann nicht ein für allemal entschieden werden, sondern nur im Einzelfall. Im übrigen dient das sozio-ökonomische Energieforschungsprogramm auch als Plattform für solche Themen, die in andern BEW-Programmen kein geeignetes Gefäss finden.

Im Rahmen des sozio-ökonomischen Energieforschungsprogrammes werden neben aktuellen Problemen auch Fragestellungen angegangen, die über die unmittelbare Aktualität hinausweisen. Idealerweise stehen Forschungsergebnisse zu bestimmten Themen dann zur Verfügung, wenn sie von der Politik *gebraucht* werden und nicht erst geraume Zeit später. Selbstverständlich wird sich die energiepolitische Aktualität der Forschungsplanung (vergl. das Konzept der sozioökonomischen Energieforschung [27]) immer wieder entziehen.

## 2. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse 1991

Wie im letzten Jahr bildeten die Untersuchungen über Möglichkeiten und Auswirkungen verschiedener energiepolitischer Strategien zur Stabilisierung oder Reduktion der energiebedingten CO<sub>2</sub>-Emissionen einen deutlichen Schwerpunkt. Ein weiterer Bezug zur energiepolitischen Aktualität ergab sich durch Studienaufträge über Fragen der Erfolgskontrolle im Rahmen des Aktionprogramms ENERGIE 2000 (vergl. [28]) und des Energiepolitischen Programms BUND/KANTONE (vergl. z. B. [29]). Gesamthaft wurden - von Kleinaufträgen abgesehen - 1991 zwölf neue Studienaufträge erteilt.

Die thematische Gliederung der folgenden Uebersicht über die durchgeführten Arbeiten und Ergebnisse 1991 folgt derjenigen des Konzeptes der sozio-ökonomischen Energieforschung.

### Daten

Die Verfügbarkeit guter und aktueller energie- und umweltbezogener Daten ist für viele Themen der sozio-ökonomischen Forschung zentral. Solange es sich um "klassische" Statistik-Daten (Wohnbevölkerung, Bruttoinlandprodukt, Gesamtenergieverbräuche, etc.) handelt, ist die Situation in der Schweiz recht gut, bezüglich Verbrauchssektoren eher schlecht.

Ein erstes Projekt [1] hat zum Ziel, die Entwicklung des Stromverbrauchs 1975 - 1985 im Dienstleistungssektor der Stadt Zürich im Detail zu analysieren und modellmässig zu erklären. Die Bestimmungsfaktoren für den Stromverbrauch in den einzelnen Wirtschaftsbranchen sind vielfältig und nur teilweise quantifizierbar. Im Berichtsjahr wurden die Branchen *Banken, Spitäler und Heime, Warenhäuser und Lebensmittelläden* anhand identifizierter Bezüger untersucht. 1992 soll nun versucht werden, die beobachtete Entwicklung mit einigen wenigen Bestimmungsfaktoren näherungsweise zu erklären.

Mit dem inzwischen abgeschlossene Projekt *Gebäudepark Schweiz* [2] wurden die Grundlageninformationen über den Verbrauch fossiler Energieträger zu Heizzwecken (inkl. Warmwasserbereitstellung) deutlich verbessert. Damit ist es unter anderem möglich, verschiedene künftige Entwicklungen der CO<sub>2</sub>-Emissionen anhand von vorgegebenen, nach verschiedenen Gebäudetypen differenzierten und frankenmässig bewerteten Massnahmenpaketen (vergl. Projekt [11]) abzuschätzen.

In ökologischen Bilanzbetrachtungen spielt die Umweltbelastung durch die Energiebereitstellung und den Energieverbrauch eine zentrale Rolle. Bisher gibt es für die wichtigsten Energieketten und -prozesse keine auf die schweizerischen Verhältnisse zugeschnittene, nach einheitlichen Kriterien erarbeitete Datenbasis. Im Rahmen eines mehrjährigen, vom BEW mitfinanzierten Projektes [3] wird eine detaillierte, quantitative Uebersicht über die in Boden, Wasser und Luft emittierten (Schad-)Stoffmengen sowie der beanspruchten Ressourcen und weiteren Umweltfaktoren pro Einheit Energie ermittelt.

Energie- und Stoffbilanzen von Bauteilen und Gebäuden sind das Thema einer weiteren Studie im Energie- und Oekobilanzbereich [4]. Ausgehend von Arbeiten über den Energieaufwand und die Umweltbelastung von Niedrigenergiehäusern werden die Energie- und Stoffflüsse von Bauteilen und Gebäuden während ihrer gesamten Lebensdauer (von der Produktion bis zur Entsorgung) ermittelt. Im Berichtsjahr wurde ein Entwurf für einen Leitfaden zur Erstellung von Energie- und Stoffbilanzen erarbeitet und anlässlich eines Workshops [5] interessierten Fachleuten vorgestellt. Der Leitfaden enthält Bilanzierungsgrundlagen und Vorgehensvorschläge und soll nach einer Ueberarbeitung für weitere Aufträge des Bundes im Energie- und Oekobilanzbereich als methodische Richtschnur dienen und die Verbreitung des Instrumentes fördern. Der erwähnte Workshop war die erste nach aussen gerichtete Aktivität einer Arbeitsgruppe mit Vertretern von AFB, BEW, BFK und BUWAL zur Koordination der Forschungsanstrengungen des Bundes im Energie- und Oekobilanzbereich.

Schliesslich beteiligt sich das BEW an einem mehrjährigen Projekt zur Untersuchung des Zusammenhangs zwischen Treibhausgasen und Klima mittels Analysen von polaren Eiskernen [6].

## Modelle und Perspektivrechnungen

Als Grundlage für die Erarbeitung von CO<sub>2</sub>-Perspektiven wurden neue Energienachfrage-Perspektiven erstellt [7]. Unterschiedliche Annahmen über die volkswirtschaftlichen Rahmenbedingungen und die unterstellten energiepolitischen Massnahmen zeigen, wo die *Fixpunkte* der künftigen Entwicklung liegen und wo und in welchem Umfang ein energiepolitischer Handlungsspielraum besteht. Der Abschluss der Arbeiten ist bis Mitte 1992 geplant.

Für die CO<sub>2</sub>-Bilanzierung der Elektrizität unter Berücksichtigung des Aussenhandels wurden einfache Knotenmodelle entwickelt [8]. Damit können verschiedenen Bilanzierungsansätze für die Quantifizierung der elektrizitätsbedingten CO<sub>2</sub>-Emissionen durchgerechnet werden. Die Arbeiten werden anfangs 1992 abgeschlossen.

Energienachfrage-Modelle verlangen eine fortlaufende Aktualisierung (Berücksichtigung neuer Inputdaten, Ueberarbeitung von modellmässigen Zusammenhängen). Im Hinblick auf eine direkte (Teil-)Anwendung dieser Modelle durch das BEW selbst müssen diese auch bezüglich ihrer Benutzerfreundlichkeit überarbeitet werden. Ein Auftrag betrifft die Aktualisierung und Ueberarbeitung der ökonomischen Modelle, ein anderer die Entwicklung einer benutzerfreundlichen Version des technisch-ökonomischen *Bottom-up*-Energiemodells der Universität Genf [9, 10].

Ende 1990 wurde von der Universität Genf ein Workshop über methodische Fragen von Energiemodellen durchgeführt. Die Beiträge sind nun in einem Tagungsband publiziert worden [30].

## Kosten- und Wirtschaftlichkeitsanalysen

In diesem Themenbereich werden Untersuchungen zur Erarbeitung von ökonomischen Grundlagen zusammengefasst.

Als Input zum Projekt **Gebäudepark Schweiz** (vergl. [2]) wurden bezogen auf das Referenzjahr 1990 die Energiesparkkosten im Wärmebereich für Haushalte und Dienstleistungen ermittelt und der eingesparten Energie gegenübergestellt [11]. Dabei gingen insgesamt 20 Gebäudetypen und jeweils bis zu drei Massnahmenpakete in die Rechnung ein. Die Arbeiten für fossil beheizte Häuser sind abgeschlossen; zur Zeit werden in methodisch gleicher Weise die Energiesparkkosten für elektrisch beheizte Häuser ermittelt.

Das Auftreten von negativen Externalitäten gehört zu den wichtigsten Beweggründen für staatliche Eingriffe im Energiebereich. Insofern diese Externalitäten als Emission in Erscheinung treten, werden sie im Rahmen der Energieforschung des BEW durch Projekte im Energie- und Oekobilanzbereich abgedeckt (vergl. [4, 5]). Ueber

die mit diesen Emissionen verbundenen Kosten (etwa durch die damit verursachten Schäden) wird nichts ausgesagt. Zur Zeit wird eine grössere Studie vorbereitet, mit welcher für die wichtigsten Energiesysteme im Gebäudebereich die externen Kosten quantitativ ermittelt werden sollen. In Ergänzung dazu wird im Rahmen einer Vorstudie [12] zur Zeit abgeklärt, inwiefern in bestimmten Bereichen der energiebedingten Externalitäten über Zahlungsbereitschaften Hinweise auf die Grösse von externen Kosten gewonnen werden könnten.

Je nach Resultat dieser Vorabklärungen ist die Durchführung einer grösseren empirischen Untersuchung zur Ermittlung von Zahlungsbereitschaften vorgesehen.

## Massnahmen

Bei der Untersuchung von energiepolitischen Massnahmen stehen folgende Fragen im Vordergrund: Wie sehen die Massnahmen konkret aus? Wie sollen sie eingeführt werden? Mit welchen Wirkungen und Nebenwirkungen ist zu rechnen?

Zwei Studien haben technische, organisatorische und vollzugsorientierte Fragen im Zusammenhang mit einer möglichen Limitierung des spezifischen Treibstoffverbrauchs von Personenwagen zum Gegenstand [13, 14]. Die Arbeiten sollen bis Mitte 1992 abgeschlossen sein.

Weitere Studien im Verkehrsbereich beschäftigten sich mit den CO<sub>2</sub>-Emissionen [15]. Sie sind zum Teil auch als Fallbeispiele im Rahmen der IEA-Studie *Energy and Environment: Responses in the Transport Sector* konzipiert. In parametrisierter Form werden für verschiedene CO<sub>2</sub>-Reduktionswerte im Verkehrssektor die zugehörigen Kosten abgeschätzt. Diese *Parameterstudie* dient als Grundlage für die bereichsübergreifende Optimierung einer CO<sub>2</sub>-Reduktionsstrategie: Indem die Kosten verschiedener Nachfrage- und Angebotssektoren einander gegenübergestellt werden, lassen sich Ueberlegungen zu einem optimalen Mitteleinsatz mit Blick auf eine möglichst effiziente CO<sub>2</sub>-Minderungsstrategie anstellen und die volkswirtschaftlichen Wirkungen in grober Näherung abschätzen [16].

## Pilot- und Feldversuche

In diesem Themenbereich werden Projekte zusammengefasst, die als Umfragen, Erhebungen, Bereitstellung von Beratungsinstrumenten oder Ähnlichem viele aktiv Beteiligte betreffen.

Im Rahmen eines gemeinsamen Projektes mit dem Programm RAVEL, der Informationsstelle für Elektrizitätsverwertung (INFEL) und dem Energiekonsumentenverband (EKV) soll ein Leitfaden für eine effiziente und transparente Energieverbrauchserfassung in mittleren und kleineren Industriebetrieben erarbeitet werden [17]. Die Erfassung soll neben der Elektrizität (inkl. Eigenerzeugung) die fossilen Brennstoffe, die Fernwärme und die nutzbare Abwärme betreffen. Die verbesserte Energieerfassung wird dem Betrieb dabei helfen, Schwachstellen bei der Versorgungssicherheit bei energieintensiven Verfahren oder beim Benützerverhalten aufzudecken. Darüberhinaus wird eine Verbesserung der EKV-Statistik möglich. Das Schwergewicht der Untersuchungen wurde 1991 auf die Erfassung des Istzustandes der Energieverbrauchserfassung und der Anforderungen an den vorgesehenen Leitfaden bei den ausgewählten Industriebetrieben gelegt. Zudem wurden der Istzustand der bestehenden EKV-Statistik analysiert und darauf basierend Verbesserungsmöglichkeiten aufgezeigt.

Die Realisierung von wirtschaftlichen Energiesparmassnahmen scheidet oft daran, dass Investitionen in die Produktion solcher in Sparmassnahmen vorgezogen werden, dass am technischen Erfolg von Sparmassnahmen gezweifelt wird, dass das Investitionsrisiko für Sparmassnahmen dem Anlagenbetreiber zu hoch oder dass die Erfolgskontrolle für ihn zu aufwendig ist. Mit dem Einbezug eines "Drittinvestors" könnten die aufgezählten Hinderungsgründe zu einem grossen Teil ausgeschaltet werden: Der Drittinvestor übernimmt Planung, Finanzierung und Realisierung des Projektes sowie die Erfolgskontrolle. Im Rahmen einer Voruntersuchung [18] werden in Abstimmung mit einem analogen RAVEL-Programm die Marktchancen des Finanzierungsinstrumentes "Drittinvestor" untersucht. Aus der bisher durchgeführten Befragungen von Energiefachstellen, privaten Büros, Genossenschaften und Banken in der Schweiz scheint sich ein starkes Interesse für ein solches Finanzierungsinstrument abzuzeichnen. Nach der noch ausstehenden Aufarbeitung der internationalen Erfahrungen sollen schliesslich die Marktchancen in der Schweiz abgesteckt werden. Bei einem positiven Befund

besteht die Absicht, das Instrument an mindestens einem konkreten Projekt auszutesten und wissenschaftlich zu begleiten.

Bis heute gibt es kaum einheitliche Vertragsunterlagen für den Netzparallelbetrieb elektrischer Erzeuger, sowie für die Lieferung von Wärme aus dezentralen Wärmekraftkopplungsanlagen (WKK-Anlagen, bzw. Eigenerzeugungsanlagen). Für jede Anlage werden in der Regel neue Vertragsunterlagen ausgearbeitet. Es fehlten klare, aber trotzdem flexible Modelle für die Festlegung von Anschlussbeiträgen, Grundgebühren und Wärmepreisen für verschiedene Betriebsmodelle. Das Projekt **Standard-Verträge für WKK-Anlagen** [19] soll hier Abhilfe schaffen. Die Entwürfe der Standard-Verträge für Wärme- und Elektrizitätslieferungen sind erstellt und zur Vernehmlassung bereit. Der Standard-Servicevertrag soll 1992 vorliegen.

Als Bindeglied zwischen Staat und Betrieben können Verbände eine wichtige Scharnierfunktion in der Energiepolitik übernehmen. Von der Schaffung von Goodwill für staatliche Anliegen bei ihren Mitgliedern bis zur Uebernahme von eigentlichen Vollzugsaufgaben reicht das Spektrum möglicher Verbandsaktivitäten in diesem Bereich. Im Rahmen einer vom BEW unterstützten Studie [20] wurden sowohl einzelne Mitglieder eines Verbandes als auch verschiedene Wirtschaftsverbände zum Problemkreis rationelle Energienutzung befragt. Dabei liessen sich einige wichtige Hemmnisse für die rationelle Energienutzung im Wechselspiel von Verbänden und ihren Mitgliedern identifizieren.

Bereits seit 1987 läuft in Martigny das Projekt **Energie-Dialog** [21]. 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. Die *Feldarbeiten* wurden Mitte 1991 abgeschlossen. Zur Zeit wird der Schlussbericht erarbeitet. Im Rahmen des Aktionsprogramms ENERGIE 2000 unterstützt das BEW weiter das Projekt **Energiestadt**. Eine kleine Anzahl von Städten zeigt dabei auf, wie energiepolitische Massnahmen praktisch verwirklicht werden können.

## Erfolgskontrolle

Mit der Einführung einer (energiepolitischen) Massnahme wird die *Erfolgskontrolle* zum Thema. Inhaltlich können dabei etwas vereinfacht vier Problemkreise unterschieden werden: a) Wird die Massnahme überhaupt durchgeführt (Vollzugsevaluation)? b) Welche Wirkungen und Nebenwirkungen sind zu beobachten (Wirkungsevaluation)? c) Werden die Ziele erreicht (Zielerreichungsevaluation)? d) In welchem Verhältnis steht der Aufwand zum Ertrag (Effizienzevaluation)?

Mit Blick auf die Zwischenbilanz 1993 des Energiepolitischen Programms **BUND / KANTONE** sollen in Zusammenarbeit mit der Arbeitsgruppe *Erfolgskontrolle* der Konferenz der kantonalen Energiefachstellen mögliche Schwachstellen im Vollzug und in der Umsetzung der energierechtlichen Bestimmungen im Baubereich in verschiedenen Kantonen aufgezeigt werden. Mit dem anfangs 1991 erteilten Studienauftrag [22] wird einerseits eine methodische Abstimmung der daran beteiligten Kantone erreicht, andererseits ein kantonsübergreifender Quervergleich angestrebt. Die Studie soll Bund, Kantone und Gemeinden Hinweise für gegebenenfalls notwendige Massnahmen zur mittelfristigen Verbesserung der energetischen Bauqualität geben.

Im Aktionsprogramm ENERGIE 2000 wird der Erfolgskontrolle eine grosse Bedeutung beigemessen. Ein Auftrag zielt auf die Bereitstellung von Grundlagen für das Gesamtkonzept der Erfolgskontrolle und auf die Erarbeitung von Vorschlägen für die von externen Stellen durchzuführende technisch-ökonomische Wirkungsevaluation [23]. In Ergänzung dazu werden in einer Vorstudie die methodischen und vorgehensmässigen Grundlagen für eine politisch-administrative Vollzugsevaluation erarbeitet [24]. Die Unterschiede in Vollzugssystemen und die daraus resultierenden Unterschiede des Vollzugs- und Wirkungsgrades von Massnahmen soll beschrieben und erklärt werden. Hierzu werden für die zu evaluierenden Einzelmassnahmen passende Evaluationsmodelle erarbeitet. Darauf aufbauend wird schliesslich ein detaillierter Untersuchungs-, Arbeits- und Organisationsplan für die Hauptstudie erstellt. Anhand von 25000 ausgewerteten Bauten im Kanton Zürich konnte im Rahmen einer kleinen Untersuchung u. a. gezeigt werden, dass der spezifische Raumheizungsbedarf bei Neubauten, die 1985 erstellt wurden, im Vergleich zu Neubauten aus dem Jahre 1975 um 36 % kleiner ausfällt [25]. In welchem Umfang diese deutliche Reduktion z.B. als Folge entsprechender wärmetechnischer Vorschriften anzusehen ist, kann gegebenenfalls als Resultat der Projekte [23] und [24] abgeleitet werden.

Eine ganz andere Art von Erfolgskontrolle betrifft die **Bestandesaufnahme relevanter energiebezogener Lehrmittel für den allgemeinen Schulunterricht** [26]. Dabei zeigte es sich, dass von etwa 350 nach didaktischen Kriterien überprüften Titeln für die unteren Schulstufen praktisch keine geeigneten, energierelevanten Lehrmittel vorhanden sind. Zudem sind die untersuchten Unterlagen eher als Unterrichtshilfen denn als eigentliche Lehrmittel anzusehen.

### 3. Umsetzung

In vielen Fällen ist die Umsetzung der sozio-ökonomischen Forschungsergebnisse durch den Auftragszusammenhang von vornherein sichergestellt, etwa bei den CO<sub>2</sub>-Untersuchungen, den Projekten im Rahmen von Pilot- und Feldversuchen oder der Erfolgskontrolle. Darüberhinaus sind zur Umsetzung der Erkenntnisse eigenständige Aktivitäten nötig, wie Seminare, Workshops, Unterstützung von Publikationen usw. Diese Aktivitäten sollen 1992 deutlich verstärkt werden.

### 4. Internationale Zusammenarbeit

Die meisten sozio-ökonomischen Arbeiten im Energiebereich spielen sich zwangsläufig in einem internationalen Kontext ab. In aller Regel müssen bei der Studienbearbeitung die internationalen Erkenntnisse aufgearbeitet werden. Zudem werden nach Möglichkeit auch ausländische Institute und Beratungsfirmen einbezogen.

### 5. Geplante Forschungsarbeiten 1992

Nebst den erwähnten Arbeiten im Zusammenhang mit der energiepolitischen Aktualität stehen thematisch drei Untersuchungsrichtungen im Vordergrund:

- Ueber die Möglichkeiten, Kosten und Auswirkungen von Energiespar- und Energiesubstitutionsmassnahmen in der Industrie ist im Sinne von gesamtschweizerischen Aussagen nur sehr wenig bekannt. Im Rahmen einer grösseren, mehrjährigen Untersuchung soll unter spezieller Beachtung des Repräsentativitätsproblems diese Wissenslücke geschlossen werden.
- Einen weiteren wichtigen Schwerpunkt bilden Forschungsanstrengungen im Bereich von Energiedaten und Energiemodellen: Neue Daten müssen erhoben und bestehende Daten in ihrer Qualität verbessert werden. Energiemodelle müssen aktualisiert und z. T. wesentlich verbessert werden. Dabei sollte die Erhebungsmethodik und Verfügbarkeit von Daten zu den Energiemodellen passen (und umgekehrt). Dies erzwingt wechselseitige Abstimmungsprozesse, die im Rahmen eines mehrjährigen Projektes in Gang zu setzen sind
- Die makroökonomischen Wirkungen von marktorientierten Massnahmen im Energiebereich sollen vertieft untersucht werden. Dabei ist unter anderem der Einsatz von Gleichgewichtsmodellen geplant.

## 6. Liste der Projekte

- [1] D. Spreng, Forschungsgruppe Energieanalysen, ETH - Zürich: **Darstellung, Analyse und Modellierung des Elektrizitätsverbrauchs im Dienstleistungssektor einer grossen Schweizer Stadt.** (JB)
- [2] H. Wüest, WÜEST & GABATHULER, Zürich: **Gebäudepark Schweiz: Erweiterung der Modellgrundlagen mit energie- und siedlungsrelevanten Indikatoren; Modellrechnungen und Analysen.** (JB + SB)
- [3] E. Walder, Inst. für Energietechnik, ETH - Zürich: **Umweltbelastung durch die End- und Nutzenergiebereitstellung.** (JB)
- [4] N. Kohler, LESO / ETH - Lausanne: **Energie- und Stoffbilanzen von Bauteilen und Gebäuden.** (JB)
- [5] H.-P. Kocher, BASLER & HOFMANN, Zürich: **Organisation, Durchführung und Auswertung eines Workshops über Methoden und Datengrundlagen bei der Erstellung von Energie- und Oekobilanzen im Bereich Energie und Bau.** (JB)
- [6] B. Stauffer, Abt. für Klima und Umweltphysik des physikalischen Instituts, UNI - Bern: **Treibhausgase und Klima.** (JB)
- [7] B. Giovannini, CUEPE, Genf: **Perspectives de la demande d'énergie en Suisse, 1990 - 2025, en vue du problème du CO<sub>2</sub>.**
- [8] B. Covelli, TECOVA AG, Wohlen: **CO<sub>2</sub>-Bilanzierung der Elektrizität unter Berücksichtigung des Aussenhandels.** (JB)
- [9] F. Carlevaro, CUEPE, Genf: **Révision des modèles économétriques.** (JB)
- [10] B. Giovannini, CUEPE, Genf: **Entwicklung einer benutzerfreundlichen Version des technisch-ökonomischen Bottom-up-Energiemodells zur Simulation der Energienachfrage und sein Transfer ins BEW.**
- [11] W. Moser, BASLER & HOFMANN, Zürich: **Energiesparkosten im Wärmebereich (Haushalte und Dienstleistungen).** (JB + SB)
- [12] W. Ott, INFRAS, Zürich: **Vorstudie über die Bewertung von Externalitäten im Energiebereich mittels der Erfassung von Zahlungsbereitschaften.**
- [13] J. Czerwinski, INGENIEURSCHULE - Biel : **Limitierung des Treibstoffverbrauchs der Personenwagen (technische Fragen).** (JB)
- [14] P. Marti, METRON Raumplanung AG, Brugg-Windisch: **Limitierung des Treibstoffverbrauchs der Personenwagen (Auswirkungen, Vollzug).** (JB)
- [15] M. Keller, INFRAS, Bern: **CO<sub>2</sub>-Perspektiven Verkehr.** (JB)
- [16] K. Masuhr und M. Sättler, PROGNOSE, Basel: **Untersuchungen der Substitutionsmöglichkeiten zur Reduktion der Kohlendioxidemissionen im Wärmesektor und Gesamtoptimierung einer CO<sub>2</sub>-Strategie.**
- [17] Ch. Bélaz und A. Huser, Arbeitsgemeinschaft COLENCO-INFEL, Baden und Zürich: **Betriebliche Energieverbrauchserfassung, RAVEL-Projekt 12.52.** (JB)
- [18] G. Grünstein, SUTER + SUTER AG, Basel: **Drittinvestor.** (JB)
- [19] Hp. Eicher, DR. EICHER & PAULI AG, Liestal: **Standard-Verträge für WKK-Anlagen.** (JB)
- [20] C. Gitz, Forschungsstelle für Verbands- und Genossenschaftsmanagement, Freiburg: **Verbände und rationelle Energienutzung.** (JB)
- [21] B. Saugy, Centre de Recherches Energétiques et Municipales, Martigny: **Dialogue Energétique.** (JB)
- [22] A. Baumgartner, INTEP AG, Zürich : **Koordination und Gesamtauswertung der Vollzugs- und Ausführungskontrolle kantonaler Vorschriften im Baubereich.** (JB)
- [23] B. Aebischer, Forschungsgruppe Energieanalysen, ETH - Zürich: **Evaluation (Vollzug, Wirksamkeit) des Aktionsprogramms.** (JB)
- [24] W. Linder, Forschungszentrum für Schweizerische Politik, UNI - Bern: **Vorprojekt Vollzugevaluation.**

- [25] C. U. Brunner, Büro C. U. BRUNNER, *Zürich*: **Entwicklung des Raumwärmeverbrauchs von Neubauten und bestehenden Bauten.** (JB)
- [26] G. Furler, IES - *Zürich / Birmensdorf* und J. Kuster, KUSTER + DUDLI AG, *Chur*: **Bestandesaufnahme Allgemeinbildung Energie. Inventarisierung des Vorhandenen, Beurteilung und Empfehlung an die Kantone.** (JB + SB)

(JB) Jahresbericht 1991 vorhanden

(SB) Schlussbericht vorhanden

## 7. Referenzen

- [27] W. Baumgartner, IBFG, *Zürich*: **Sozioökonomische Energieforschungsprogramm 92-95.**
- [28] EVED, *Bern*: **Aktionsprogramm ENEGIE 2000, 1. Jahresbericht 1991.**
- [29] EVED und Konferenz Kant. Energiedirektoren, *Bern*: **Stand des Energiepolitischen Programms in den Kantonen am 1. Januar 1990 (3. Zwischenbilanz 1990).**
- [30] F. Carlevaro, N. Garbely et F. Romerio, CUEPE, *Genève*: **Modèles d'aide à la décision en matière de politique énergétique suisse.** Actes de la journée du CUEPE 1990.

# TECHNOLOGIE - TRANSFER

Überblicksbericht  
zu den Aktivitäten 1991

Leitung : Jürg Gfeller

---

Bundesamt für Energiewirtschaft



## **Konzept des Bundes für die Förderung von Pilot- und Demonstrationsprojekten im Energiebereich**

Ergänzung zum Konzept der  
Energieforschung des Bundes

Aufgrund eines Antrags der  
Eidg. Energieforschungskommission CORE  
an das Bundesamt für Energiewirtschaft

Februar 1991

## 1. Übersicht

Mit dem Inkrafttreten des Energienutzungsbeschlusses auf den 1. Mai 1991 wurden die Kompetenzen des Bundes auf dem Gebiet der Umsetzung erweitert. Besonders sei hier die Möglichkeit erwähnt, Pilot- und Demonstrationsanlagen finanziell zu unterstützen. Weitere Kompetenzen liegen in der Verstärkung von Information und Beratung sowie von Aus- und Weiterbildung. Zusätzlich kann der Bund Massnahmen zur Abwärmenutzung und zur Nutzung erneuerbarer Energien unterstützen.

In diesem Zusammenhang plant das BEW, für einzelne Energietechniken Förderungsprogramme durchzuführen, die sämtliche oben erwähnten Umsetzungsaktivitäten zusammenfassen. Erste Entwürfe solcher Förderungsprogramme lagen Ende 1991 vor. Vor ihrer Inkraftsetzung müssen sie noch mit der Aktionsgruppe Regenerative Energien des Programmes ENERGIE 2000 abgesprochen werden.

**Über fachspezifische Umsetzungsaktivitäten wird in den vorangehenden Kapiteln berichtet.** Im folgenden werden Aktivitäten erwähnt, die entweder fachgebietsübergreifend sind oder ein Fachgebiet ohne Forschungsprogramm betreffen.

## 2. Geothermie

Eine der Hauptaufgaben der KGS (Eidgenössische Kommission für Geothermie und unterirdische Wärmespeicherung) ist die **Beurteilung der Risikodeckungs-** und Förderbeitragsgesuche von Geothermiebohrungen. In diesem Zusammenhang sind in diesem Jahr vor allem die Aktivitäten in St. Moritz zu erwähnen. In Vorbereitung bzw. kurz vor Bohrbeginn stehen Projekte in Genf, Bulle, Weissbad, im Wallis (Géothermoval) und Horw.

Eine interessante Perspektive eröffnen die **tiefen Erdwärmesonden** (Einbau von Wärmetauschern in nichtfündige Tiefenbohrungen nach Erdöl, Erdgas, Geothermie). Grundlegende Arbeiten in dieser Richtung sind 1991 angelaufen. Im Weiteren wurde das Langzeitbeobachtungsprogramm in den NAGRA-Bohrungen weitergeführt. Diese Bohrungen werden für weitere Untersuchungen offengehalten. Über *untiefe Geothermie*: siehe Programm UMGEBUNGS- & ABWÄRMENUTZUNG, WÄRME-KRAFT-KOPPLUNG.

In Zusammenhang mit den Sondierungen für das AlpTransit / NEAT-Vorhaben hat die KGS ein Mess- und Untersuchungsprogramm ausgearbeitet, dass zur Erfassung und Auswertung der geothermisch relevanten Daten dienen soll.

Auf dem Gebiet der *internationalen Zusammenarbeit* ist die Ausarbeitung einer Projekteingabe an die EG in Brüssel zu erwähnen; gemeinsam mit Projektpartnern in UK, F und D sind Forschungsarbeiten zur Hot Dry Rock-Technologie im Rahmen des JOULE II-Programmes vorgesehen.

## 3. Windenergie

Das 6-jährige Forschungsprogramm Windenergie des BEW wurde Ende 1990 erfolgreich abgeschlossen. Ein *Leitfaden für Windenergieplaner* ist in der Reihe METEONORM veröffentlicht worden. Die Aktivitäten des Bundes beschränken sich in der nächsten Jahren auf eine eventuelle Unterstützung von Demonstrationsanlagen.

#### 4. Pilot- und Demonstrationsanlagen

Bis Ende des Berichtsjahres sind beim BEW bereits gegen 100 Gesuche um Beiträge an P+D-Anlagen eingetroffen. Diese Gesuche werden von einem Komitee beurteilt, 15 Gesuche wurden abgelehnt, an 41 Projekte ist eine Beteiligung des Bundes zugesichert worden, der Rest ist noch hängig. Die bewilligten Projekte stammen vorwiegend aus den Gebieten: rationelle Energieverwendung in Gebäuden, Wärmepumpen, Photovoltaik, Biomasse, Geothermie und Elektrizität.

#### 5. 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 Mitgliedsländer (AUS, CDN, CH, DK, I, J, N, NL, NZ, S, SF, UK, USA), hat bereits über 100 Kurzbeschreibungen von Anlagen herausgegeben und befasst sich auch mit der Beurteilung des Standes der Technik einzelner ausgewählter Gebiete. Das schweizerische Pendant ist INFOENERGIE, eine Informationsstelle über Pilot- und Demonstrationsanlagen für rationelle Energieanwendung, mit Büros in Brugg, Colombier, Bellinzona und Tänikon. Zur besseren Umsetzung in der Schweiz hat INFOENERGIE verschiedene (englische) CADDET-Publikationen auf deutsch übersetzt, französische und italienische Versionen werden folgen. INFOENERGIE wird auf Januar 1992 mit INFOSOLAR zusammengelegt und sukzessive auch die lokalen und regionalen Energieberatungsstellen fachlich unterstützen.

#### 6. 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 CH. Anfragen betreffend Literaturrecherchen können an die Bibliothek des Paul Scherrer Instituts, Villigen, geleitet werden.

#### 7. ENET

Die Aufgabe von ENET, nämlich die Förderung des nationalen Informationsaustausches im Energiesektor, insbesondere auch in der Energieforschung, wurde wie in früheren Jahren mit drei Schwerpunkten wahrgenommen: **Veranstaltungs-Service** und **Publikations-Service** wurden rege in Anspruch genommen und erfreuen sich zunehmender Beliebtheit. Die Beschaffung der Forschungspublikationen wurde vereinfacht. Zudem wurden Arbeiten zur Sammlung, Archivierung und Verteilung von Bildmaterial aufgenommen. Der **Videotext-Service** wurde frisch konzipiert und überarbeitet, er wird anfangs 1992 mit einem komplett neuen Angebot ans Netz gehen. Die *ENET-News* erreichten mit der Nummer 12 eine Auflage von über 3000 Ex. und gewannen an Substanz.



ADRESSES DES CHEFS DE PROGRAMME

ADRESSEN DER PROGRAMMLEITER

---

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

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

Valorisation de la chaleur ambiante, rejets thermiques et installations chaleur-force  
Umgebungs- & Abwärmenutzung, Wärme-Kraft-Kopplung  
**Ulrich SCHÄRER**, 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 Sicherheit  
**Sabyasachi CHAKRABORTY**, dipl. Phys., HSK, 5232 Villigen  
Tel 056 / 99 39 36

Solaire thermique et stockage de chaleur  
Aktive Solarnutzung & 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-Hönggerberg, 8093 Zürich  
Tel 01 / 377 29 88

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

Thermochimie  
Thermochemie  
**Armin RELLER**, Prof., Dr., Chem., A.C.I., Winterthurerstr.190, 8057 Zürich  
Tel 01 / 257 46 17

Photochimie

Photochemie

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

Tél 022 / 49 38 49

Biomasse

Biomasse

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

Tél 031 / 61 56 24

Fusion nucléaire contrôlée

Kontrollierte Kernfusion

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

Tel 031 / 61 96 53

Électricité

Elektrizität

**Roland BRÜNIGER**, dipl. El.-Ing. ETH/BWI, *Engineering & Consulting, Isenbergrstr. 20, 8913 Ottenbach*  
*Oberseglingerstr. 2, 8193 Eglisau*

Tel 01 / 867 22 42

*760 00 66 fax 01 1760 00 68*

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

Hydrogène

Wasserstoff

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

Tel 056 / 99 27 43

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 Bern

Tel 031 / 61 56 62

Renseignements généraux sur la recherche énergétique

Allgemeine Auskünfte über die Energieforschung

**Gerhard SCHRIEBER**, Dr., Phys., BEW, 3003 Bern

Tel 031 / 61 56 58; Fax 031 / 26 44 03

Centre de distribution pour les rapports annuels et finaux de recherche énergétique

Bezugsort für Jahres- und Schlussberichte aus der Energieforschung

**ENET**, c/o OFEN, 3003 Berne

Tél 031 / 44 19 00; Fax 031 / 44 77 56