



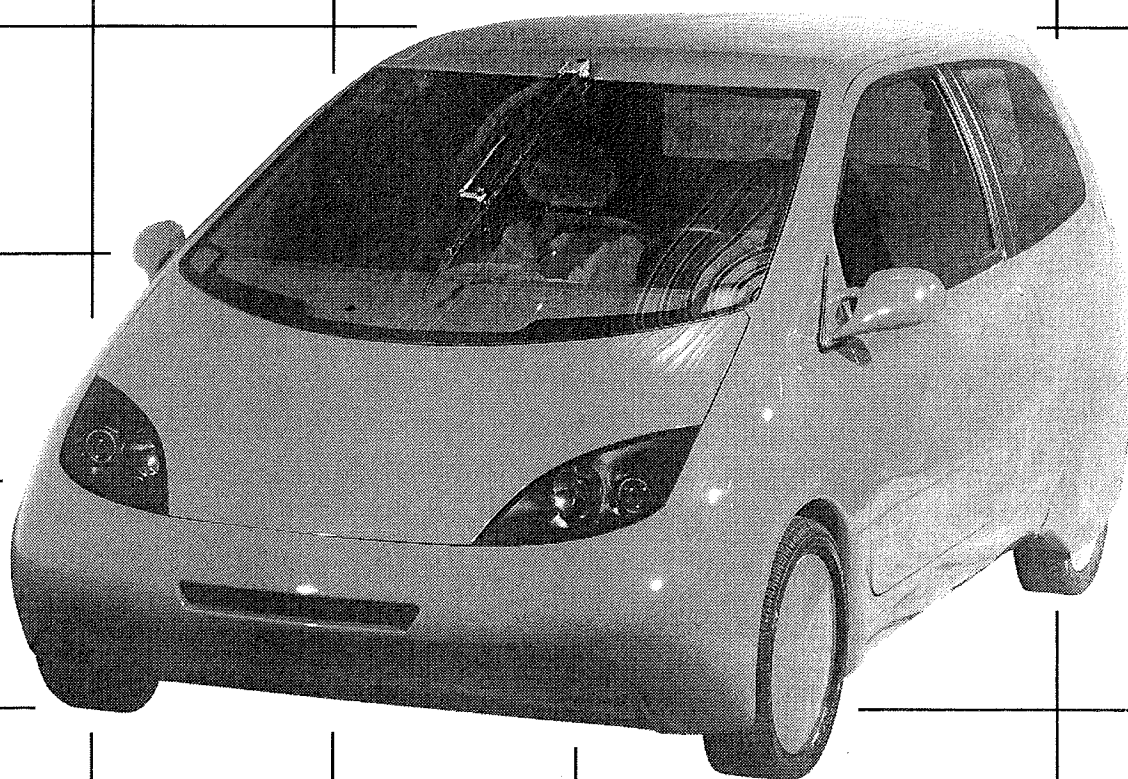
Bundesamt für Energiewirtschaft  
Office fédéral de l'énergie  
Ufficio federale dell'energia  
Uffizi federal d'energia

# Recherche énergétique

## Energie-Forschung 1995

Rapports de synthèse des chefs de programme  
Überblicksberichte der Programmleiter

### En route vers Energie 2000



... et 3 litres aux 100



# **RECHERCHE ÉNERGÉTIQUE 1995**

## **ENERGIEFORSCHUNG 1995**

**Rapports de synthèse des chefs de programme**  
**Überblicksberichte der Programmleiter**

---

<b>Vorwort</b>	<b>3</b>
<b>Avant-propos</b>	<b>4</b>
<b>Fortschritte der Energieforschung 1995</b>	<b>5</b>

### **Programmes de recherche – Forschungsprogramme**

<b>Gebäude &amp; Haustechnik</b>	<b>7</b>
<b>Solararchitektur</b>	<b>15</b>
<b>Elektrizität</b>	<b>23</b>
<b>Umgebungs- &amp; Abwärmenutzung, Wärme-Kraft-Kopplung</b>	<b>31</b>
<b>Solaire thermique &amp; stockage de chaleur</b>	<b>39</b>
<b>Photovoltaik</b>	<b>47</b>
<b>Geothermie</b>	<b>55</b>
<b>Biomasse</b>	<b>63</b>
<b>Verkehr</b>	<b>71</b>
<b>Verbrennung</b>	<b>79</b>
<b>Solarchemie &amp; Wasserstoff</b>	<b>87</b>
<b>Piles à combustible &amp; accumulateurs</b>	<b>95</b>
<b>Kerntechnik und nukleare Sicherheit</b>	<b>103</b>
<b>Regulatorische Sicherheitsforschung der HSK</b>	<b>111</b>
<b>Fusion thermonucléaire contrôlée</b>	<b>117</b>
<b>Energiewirtschaftliche Grundlagen</b>	<b>123</b>

### **Annexe – Anhang**

<b>Kontaktstellen (Bereiche, Programme, Auskünfte)</b>	<b>131</b>
<b>Points de contact (domaines, programmes, renseignements)</b>	





## VORWORT

Die Energieforschung der öffentlichen Hand der Schweiz richtet sich nach dem *Konzept der Energieforschung des Bundes*. Koordination, Begleitung, Umsetzung und internationale Einbettung der Forschungsarbeiten gehören zum Aufgabengebiet des Bundesamtes für Energiewirtschaft (BEW). Es verfügt über eigene Förderungsmittel, die subsidiär zu den Anstrengungen der privaten und öffentlichen Forschungsstellen eingesetzt werden. Die Betreuung der Forschungsarbeiten durch das BEW obliegt Programmleitern, welche 14 Technologiebereichen zugeordnet sind. Eine Übersicht über die Organisation mit den entsprechenden Kontaktadressen findet sich im Anhang.

1995 betrugen die gesamten Aufwendungen der mit öffentlichen Mitteln finanzierten Energieforschung etwa 215 Mio Franken, wovon rund 29 Mio Franken für Pilot- und Demonstrationsanlagen eingesetzt wurden. Der Anteil des BEW belief sich auf 44 Mio Franken. Darin eingeschlossen sind 13 Mio Franken für Beiträge und Messungen an Pilotanlagen. Rund 50 % der BEW-Gelder sind direkt in die Privatwirtschaft geflossen, 17 % wurden kantonalen Forschungsstellen (Universitäten, Ingenieursschulen) zugesprochen und 33 % erhielten Forschungsstätten des Bundes (insbesondere die beiden ETH und das PSI). Detailliertere statistische Angaben enthält die *Liste der Projekte 1994-1995: Forschung, Entwicklung und Demonstration im Bereich der Energie in der Schweiz*.

Die vorliegenden Jahres-Überblicksberichte der Leiter der Energieforschungsprogramme des Bundes richten sich an die gesamte interessierte Öffentlichkeit. Beschrieben sind vorwiegend diejenigen Vorhaben, welche ganz oder teilweise durch das BEW finanziert wurden. Enthalten sind aber auch Angaben über andere mit öffentlichen und privaten Mitteln durchgeführte Forschungsarbeiten. Es sei hier darauf hingewiesen, dass zudem die meisten Forschungsstätten in ausführlichen Jahresberichten über ihre Aktivitäten informieren.

Die Übersichtsberichte der Programmleiter dürfen – unter Angabe der Quelle – reproduziert werden. Die einzelnen Jahresberichte (JB) oder Schlussberichte (SB) der in den Übersichten erwähnten Energieforschungsprojekte sind beim betreffenden Programmleiter, oder bei ENET erhältlich.

21. März 1996

BUNDESAMT FÜR ENERGIEWIRTSCHAFT

*Zur Illustration auf dem Umschlag*

**Hin zu ENERGIE 2000... und hin zu 3 Litern pro 100 km...** Ein solch geringer Treibstoffkonsum könnte den Anteil des Autos am gesamten Energieverbrauch von heute 20 % massiv senken. Projekte mit verschiedenen Antriebsarten werden weltweit durchgeführt. Der Prototyp *SmILE* (*Small, Intelligent, Light, Efficient*), mit dessen Entwicklung *GREENPEACE* verschiedene Schweizer Unternehmen beauftragt hat, ist ein gutes Beispiel dafür. Über weitere Aktivitäten in der Schweiz berichtet ab Seite 71 das Programm "Verkehr" (Foto: Fred Dott/Greenpeace).

## AVANT - PROPOS

La recherche énergétique du secteur public en Suisse se conforme au *Plan directeur de la recherche énergétique de la Confédération*. La coordination, l'accompagnement, le transfert à la pratique et l'insertion dans le cadre international des travaux de recherche relèvent de la compétence de l'Office fédéral de l'énergie (OFEN). Il dispose de ses propres moyens de soutien qu'il met en jeu de manière subsidiaire aux efforts des organisations de recherche privées et publiques. L'accompagnement des travaux de recherche par l'OFEN incombe aux chefs de programmes qui relèvent de 14 domaines technologiques. Une vue d'ensemble de l'organisation est donnée en annexe ainsi que les points de contact.

En 1995, les dépenses globales du secteur public pour la recherche énergétique ont atteint la somme de 215 millions de francs, dont 29 millions pour des installations pilotes et de démonstration. Pour sa part, l'OFEN a, en 1995, attribué des mandats de recherche pour 44 millions de francs. Cette somme comprend 13 millions pour des installations pilotes ou des mesures sur ces installations. 50 % des moyens de l'OFEN ont été attribués au secteur privé, 17 % aux organisations cantonales de recherche (Universités, Écoles d'ingénieurs), et 33 % aux instituts fédéraux de recherches (en particulier les deux EPF et le PSI). Les données statistiques détaillées peuvent être trouvées dans la *Liste des projets 1994-1995: Recherche, développement et démonstration dans le domaine de l'énergie en Suisse*.

Les rapports de synthèse des chefs de programmes de la recherche énergétique de la Confédération s'adressent à l'ensemble du public intéressé. L'attention se porte avant tout sur les projets financés en tout ou en partie par l'OFEN. Des informations sont également données sur les travaux de recherche financés par d'autres sources, publiques et privées. Il faut signaler ici que la plupart des organisations de recherche informent sur leurs activités par des rapports annuels détaillés.

Les rapports de synthèses des chefs de programme peuvent être reproduits, à condition que l'on mentionne la source. Les rapports annuels (RA) ou finaux (RF) relatifs à chaque projet de recherche, peuvent être obtenus, soit par l'intermédiaire du chef de programme, soit par ENET.

21 mars 1996

OFFICE FÉDÉRAL DE L'ÉNERGIE

### *Illustration de la couverture*

**En route vers ÉNERGIE 2000 et 3 litres aux 100 km...** Une consommation de carburant si modeste pourrait massivement réduire la part de l'automobile dans le bilan énergétique global qui atteint aujourd'hui 20 %. Des projets sur divers types de moteurs sont à l'étude dans le monde entier. Le prototype *SmILE* (*Small, Intelligent, Light, Efficient*), dont le développement a été confié par GREENPEACE à diverses entreprises suisses, est un bon exemple. Le rapport sur le programme "Transport", page 71, informe encore sur d'autres activités en Suisse (*Photo: Fred Dott/Greenpeace*).

# FORTSCHRITTE DER ENERGIEFORSCHUNG 1995

Gerhard Schriber, Forschungskoordination, BEW

Die von der **öffentlichen Hand** finanzierte Energieforschung der Schweiz hat 1995 ihre Ziele kontinuierlich weiterverfolgen können. Sie ist im internationalen Vergleich an der Spitze mit dabei und in gewissen Gebieten sogar wegleitend (zum Beispiel: Gebäudeintegration von Solarzellen, Solarchemie, Leichtmobile). Die angespannte Finanzlage des Bundes und der Kantone und die wirtschaftlichen Schwierigkeiten der Privatindustrie drohen den Forschungsbemühungen allerdings den Schwung zu nehmen. Viele Forscher sind verunsichert über die Weiterführung ihrer Arbeiten und die Industrieunternehmen zögern vermehrt, mit neuen Produkteentwicklungen Risiken einzugehen. Das Bundesamt für Energiewirtschaft hat es sich – zusammen mit der Eidg. Energieforschungskommission CORE und mit den Programmleitern – zur Aufgabe gemacht, hier für die notwendige Zuversicht zu sorgen.

Die **Entwicklung neuer Energietechnologien** steht im Zentrum der Forschung. Es können für 1995 beachtliche Erfolge verzeichnet werden. Beispiele:

- Nach mehrjährigen Versuchen hat sich erwiesen, dass das von organischen Farbstoffen, die in Poren von Zeolithen verpackt sind, absorbierte Sonnenlicht mit guter Energieübertragungsrate an Halbleiter weitergegeben werden kann. Damit besteht die berechtigte Hoffnung auf die Entwicklung einer neuen Generation von Solarzellen.
- Neue Perspektiven für Solarzellen eröffnen sich auch durch die Verbindung von dünnen mikrokristallinen mit amorphen Siliziumschichten. Erste Messungen an solchen "mikromorphen" Zellen zeigen stabile Wirkungsgrade von 9 %.
- Die Entwicklung von Nickel-Metallhydrid-Akkumulatoren hat zu einem international kompetitiven Prototypen geführt (12Ah; 24V; > 50 Wh/kg; > 600 Zyklen). Aufgrund der unsicheren Entwicklung des Elektromobilmarktes wird allerdings vorläufig auf eine Produktion von Einheiten > 10Ah verzichtet.
- Die erdgasgespeiste Phosphorsäure-Brennstoffzelle (amerikanischer Herkunft), welche in einem Pilotprojekt seit 3 Jahren am Genfer Stromnetz angeschlossen ist, erbringt die erwarteten Leistungen (200 kW<sub>e</sub>; Wirkungsgrade 40,2 %; Verfügbarkeit 90 %; Degradation bis jetzt ca. 4 %).  
Bei der neuartigen Schweizer Entwicklung einer umweltschonenden, hocheffizienten Oxyd-Keramik-Brennstoffzelle – ebenfalls für Erdgasbetrieb vorgesehen – konnten mittels Vakuum-Plasma-Spray-Technik reproduzierbare Stack-Elemente bis 20 cm Durchmesser hergestellt werden.
- Gleich mehrere Schweizer Firmen haben Materialien zur transparenten Wärmedämmung auf den Markt gebracht. Und Demonstrationsanlagen bestätigen die Vorhersagen der Forscher: Eine transparent gedämmte Südfassade bringt während der Heizperiode pro m<sup>2</sup> mehr als 100 kWh Wärme ins Haus.

Erfreuliche Ergebnisse gibt es auch im Gebiet der **wirtschaftlichen Optimierung von Komponenten und Systemen** zu verbuchen. So haben beispielsweise Forschungsanstrengungen dazu geführt, dass

- Kleinumwälzpumpen in die Fabrikation gehen, welche einen dreimal höheren Wirkungsgrad gegenüber heutigen Produkten aufweisen,
- durch eine verbesserte Ausnützung der Rekuperationsbremsen bei Lokomotiven über 100'000 kWh pro Jahr und Lokomotive mehr als bisher zurückgewonnen werden können,
- Öl-Heizkessel durch thermisch härtende Kunstharze so beschichtet werden können, dass sie sich ohne Korrosionsrisiko sogar für kondensierenden Betrieb eignen.

Trotz Verbesserung der Herstellungsmethoden und Einsatz neuer Materialien bei an sich anwendungsreifen Technologien – wie etwa Wärmepumpen, Solar- und Biogasanlagen – ist es bei den heutigen Energiepreisen leider schwer möglich, diese Technologien in absehbarer Zeit konkurrenzfähig zu machen.

Ein weiterer Schwerpunkt der Energieforschung befasst sich mit der **Sicherheit und Zuverlässigkeit von Anlagen**. Im Verlaufe der letzten Jahre ist für verschiedene neue Technologien eine ansehnliche Mess- und Prüfkompetenz aufgebaut worden. Dies betrifft insbesondere die solare Wärmenutzung (HTL-Rapperswil), die solare Stromerzeugung (Solarzellen: Paul Scherrer Institut; Module: HTL-Trevano; Wechselrichter: HTL-Burgdorf) die

Wärmepumpen (WP-Testzentrum, Töss) und die Wärmeüberträger (HTL-Luzern). Die Prüfstellen werden auch von ausländischen Kunden rege genutzt. Die Tests helfen nicht nur die Qualität der Produkte auf dem Markt sicherzustellen, sondern liefern den Forschern auch mannigfache Hinweise auf Schwachstellen und Verbesserungsmöglichkeiten der analysierten Technik.

Aussagen über die Zuverlässigkeit von Anlagen liefern auch Messungen an installierten Anlagen sowie Expertensysteme. Einige diesbezügliche neue Forschungsergebnisse sind:

- Ein Störungsdiagnose-Expertensystem für Block-Heiz-Kraftwerke.
- Eine Mess-Datenbank von über 500 kommerziellen Solarzellenmodulen.
- Analysen verschiedener Optionen für die schweizerische Energieversorgung mit den damit verbundenen Risiko- und Sicherheitsaspekten. Die entsprechende Unfalldatenbasis des Paul Scherrer Instituts beinhaltet mittlerweile über 3'300 energiebezogene Unfälle, wovon 1'240 schwere Unfälle.
- Erkenntnisse aus Durchschmelzexperimenten, Simulation von Rohrbrüchen, Korrosionsanalysen, Untersuchung passiver Systeme für Nachwärmeabfuhr und Spaltproduktrückhaltung, Materialverhalten bei Überbeanspruchungen u.a. bezogen auf schweizerische Kernkraftwerke.
- Die Feststellung, dass 99 % der Besitzer von "Sonnenkollektoranlagen für die Heubelüftung" mit ihren Anlagen bestens zufrieden sind, obwohl diese in fast allen Fällen unterdimensioniert sind. Die kostenpflichtige Energie wird im Mittel von 12 auf 7 kWh/100 kg Heu vermindert.

Mehrere Forschungsarbeiten haben Wege gewiesen und zu Hilfsmittel geführt für eine **effiziente Energienutzung**. Beispiele:

- Alle neuen Erkenntnisse konnten in die "Meteonorm '95" integriert werden. Das Werk gibt Auskunft über Strahlungs- und Temperaturwerte an jedem beliebigen Standort in der Schweiz. Neu sind nun auch Stundenwerte generierbar und der lokale Horizont kann miteinbezogen werden.
- Das "PC-Programm PINCHLENI" erlaubt dem planenden Ingenieur, Wärmeverbundsysteme anschaulich bezüglich rationellem Energieeinsatz und minimaler Kosten zu optimieren. Ebenso liegt jetzt das "PC-Planungsinstrument PVSYST" vor, welches eine verlässliche Dimensionierung und Simulation von Solarzellen-Anlagen erlaubt. Mit der Veröffentlichung des "Planungsprogramms für solare Heubelüftung" können die Forschungsarbeiten auf diesem Gebiet nun als abgeschlossen betrachtet werden.
- Geradezu von Technologiesprüngen darf bei der Entwicklung von Holzfeuerungen in den letzten Jahren gesprochen werden. Untersuchungen zeigen jedenfalls, dass heute für praktisch alle Bereiche umweltfreundliche Anlagen mit hohem Nutzungsgrad angeboten werden.

Auch die Energieforschung will beitragen zur **Reduktion der Umweltbelastung**. Dazu dienen u.a. die umfangreichen Tätigkeiten für saubere Verbrennungsvorgänge, die Erarbeitung von Energie- und Stoffbilanzen, welche die Umweltverträglichkeit von Komponenten und ganzen Energiesystemen beschreiben, sowie die Arbeiten zur Rezyklierung des Kohlendioxids. In all diesen Bereichen kann die Schweiz 1995 beachtliche Forschungsbeiträge vorweisen.

Die **5. Schweiz. Energieforschungskonferenz** (7./8. November 1995 in Yverdon) nahm eine Standortbestimmung betreffend den Transfer von Forschungsergebnissen in die Praxis vor. Zwar steht hier die Schweiz im internationalen Vergleich gut da. Es ist aber ein ganzes Paket von Massnahmen verabschiedet worden, welche die Situation noch verbessern können. Wichtige Elemente bilden dabei die aktive Vermittlerrolle der Programmleiter, die Tätigkeiten von ENET und anderen Informationszentren (ENET hat 1995 rund 1'500 qualifizierte Auskünfte und gegen 2'000 Forschungsberichte abgegeben) sowie die gezielte **Unterstützung von Pilot- und Demonstrationsanlagen** (1995 hat die öffentliche Hand an über 400 P+D-Anlagen Beiträge ausgerichtet).

Im Herbst 1995 hat der Bundesrat das **Konzept der Energieforschung des Bundes** für die Jahre 1996-1999 genehmigt. Forschungsziele bleiben schwerpunktmässig die Steigerung der Effizienz des Energieeinsatzes und die verstärkte Nutzung erneuerbarer Energien.

**Ab 1996 ist die Abteilung Energietechnik im Bundesamt für Energiewirtschaft neu organisiert.** 14 Bereichsleiter (siehe Anhang) betreuen jeweils ein Technologiegebiet von der Forschung bis hin zur Praxis. Damit ist eine verbesserte Grundlage geschaffen, neue Techniken noch effizienter praktischem Nutzen zuzuführen.

# GEBÄUDE & HAUSTECHNIK

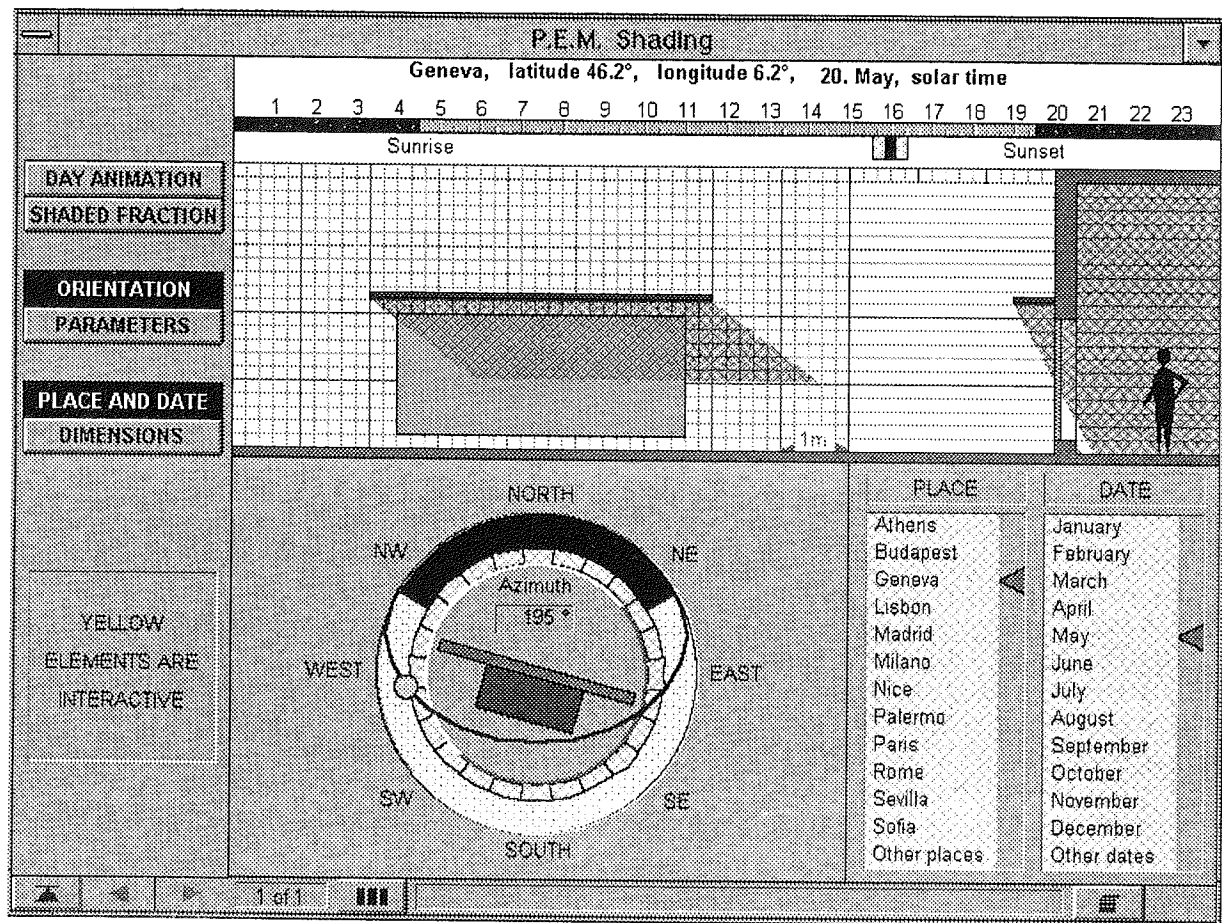
Überblicksbericht  
zum Forschungsprogramm 1995

Markus Zimmermann

EMPA, 8600 Dübendorf

☎ 01/823 41 78 – Fax: 01/821 62 44

E-mail: mark.zimmermann@empa.ch

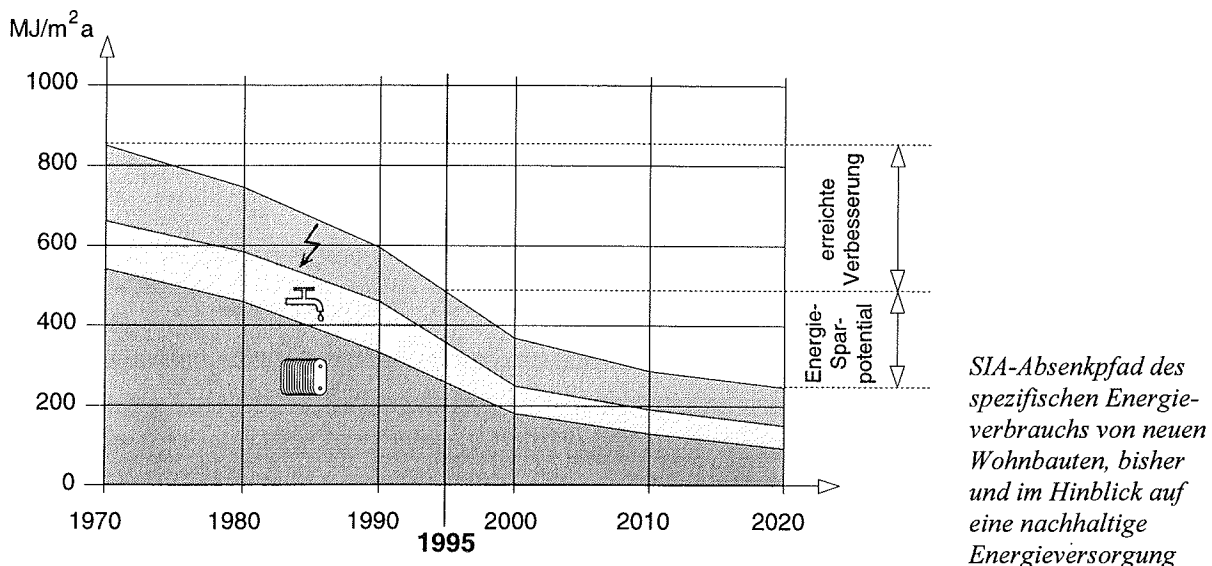


## Pascool Electronic Metahandbook

Das elektronische Handbuch zeigt, wie in Zukunft komplexe Planungsaufgaben mit interaktiven, benutzerfreundlichen Berechnungsprogrammen bearbeitet werden können. Im vorliegenden Beispiel kann die Beschattung einer Fassade rasch überprüft und demonstriert werden.

## 1. Anvisierte Ziele 1995

Das Forschungsprogramm "Rationelle Energienutzung in Gebäuden" fördert die Ausnützung des nach wie vor grossen Energiesparpotentials im Gebäudebereich, indem es gezielt Wissenslücken schliesst und die Anwendung verschiedenster Energietechniken integral optimiert. Langfristig wird gegenüber den siebziger Jahren eine Reduktion des spezifischen Energieverbrauchs auf einen Drittel bei Neubauten resp. auf etwa die Hälfte bei Altbauten angestrebt. Im SIA-Absenkpfad (vgl. Bild) wird diese Entwicklung graphisch dargestellt. Das globale Ziel des Forschungsprogrammes ist es, diese Entwicklung durch technische Verbesserungen gezielt zu unterstützen.



Die konkreten Zielsetzungen für das Jahr 1995 waren:

- **Ausarbeiten und Initiieren des Forschungsprogrammes 96-99.** Dieses Programm legt die Forschungsschwerpunkte bis zum Jahr 2000 fest und soll Forschung und Entwicklung im Energiebereich neue Impulse verleihen.
- **Verstärkte Ausrichtung des Programms auf die Gebäudesanierung.** Der schweizerische Energieverbrauch wird durch die bestehenden Gebäude massgeblich bestimmt. Sowohl die Bauwirtschaft wie auch die bauliche Energieforschung haben sich bisher zu einseitig auf Neubauten ausgerichtet. Während der nächsten fünf Jahre muss sich diese Situation drastisch ändern.
- **Verbesserung der Grundlagen zur ökologischen Beurteilung baulicher Massnahmen.** Die gesamtheitliche Beurteilung steckt im Baubereich noch in den Kinderschuhen. Sie muss über die nächsten 10 Jahre schrittweise in den Planungsprozess einbezogen werden. 1995 stand dazu vor allem die Verbesserung der Datengrundlage über Baustoffe im Vordergrund.

## 2. Durchgeführte Arbeiten und erreichte Ergebnisse

Mit dem Start einer neuen Programmperiode ab 1996 galt es 1995 vor allem, die noch laufenden Projekte abzuschliessen. Von 40 laufenden Projekten konnten 12 abgeschlossen werden, weitere 8 werden demnächst abgeschlossen. 7 Projekte wurden neu gestartet. Im einzelnen können die Ergebnisse wie folgt zusammengefasst werden:

### PLANUNGSHILFSMITTEL

Die Arbeiten im Bereich Planungshilfsmittel konzentrieren sich auf vier Schwerpunkte:

- Integrale Planungshilfsmittel, welche die interdisziplinäre Optimierung von Energiesystemen ermöglichen,
- Integration gesamtheitlicher, ökologischer Aspekte in den Planungsablauf,
- Weiterführung der Arbeiten auf dem Gebiet der passiven und hybriden Raumkühlung,
- Abschlussarbeiten zu verschiedenen Projekten im Lüftungsbereich.

Die Verknüpfung von verschiedenen Simulationsprogrammen zu einem integralen Planungsinstrument findet vor allem statt im Rahmen des NEFF-Projektes **Integration von Gebäudesimulationsprogrammen für Energie, Lufttransport und Tageslicht**. Es beinhaltet im wesentlichen die Verknüpfung der Programme DOE-2, TRNSYS und COMERL und ermöglicht dadurch mehr Flexibilität bei der Wahl und Kombination geeigneter Simulationsmodule.

Verschiedene unterstützende Arbeiten, insbesondere die Erarbeitung neuer Berechnungsmodule für Kühldecken, Fussbodenheizungen, Radiatoren im Programm DOE und Fenster im Programm TRNSYS, konnten im Rahmen der **Energiererechnunterstützung für Gebäude- und Haustechniksimulationen** [14] realisiert werden.

Eine noch weitergehende interdisziplinäre, gesamtheitliche Betrachtung strebt das Projekt **Optimierung von Gesamtenergieverbrauch, Umweltbelastung und Baukosten** [2] an, welches beabsichtigt, die ökologischen Aspekte des Bauens mit den rein technischen und energetischen zu Verknüpfen. Die Arbeiten werden als bilaterales schweizerisch-deutsches Projekt durchgeführt und sind eng mit der schweizerischen Baukostenplanung der *Centrale pour la rationalisation du bâtiment, CRB*, verknüpft.

Ziel ist ein elektronisches Planungshilfsmittel, welches parallel zur Baukostenermittlung auch die kombinierte Berechnung von:

- laufendem Energiebedarf für Heizung, Warmwasser und Elektrizität nach SIA,
  - Verbrauch an "grauer" Energie für die Erstellung und Erneuerung,
  - Umweltbelastung sowie Bauschuttaufkommen,
- zulässt.

1995 konnten die Sachbilanzen für die relevanten Baustoffe komplettiert, die Berechnungs- und Bewertungs-algorithmen definiert und mit der Erarbeitung der Normpositionen und Berechnungselemente begonnen werden. Der Abschluss der Arbeiten ist 1996 vorgesehen. Die gemeinsamen Vorbereitungen mit dem CRB zur Implementierung der Methode in CRB-Kalkulationsgrundlagen laufen.

Ergänzend zu diesem zentralen, anspruchsvollen Projekt wurden in enger Zusammenarbeit mit der **Koordinationsgruppe des Bundes für Energie- und Ökobilanzen** verschiedene flankierende Projekte durchgeführt:

- Die Untersuchung über die **Energie- und Stoffbilanzen bei der Herstellung von Wärmedämmstoffen** [19] konnte abgeschlossen werden. Sie hat gezeigt, dass der Anteil grauer Energie und die Schadstoffbelastung bei der Herstellung sehr unterschiedlich sein kann. Das beste Ergebnis erzielten zweifellos die Celluloseflocken aus Altpapier, währenddem die Unterschiede zwischen Stein- und Glasswolle bei durchschnittlich recht gutem Ergebnis relativ gering sind. Leider fehlen für die Herstellung von organischen Schaumstoffen lückenlose Herstellerangaben, sodass die Dämmstoffe auf Polystyrol- oder Polyurethanbasis nicht abschliessend beurteilt werden können. Obwohl die Untersuchung grosse Unterschiede der Umweltbelastung bei der Herstellung von Dämmstoffen aufzeigte, muss nach wie vor die Eignung des Baustoffes für die spezifische Anwendung beachtet werden.
- Mit der Herausgabe der SIA-Dokumentation D0123 wurden die Ergebnisse der Untersuchung **Hochbaukonstruktionen nach ökologischen Gesichtspunkten** [20] veröffentlicht. Die Untersuchung stellt vergleichbare Baukonstruktionen einander gegenüber und versucht eine Beurteilung über den gesamten Lebenszyklus inkl. Demontage vorzunehmen. In einer separat erhältlichen Dokumentation [21] wird über die verwendeten und z. T. neu ermittelten Sachbilanzen detailliert Auskunft gegeben.
- Eine weitere noch laufende Untersuchung befasst sich mit der **Ökobilanz und den Entsorgungskonzepten für Fensterverglasungen** [11]. Sie geht vor allem der Frage nach, ob Hochisolationsgläser mit metallischen Beschichtungen nebst energetischen Vorteilen umweltmässige Nachteile verursachen. Gleichzeitig soll aufgezeigt werden, welche Entsorgungskonzepte für die jährlich in der Schweiz eingesetzten 2 Mio m<sup>2</sup> Fensterverglasung angestrebt werden sollen. Vor allem die älteren, mit Leinölkitt verschmutzten Gläser scheinen bezüglich Recycling Probleme zu verursachen. Der Bericht, an dem die Glasindustrie mitarbeitet, wird anfangs 1996 veröffentlicht.
- 1994 wurde von der Koordinationsgruppe für Energie- und Ökobilanzen in Zusammenarbeit mit dem SSP Umwelt die Erarbeitung einer **Standardsoftware für Ökobilanzen** initiiert. Inzwischen ist die Standardsoftware als Produkt der Firma CARBOTECH [28] mit gutem Erfolg auf dem Markt. Es garantiert eine vergleichbare und transparente Bearbeitung von Ökobilanzen und soll soweit möglich für alle zukünftigen Ökobilanzen, insbesondere im Auftrag der Bundesstellen zur Anwendung gelangen.

- So unterschiedlich die Untersuchungen im Ökologiebereich sind, so oft werden die gleichen Datengrundlagen benötigt. Mit dem Projekt **ECOINVENT** [10] wird an der ETH Zürich, am Laboratorium für Energiesysteme, eine Stelle unterstützt, welche die (primär aus öffentlichen Untersuchungen stammenden) **Ökodaten sammelt, sichtet und in einheitlicher Form für weitere Anwendungen zur Verfügung stellt**.
- Ein zukunftsorientiertes Projekt, unterstützt durch fünf Bundesämter, befasst sich mit der **Nachhaltigkeit der Schweizer Bauwirtschaft** [12]. Die Studie soll aufzeigen, welchen Kriterien die Schweizer Bauwirtschaft zu genügen hätte und wie sie diesen nachkommen könnte, wollte sie langfristig das Postulat der Nachhaltigkeit erfüllen. Eine erste Präsentation fand anfangs November im Rahmen des Schweizer Bauforums in Davos statt. Die Studie wird 1996 veröffentlicht. Erste Erkenntnisse zeigen, dass wir noch sehr weit von einer nachhaltigen Bauwirtschaft entfernt sind und diese ohne grundlegende Veränderung des Wirtschafts- und Sozialsystems kaum erreichen können.

Der dritte Schwerpunkt im Bereich Planungshilfsmittel befasst sich mit der passiven und hybriden Raumkühlung. Die **passive Kühlung** wurde hauptsächlich im Rahmen des EU-Projektes **PASCOOL** [1] bearbeitet, welches seine Ergebnisse vor allem mittels des Programms P.E.M. (*Pascool Electronic Metahandbook*) [29], einer Art Expert-System verbreitet. Auf schweizerischer Seite wird zudem an einem Rechenprogramm gearbeitet, welches es dem Planer ermöglicht, die durch natürliche Lüftung abführbare Wärmelast zu bestimmen. Das Programm wird 1996 erhältlich sein.

Das IEA-Projekt **Low Energy Cooling** [8] konzentriert sich im wesentlichen auf die **hybride Raumkühlung**, das heisst Systeme, welche natürliche Kältequellen mittels haustechnischer Systeme ausnutzen. 1995 wurde in der Schweiz die Untersuchung über **Evaporativ-Systeme** [24] abgeschlossen. Sie zeigt klar, dass in der Schweiz das Kühlpotential durch Verdunstung klein ist und in der Regel durch andere Systeme ergänzt werden muss. Die NEFF-Projekte über **Raumklimatisierung mittels Erdregistern und Nachtauskühlung der Betondecke** sind abgeschlossen. Die Berichte erscheinen anfangs 1996. Beide Systeme haben ihre Eignung bei moderaten Kühllasten bewiesen und werden in der Praxis schon verschiedentlich eingesetzt.

Im Bereich **Lüftung** stehen vor allem die zwei IEA Projekte **Multizone Air Flow Modelling** [1] und **Efficient Ventilation of Large Enclosures** [7] sowie das **EU Audit Project to Optimise Indoor Air Quality and Energy Consumption of Office Buildings** [1] kurz vor dem Abschluss. Das Hauptergebnis des ersten IEA Projekt besteht im Programm COMIS, welches die Luftaustauschberechnung in Gebäuden ermöglicht. Das zweite IEA-Projekt wird ein Handbuch für Planer herausgeben, welches effiziente Lüftungskonzepte für grosse Hallen beschreibt. Das EU-Projekt untersuchte vor allem die Luftqualität in Bürobauten und die Anwendbarkeit der Olf/Decipol-Methode von Prof. Fanger. Das Projekt hat gezeigt, dass gute Luftqualität und Komfort nicht mit den Luftmengen korrelieren und dass die Entwicklung einer "künstlichen Nase" von grosser Bedeutung wäre.

## GEBÄUDEHÜLLE

Verschiedene Projekte, welche sich mit Energie- und Ökobilanzen von Baustoffen und -konstruktionen befassen wurden bereits unter "Planungshilfsmittel" erwähnt.

Ebenfalls nahe zur Bauökologie steht das Projekt **Schadstoffemissionsverhalten von Baustoffen** [18], welches das Ausgasen von ca. 70 gängigen Baustoffen untersuchte. Die Ergebnisse und die Untersuchungsmethoden konnten bereits in verschiedenen Fällen eingesetzt werden, eine allgemeine Anwendung zur Klassifizierung der Baustoffe kommt allerdings nur koordiniert mit andern europäischen Ländern in Frage.

Das IEA-Projekt **Heat, Air and Moisture Transfer Through New and Retrofitted Insulated Envelope Parts** [3] ermöglicht eine wesentlich bessere Beurteilung der **kombinierten Wärme-, Feuchte- und Lufttransportmechanismen** in Bauteilen. Es konnte aufgezeigt werden, dass eine einseitige Wärmedurchgangsbetrachtung in verschiedenen Fällen zu völlig falschen Ergebnissen führen kann. Diverse Konstruktionen (v.a. hinterlüftete Wand- und Dachkonstruktionen, Umkehrdächer etc.) müssen nach Abschluss des Projekts 1996 nochmals grundlegend überdacht werden.

Im Rahmen des EU-Projektes **KOBRA** [4] wurde ein elektronischer Bauteilkatalog erstellt, der auf einfache Weise die **Berechnung von individuell dimensionierten Wärmebrücken** zulässt. Das Programm ist als Prototyp vorhanden und wird 1996 europaweit erhältlich sein.



Die Optimierungsmöglichkeiten für Backsteinmauerwerke werden mit der Schweizer Ziegelindustrie im Rahmen des Projekts **Hochwärmedämmendes Verbandmauerwerk** [13] untersucht. Ziel der Untersuchung ist die Entwicklung eines Verbandmauerwerks mit einem  $k$ -Wert  $\leq 0,3 \text{ W/m}^2\text{K}$ . Die Arbeiten umfassen sowohl die geometrische Optimierung (Steinlochung, Steinformat) wie auch materialtechnische Fragen (Porosierung, Leichtmörtel). Die Untersuchungen werden 1996 abgeschlossen.

## HAUSTECHNIK

Das Projekt **Fehlererkennung in HLK-Anlagen** [5] untersucht im Rahmen einer IEA-Zusammenarbeit Möglichkeiten zur frühzeitigen und automatischen Detektion von Betriebsproblemen in Haustechnikanlagen. LANDIS & GYR, SULZER und ETH-Zürich haben in der Schweiz verschiedene Methoden an Wärmepumpen, Heizkesseln und Lüftungsanlagen getestet und Pilotinstallationen realisiert. Erste Anwendungen für BHKW's sind bereits im praktischen Einsatz, weitere sind geplant.

Zwei Projekte befassen sich mit der optimierten Steuerung und Regelung von haustechnischen Systemen. Im Projekt **DELTA** [9], werden in Zusammenarbeit mit LANDIS & GYR und ZUMTOBEL **Licht Optimierungsmöglichkeiten für Tageslicht, Kunstlicht, Kühlbedarf und Heizlast untersucht**. Verschiedene Regelalgorithmen, inkl. *Fuzzy-Logic*, wurden an einem realen Raum untersucht. Regelstrategien, welche bei nahezu maximaler Tageslichtnutzung nur geringe Kühllasten verursachen, scheinen möglich zu sein. Der Schlussbericht erscheint anfangs 1996.

Neue **Regelstrategien unter Einbezug von neuronalen Netzwerken und Fuzzy-Logic** sollen im Projekt **NEUROBAT** untersucht werden. Vor allem falsches Benutzerverhalten und die gegebene Systemträgheit können damit kompensiert werden. 1994/95 wurde eine Vorstudie durchgeführt [26], aufgrund derer nun in einer ersten Phase das Konzept konkret ausgearbeitet und als Prototyp demonstriert werden soll.

Im Heizkesselbereich wurden die Grundlagen erarbeitet, die es ermöglichen, im Rahmen der **Typenprüfung Ölheizkessel** auch bezüglich des **energetischen Verhaltens im Teillastbetrieb** zu beurteilen [22]. Die Untersuchung wurde an einer Tagung den Heizkesselherstellern vorgestellt. Die Methode mit Rechenprogramm steht ihnen zur Verfügung. In einem Folgeprojekt soll sie nun für Gasheizkessel mit atmosphärischen Brennern, gleitend und/oder kondensierend betrieben, ergänzt werden.

Ein weiteres Projekt befasst sich mit dem **Korrosionsschutz im Heizkessel** [23]. Es ist beabsichtigt, Ölheizkessel mit thermisch härtenden Kunstharzen so zu beschichten, dass sie ohne Korrosionsrisiko gleitend oder sogar kondensierend betrieben werden können. Die Ergebnisse, welche ebenfalls an einer Tagung der Heizkesselbranche vorgestellt wurden, sind so positiv, dass ab 1996 in einem Pilotversuch ca. drei Kessel im praktischen Betrieb mit den Heizkesselherstellern getestet werden sollen.

## PILOT- UND DEMONSTRATIONSPROJEKTE

Die Integration des Pilot- und Demonstrationsprogrammes in das Forschungsprogramm schreitet voran. Konkret werden dadurch Demonstrationsvorhaben enger mit den Forschungsvorhaben verknüpft. Zukünftig sollen die zur Verfügung stehenden Mittel gezielter für solche Synergien eingesetzt werden. Im Vordergrund stehen deshalb:

- neue Energiekonzepte für Niedrigenergie-Mehrfamilienhäuser,
- Lüftungskonzepte für Wohnbauten,
- Raumkühlung mit passiven und hybriden Mitteln,
- Gebäudesanierungen, insbesondere von Mehrfamilienhäusern,
- ökologisch und ökonomisch optimierte Bausysteme.

Gleichzeitig können auch Forschungsgelder eingesetzt werden, um entsprechende Projekte zu initiieren, auszuarbeiten oder auszumessen. Konkrete diesbezüglich interessante Vorhaben sind:

- Ideenwettbewerb für die Mustersanierung von Mehrfamilienhäusern [15],
- Niedrigenergie-Mehrfamilienhäuser Hausacker Winterthur, mit neuartigem Wohnungslüftungssystem,
- Messprojekt Personalthäuser Dielsdorf [16], bei welchen u.a. das kombinierte Wohnungslüftungs- und Warmwassersystem METRO mit der solaren Wassererwärmung SOLKIT und dem HEATHUNTER-Lüftungswärmetauscher verglichen werden.

Zwei ebenfalls wichtige Demonstrationsvorhaben konnten 1995 abgeschlossen und publiziert werden:

- Wohnüberbauung im Niederholzboden, Riehen, der METRON Architekten, Brugg,
- TENUM-Bürogebäude, Liestal, als Niedrigenergie-Bürohaus in Ökobauweise [25].

Insgesamt werden momentan 31 Pilot- und Demonstrationsprojekte unterstützt. Ergänzende Informationen sind in [27] zu finden.

### 3. Zusammenarbeit, internationale Kontakte

Sowohl die Zusammenarbeit mit andern Förderungsfonds für die gemeinsame Finanzierung von Projekten wie auch die internationale Zusammenarbeit im Rahmen der EU und der IEA, aber auch die Zusammenarbeit mit Industriepartnern, konnten intensiviert werden.

Die noch laufenden EU-Projekte *PASCOOL* (passive Kühlung von Gebäuden) [1], *IAQ Audit* (Luftqualitätsüberwachung in Bürogebäuden) [1] und *KOBRA* (Wärmebrückenatlas) [1] werden demnächst abgeschlossen.

Im 4. EU-Rahmenprogramm wurden bisher vier Projekteingaben in Brüssel neu bewilligt:

- *OFFICE*: Sanierungsstrategien für Bürogebäude,
- *NATVENT*: Natürliche Lüftung in Bürobauten,
- *SMARTIS*: Regelungsstrategien für Lüftungsanlagen,
- *SAVEHEAT*: Solarunterstützte natürliche Lüftung mit Wärmerückgewinnung.

Entsprechende Projektanträge werden demnächst dem Bundesamt für Bildung und Wissenschaft unterbreitet, welches bis auf weiteres die Finanzierung von Schweizer Teilnahmen an EU-Projekten übernimmt. Weitere Projekteingaben werden in Brüssel noch behandelt.

Die Zusammenarbeit mit der IEA findet im Rahmen des *Energy Conservation in Buildings and Community Systems Programme (BCS)* statt. An folgenden laufenden Projekten ist die Schweiz beteiligt:

- *Air Infiltration and Ventilation Centre (AIVC)*, laufend [6],
- *Multizone Air Flow Modelling*, wird 1996 abgeschlossen [1],
- *Real Time Simulation in HVAC Systems* (Fehlererkennung in Haustechnikanlagen), wird 1996 abgeschlossen [5],
- *Energy Efficient Ventilation of Large Enclosures*, wird 1996 abgeschlossen [7],
- *Low Energy Cooling*, laufend [8].

Neue Projekte in Vorbereitung sind:

- *Energy Related Environmental Impact of Buildings*,
- *Integral Building Envelope Performance Assessment*.

### 4. Umsetzung der Ergebnisse in die Praxis

Die Umsetzung in die Praxis erfolgt einerseits direkt durch sogenannte Industrieprojekte oder im Rahmen des P+D-Programmes oder indirekt durch Publikationen und Veranstaltungen. Diesbezüglich **interessante Industrieprojekte**, bei denen sich das Ergebnis direkt in Produkten niederschlagen sollte, sind:

- Organische Beschichtungen als Korrosionsschutz in Niedertemperaturheizkesseln [23],
- Fehlererkennung in HLK-Anlagen [5],
- *DELTA, Contrôle optimum des stores* [9],
- Hochwärmedämmendes Verbandmauerwerk [13],
- EMIS, Standardsoftware für Ökobilanzen [28],
- *Courant d'air dans les hangars lors de l'ouverture des portes* [1].

Zur Verbreitung der Forschungsergebnisse in die Praxis wurden nebst den Publikationen gemäss Abschnitt 7. verschiedene Tagungen und Kurse ermöglicht:

- Die Ergebnisse des früheren Forschungsprojekts Effiziente Energienutzung in Spitälern wurden für Energie 2000, Ressort Spitäler, aufbereitet und in die Kurse integriert.
- Die Unterlagen zur effizienten Energienutzung in Schulen (EFFENS-Projekt) wurden für Energie 2000, Ressort öffentliche Hand, eingesetzt.
- Forschungsergebnisse mit EMPA-Beteiligung wurden an den EMPA-Tagen "Energie und Umwelt", am 15./16. September an der ETHZ, vorgestellt [17].

## 5. Ausblick

1996 steht der Start des **Forschungsprogrammes 1996-1999** im Vordergrund [8]. Es unterstützt folgende, übergeordnete Zielsetzungen:

- Sicherung der Reduktion des durchschnittlichen Energieverbrauchs von Neubauten gemäss SIA-Absenkpfad.
- Voraussetzungen schaffen für die parallele Reduktion des Energieverbrauchs von sanierten Altbauten auf den 1,5-fachen Wert von Neubauten gemäss Absenkpfad.
- Integration gesamtheitlicher Optimierungen (graue Energie, Betriebsenergie, Rohstoffverbrauch, Umweltbelastung) in den Planungsablauf bis zum Jahr 2010.

Das Forschungsprogramm soll Projekte unterstützen und initiieren, welche – koordiniert und ergänzend zu den Energieforschungs- und Entwicklungsprojekten der Privatwirtschaft, der Hochschulen und übriger Forschungsorganisationen – die Erreichung dieser gesteckten Ziele ermöglichen. Die im Forschungsprogramm für 1996-1999 konkret festgelegten Schwerpunkte sind:

- **Anwendungsorientierte, rechenunterstützte Planungswerkzeuge**, insbesondere zur integralen Optimierung von Energiesystemen,
- **Instrumente für Bauabnahme und Energiediagnose**, zur einfacheren und effizienteren Überprüfung der Ausführung resp. des Zustandes energierelevanter Bauteile und haustechnischer Systeme,
- **Ökologische Beurteilung und Optimierung der Umweltbelastung** bei Herstellung, Nutzung und Entsorgung von Bauteilen und haustechnischen Anlagen, Verbesserung der Bewertungsmethoden und Datengrundlagen für Ökobilanzen, Rückbaubarkeit energetischer Systeme, energetische Optimierung umweltfreundlicher Bauweisen,
- **Passive und energiesparende Raumkühlung** (ohne Kältemaschinen),
- **Energetische Gebäudesanierung**, Verbesserung der Dauerhaftigkeit, Zuverlässigkeit und Kosteneffizienz.

Parallel zum Forschungsprogramm läuft das **Pilot- und Demonstrationsprogramm**, welches in Zusammenarbeit mit den Kantonen die neuen Möglichkeiten aus Forschung und Entwicklung im Rahmen von Niedrigenergiebauten in die praktische Anwendung umsetzt. In diesem Bereich stehen folgende Schwerpunkte im Vordergrund:

- Niedrigenergie-Mehrfamilienhäuser und -Bürobauten,
- Mustersanierungen von typischen Problembauten,
- Einfache Haustechnikkonzepte für Heizung, Lüftung und Warmwasser in Niedrigenergiehäusern.

## 6. Projektliste

- [1] C. Roulet, EPF-Lausanne: *Participation de la Suisse au projet Européen Joule II PASCOOL*. (JB) ♦ *Programme LESOKAI 2.0*. (JB) ♦ *IEA/BCS Annex 23: Multizone Air Flow Modelling*. (JB) ♦ *European Audit Project to Optimise Indoor Air Quality and Energy Consumption of Office Buildings (IAQ Audit)*. (JB) ♦ *Courant d'air dans les hangars lors de l'ouverture des portes*. (JB)
- [2] N. Kohler, IFIB/UNI-Karlsruhe: *Optimierung von Gesamtenergieverbrauch, Umweltbelastung und Baukosten (OGIP/DATO)*. (JB)

- [3] P. Steiner, EMPA-Dübendorf: *IEA/BCS Annex 24: Heat, Air and Moisture Transfer Through New and Insulated Envelope Parts (HAMTIE)*. (JB)
  - [4] Th. Frank, EMPA-Dübendorf: *KOBRA (PC-Wärmebrückenatlas)*. (JB)
  - [5] J. Tödtli, LANDIS & GYR, Zug: *IEA/BCS Annex 25: Fehlererkennung in HLK-Anlagen*. (JB)
  - [6] V. Dorer, EMPA-Dübendorf: *IEA/BCS Annex 5: Air Infiltration and Ventilation Centre (AIVC)*. (JB)
  - [7] A. Moser, ETH-Zürich: *IEA/BCS Annex 26: Energy Efficient Ventilation of Large Enclosures*. (JB)
  - [8] M. Zimmermann, EMPA-Dübendorf: *IEA/BCS Annex 28: Low Energy Cooling*. (JB) ♦ *Forschungsprogramm Rationelle Energienutzung in Gebäuden 1996-1999*, Januar 1996
  - [9] N. Morel, EPF-Lausanne: *DELTA, Contrôle optimum des stores*. (JB)
  - [10] E. Walder, ETH-Zürich: *ECOINVENT - Weiterführung Ökoinventar für Energiesysteme*. (JB)
  - [11] K. Richter, EMPA-Dübendorf: *Ökologische Bewertung von Wärmeschutzgläsern*. (SB)
  - [12] U. Mauch, INFRAS, Zürich: *Nachhaltige Bauwirtschaft Schweiz*.
  - [13] H. Gubler, VSZ, Zürich: *Hochwärmedämmendes Verbandmauerwerk*.
  - [14] G. Zweifel, EMPA-Dübendorf, P. Jaboyedoff, SORANE, Lausanne: *Thermische Simulation von Gebäuden*. (SB) ♦ *Energiererechnunterstützung für Gebäude- und Haustechniksimulationen*.
  - [15] A. Baumgartner, INTEP, Zürich: *Mustersanierung Mehrfamilienhaus*.
  - [16] R. Lüthi, Architekt, Regensberg: *Messprojekt Personalthäuser Dielsdorf*.
- (JB) Jahresbericht 1995 vorhanden  
 (SB) Schlussbericht vorhanden

## 7. Referenzen

- [17] EMPA-Dübendorf: *EMPA-Tage Energie und Umwelt - Rationelle Energienutzung und Umwelttechnik*, ETH-Zürich, 14./15. September 1995
- [18] C. Zellweger et al, EMPA-Dübendorf: *Schadstoffemissionsverhalten von Baustoffen*, September 1995
- [19] K. Richter / M. Fischer et al, EMPA-Dübendorf: *Energie- und Stoffbilanzen bei der Herstellung von Wärmedämmstoffen*, September 1995
- [20] P. Steiger, INTEP, Zürich: *Hochbaukonstruktionen nach ökologischen Gesichtspunkten*, SIA-Dokumentation D 0123, September 1995
- [21] Th. Weibel, A. Stritz, LES / ETH-Zürich: *Ökoinventare und Wirkungsbilanzen von Baumaterialien*, September 1995
- [22] Th. Cerkez et al, EMPA-Dübendorf: *Energierrelevante Typenprüfungen für Öl- und Gasheizkessel mit Gebläsebrennern*, März 1995
- [23] M. Faller, EMPA-Dübendorf: *Organische Beschichtungen als Korrosionsschutz in Niedertemperaturheizkesseln*, März 1995
- [24] H. P. Krüttli, AIR COMFORT, Winterthur: *Einsparung von elektrischer Energie in lufttechnischen Anlagen durch adiabatische Kühlung*, Juni 1995
- [25] W. Hässig et al, BASLER & HOFMANN, Zürich: *Erfolgskontrolle an Öko-Bürohaus TENUM*, Februar 1995
- [26] M. El-Khoury, CSEM, Neuchâtel: *NEUROBAT-Vorstudie*, April 1995
- [27] BEW, Bern: *Pilot- und Demonstrationsprojekte 1993-1994*, Jahresberichte der Programmleiter, Februar 1995
- [28] F. Dinkel et al, CARBOTTECH, Basel: *EMIS - Standardsoftware für die Ökobilanzierung*, 1995
- [29] W. Weber et al, CUEPE, Genève: *P.E.M. Pascool Electronic Metahandbook*, Version 1.2, 1995



## 1. Programmübersicht und anvisierte Ziele für 1995

Die Solararchitektur strebt an, Gebäude so zu gestalten, dass die Sonne gezielt als Licht- und Wärmequelle einbezogen wird um den Verbrauch von nicht-erneuerbarer Energie extrem tief zu halten. Form des Gebäudes, Verhältnis von transparenten zu opaken Partien in der Gebäudehülle, Zonierung und Anordnung der thermischen Masse werden so gewählt, dass einerseits möglichst viel der angebotenen Sonnenenergie aufgenommen werden kann und für einige Zeit im Gebäude gespeichert bleibt, ohne dass im Sommer Überhitzung auftritt. Durch Zusammenarbeit mit Industrie, Forschungsinstituten und Schulen werden Grundkenntnisse und praktische Erfahrungen gewonnen, die es erlauben sollen, den Energiebedarf von Gebäuden immer weiter zu senken ohne Einbussen an Komfort hinnehmen zu müssen. Es ist Aufgabe des Forschungsprogrammes "Solararchitektur", die Erarbeitung neuer Konzepte, die Entwicklung von Prototypen neuer Materialien und Komponenten, Erfolgskontrollen an gebauten Objekten und die Bereitstellung von Planungshilfsmitteln zu unterstützen. Die Resultate müssen dann in die Praxis sowie in Aus- und Weiterbildung eingebracht werden. Wegen beschränkter Mittel ist eine starke Verknüpfung mit komplementären Forschungstätigkeiten im Ausland unerlässlich.

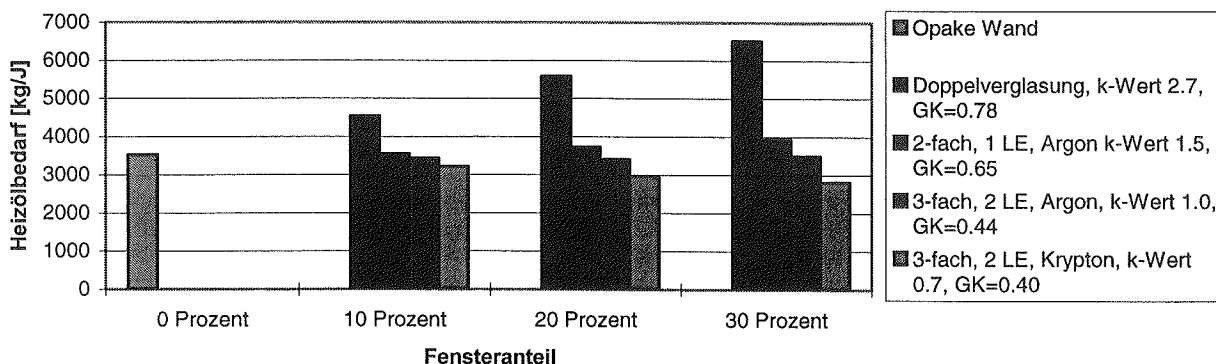
Ziele für 1995 waren:

- Beschaffung von Kenndaten über Gläser, Fenster und TWD-Elemente durch Messung oder Berechnung, Bestimmung der Auswirkungen auf den Energiebedarf der Bauten mittels Simulationsrechnungen, Erarbeitung von Hilfsmitteln zum Planen von Tageslichtsystemen;
- Erarbeitung von Hilfsmitteln für die Auslegung von Hypokaustsystemen (Luftkollektor und Speicher als Funktion des Energiebedarfs), Ermittlung des Wirkungsgrades bei der Nutzung von Warmluft aus Atrien, Aussagen über die Temperaturschichtung in Atrien und Luftströmungen in Doppelwandfassaden;
- Gesamtkonzepte für Solarhäuser: Erarbeitung von Konzepten für Niedrigenergiehäuser gewonnen aus Messungen an guten Beispielen aus der Schweiz und anschliessender Suche nach Optimierungsmöglichkeiten über Sensitivitätsstudien mittels dynamischen Simulationsmodellen, Bereitstellung von Planungshilfsmitteln.

## 2. 1995 durchgeführte Arbeiten und erreichte Ergebnisse

### TAGESLICHTNUTZUNG UND DIREKTGEWINN

Im IEA-Projekt **Rechenmodelle, Mess- und Prüfverfahren für transparente Bauteile** [1] geht es einerseits darum, Module zur Berechnung des Einflusses transparenter Bauteile auf das thermische Verhalten von Gebäuden zu erstellen und Fallstudien durchzuführen, andererseits Mess- und Prüfverfahren zur Ermittlung des Verhaltens der Materialien zu definieren und international zu vereinheitlichen. In einer Studie wurde aufgezeigt, dass der Wechsel von der reinen Doppelverglasung zu hochisolierenden Fenstern (d.h. 2- oder 3-fach verglast, low-E-beschichtet und mit Edelgas gefüllt) bei 20 % Fensteranteil an der Fassade der Heizenergiebedarf um einen Drittel reduziert wird. Die verschiedenen Typen hochisolierender Fenster untereinander zeigen aber erst dann signifikante Unterschiede in der Energiebilanz, wenn der Fensteranteil gegen 30 % der Fassade ausmacht und die Fassade nicht nach Süden gerichtet ist (siehe Figur).



Heizölbedarf eines typischen MFH (ostorientiert, Kt. Zürich) für diverse Fenstertypen und Flächenanteile.

Im Projekt **Optische und thermische Eigenschaften von Verglasungsmaterialien (Glasdatenbank GLAD-PC)** [1] soll für die Schweiz ein Standard PC-Programm erstellt werden zur Berechnung von Wärmedurchgang und Gesamtenergiedurchlassgrad hochwärmedämmender Gläser und Fenster. Es wurde eine *Beta-Version* erstellt und einem Dutzend künftiger Anwender zur Erprobung überlassen. Die eingegangenen Anregungen wurden berücksichtigt und GLAD soll auf Anfang 1996 freigegeben werden.

Das 1995 gestartete Projekt *DIAL-Outil d'aide à la décision en éclairage naturel* [4] hat zum Ziel, ein PC-Werkzeug zu erstellen, welches den Entwurfsvorgang beim Planen eines Tageslichteinsatzes unterstützen soll. Benutzeroberfläche und Programmierung sollen analog zum PC-Programm DIAS gewählt werden. Das Gerüst des Programms wurde erstellt.

Das Projekt *Lumière naturelle et Énergie - Études typologiques* [5] wurde ebenfalls 1995 gestartet mit dem Ziel, dem Architekten im Vorprojektstadium Hilfsmittel zur Verfügung zu stellen, bestehend aus typischen Raum-/Lichteintrittskonfigurationen, mit Angaben über die Tageslichtverhältnisse. Es wurden typische Kombinationen von Raumgeometrie und Lichtöffnung ausgewählt und dafür Tageslichtkoeffizienten berechnet. Für komplexere Verhältnisse mit einer Überlagerung solcher Kombinationen können die Tageslichtkoeffizienten durch multiplikative Verknüpfung errechnet werden.

Das Projekt **Tageslichtnutzung in an Atrien grenzenden Räumen** [2] hat zum Ziel, Faustregeln aufzustellen um den Einfluss verschiedener Atrien auf das Tageslichtniveau in angrenzenden Räumen und den jährlichen Energieverbrauch bestimmen zu können. Die dafür erforderlichen Berechnungen verlangen den Datenaustausch zwischen den Programmen für die Berechnung der Beleuchtungsverhältnisse und den Energieberechnungen. Diese Verbindungen wurden erstellt. Die Resultate aus der Berechnung der Tageslichtfaktoren wurden mittels Messungen überprüft. Dies war nötig, da bei früheren Berechnungen Berechnungsfehler gefunden worden sind. Die Überprüfung ergab zwar Abweichungen für die Tageslichtfaktoren bei einigen speziellen Leuchtdichteverteilungen, der errechnete Energiebedarf hingegen wird durch diese Unstimmigkeit nur wenig beeinflusst. Für das kommende Jahr sind Parameterstudien vorgesehen.

Im Projekt *Prototype de vitrage isolant évacué* [8] wurden weitere Versuche mit Dichtmassen durchgeführt; die für Vakuumfenster verlangte Langzeitstabilität wurde aber noch nicht erreicht.

## SOLARTHERMISCHE SYSTEME

Das IEA-Projekt *Solar Air Heating for Buildings* [9] will Planungsunterlagen bereitstellen, Komponenten entwickeln und testen, sowie architektonisch gelungene Eingliederungen präsentieren. Aus der Schweiz wurden vier Beispiele dokumentiert und die erste Version eines Computerprogramms mit benutzerfreundlicher Oberfläche wurde von deutschen Experten erstellt.

Mit dem Projekt **Auslegung von Hypokaustenspeicher** [13] sollen Grundlagen zur thermischen und hydraulischen Dimensionierung von Hypokaustensystemen erarbeitet werden. Für vier Aufbauten von Hypokausten, die sich in Kanalgrösse, Abstand der Kanäle und Dicke der Speicherschicht unterscheiden, wurden Nomogramme erarbeitet, die bei der Auslegung von Systemen verwendet werden können. Die Arbeiten werden auch in ein IEA-Projekt einfließen.

In der zweiten Phase der **Optimierung der Luftkollektoren mit Latentspeicher in Schüpfen** [3] wurde vollkommen auf Latentspeicher verzichtet, an deren Stelle wurde ein über einen Wärmetauscher aufwärmbarer Wasserspeicher (ähnlich einem IEA-Projekt in Dänemark) eingebaut. Nach Inbetriebnahme sind für 1996 Kurzzeitmessungen vorgesehen.

Im Projekt **Solare Luftvorwärmung in Atrien** [11] wurden Messungen durchgeführt und laufend ausgewertet. Im Anlagenkonzept ist vorgesehen, dass bei Heizbedarf erst dann aus dem Atrium Luft den Büros zugeführt wird, wenn die Wärmerückgewinnung mindestens 70 % der Nennleistung erreicht. Dies bewirkt, dass erst bei hohem Bedarf Atriumswärme genutzt wird (in der Messphase war dies ab dem 23. Oktober der Fall). Bei der Nutzung dieser Wärme sind noch Verbesserungen möglich, die dafür nötigen Massnahmen werden untersucht. Dank der Pufferwirkung werden die Transmissionsverluste durch die an das Atrium grenzende Fassade 3 bis 5 kW gegenüber 16 kW (berechnet) ohne Atrium. Während des Winters 94/95 sank die Temperatur im Atrium nie unter 10 °C, sodass nie nachgeheizt werden musste.

Die Ergebnisse der ersten Phase des Projektes *Modélisation de grands espaces vitrés* [12] wurden in einer Dokumentation zusammengestellt. Um grosse Atrien auch mit dem bestehenden Simulationsprogramm TRNSYS berechnen zu können, wurde die Berechnung der Verteilung der Solargewinne geändert. Für 1996 sind Fallstudien vorgesehen.

Im Projekt *Façade double-peau*, Zusammenhang zwischen der Typologie von Doppelwand-Fassaden und ihrem energetischen und bauphysikalischen Verhalten [6] wurde ein neues Modell für die Simulation der natürlichen Konvektion im Zwischenraum ausgetestet. Ein Prototyp im Massstab 1:1 wurde ausgemessen. Die Daten werden für die Prüfung von Simulationsprogrammen herangezogen.

Im Projekt *Denkraum* [6] geht es um eine Fassade für Bürobauten, in der Sonnenschutz, Lichtlenk- und PV-Elemente zusammenwirken. Am LESO (EPF-Lausanne) wurde ein Prototyp montiert und energetisch wie komfortmässig ausgemessen. Die Messungen zeigen, dass das Konzept in Bezug auf thermische Isolation, thermischen Komfort und Tageslicht gegenüber guten Fassaden anderer Bauart keine Vorteile bringt.

## HILFSMITTEL, SYSTEME UND GEBÄUDE

Das Programm **LESOSAI 4.0** [6] zur Berechnung der Wärmebilanzen von Gebäuden unter Einbezug der Solargewinne wurde fertiggestellt. 1996 wird das Programm verkaufsbereit sein. Gegenüber der älteren Version LESOSAIX bringt es u.a. neue Elemente zur Sonnenenergienutzung, die Möglichkeit zur Berücksichtigung der Wärmerückgewinnung und höhere Benutzerfreundlichkeit. Es läuft sowohl unter *WINDOWS 3.1* als auch unter *WINDOWS 95*.

Das Programm DIAS, wie es im Projekt *Banque de données interactive d'architecture solaire DIAS* [21] erstellt wurde, wurde umgearbeitet um ab CD-ROM geladen werden zu können. Dank diesem Wechsel des Datenträgers können neue Beispiele aufgenommen, die Qualität der vorhandenen Information verbessert und die zehn Disketten durch eine CD ersetzt werden. Die neue Version wird als DIAS 2.0 erhältlich sein.

Die Arbeiten am Expertensystem zur Sonnenenergienutzung in Geschäftshäusern, **ISOLDE** [7] konnten nicht abgeschlossen werden, weil Beiträge aus den Partnerländern Italien und Norwegen fehlen. ISOLDE ist ein einsetzbares aber noch nicht käufliches Programm.

Im bi-nationalen Projekt **Weiterentwicklung des dynamischen Gebäude-Simulationsprogrammes SUNCODE** [14] wurde eine benutzerfreundliche Bedienungsoberfläche fertiggestellt. Die Überarbeitung des Berechnungsteils wird am *US National Renewable Energy Lab.* in Colorado durchgeführt und soll anfangs des Jahres 1996 abgeschlossen werden. Das Programm wird im Frühling 1996 einer Testphase unterzogen.

Das Projekt **Nutzung der Sonnenenergie bei Gebäudesanierungen** [15] untersucht folgende Systeme auf ihre Möglichkeiten beim Einsatz bei Sanierungen: Verglaste Balkone, Doppelwandfassaden und Transparente Wärmedämmung. Es sind die Erkenntnisse aus Projekten zu obigen Gebieten zusammenzutragen und in einem Handbuch zugänglich zu machen. Zum Projekt gehört auch die Beteiligung der Schweiz an der Bearbeitung eines internationalen Sammelberichtes im Rahmen des IEA-Projekts *Solar Energy in Building Renovation*.

Im Projekt **Erweiterte Erfolgskontrolle einer Gebäudesanierung mit TWD-Fassadenelementen** [16] sollen die Auswirkungen einer Fassadensanierung mit TWD-Elementen im Hinblick auf Energie, bauphysikalische Risiken und Komfortbefinden der Bewohner untersucht werden. Die Sanierungsarbeiten sollen bis Ende Jahr abgeschlossen sein, anschliessend kann mit den Messungen begonnen werden.

Im Projekt **Bauliche und architektonische Integration von transparenter Wärmedämmung (TWD) an bestehenden Gebäuden** [17] wurden für ein viergeschossiges Wohngebäude die Aspekte Energieertrag, Kosten und Beschattung bei Einsatz von TWD für eine wärmetechnische Sanierung untersucht. Auf Grund der gegenwärtigen Kosten kann der Einsatz von TWD nur für Süd-, Südost- und Südwestorientierte Fassaden empfohlen werden. Für die Beschattung wurde eine Lösung mit aussenliegenden, beweglichen Lamellenstoren gewählt. Für die Integration von TWD-Elementen und Beschattung wurden Detaillösungen erarbeitet.

Das Projekt **Verglasung von Balkonen als solare Sanierungsmassnahme** [18] wurde abgeschlossen und die Erkenntnisse wurden in der Broschüre "Sanierungsmassnahme verglaste Balkone?" veröffentlicht. Fazit: Ein



qualitativ hochwertig verglaster Balkon, der optimal bedient wird, spart bis zu 15 % Heizenergie in der dahinterliegenden Wohnung. Ein einfach verglaster und damit kostengünstiger Balkon kann nur im ungünstigsten Fall (Benutzer) beträchtlichen zusätzlichen Energieverbrauch verursachen.

Im Projekt **Nutzung der Sonnenenergie bei der Sanierung des Zentralschweiz. Technikums Luzern** [19] wurden mittels Simulationsrechnungen verschiedene Sanierungsansätze untersucht, wobei das Hauptgewicht bei der Doppelwandfassade lag. Zur Optimierung wurde eine breit angelegte Parameterstudie durchgeführt um den Einfluss von Fassadentiefe, vertikaler Ausdehnung einer Zone und Lüftungsstrategie auf Heizenergiebedarf und Überhitzungsgefahr zu ermitteln. Über die Technikums-Bauten lässt sich sagen, für einen nach Süden gerichteten Raum kann der Heizbedarf schon mit einer Einfachverglasung der Doppelwandfassade auf einen Viertel des jetzigen Wertes gesenkt werden. Dies ist etwa 40 % mehr als was mit Isolieren erreicht wird. Der Überhitzung kann begegnet werden, wenn 25 bis 50 % der Fassadenfläche geöffnet werden können. Bei nach Norden gerichteten Räumen sind die einfach verglaste Doppelwandfassade und Isolieren energetisch gleichwertig, während die 2-IV-IR Verglasung diesen Heizenergiebedarf auf 40 % reduziert.

Das **Messprojekt EFH Gwadt, St. Gallenkappel** [20] wurde abgeschlossen. Merkmale der Anlage sind Fensterkollektor, Hypokausten in Fussboden und Innenwänden, Thermozirkulation und Zusatzheizung über Holzofen im gleichen System. Die Auswertungen ergaben eine Energiekennzahl Heizung von 163 MJ/m<sup>2</sup>a, dies liegt bei etwa der Hälfte des SIA-Zielwertes (310 MJ/m<sup>2</sup>a).

Das **Messprojekt Direktgewinnhaus Trin** [10] hat im vergangenen Jahr folgende Erkenntnisse bezüglich Verhalten der Raumtemperatur (welche halbstündlich aufgezeichnet wurde) geliefert: Sie sank nur wenige Male auf 18°C, sie erreicht die Tiefstwerte nicht bei den tiefsten Aussentemperaturen, sondern nach einigen sonnenarmen Tagen. Der Stromverbrauch liegt im Durchschnitt vergleichbarer schweizerischer Haushalte, es kann deshalb ausgeschlossen werden, dass mit Strom nachgeheizt wird. Während einer viertägigen, sonnenlosen Zeitspanne wurde nachgewiesen, dass 63 % des Wärmebedarfs aus der Speichermasse stammt. Das Speicherverhalten soll im weiteren Verlauf des Projektes analysiert werden, sodass Richtlinien abgeleitet werden können.

Das Projekt **Simulation Null-Heizenergiehaus Wädenswil** [3] hat zum Ziel, durchgeführte Messungen durch Simulationsrechnungen zu ergänzen. Als Simulationsprogramm wurde TRNSYS gewählt, da es die nötige Flexibilität aufweist um zu modellieren. Es wurde ein detailliertes Modell erstellt.

Im **Messprojekt WASAG, Photovoltaik- und Luftabsaugfassade** [22] ist die Kombination von PV und Luftabsaugfassade auszumessen und zu analysieren (*siehe Titelbild*). Auf der Südfassade des Hochregallagers sind 640 m<sup>2</sup> PV-Panele und 500 m<sup>2</sup> Luftabsaugfassade vom Typ SOLARWALL installiert. Das Gesamtenergiekonzept soll so gesteuert werden, dass die von der Solaranlage gelieferte Energie optimal genutzt werden kann. Das Projekt wurde Mitte Jahr gestartet und im letzten Halbjahr wurde die Messvorrichtung in Verbindung mit der Regelung der Gesamtanlage bereitgestellt. Messresultate legen noch keine vor.

### 3. Nationale und internationale Zusammenarbeit

#### NATIONAL

- Begleitgruppe des Öko-Bau Programmes DIANE;
- Eidg. Kommission zur Förderung der Nutzung von Sonnenenergie (KNS);
- Frauenarbeitsgruppe der Schweizerischen Vereinigung für Sonnenenergie (SSES).

#### INTERNATIONAL

- IEA-Projekte: *Building Energy Analysis Tools*; *Advanced Solar Low Energy Buildings*; *Advanced Glazing Materials*; *Solar Air Systems*; *Solar Energy in Building Retrofit* (Mitwirkung, teilweise Leitung)
- AG Solar des Landes Nordrhein-Westfalen (D): Mitglied des Wissenschaftlichen Beirats u. Kuratoriums;

- Ost-Bayrisches Technologie Transfer Institut (OTTI): Tagungsbeirat der Thermie-Tagung, Leitung von Sessionen und Referat;
- Archiv-Fachzeitschrift "*Energy and Buildings*": Mitglied des *Editorial Review Board*;
- *Foundation for Research, Science and Technology* (NZ): Begutachter für neue Forschungsanträge.

## 4. Transfer in die Praxis

Das Diplomwahlfach **Bauen und Sonnenenergienutzung** bietet die Möglichkeit, neueste Kenntnisse aus der Forschung direkt an die kommende Generation von Architekten zu übermitteln. Im Durchschnitt wird die wöchentliche, einstündige Vorlesung von etwa 70 Studenten und einzelnen in der Praxis tätigen Architekten besucht. Im Jahre 1995 haben 24 Studenten eine Diplomwahlfacharbeit abgegeben und mit bestandener Prüfung abgeschlossen. Zwei Seminarwochen zu den Themen "Solararchitektur in Süddeutschland" und "Wien: Licht, Glas und Architektur" wurden erstmals organisiert. Dank dem guten Ruf der ersten Seminarwoche war die Nachfrage für die zweite Veranstaltung so gross, dass die ursprünglich vorgesehen Grenze von 24 Teilnehmern überschritten wurde und trotzdem noch Interessenten abgewiesen werden mussten.

Die Nachdiplomstudentin aus der Tschechei hat im Frühling 1995 ihr Studium mit bestandener Prüfung und Arbeit zum Thema *Wintergarten* beendet. Neu seit Herbst 1995 wird ein Nachdiplomand aus der *Romandie* begleitet. In seiner Arbeit untersucht er die Auswirkung von passiven Solarmassnahmen auf die Senkung des Energieverbrauchs einer Turnhalle oder die konstruktiven Massnahmen der passiven und aktiven Solarnutzung für den Bau einer grösseren Siedlung in der Umgebung von Freiburg. Als Werkzeuge wird er die Programme SUNCODE, LESOSAIX usw. verwenden.

Das jährlich zweimal erscheinende Bulletin SOLARARCHITEKTUR informierte mehr als 700 Abonnenten über Neues im Sektor Solararchitektur sowie Neuerscheinungen von Publikationen und Tagungsankündigungen.

Im April wurde die Ausstellung mit Einführungsvortrag über den *Ideenwettbewerb Photovoltaics in the Built Environment* organisiert und durchgeführt. Diese Wanderausstellung besteht dank Finanzierung aus den Niederlanden im Rahmen der IEA.

Im Rahmen des P+D-Programms "Solararchitektur" liefen folgende Aktivitäten:

- Am TWD-Haus in Ormalingen war eine erweiterte Erfolgskontrolle im Gang, worüber Ende 1995 ein Schlussbericht erschienen ist;
- Beim Stahllager Kägi sind die Messungen abgeschlossen, der Schlussbereich steht noch aus.

## 5. Bewertung 1995 und Ausblick 1996

### BEWERTUNG 1995

Mit der Bereitstellung der Glasdatenbank GLAD wurde es möglich, den Fensterbauern und Energieingenieuren zuverlässige Kenndaten über Gläser und Fenster zur Verfügung zu stellen.

Durch Kombination von Erkenntnissen aus Projekten, welche sich mit Fenstern und Direktgewinn befassten, lässt sich erkennen, dass dank der hochisolierenden Fenster die Nutzung des Direktgewinns neue Einsatzmöglichkeiten findet und auch in Niedrigenergiehäusern ihren Beitrag liefert.

Es hat sich gezeigt, dass Bedarf besteht für leicht verständliche Hilfsmittel für die Erarbeitung der Grundlagen über die Nutzung der Sonnenenergie wie das "Instruktionsprogramm DIAS". Dieses hat grossen Anklang gefunden und bereits sind deutsche Stellen dabei, Beispiele aus ihrem Land einzubauen.

Von der internationalen Zusammenarbeit im Rahmen der IEA konnte im Sektor Niedrigenergiehäuser, im Bereich transparenter Baumaterialien bei den Solarluftsystemen sowie auf dem Gebiet der Gebäudesanierung profitiert werden.

Im Spätherbst wurde die im Zweijahresrhythmus vorgesehene Projektleitertagung durchgeführt, welche dazu dient, allen Projektnehmern Einblick zu geben in die im Rahmen des Programmes laufenden Aktivitäten. Jeder Projektleiter berichtete über Zielsetzung, Vorgehen und erreichten Stand seiner Arbeit. Diese Kurzreferate waren sorgfältig vorbereitet und wurden gut vorgetragen. Der Programmleitung bot sich die Gelegenheit, die Umrisse des CORE-Konzeptes für die Jahre 96/99 vorzustellen.

Eine von unabhängiger Stelle durchgeführte Bewertung der Vorlesung "Bauen mit Sonnenenergienutzung" hat ergeben, dass diese von den Studierenden sehr positiv beurteilt wird.

## AUSBLICK 1996

Schwerpunkte bilden im kommenden Jahr:

- Thermische Solarsysteme mit den Aspekten Direktnutzung und Wärmetransport mit Luft;
- Intensive Tageslichtnutzung;
- Gesamtkonzepte für Niedrigenergie-Solarbauten:

Es sind folgende Arbeiten vorgesehen:

- Weiterführung schon laufender Messprojekte; nach Abschluss der Messungen Untersuchung der Gebäude auf Optimierungsmöglichkeiten bezüglich Energieersparnis; Beantwortung der Frage nach neuen Möglichkeiten für die Nutzung des Direktgewinns, nachdem hochisolierende Fenster zu tragbaren Preisen erhältlich sind; Fertigstellung der Nomogramme für die Planung von Hypokaustsystemen.
- Erarbeitung von Planungshilfsmitteln auf PC-Basis und in Form von Typenblättern, die bei der Konzipierung von Tageslichtsystemen herangezogen werden können.
- Im Jahr 1996 wird die Begleitgruppe turnusgemäss neu zusammengestellt.
- Als Veranstaltung ist ein Workshop über das Simulationsprogramm *SUNCODE* geplant.

## 6. Liste der Projekte

- [1] Th. Frank, EMPA-Dübendorf: *Optische und thermische Eigenschaften von Verglasungsmaterialien*. (JB) ♦ *Rechenmodelle, Mess- und Prüfverfahren für transparente Bauteile*. (JB)
- [2] N. Hopkirk, EMPA-Dübendorf: *Tageslichtnutzung in an Atrien grenzenden Räumen*. (JB)
- [3] G. Zweifel, EMPA-Dübendorf: *Luftkollektoranlage und Latentspeicher in Schüpfen*. (JB) ♦ *Simulation Null-eizenergiehaus Wädenswil*. (JB)
- [4] J. L. Scartezzini, EPF-Lausanne: *Outil d'aide à la décision en éclairage naturel, (IEA Projekt 21 Daylighting in Buildings)*. (JB)
- [5] Y. Golay, ITB / EPF-Lausanne: *Lumière naturelle et énergie - Etudes typologiques*. (JB)
- [6] A. Faist, LESO / EPF-Lausanne: *Façade double-peau, Typologie*. (JB) ♦ *Denkraum*. (JB) ♦ *LESOSAI 4.0*. (JB + SB)
- [7] N. Morel, LESO / EPF-Lausanne: *ISOLDE*. (JB)
- [8] B. NYDEGGER: *Prototype de vitrage isolant évacué*. (JB)
- [9] C. Filleux, BASLER & HOFMANN, Zürich: *IEA-Projekt: Solar Air Systems*. (JB)
- [10] W. Hässig, BASLER & HOFMANN, Zürich: *Messprojekt Direktgewinnhaus Trin*. (JB)
- [11] H. P. Eicher, EICHER + PAULI, Liestal: *Solare Luftvorwärmung in Atrien*. (JB)
- [12] D. Aiulfi, SORANE, Lausanne: *Modellentwicklung für grosse Atrien*. (JB)
- [13] K. FORT, Volketswil: *Auslegung von Hypokaustenspeichern*. (JB)
- [14] P. Steinemann, HBT / ETH-Zürich: *Weiterentwicklung des Gebäudesimulationsprogrammes SUNCODE/Serires*. (JB)

- [15] H. Haller, E. SCHWEIZER, *Hedingen: Nutzung der Sonnenenergie bei Sanierungen, IEA-Task*. (JB)
- [16] P. Schneiter, E. SCHWEIZER, *Hedingen: Erweiterte Erfolgskontrolle einer Gebäudesanierung mit TWD Fassadenelementen*. (JB)
- [17] B. Züsli, METRON, *Brugg: Bauliche und architektonische Integration von transparenter Wärmedämmung (TWD) an bestehenden Bauten*. (JB)
- [18] P. Case, EN-SOLAR, *Oberdiessbäch: Verglasung von Balkonen als solare Sanierungsmassnahme*. (JB)
- [19] M. G. Trawnika, ZTL-Horw: *Nutzung der Sonnenenergie bei Sanierung des Zentralschweizerischen Technikums Luzern*. (JB)
- [20] D. BRÜHWILER, *Volketswil: Messprojekt EFH Gwadt, St. Gallenkappel*. (SB)
- [21] W. Weber, CUEPE, *Genève: Banque de données interactive d'architecture solaire DIAS*. (JB + SB)
- [22] P. BERCHTOLD, *Sarnen: Messprojekt WASAG, Photovoltaik und Luftabsaugfassade*. (JB)

(JB) Jahresbericht 1995 vorhanden

(SB) Schlussbericht vorhanden

## 7. Weitere Publikationen (erhältlich beim Programmleiter)

- [23] S. R. Hastings, A. Gassler-Schmidt: *Solar Low Energy Houses, Fallbeispiel (IEA)*.
- [24] S. R. Hastings; Forschungsstelle Solararchitektur, ETH-Hönggerberg: *Myths in Passive Solar Design*, J. Int. Solar Energy Soc.; *Waterloo (CDN) ♦ Solar Air Systems, 1994 Annual Report of the IEA Solar Heating & Cooling Program, and An IEA Research and Demonstration Programme*.
- [25] A. Gassler-Schmidt; ETH-Hönggerberg: *Solararchitektur in Süddeutschland*, Bericht zur Seminarwoche 29. 5.-2. 6. 95 ♦ *Wien: Licht, Glas und Architektur*, Bericht zur Seminarwoche 27. 11.-2. 12. 95 ♦ *Bulletin der Forschungsstelle Solararchitektur*, erscheint zweimal jährlich.
- [26] H. Hartwig, A. Haller, P. Schneiter, E. SCHWEIZER, *Hedingen: Einfluss der Beschattungstechnik von transparent gedämmten Massivwänden auf den Raumkomfort ♦ Gebäude mit teiltransparenter Isolation; Optimierung des Überhitzungsschutzes*.
- [27] A. Gütermann, P. Case: *Sanierungsmassnahme Verglaste Balkone?*
- [28] N. Hopkirk: *Energy Savings with Daylighting Strategies in Offices and Classrooms*.

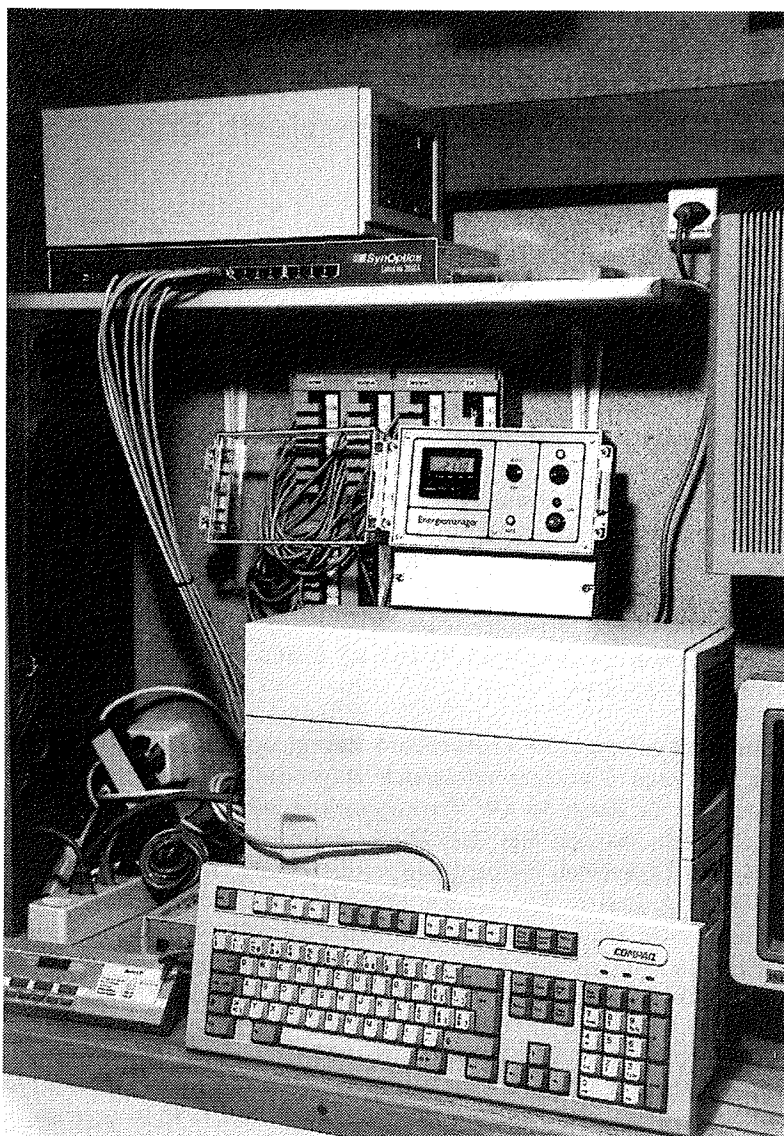
# ELEKTRIZITÄT

**Überblicksbericht**  
zum Forschungsprogramm 1995

**Roland Brüniger**

Isenbergstr. 30, 8913 Ottenbach  
☎ 01/760 00 66 – Fax: 01/760 00 68

---



## **Energieeffizienz in EDV-Netzen**

Ein neu entwickeltes Energiemanagement-System ermöglicht das automatische Ein- und Ausschalten von zentralen Rechnern und Netzwerkkomponenten kleiner EDV-Netze. Der Energieverbrauch der zentralen Komponenten kann damit ohne Komforteinbusse mehr als halbiert werden.

## 1. Programmübersicht

Das Forschungsprogramm "Elektrizität" umfasst Aktivitäten zur optimierten Nutzung der elektrischen Energie von der Erzeugung über die Verteilung bis zum rationellen Einsatz. Die grundsätzliche Zielsetzung des Programms besteht in der schonenden Produktionserhöhung, in der Optimierung resp. der Verbesserung der Wirkungsgrade bei der Speicherung und Übertragung sowie in einer effizienten Nutzung in den verschiedenen Anwendungsbereichen. Im Berichtsjahr 1995 stand zudem die Erarbeitung des Forschungskonzepts für die Zeitdauer 1996 bis 1999 im Programm. Dieses basiert einerseits auf dem bisher Erreichten und andererseits auf dem Energieforschungskonzept des Bundes. Aufgrund der angespannten Bundesfinanzlage wurde im Konzept 1996-1999 verstärkt die Tatsache miteinbezogen, dass das BEW lediglich subsidiär wirken kann. Wohl sind Stossrichtung und Schwerpunkte konzeptionell klar definiert, die Umsetzung wird aber schwergewichtig nicht von der öffentlichen Hand erfolgen können.

## 2. 1995 Durchgeführte Arbeiten und erreichte Ergebnisse

### ERZEUGUNG / PRODUKTION

Der Bereich "Wasserkraft" stellt keinen Forschungs-Programm-Schwerpunkt dar. Einerseits finanzieren die Elektrizitätswirtschaft und die Industrie einen grossen Teil der hauptsächlich auf grössere Anlagen ausgerichteten Forschungsarbeiten. Andererseits wird speziell im Bereich der Kleinwasserkraftwerke vor allem in den Bundesprojekten PACER (1990-1995) und DIANE (1992-1997) die Promotion und Unterstützung von Kleinwasserkraftwerken aktiv gefördert. Schliesslich wird die Kleinwasserkrafttechnologie in verschiedenen Pilot- und Demonstrationsprogrammen sowie mit Förderbeiträgen von Bund und Kantonen unterstützt. Um speziell im Bereich der Kleinwasserkraftwerke die ökologischen Vorteile mit Fakten belegen zu können, wurde im DIANE-Programm eine Studie über die **Energiebilanz von Kleinwasserkraftwerken** [13] in Auftrag gegeben, in der die Erntefaktoren (Verhältnis zwischen erzeugter und aufgewendeter Energie für die Kraftwerkserstellung) und die Energierückzahldauer (Betriebsdauer, bis die für die Kraftwerkserstellung aufgewendete Energie erzeugt wird) für Kleinwasserkraftwerke anhand konkreter Beispiele bestimmt worden sind. Es ergeben sich je nach Kraftwerkstyp wesentliche Unterschiede. In allen Fällen ist aber klar ersichtlich, dass die Kleinwasserkraftwerke mit Erntefaktoren zwischen 87 und 583 und mit Energierückzahlzeiten zwischen 0.08 und 1,4 Jahren einen wertvollen und ökologischen Beitrag zur Energieproduktion zu leisten vermögen.

Im Projekt **Neue Umrichtertechnologien für erneuerbare Energiequellen am Beispiel von Kleinwasserkraftwerken** [1] konnte zwar der neue Umrichter erfolgreich aufgebaut und in Zusammenarbeit mit den Service Industrielle de la Ville de Sion in einem 50 kW Trinkwasserkraftwerk (Ersatz des Druckreduzierventils in der Trinkwasserversorgung) eingebaut werden. Bei dem durch die Ingenieurschule Wallis entwickelten Generator ergaben sich aber bei höheren Drehzahlen unüberwindliche thermische Probleme, sodass eine zweite Maschine gebaut werden musste. Beim Austesten der zweiten Maschine sowie durch vorgenommene Änderungen im Trinkwassernetz ergaben sich einige Schwierigkeiten in der Regelung. Diese konnten aber behoben werden, und seit anfangs Dezember arbeitet die Anlage einwandfrei. Ab diesem Zeitpunkt erfolgen nun auch die diversen Wirkungsgradmessungen. Die Ergebnisse sowie der Projektabschluss werden auf anfangs 1996 erwartet.

Mit dem *Centre de recherche expérimental pour la réhabilitation de la Mini-hydraulique, Laboratoire de Montcherand* wird ein Zentrum für die experimentelle Untersuchung von Mini-Wasserturbinen erstellt. Die Bau- und Installationsarbeiten sind im Gang, und die Fertigstellung ist auf Herbst 1996 vorgesehen.

### SPEICHERUNG

Der Speicherung von Energie in verschiedenen Formen kommt innerhalb der gesamten Energiethematik eine zentrale Bedeutung zu. In Abgrenzung zu andern Forschungsprogrammen des BEW (Elektro- und Solarchemie, Wasserstoff, etc.) konzentriert sich das vorliegende Programm auf die mechanische sowie elektromagnetische/elektrostatische Speicherungstechnologie.

Das Ziel des Ende Jahr fertiggestellten Projekts **Zyklisches Blei-Akku-Ladegerät** [2] bestand darin, ein neues Ladeverfahren zu entwickeln, mit welchem mehr Energie pro Kilogramm Blei gespeichert, die Lebensdauer erhöht und dank einer schonenden Ladungsverfahren die Ladezeit verkürzt werden kann. Umfangreiche Messungen haben aufgezeigt, dass die verschiedenen Batterientypen unterschiedlich reagieren. So ist z.B. die Traktionsbatterie für das entwickelte Verfahren besser geeignet als die USV-Batterie. Eine endgültige Aussage über das optimale Lademuster für alle Batterientypen ist aber noch nicht möglich. Es ist beabsichtigt, die Versuche aufbauend auf den verfügbaren Messreihen soweit zu ergänzen, dass eine klare Aussage gemacht werden kann, ob mit ein und demselben Parametersatz unterschiedliche Akkutypen geladen werden können und damit letztendlich ein Universal-Ladegerät entwickelt werden kann. Die erreichten Ergebnisse werden ins BEW-Programm "Brennstoffzellen und Akkumulatoren" transferiert, da dort die Thematik "Intelligentes Akkumulatorenmanagement" gesamthaft untersucht wird.

## ÜBERTRAGUNG / VERTEILUNG

Die angestrebte Zielsetzung im Teilgebiet Übertragung/Verteilung umfasst die Erreichung bzw. Erhaltung der hohen Netzverfügbarkeit gekoppelt mit einer maximalen Netzqualität sowie die Minimierung der Transportverluste.

Das Ziel des Forschungsprojekts **Lastbestimmungsmodell für Verteiltransformatoren** [3] besteht darin, durch Modellierung und mit wenigen punktuellen Messungen eine Abbildung des Verteilnetzes zu erhalten. Mit diesen Netzkenntnissen kann der Betrieb und die Planung erheblich erleichtert und Überdimensionierungen mit schlechtem Wirkungsgrad können vermieden werden. Der Lösungsansatz beruht auf kurzzeitigen Messungen und geeigneten Simulationen, die statistisches Wissen über jahreszeitliche Veränderungen verschiedener Lastkomponenten ausnützen. Das bestehende Modell wurde sukzessive verfeinert, und konkrete Mustererkennungsalgorithmen (*Neuro Fuzzy*) konnten implementiert werden. Parallel dazu wurde mit der Entwicklung einer benutzerfreundlichen Anwenderoberfläche begonnen.

Das Projekt **NIS/DMP - Ein Netzinformationssystem für Dokumentation, Monitoring und Planung elektrischer Verteilnetze** [4] erweitert ein konventionelles Netzinformationssystem (NIS) vom reinen Dokumentations- zum effizienten Planungswerkzeug. Gegenstand des Projekts war einerseits die Bereitstellung eines Prototyps, mit dem der Lösungsansatz des NIS/DMP nachgewiesen und diskutierbar gemacht wurde, andererseits die Modellierung und die Durchführung von Messungen und Simulationen zur Charakterisierung der Verbraucherlasten. Alle Projektziele konnten erreicht werden, und mit der Präsentation anlässlich eines VSE-Seminars fand das Projekt einen erfolgreichen Abschluss. Es ist nun vorgesehen, die Überführung in ein kommerzielles Produkt in Zusammenarbeit mit einigen NIS-Systemhäusern sowie mit einem oder mehreren Elektrizitätswerken anzugehen.

## VERWENDUNG / RATIONELLE NUTZUNG

### a) *Kraft/elektrische Motoren*

Aufgrund des durch das BEW initiierten Integralmotor-Workshops hat sich eine fachkompetente Unternehmung für ein Forschungsprojekt auf diesem Gebiet interessiert. Zu Jahresbeginn konnte deshalb ein Projekt mit dem Titel **Integraldrive 0.55 kW - 22 kW mit regenerativer Energierückspeisung** [5] gestartet werden. Mit dem Projekt soll mittels Prototypenentwicklung der Nachweis für eine maximale Integrationsdichte mit geringem Materialeinsatz und hoher Funktionalität erbracht werden. Der erste Prototyp im Leistungsbereich von 3,5 kW mit 400 V konnte fertiggestellt werden. Gemäss aktuellem Stand der Technik handelt es sich dabei um den am höchsten integrierten, luftgekühlten Integralmotor über 0,5 kW und 400 V. Durch die kompakte Bauweise, die sich durch eine Motorenverlängerung von lediglich 10 cm ausdrückt, sowie durch die flexible Steuerung wird ein verstärkter Einsatz dieser energieeffizienten Antriebe erwartet. Im Jahre 1996 wird ein Prototyp mit einer Leistung von 12 kW entwickelt.

Mit dem Ende 1995 fertiggestellten OPAL-Projekt **Entwicklung eines Programmsystems zur Unterstützung der energieoptimierten, herstellerübergreifenden Auslegung elektrischer Antriebssysteme** [6] steht eine kommerzielle Applikation zur Verfügung, die eine energieoptimale Motorauslegung im Leistungsbereich von 0,12 bis 200 kW ermöglicht. Die gesteckten Projektziele eines herstellerübergreifenden Auswahlverfahrens konnten erreicht werden, sind doch z.Z. Produkte von 13 Motorenherstellern in der *Software*-Datenbank enthalten. Die

Kommerzialisierung wurde seit längerem parallel zum Projekt vorbereitet und seitdem die *Software* fertiggestellt ist, laufen verschiedene Marketinganstrengungen. Kontakte zur EU-Vermarktung sind gleichermassen hergestellt worden. Im Moment kann das Programm den Einfluss von Frequenzumformern nicht miteinbeziehen. Da dies aber von verschiedenen Benutzern und Lieferanten als notwendig erachtet wird, wird in einem nächsten Schritt mittels einer Machbarkeitsstudie untersucht, inwiefern eine diesbezügliche Programmerweiterung möglich ist.

Die Ergebnisse des Ende 1994 abgeschlossenen Projekts **Kleinumwälzpumpen mit hohem Wirkungsgrad** wurden im Rahmen eines Fernsehbeitrags sowie anlässlich der INELTEC 95 publikumswirksam umgesetzt. Nach einigem Zögern hat sich nun die einschlägige Industrie entschlossen, das erarbeitete Funktionsmuster mit dreifachem Wirkungsgrad zur Serienproduktion weiterzuentwickeln.

Die meisten Lokomotiven in der Schweiz weisen elektrische Rekuperationsbremsen auf, mit denen bei Verzögerungsbremungen und Talfahrten Energie ins Fahrleitungsnetz zurückgespielen wird. Im abgeschlossenen Forschungsprojekt **Verstärkte Ausnutzung der Rekuperationsbremse der Lokomotive vom Typ Re 6/6 der SBB** [7] wurde untersucht, bis zu welchem Masse eine intensivere Nutzung der Rekuperation möglich ist. Neben einer Änderung der Bedienung auf langen Talfahrten sollte dies auch durch Erhöhung des maximalen Bremsstroms erreicht werden. Eine diesbezüglich ausgelegte Steuerung wurde in eine Re 6/6 eingebaut. Verschiedene Messungen und darauf basierende Hochrechnungen zeigten, dass pro Jahr und Lokomotive etwa 100'000 kWh mehr als bisher zurückgespielen werden können. Dies entspricht etwa 2,2 % des jährlichen Gesamtverbrauchs der Lokomotiven.

#### b) *Bürogeräte/EDV-Netzwerke*

Der nationale und internationale Transfer von Forschungsergebnissen sowie die Pflege von Kontakten steht im Projekt **Förderung der rationellen Energieeinsatzes in der Informationstechnik und Unterhaltungselektronik** [8] weiterhin im Vordergrund. Die gewichtigste Aktivität bestand im Organisieren und Durchführen des IEA-Experten *Meetings "Co-operative Procurement of Innovative Technologies"* im Frühling 1995 in Zürich mit einer ergänzenden Tagung über die *"Market-Pull Activities in Switzerland"*. Die Ergebnisse sind in einem professionellen *"Market-Pull-Report"* [14] zusammengefasst. Im Rahmen der *IEA-Procurement*-Aktivitäten wird die mit dem vorerwähnten Projekt betraute Fachstelle zudem beauftragt, den Bereich der Kopiergeräte im Detail zu untersuchen.

Im Forschungskonzept 1996-1999 stellt die Thematik "Energie-Management in EDV-Netzwerken" einen klaren Schwerpunkt dar. Im Laufe des Jahres wurden deshalb intensive Gespräche mit Industrievertretern und internationalen Organisationen geführt. Die Thematik ist aber relativ schwierig anzugehen, zumal sich die Industrie trotz bekundetem Interesse eher zurückhaltend gibt. Aufgrund dieser Umstände wird angestrebt, die Problematik verstärkt zu thematisieren und sowohl die Öffentlichkeit als auch einschlägige Institutionen dafür zu sensibilisieren. Um dazu weitere Grundlagen zur Verfügung zu haben, wurde im Projekt **Grundlagenarbeiten für Forschungsaktivitäten im Bereich Netzwerk-Energiemanagement** [9] das Einsparpotential in EDV-Netzen abgeschätzt. Die Studie ermittelte einen durch Computer und Computernetzwerke verursachten Gesamtverbrauch von etwa 770 GWh resp. 1,6 % des schweizerischen Elektrizitätsverbrauchs. Das Einsparpotential mittels optimierten Netzwerk-Energiemanagement (gezieltes Ausschalten der zentralen Geräte und Systeme ausserhalb der Nutzungszeiten) wird auf etwa 222 GWh oder etwa 29 % des diesbezüglichen Verbrauchs geschätzt. Diese Potentialabschätzung zeigt, dass auf diesem Gebiet entsprechende Aktivitäten durchaus sinnvoll sind. Als konkretes Kleinprojekt wurde ein Prototyp eines Energie-Managementsystems für ein NOVELL-Netzwerk entwickelt. Dieses System bewirkt, dass alle zentralen Netzwerkkomponenten (*Server, Hub, DAT-Tape, CD*) in der Nacht und an den Wochenenden bei Nichtgebrauch abgeschaltet werden. Nach anfänglichen Schwierigkeiten läuft das System seit Ende November 1995 problemlos [15]. Die Energiemessungen sind noch im Gang, doch kann mit Einsparungen von über 50 % gerechnet werden, was beim installierten Klein-Netz pro Jahr etwa 280 kWh ausmacht.

#### c) *Verbrauchserfassung*

Das Projekt **Methodik der Elektrizitätssparanalyse** wurde durch die Koordinationsbemühungen mit den SIA-Empfehlungen 380/4 wesentlich verzögert. Zudem haben die ersten Projektergebnisse gezeigt, dass die ursprünglich vorgesehene Implementierung der Tagesgangmethode nicht umgesetzt werden kann. Da durch diese Umstände das Projekt verstärkt eine Richtung verfolgte, welche durch die Privatindustrie bereits mit ähnlichen Aktivitäten abgedeckt wird, wurde das Projekt abgebrochen.



#### **d) Demand Side Management (DSM)**

Die Schweiz nimmt innerhalb des IEA-Programms *Demand Side Management* an den zwei Projekten *Development of Improved Methods for Integrating Demand-Side Options into Resource Planning* und *Communications Technologies for Demand Side Management* teil. Neben den jeweiligen Jahresberichten sind erste Ergebnisse in entsprechenden Reports [16] verfügbar. Im Frühling 1995 war die Schweiz Gastgeberland für das halbjährlich stattfindende *Executive Committee Meeting* dieses IEA-Programms. Als Standort wurde dazu die Energiestadt Schaffhausen gewählt. Um diese IEA-Aktivitäten einem grösseren Schweizerischen Publikum bekannt zu machen, wurde in Ergänzung zum vorerwähnten Meeting ein halbtätiges *Joint Swiss/IEA DSM Programm Meeting* [17] organisiert. Über 50 Teilnehmer kamen an diese Tagung, liessen sich über die entsprechenden Aktivitäten informieren und nahmen aktiv am Informationsaustausch teil. Ebenfalls wurde in verschiedenen Zeitschriften über diese Tagung berichtet.

Das auf Jahresende fertiggestellte Projekt **Bestimmung der prioritären Aktionsfelder im DSM** [10] zeigt eine systematische Methode und marktwirtschaftliche Instrumentarien zum Auffinden und Bewerten von möglichen prioritären Aktionsfeldern auf. Damit soll kleineren und mittleren Elektrizitätswerken ermöglicht werden, zielgerichtet nachfrageseitige Aktivitäten in potentiellen Märkten durchzuführen. Nachdem die Methodik nun erarbeitet worden ist, ist in einem Folgeprojekt beabsichtigt, diese mit etwa vier E-Werken auszutesten und soweit erforderlich zu verfeinern. Erst anschliessend ist beabsichtigt, die Ergebnisse einem breiteren Publikum zu unterbreiten.

Die Elektrizitätswirtschaft hat kürzlich eine DSM-Kommission gegründet, welche zielgerichtet die praktische Umsetzung von unternehmerischen DSM-Aktivitäten der schweizerischen E-Werke unterstützt.

### **INTERDISZIPLINÄRE PROJEKTE**

#### **a) Supraleitung**

Im Rahmen des vorliegenden Forschungsprogramms soll die Kontinuität von energierelevanten Arbeiten des auslaufenden Nationalen Forschungsprogramms "Hochtemperatur Supraleitung" sichergestellt werden. Im Projekt **Hochtemperatur-Supraleiter-Transformator** [11] wird ein 630 kVA Hochtemperatur-Supraleiter entwickelt und für diverse Versuche etwa ein Jahr lang ans Netz angeschlossen. In einem ersten Schritt ist die Machbarkeit des Transformatorkonzepts anhand von elektrischen Prüfungen an Modellspulen nachgewiesen worden. Das Problem der Einschaltvormagnetisierung ist an der EPFL gelöst und an einem konventionellen Trafo nachgewiesen worden. Als nächstes wird eine erste Transformatorphase gebaut und mechanischen sowie elektrischen Tests unterzogen.

Zur Zeit laufen zudem vorbereitende Arbeiten bezüglich eines Projekts über ein **Hochtemperatur-Supraleiterkabel für die Energietechnik**.

Nach wie vor beteiligt sich die Schweiz an den für weitere drei Jahre verlängerten IEA-Aktivitäten *Assessing the Impacts of High Temperatur Superconductivity on the Electric Power Sector* [12]. Die entsprechenden Arbeiten geben einen aktuellen Überblick über laufende und absehbare Entwicklungen auf diesem Gebiet. So wurde im Rahmen dieses IEA-Programms ein internationaler *Workshop* über die Strombegrenzer (*HTS Fault Current Limiter*) in Israel organisiert. Dabei wurde ein schweizerisches Projekt präsentiert, in dem ein dreiphasiger Strombegrenzer mit einer Nennleistung von 1 MVA gebaut und am Netz auf dessen Tauglichkeit hin untersucht wird [18].

#### **b) Leistungselektronik**

Das Schwerpunktprogramm LESIT wurde Ende 1995 abgeschlossen. Nach übereinstimmenden Aussagen von LESIT-Beteiligten sind die erzielten Ergebnisse technologisch gesehen äusserst erfreulich. Eine Technologiefolgen-Abschätzung über die energetische Bedeutung der LESIT-Technologien kommt aber zum Schluss, dass die energetischen Auswirkungen als relativ gering einzuschätzen sind. Obwohl sich diese Studie auf wenige Fallbeispiele konzentriert, zeigt sie doch einen Handlungsbedarf bezüglich energieorientierter Umsetzung der erzielten LESIT-Technologien auf. Es wird deshalb in den nächsten Monaten abzuklären sein, inwiefern LESIT-orientierte Umsetzungsprojekte initiiert und unterstützt werden sollen.

#### c) *Niederfrequente, elektromagnetische Felder*

An einer im Dezember 1995 durchgeführten Informationsveranstaltung an der ETH Zürich wurde über das COST-Programm berichtet, in welchem die Forschung im Bereich biomedizinische Effekte von elektromagnetischen Feldern europaweit koordiniert wird.

In den USA wird diese Thematik nicht nur breit diskutiert, sie führte auch bereits zu zahlreichen Gerichtsverfahren. Die Vereinigung für Umweltrecht hat im Herbst 1995 in einer Tagung mit dem Titel **Elektrosmog – umweltrechtliche Bedeutung** [19] eingehend über die Rechtsgrundlagen in verschiedenen Ländern informiert und die geplante Verordnung in der Schweiz dargelegt. Grundlage dafür ist der BUWAL-Bericht "Biologische Wirkungen elektromagnetischer Felder, 1. und 2. Teil".

#### d) *Innovative Projektideen*

Das Projekt *Compresseur hydraulique-isothermique*, in welchem ein neuartiger Kompressortyp erforscht wird, konnte nicht abgeschlossen werden. Die detaillierten Messungen des Prototypen stehen noch aus. Keine abschliessende Aussage über die mutmassliche Wirkungsgradverbesserung kann zur Zeit gemacht werden.

### 3. Nationale und internationale Zusammenarbeit

Nach wie vor wird bei allen grösseren Projekten der Bildung von interdisziplinären Projektteams unter Einbezug von Industrie und Hochschule grosse Bedeutung beigemessen. Damit wird der verstärkte Brückenschlag zwischen Hochschule und Industrie sowie eine intensivere Einbindung der Fachhochschulen angestrebt. So wurde z.B. beim Projekt *Integraldrives* die Einbindung der ETH Zürich, der Ingenieurschule Sion sowie mehrerer Industriebereiche erreicht.

Durch die Teilnahme der Schweiz an diversen IEA-Programmen wird speziell in den Bereichen "Hochtemperatursupraleitung" und "*Demand Side Management*" international zusammengearbeitet. Auch im Rahmen der Thematik "Energiemanagement in EDV-Netzwerken" wird mit internationaler Ausrichtung vorgegangen. Dies ist bei diesem Thema fast zwingend erforderlich, weist doch die Schweiz keine eigene diesbezügliche Industrie auf und verfügt sie zudem über einen vergleichsmässig kleinen Markt. Im Rahmen der Konzepterarbeitung 1996-1999 wurden viele Fachdiskussionen und Gespräche mit einschlägigen, hauptsächlich nationalen Industrien und Hochschulen geführt und damit entsprechende Kontakte etabliert. Durch die Teilnahme des Programmleiters an der Konferenz "*New Electricity 21*" in Paris im Mai 1995 sowie an der DA/DSM 95 (*Distribution Automation/Demand Side Management*) Europe in Rom [17] konnten ebenfalls wertvolle Impulse gewonnen und Kontakte für weitere Forschungsaktivitäten gesammelt werden.

Insbesondere bei grösseren Projekten wird verstärkt ein gemeinsames Vorgehen von BEW und dem PSEL [18] angestrebt.

### 4. Umsetzung der Ergebnisse

Generell werden in jedem Projekt rechtzeitig vor dem Abschluss die erforderlichen Umsetzungsarbeiten initiiert. Aufgrund verschiedener, kürzlich abgeschlossener Projekte war das Jahr 1995 stark geprägt von Umsetzungsaktivitäten. So konnte nach intensiven Vorarbeiten ein längerer Beitrag im Fernseh-Magazin "Menschen-Technik-Wissenschaft, MTW" plziert werden. Dabei wurden vier konkrete Projekte aus dem Forschungsprogramm "Elektrizität" einem breiten Publikum vorgestellt. Zudem konnte an der INELTEC 95 das Versuchsmuster der Kleinumwälzpumpe mit dreifachem Wirkungsgrad am RAVEL-Stand präsentiert werden. Die Weiterentwicklung der Kleinumwälzpumpe wurde zu einem Serienprodukt durch die Industrie in Angriff genommen.

Das Projektergebnis, dass eine Temperaturerhöhung auf 26 Grad in EDV-Räumen keine signifikanten Auswirkungen bezüglich Rechnerzuverlässigkeit und -verfügbarkeit hat, wurde mit einem vielfältigen Aktionsprogramm den Betreibern von Rechenzentren kommuniziert. Dazu wurde ein Merkblatt in mehreren Sprachen für das Publizieren in

Kundenzeitschriften der namhaften Hersteller sowie für das Direktansprechen von EDV-Verantwortlichen verfasst. Ebenfalls wurde dieses Projektergebnis in der MTW-Sendung erwähnt.

Schliesslich sei speziell nochmals die DSM-Tagung in Schaffhausen erwähnt. Einer grossen Anzahl Teilnehmer aus der E-Wirtschaft konnten dabei die internationalen IEA-DSM-Aktivitäten präsentiert werden. Ergänzend wurde in der Tagespresse sowie in einschlägigen Fachzeitschriften darüber berichtet.

## 5. Pilot- & Demonstrations-Projekte

Das ursprünglich vom BEW und einer Grossbank initiierte Pilotprojekt zur Entwicklung eines energieeffizienten Bancomatautomaten wurde durch die Industrie vollumfänglich aufgegriffen und soll in eigener Regie im 1996 zur Serienreife gebracht werden. Damit soll der ursprüngliche *Standby*-Verbrauchswert von etwa 300 - 400 W auf weniger als 25 W reduziert werden.

Im Projekt "Ökokühlschrank Schweiz" wird die Entwicklung eines ressourcenschonenden und recycelbaren Kühlschranks angestrebt, der dank neuartiger Vakuumisolation die heutigen Energieverbrauchswerte halbieren soll. Aufgrund von finanziellen Schwierigkeiten eines Industriepartners kann dieses Projekt zur Zeit nicht weitergeführt werden.

## 6. Bewertung 1995 und Ausblick für 1996

Das Jahr 1995 stand stark im Zeichen der Konzeptausarbeitung 1996-1999. Neben der fachlichen Aufarbeitung der einzelnen Themen wurde der klaren Festsetzung der Schwerpunkte besondere Bedeutung beigemessen. Diese konnten, ohne die Flexibilität für unkonventionelle und innovative Ideen zu verlieren, identifiziert werden und liegen im Bereich "Verteilung", im Bereich der "Rationelle Nutzung" in den Gebieten "*Demand Side Management*", Integralmotoren und Energie in EDV-Netzen", sowie im Bereich "Hochtemperatursupraleitung".

Wie bereits erwähnt fanden zudem intensive Umsetzungsarbeiten statt. Neben der INELTEC-Präsentation der Kleinumwälzpumpe ist die Ausstrahlung des MTW-Fernseh-Beitrages sicher als Programmhöhepunkt zu bezeichnen. Die fachlichen, terminlichen und qualitativen Ziele der einzelnen Projekten konnten grösstenteils erreicht werden. Auf einzelne Verzögerungen in Projekten ist bereits hingewiesen worden.

Im Verlauf des Jahres wurden die von der schweizerischen Privatindustrie investierten Forschungs- und Entwicklungsaufwendungen bestimmt. Gesamtschweizerisch investierte die Industrie 1994 etwa Fr. 600 - 700 Mio. in Forschung und Entwicklung im Gebiet "Elektrizität". Der Bundesanteil von etwa Fr. 18 Mio. besteht zu einem erheblichen Teil aus ETH-Rat-Geldern und wird vorwiegend für grundlagenorientierte Forschungsarbeiten verwendet. Der mit dem vorliegenden Programm verfügbare Beitrag von etwa Fr. 1,25 Mio. stellt einen wirksamen Anteil dar. Gerade deshalb muss zukünftig verstärkt mittels gezielten, subsidiären Unterstützungen die angestrebte Steuerungswirkung erzielt werden.

Im Jahr 1996 steht die Konzeptpräsentation bei der CORE sowie die anschliessende Detailumsetzung im Vordergrund. Das verabschiedete Konzept wird dazu einer grösseren Anzahl Interessierten zugestellt. Das Konzept soll dabei im Sinne eines "*Bidding-Papers*" bei den verschiedenen Forschungsstellen initialisierend wirken.

## 7. Liste der Projekte

- [1] H.P. Biner, HTL-Sion: *Neue Umrichtertechnologien für erneuerbare Energiequellen am Beispiel von Kleinwasserkraftwerken.* (JB)
- [2] M. Leuenberg, GLUR COMMUNICATIONS-ELECTRONIC, Münsingen: *Zyklisches Blei-Akku-Ladegerät.* (SB)
- [3] H. Glavitsch, D. Brunner, L. Maiocchi, ETH-Zürich / Th. Arpagaus, AMSTEIN + WALTHERT, Zürich: *Lastbestimmungsmodell für Verteiltransformatoren.* (JB)

- [4] Ch. Girardier, R. Marolf, COLENCO, *Baden* / H. Glavitsch, D. Brunner, ETH-Zürich: *NIS/DMP - Ein Netzinformationssystem für Dokumentation, Monitoring und Planung elektrischer Verteilnetze*. (SB)
- [5] A. Stoev, TECHNOCON, *Zürich*: *Integraldrive 0.55 kW - 22 kW mit regenerativer Energierückspeisung*. (JB)
- [6] R. Tanner, SEMAFOR, *Basel*: *Entwicklung eines Programmsystems zur Unterstützung der energieoptimierten, herstellerübergreifenden Auslegung elektrischer Antriebssysteme*. (SB)
- [7] M. Meyer, ETH-Zürich: *Verstärkte Ausnutzung der Rekuperationsbremse der Lokomotive vom Typ Re 6/6 der SBB*. (SB)
- [8] B. Aebischer, ETH-Zürich: *Förderung des rationellen Energieeinsatzes in der Informationstechnik und Unterhaltungselektronik*. (JB)
- [9] B. Schaltegger, MEYER & SCHALTEGGER, *St. Gallen*: *Grundlagenarbeiten für Forschungsaktivitäten im Bereich Netzwerk-Energiemanagement*. (SB)
- [10] Projektteam, BKW ENERGIE, *Bern* und CKW, *Luzern*: *Bestimmung der prioritären Aktionsfelder im DSM*. (SB)
- [11] A. Demarmels, ABB SÉCHERON, *Genève*: *Hochtemperatur-Supraleiter-Transformator*. (JB)
- [12] G. Véscey, EPFL-*Lausanne*: *Assessing the Impacts of High Temperatur Superconductivity on the Electric Power Sector*. (JB)

(JB) Jahresbericht 1995 vorhanden

(SB) Schlussbericht vorhanden

## 8. Referenzen

- [13] G. Doka, W. Baumgartner, IBFG, *Zürich*: *Energiebilanzen von Kleinwasserkraftwerken, 30. Oktober 1995*
- [14] B. Aebischer, ETH-Zürich: *Market-Pull Report, September 1995*
- [15] A. Kempter, R. BRÜNIGER, *Ottenbach*: *Energiemanagement in einem Novell-Netzwerk*
- [16] EPRI, USA, SRC International: *Review and Documentation of Utility Structure and Characteristics of Participating Countries*
- [17] R. BRÜNIGER, *Ottenbach*: *Dokumentation "Joint Swiss/IEA DSM Programme Meeting" vom 22. März 1995 ♦ Reiseberichte der New Electricity 21 Conference vom 22. - 24.5.1995, Paris und DA/DSM 94 Europe Conference vom 21.23.11.1995, Roma*.
- [18] VSE, *Zürich*: *Tätigkeitsbericht 1994* des Projekt- und Studienfonds der Elektrizitätswirtschaft, (PSEL)
- [19] Vereinigung für Umweltrecht, *Zürich*: *Elektrosmog - umweltrechtliche Bedeutung, Tagungsband vom 4. Oktober 1995*

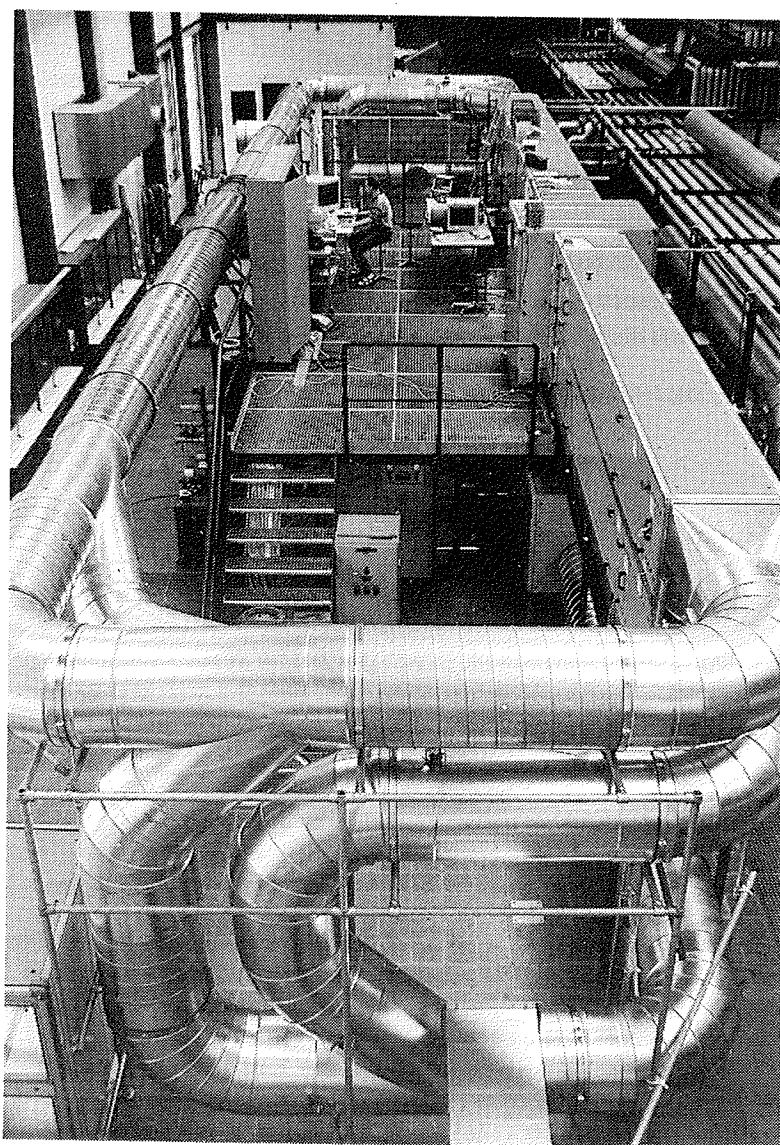
# UMGEBUNGS- & ABWÄRMENUTZUNG, WÄRME-KRAFT-KOPPLUNG

Überblicksbericht  
zum Forschungsprogramm 1995

**Martin Zogg**

Kirchstutz 3, 3414 Oberburg  
☎ 034/22 07 85 – Fax: 034/22 69 10  
E-mail: martin.zogg@isburg.ch

---



## Wärmerückgewinnung

Prüfstand der HTL-Horw zum Ausmessen von Wärmeübertragern zur Wärmerückgewinnung aus feuchter Abluft.

## 1. Programmübersicht und Programmziele

Das Forschungsprogramm "Umgebungs- und Abwärmenutzung, Wärme-Kraft-Kopplung" befasst sich mit der Nutzung der Umgebungswärme (Luft, Erdboden, Grund- und Oberflächenwasser) und von Abwärme (Gebäude, industrielle Prozesse usw.) für die Raumheizung, zur Warmwasserbereitung und für industrielle Prozesse. Über 50 % des Gesamtenergie-Endbedarfs der Schweiz werden für diese Wärmeanwendungen benötigt. Davon entfallen ca. 20 % auf Prozesswärme. Das Forschungsprogramm möchte Wissenslücken schliessen, um in Zukunft einen wesentlich höheren Anteil der **Niedertemperaturwärme aus Umgebungswärme oder aus Abwärme** gewinnen zu können. Während der Nutzungsgrad konventioneller Heizungssysteme mit Öl- oder Gaskesseln im allgemeinen unter 100 % liegt, erreicht man mit der Kombination von Blockheizkraftwerken (BHKW), Kombiheizkraftwerken oder Kombikraftwerken mit modernen Elektrowärmepumpenanlagen wesentlich höhere Nutzungsgrade im Bereich von 140 bis 200 % [27]. Mit dieser Kombination aber auch mit Gasmotorwärmepumpen oder Absorptionswärmepumpen lassen sich gegenüber den üblichen Öl- und Gasheizkesseln bereits heute 30 bis 50 % an Primärenergie einsparen, und damit wird die CO<sub>2</sub>-Emission entsprechend reduziert.

Diese Systeme lassen sich hinsichtlich Wirkungsgrad, Betriebssicherheit und Kosten noch wesentlich verbessern. Der Ersatz der bisher in Kompressionswärmepumpen üblichen Arbeitsmittel durch umweltverträgliche fordert auch konstruktiv neue Lösungen (z.B. Brennbarkeit!). Das Forschungsprogramm verfolgte in dieser Richtung im Jahr 1995 die folgenden Hauptziele:

- Besseres Beherrschen der **Wärmeübertragung** beim Verdampfen alternativer Kältemittel,
- **höhere Effizienz und Betriebszuverlässigkeit** von Heizsystemen mit Wärmepumpen und BHKWs,
- **monovalenter Betrieb ohne Wärmespeicher** bei Luft als Wärmequelle,
- Realisieren **neuer Wärmepumpen- und BHKW-Konzepte**,
- Reduktion des Energiebedarfs durch **Systemoptimierung**.

Eine ausführlichere Version der Jahresübersicht kann über ENET (Artikel 30397) bezogen werden.

## 2. Durchgeführte Forschungsarbeiten und erreichte Ergebnisse

### WÄRMEQUELLEN UND WÄRMEÜBERTRAGUNG

Eine Möglichkeit zum Erhöhen des Nutzungsgrads monovalenter Luft-Wasser-Wärmepumpen ist die **Vorwärmung der Umgebungsluft** mit **Erdregistern** aus in der Erde verlegten Rohren. Mit Erdregistern kann im Sommer zusätzlich mit geringem Energieeinsatz gekühlt werden. In einem neuen Projekt [12] wird eine vergleichende Kosten/Nutzen-Analyse mit anderen Wärmequellen durchgeführt. Für die Prüfung **regenerativer Luft/Luft-Wärmeübertrager** mit Sorptionsmittelbeschichtung für die Wärmerückgewinnung aus Abluft wurde der im Titelbild gezeigte neue Prüfstand ausgelegt, aufgebaut und in Betrieb genommen [10]. Das Verhalten rotierender Regeneratoren wurde modelliert und für einige Spezialfälle analytisch gelöst. Erste Berechnungen der Rückwärmzahl zeigen eine gute Übereinstimmung mit den Messergebnissen [13].

Die umfangreichen experimentellen Untersuchungen zum **Wärmeübergang bei der Verdampfung** der alternativen Kältemittel **R123, R134a, R402A und R404A in glatten und strukturierten Rohren** konnten abgeschlossen werden [1]. Zum Vergleich wurden auch Messungen mit den zu ersetzenden FCKW-Kältemitteln R11, R12 und R502 durchgeführt. Mit strukturierten Rohren können gegenüber glatten wesentlich höhere Wärmeübergangskoeffizienten bei nur wenig grösserem Druckverlust erzielt werden. Der Einfluss des Schmieröls auf den Wärmeübergang bei der Verdampfung in glatten und strukturierten Rohren wurde durch eine korrekte Behandlung des Kältemittel-Öl-Gemisches als Zweistoffgemisch modelliert [22]. Weiter wurde die Abhängigkeit des Wärmeübergangs von der Neigung der Rohre experimentell und theoretisch untersucht [23]. Als Ersatzstoff für das Kältemittel R22 werden noch viele Varianten erprobt. Zu den Favoriten gehört das Kältemittelgemisch **R407C**. Dafür werden in einem neuen Vorhaben [14] Wärmeübergang und Druckverlust bei der Verdampfung mit und ohne Schmieröleinfluss in Rohren untersucht.

Bei Wärmepumpen mit Aussenluft als Wärmequelle ist eine sorgfältige Verdampferauslegung zum Erzielen einer hohen Jahresarbeitszahl besonders wichtig. In Anlehnung an die oben erwähnten Arbeiten wurde deshalb zur besseren **Dimensionierung von Einspritz-Lamellenrohrverdampfern** ein neues Berechnungsmodell entwickelt und programmiert [15].

## WÄRMEPUMPEN UND BLOCKHEIZKRAFTWERKE

Der in der Schweiz für Neuanlagen bereits erfolgte Ausstieg aus den FCKW-Kältemitteln (z.B. R12 und R502) und der unmittelbar bevorstehende Ausstieg aus den H-FCKW-Kältemitteln (z.B. R22) zwingen kurzfristig zur Anwendung von FKW-Kältemitteln (wie R134a). Da die FKW ein hohes Treibhauspotential aufweisen, sind sie nach Möglichkeit bereits mittelfristig möglichst durch natürliche Kältemittel wie Ammoniak, Propan, Butan, Kohlendioxid oder Luft abzulösen. Im Rahmen eines IEA-Vorhabens wurde durch **eine integrale Ökobilanz** [2] gezeigt, wie sich die Umweltbelastung durch den Übergang auf natürliche Kältemittel reduziert. Während sowohl R134a wie auch die natürlichen Kältemittel praktisch keine ozonschichtschädigende Wirkung aufweisen, ist der Treibhauseffekt beim R134a zu hoch. Bei den natürlichen Kältemitteln sinkt der Treibhauseffekt bei schweizerischen Stromproduktionsverhältnissen auf 12 %..25 % des Werts beim Betrieb mit R12.

Bei der Untersuchung des Kompressorverhaltens mit variabler Drehzahl konnte nach den Untersuchungen an einem *Scroll*-Kompressor auch das Ausmessen eines **Rollkolbenkompressors** abgeschlossen werden [16]. Die Entwicklung der **Heizkörper-Wärmepumpe** zum Ersatz von Einzelraum-Widerstandsheizungen ist weitgehend abgeschlossen. An diesem Projekt beteiligen sich neben dem BEW zwei Industriepartner und das Neu Technikum Buchs. Auslöser dieses Projekts ist eine vom BEW durchgeführte Marktanalyse, welche gezeigt hat, dass 230'000 Wohneinheiten mit elektrischen Widerstandsheizungen beheizt sind (davon ca. 60 % EFH). Diese brauchen rund 7 % der schweizerischen Stromproduktion. Das entwickelte Konzept besteht aus einem kompakten, raumseitig aufgestellten Aggregat. Der Verdampfer ist über zwei Kanäle mit der Aussenluft verbunden. Die Wärmeabgabe erfolgt über einen hinten berippten "Betonradiator" (freie Konvektion, kein Ventilatorlärm, thermische Trägheit). Anfangs 1996 werden mehrere Funktionsmuster im Feld als Pilotanlagen getestet. Erwartet wird eine Halbierung des Stromverbrauchs gegenüber elektrischen Widerstandsheizungen.

Bei der Entwicklung einer neuen **zweistufigen Wärmepumpe** für speicherfreien, monovalenten Luft/Wasser-Betrieb ergab der vorgesehene *Scroll*-Verdichter im Bereich der kleinen Druckverhältnisse der zweistufigen Anlage einen schlechten Wirkungsgrad. Weiter entwickelte sich durch eine destillative Entmischung eine unerwünschte Blasenbildung [14]. Nach der Behebung dieser Probleme durch Austausch des Verdichters der ersten Stufe und der Unterkühlung des Stroms von der zweiten Stufe konnte mit dem Bau eines Funktionsmusters begonnen werden. Bei den laufenden Forschungsarbeiten an einer **Freikolben-Stirling-Wärmepumpe mit Resonanzrohr** [18, 24] führten Probleme infolge ungenügend geschmierter Linearlager zu einiger Verzögerung im Versuchsprogramm mit der Versuchsanlage. Die theoretische Erfassung wurde durch den Miteinbezug des Einflusses des Schwingungsverhaltens des Gehäuses auf die Kolbenschwingungen verfeinert.

Bei der **Nahwärmeversorgung einer Grossüberbauung** mit einer einstufigen Wasser-Lithiumbromid-Absorptionswärmepumpe [11] mit Grundwasser als Wärmequelle und einer Heizleistung von 870 kW konnten die diversen Probleme bei der hydraulischen und regeltechnischen Einbindung überwunden werden. Die Anlage funktioniert seit dem Frühjahr 95 wie vorgesehen. Da für den Winterbetrieb noch keine verlässlichen Daten vorliegen, werden die Messungen über die Heizsaison 95/96 ausgedehnt.

Nach den erfreulichen Ergebnissen der Feld- und Labormessungen an der **Diffusions-Absorptions-Wärmepumpe** (DAWP) ist diese in einem nächsten Schritt für den bivalenten Betrieb mit einem konventionellen Kessel zur Spitzendeckung und einer intelligenten Steuerung zu kombinieren. Dieses als "AWP-Kessel" getaufte Aggregat könnte Nutzungsgrade für die Raumheizung von 125..130 % erbringen. Dies wäre gegenüber den rund 100 % eines Brennwertkessels ein wesentlicher Fortschritt. Deshalb wird in einem Vorprojekt [19] für einen solchen AWP-Kessel das Marktpotential untersucht, eine detaillierte Anforderungsliste definiert und versucht, die Industrie sowie potentielle Abnehmer zur Mitarbeit zu gewinnen. Aus den in Russland laufenden und bereits abgeschlossenen Forschungsarbeiten zu den **Metallhydrid-Absorptionswärmepumpen** wurden wesentliche Grundlagen und mögliche Metallhydride zusammengestellt [3]. Für den Bau eines Funktionsmusters wurde ein detaillierter Projektvorschlag für eine Heizleistung von 10 kW ausgearbeitet.

Da die bisherige Betriebs-Emissionsüberwachung der Verbrennungsmotoren von Blockheizkraftwerken über die Lambdasondenspannung und die Abgastemperatur nicht zu befriedigen vermag, wird in einem neuen Projekt [20] nach verlässlicheren **Betriebs-Emissionsüberwachungsmethoden** gesucht. Dabei werden in einem ersten Teilprojekt eine direkte Abgasanalyse und in einem zweiten die Emissionserfassung über die durch die katalytische Reaktion verursachte Temperaturerhöhung verfolgt. Um das Übel der Schadstoffemissionen an der Wurzel zu packen, wird in einem neuen Vorhaben [21] in Zusammenarbeit zwischen den beiden ETHs mit einem schweizerischen Hersteller von Motoren und einem von Blockheizkraftwerken ein **neuer Gasmotor entwickelt**. Ambitiöses Fernziel dieses durch den FOGA mitfinanzierten Vorhabens ist ein Gasmotor für Blockheizkraftwerke, der die weltweit strengsten schweizerischen Emissionsvorschriften ohne nachgeschalteten Katalysator zu erreichen vermag. In einer ersten Phase wird ein in der Schweiz in Serie gebauter, robuster Sechszylinder-Dieselmotor in einen nicht aufgeladenen Gasmotor für stöchiometrischen Betrieb mit Dreiweg-Katalysator umgebaut.

Nach einer Betriebsoptimierungsphase konnte ein neuentwickeltes **Klein-Blockheizkraftwerk** (5 kW elektrische, 13.5 kW thermische Leistung) aus einer Nullserie in Betrieb genommen werden [4]. Das anschlussfertige Kompaktaggregat ist mit einem Einzylinder-Gasmotormotor und einem unregelmässigen Oxidationskatalysator ausgerüstet. Die Einbindung ins Heizungssystem erfolgt ohne Wärmespeicher. Die mit diesem Klein-Blockheizkraftwerk durchgeführten Feldmessungen ergaben einen Gesamtnutzungsgrad von 87 % und einen elektrischen Nutzungsgrad von 25 %. Während die CO-Emissionen weit unter den Grenzwerten der LRV 92 liegen, sind die NO<sub>x</sub>-Emissionen mit 400 mg/m<sup>3</sup> wesentlich höher als bei einem "normalen" schweizerischen Blockheizkraftwerk (<80 mg/m<sup>3</sup>). Es muss leider festgestellt werden, dass die oft verfochtene Idee einer dezentralen Stromproduktion mit Klein-Blockheizkraftwerken zumindest im untersuchten Fall sowohl thermodynamisch wie auch ökologisch nicht genügend zu befriedigen vermag.

Für den Bau des Prototypen eines **Freikolben-Stirling-Generators** [5] mit 1.5 kW elektrischer Leistung wurde ein Industriepartner gefunden. An diesem Vorhaben beteiligen sich der NEFF, der PSEL (Lineargenerator), der FOGA (Brennerentwicklung) und das BEW. Das BEW übernimmt das Teilvorhaben der Entwicklung eines dynamischen Lastreglers für den *Stirling*-Lineargenerator, in dem unter anderem die Problemkreise "Abbremsen bei Lastausfall" und "Inselbetrieb" gelöst werden. Zur Verbindung der Vorteile bekannter Motorentechnik mit den geringeren Schadstoffemissionen bei äusserer Verbrennung wurde ein **Motor mit einem neuen Kreisprozess** vorgeschlagen [7]. Als Arbeitsmedium ist Luft vorgesehen. Erste theoretische Überlegungen zeigten, dass mit diesem Motor mechanische Wirkungsgrade um 20 % erreicht werden sollten. Dank der äusseren Verbrennung ist nicht nur ein schadstoffarmer Betrieb, sondern grundsätzlich auch ein Betrieb mit Holz als Brennstoff möglich. Anhand eines zu bauenden Funktionsmodells ist nun der experimentelle Nachweis der theoretischen Voraussagen zu erbringen.

## AUSLEGUNG, SYSTEMOPTIMIERUNG UND DIVERSE

Über die entwickelten PC-Programme zur Auslegung und Optimierung von Heizungsanlagen mit Wärmepumpen **WP-Calc** und von Blockheizkraftwerken **WKK-Calc** sowie über das Simulationsprogramm **YUM** für mono-energetische Elektrowärmepumpenanlagen und bivalente Wärmepumpenheizsysteme mit einem Holzkessel zur Spitzendeckung wurde bereits berichtet. Die *Calc*- und *YUM*-Programme beruhen auf unterschiedlichen Berechnungsansätzen. Sie unterscheiden sich insbesondere bei den Berechnungsmodellen für den stündlichen Wärmeleistungsbedarf. Da diese Programme in der Praxis bereits häufig eingesetzt werden und ihre Verwendung auch für die Erfolgskontrolle an installierten Anlagen vorgeschlagen wird, bestand ein dringender Bedarf einer vergleichenden Validierung zur Erfassung der Berechnungsunsicherheiten und der sinnvollen Einsatzgrenzen [13].

Kompliziertere thermische und verfahrenstechnische Anlagen enthalten eine Vielzahl von Strömen mit unterschiedlichem Temperaturniveau. Diese sind im allgemeinen durch Wärmeübertrager, Verdampfer, Kondensatoren und thermische Maschinen miteinander gekoppelt. Als effizientes Werkzeug zur Analyse und Optimierung vernetzter thermischer Systeme hat sich die **Pinch-Methode** etabliert. Diese wurde so erweitert, dass nun auch die **exergetischen Verluste** der Wärmeübertragung, die Strömungsverluste in den Wärmeübertragern sowie die Verluste bei der Herstellung (graue Energie) und der Entsorgung der Hauptkomponenten einer Anlage erfasst werden können ([25], Zusammenfassung in [6]). Diese Erweiterung der *Pinch*-Methode erleichtert eine optimale Einbindung thermischer Maschinen wie Wärmepumpen oder WKK-Anlagen in vernetzte Prozesse. Die Anwendung wird durch ein entsprechendes Computerprogramm wesentlich erleichtert [6]. In der Schweiz wird sowohl im Chemie- wie auch im Lebensmittelbereich häufig in diskontinuierlichen Prozessen produziert. Deshalb wurde im Einklang mit



weltweiten Bemühungen versucht, ähnliche Überlegungen zur optimalen energetischen Gestaltung auch auf diskontinuierliche Prozesse zu übertragen [8].

Der Wartungsaufwand kann bei komplexeren Anlagen zur Raumheizung einen wesentlichen Anteil der Gesamtjahreskosten erreichen. Dies gilt insbesondere auch für Blockheizkraftwerke. Expertensysteme können in der Haustechnik die Aufgabe übernehmen, aus ständiger Beobachtung die richtigen Wartungsmassnahmen im letztmöglichen Zeitpunkt auszulösen oder auch eintreffende Alarmmeldungen rasch zu interpretieren. Dadurch kann die Betriebszuverlässigkeit gesteigert und der Wartungsaufwand reduziert werden. Für BHKW-Anlagen wurden die Grundlagen für ein **Störungsdiagnose-Expertensystem für BHKW-Anlagen** soweit entwickelt, dass die Resultate an einer realen Anlage angewandt und validiert werden konnten [17].

Als energiesparende Möglichkeit zur Raumkühlung ist die Verdunstungskühlung allgemein bekannt. Ihr Effekt ist umso grösser, je trockener die Luft vor der Befeuchtung ist. Über einer relativen Luftfeuchtigkeit von etwa 70 % wird die Kühlleistung gering. Bei der **Sorptions-Verdunstungskühlung** (*Desiccative Evaporative Cooling DEC*) wird die Luft vor der adiabaten Verdunstungskühlung durch geeignete Sorptionsmittel getrocknet. Die Sorptions-Verdunstungskühlung ist auch bei uns für die Raumklimatisierung eine energetisch interessante Alternative zu den üblichen Kälteanlagen [9].

### 3. Nationale und internationale Zusammenarbeit

Auch in diesem Berichtsjahr konnte der Bereich "Umgebungs- und Abwärmenutzung, Wärme-Kraft-Kopplung" noch durch den NEFF unterstützt werden. Die Koordination mit seinen Nachfolgefonds, dem PSEL (Projekt- und Studienfonds der Elektrizitätswirtschaft) und dem FOGA (Energieforschungsfonds der schweizerischen Gasindustrie) führte zu gemeinsam finanzierten Projekten: Entwicklung eines Mini-Blockheizkraftwerks in der Form eines Freikolben-*Stirling*-Generators (BEW, PSEL, FOGA), *Swiss Motor* [21] und Absorptionswärmepumpen (BEW-FOGA).

Im Wärmepumpenbereich fand die internationale Zusammenarbeit auch dieses Jahr in erster Linie über die schweizerische Beteiligung am *IEA Heat Pump Programme* statt. Das Projekt **Heat Pump Center** brachte uns weltweite Informationen und Impulse zur Entwicklung der Wärmepumpentechnologie. Innerhalb des *Swiss National Teams* fand wiederum ein reger Informations- und Gedankenaustausch zwischen verschiedenen schweizerischen Gruppierungen zur Förderung der Wärmepumpentechnologie in Forschung, Entwicklung, Markt und Betrieb der Wärmepumpentechnik statt. Im Rahmen des neuen Projekts **Compression Systems with Natural Working Fluids** hat die Schweiz eine Bestandesaufnahme über die Erfahrungen mit Ammoniak als Kältemittel vorgestellt. Wenig erfolgreich blieben bis heute leider unsere Gesuche im Rahmen des 4. Forschungsprogramms der Europäischen Union.

Im Rahmen des *IEA-Implementing Agreement on Process Integration* kam es zu einer Zusammenarbeit mit allen skandinavischen Ländern, England, Portugal und der Schweiz. Themen des im September 95 gestarteten ersten Teilvorhabens sind: Erfassen der Industriebedürfnisse, Übersicht über die vorhandenen und die sich in Entwicklung befindenden Methoden sowie die Ausarbeitung einer Strategie zur weiteren Entwicklung der Methoden der Prozessintegration.

Am *19th International Congress of Refrigeration* in Den Haag NL haben wir über die Kombination von Wärmepumpen mit Holzheizungen, die Verdampfung von R134a und R123 in strukturierten Rohren und den Entwicklungsstand der *Stirling*-Freikolben-Wärmepumpe mit Resonanzrohraufladung berichtet [26].

### 4. Transfer in die Praxis

Da rund die Hälfte der Projektarbeiten von privaten Firmen durchgeführt wurde, ist die direkte Zusammenarbeit mit der Privatwirtschaft sehr eng. Im Berichtsjahr konnten weitere Projekte mit gemeinsamer Bearbeitung von Vorhaben durch den Hochschulbereich und die Privatwirtschaft [13, 21] gestartet werden. Die im Jahre 1995 abgeschlossenen

Forschungsarbeiten können zu neuen Produkten führen [3] und sind gute Grundlagen für eine industrielle Weiterentwicklung [1]. Die in [4, 6, 8 u. 9] erarbeiteten Unterlagen sind für die Planung energieeffizienterer Systeme direkt verwendbar. Nebst Publikationen der Projektleiter und Kurzfassungen der Projektergebnisse durch den Programmleiter in den einschlägigen Fachzeitschriften helfen zahlreiche P+D-Projekte, das in der Forschung Erarbeitete in gut funktionierende Anlagen umzusetzen.

Unter dem Motto "Statt 90 % schon heute 150 % Nutzungsgrad!" fand am 3. Mai 1995 an der ETH-Zürich die gut besuchte **2. Tagung des Forschungsprogramms Umgebungs- und Abwärmenutzung, Wärme-Kraft-Kopplung** statt. An der Tagung wurden die im Rahmen des Programms entwickelten Computerwerkzeuge für die Planung, Betriebsoptimierung und Betriebsüberwachung von Raumheizungen mit Wärmepumpen und Blockheizkraftwerken anhand von Übersichtsreferaten und Demonstrationen am PC vorgestellt [28]. Die Aktivitäten des Forschungsprogramms sowie die Vorhaben für die Jahre 1996-1999 wurden auch an der Vollversammlung der **Arbeitsgemeinschaft Wärmepumpen** diskutiert. In diversen **RAVEL-Kursen** zur Planung, zum Bau und zum Betrieb von Wärmepumpen- und BHKW-Anlagen wurden die im Forschungsprogramm erarbeiteten Kenntnisse und Planungswerkzeuge auch 1995 an die Praxis weitervermittelt.

## 5. Ausblick auf das Jahr 1996

Im Jahr 1996 wird die Realisierung des Forschungskonzepts 1996-1999 [27] in Angriff genommen. Wesentliche Kurskorrekturen drängen sich nicht auf. Verstärktes Gewicht ist allerdings einer optimalen Integration von Wärmepumpen und Blockheizkraftwerken in die Heizungssysteme und der Emissionsreduktion bei Blockheizkraftwerken über den ganzen Betriebszyklus beizumessen. Auch das Schliessen von Wissenslücken für die Qualitätssicherung von Wärmepumpenanlagen wie das Entwickeln einer Kurztestmethode zur Systemoptimierung und zur Abnahmeprüfung sind von grosser Dringlichkeit. Die Priorität wird auf jene Forschungsarbeiten gelegt, die zu einer verbesserten Planung, einer besseren Systemoptimierung oder mit grosser Wahrscheinlichkeit zu **vermarktbareren Produkten mit hohem Energiesparpotential** führen. Dabei werden wir im Sinne guter Umsetzungschancen weiterhin versuchen, Privatfirmen in einem möglichst frühen Stadium der Entwicklung zur Mitwirkung zu gewinnen.

Ebenfalls im Interesse der Umsetzung führen wir am 7. Mai 1996 an der Ingenieurschule Burgdorf die 3. öffentliche Tagung mit dem Thema **Neue Technologien für Kleinwärmepumpen und Klein-BHKW** durch. Das Programm mit Anmeldeformular ist bei ENET zu beziehen.

## 6. Projets P+D de chaleur de l'environnement

Fabrice Rognon, chef du programme P+D

Durant l'année écoulée, nous avons enregistré 13 demandes nouvelles. 5 ont été acceptées, 3 refusées, 1 retirée et 4 sont en cours d'examen. La qualité des requêtes s'est nettement améliorée par rapport à l'année précédente. Parmi les nouvelles requêtes acceptées se trouvent 4 projets de "petites PAC" (pompes à chaleur d'une puissance thermique < 30kW) qui représentent des solutions adaptées à l'assainissement de chauffages existants.

Vu le nombre de requêtes déposées et nos possibilités financières, le chef du programme a décidé, en juillet 95, en accord avec le comité P+D, de soutenir en priorité les installations pilotes. Pour les installation de démonstration, seuls les projets de mesures sont financés.

Plusieurs projets se sont achevés avec succès:

- Moteur à gaz et pompe à chaleur sur l'eau de l'Aar, Aumatt, Hinterkappelen; rapport final des mesures d'optimisation reçu; (Nr. 24).
- École Steiner, Origlio, pompe à chaleur air/eau avec chaudière d'appoint au mazout; rapport final des mesures 94/95 reçu; (Nr. 59)
- Pompe à chaleur air/eau monovalente, Im Schiffli, Hirzel; mise en service effectuée en 95; rapport remis; (Nr. 10954)

Deux projets ont été stoppés et annulés: Multi-X-Wärmepumpe, Lommiswil (Nr. 178) et Multi-X-Wärmepumpe, Lenzburg (Nr.10131). Le non respect par les responsables des projets des conditions fixées dans nos décisions nous a forcé à prendre les mesures qui s'imposaient. Dans le cas d'un autre projet (Nr. 13881), le maître de l'ouvrage s'est finalement décidé pour une chaudière à mazout, malgré l'octroi d'une contribution.

Les 31 projets en cours se répartissent de la façon suivante:

a) Systèmes

Type	CCF + PAC	PAC air/eau monovalente	PAC air/eau avec appoint fossile	PAC eau/eau sans appoint
Nombre de projets	10	4	8	6

b) Sources de chaleur

Source	air	sondes géothermiques	nappe phréatique	rivière	tunnel ferroviaire
Nbre de projets	11	7	7	1	1

A l'avenir, l'accent sera porté sur:

- systèmes applicables pour l'assainissement de chauffages existant;
- utilisation de fluides frigorigènes neutres pour l'environnement;
- amélioration sensible du coefficient de performance;
- abaissement des coûts du système (par ex. PAC air/eau monovalente sans stock technique);
- PAC à absorption;
- nouveaux modes de financement (par ex. *contracting* pour les CAD).

## 7. Liste der Projekte

- [1] N. Kattan, D. Favrat, J.R. Thome, E. Nidegger, LENI / EPF-Lausanne: *Evaporation de nouveaux réfrigérants sur des tubes à surface améliorée*. (SB, ENET-Nr. 9200891)
- [2] T. Weibel, LES / ETH-Zürich: *Vergleichende Umweltrelevanz des Einsatzes alternativer Kältemittel*. (SB, ENET-Nr. 9553849)
- [3] A.Rasumowskij, Krowinskojes - Moskau: *Metallhydrid-Adsorptionswärmepumpe, Phase 1*. (SB, ENET-Nr. 9401011)
- [4] R. Ruch, E. Pauli, Hp. Eicher, H. Pauli - EICHER+PAULI-Liestal: *Erfolgskontrolle KleinBlockheizkraftwerke*. (SB, ENET-Nr. 9300671)
- [5] Th. SCHMIDT, Steffisburg: *Untersuchung eines Freikolben-Stirling-Generators; Brenner für Stirlingmaschinen-Systemabklärung*. (SB, ENET-Nr. 920521)
- [6] F. Staine, LENI / EPF-Lausanne: *Intégration énergétique des procédés industriels par la méthode du pincement étendue aux facteurs exergetiques*. (SB, ENET-Nr. 9200881) ♦ *Logiciel PINCHLENI version PC Windows, Phase 2*. (SB, ENET-Artikel 30374) Das Computerprogramm mit deutschem und französischem Handbuch kann bezogen werden bei: Laboratoire d'énergie industrielle, EPF-Lausanne.
- [7] P.-A. Jeandupeux, ETS-Le Locle: *Moteur à combustion externe*. (JB, ENET-Nr. 9553848)
- [8] P. Krummenacher, LENI / EPF-Lausanne: *Intégration énergétique des procédés industriels par la méthode du pincement étendue aux procédés discontinus*. (SB, ENET-Nr. 9200881)
- [9] J.P. BOREL, Cully: *Entwicklungsstand der Sorptionsklimatisierung*. (SB-Entwurf, ENET-Nr. 9400721)

- [10] R. Furter, P. W. Egolf und B. Frei, HTL-Horw: *Wärmerückgewinnung durch regenerative Luft/Luft-Wärmeübertrager*. (ZB+JB, ENET-Nr. 9400231)
- [11] P. Krüsi, AMENA, Schlieren: *Messprojekt "Im Bilander" Brugg*. (ZB, ENET-Nr. 9106660)
- [12] A. Huber, HUBER ENERGIETECHNIK, Zürich: *Luftvorwärmung für Wärmepumpen in Erdregistern, Phase 1*. (JB, ENET-Nr. 9554499)
- [13] G. Zweifel, EMPA-Dübendorf: *Validierung der Computerprogramme YUM WP/Holz, WP-Calc und WKK-Calc*. (JB, ENET-Nr. 9554409)
- [14] D. Favrat, LENI / EPF-Lausanne: *Evaporation du nouveaux réfrigérant HFC407C sur des tubes*. (JB, ENET-Nr. 9553972) ♦ *Pompe à chaleur biétagée à haute performance*. (JB, ENET-Nr. 9400101)
- [15] M.R. CONDE, Zürich: *Simulationsmodelle Kompressionswärmepumpe, Fortgeschrittene Verdampfermodelle*. (JB, ENET-Nr. 9300221)
- [16] M. Ehrbar, HTL-Buchs: *Messungen an Wärmepumpen-Kompressoren*. (JB, ENET-Nr. 9200871)
- [17] P. Neuenschwander, LES / ETH-Zürich: *Expertensystem BHKW (Expertensystem für präventive Wartung und Alarmlinterpretation in der Haustechnik, Ph. 2: Blockheizkraftwerke, Teil 2)*. (JB, ENET-Nr. 9100164)
- [18] J.P. Budliger, CENTRE DE TECHNOLOGIES NOUVELLES, Plan-les-Ouates: *Wärmepumpe mit Stirling-Antrieb und Resonanzrohr*. (JB, ENET-Nr. 9300631)
- [19] M. Kernen: PLANAIR, La Sagne / ELEKTROWATT, Zürich: *AWP-Kessel, Vorphase*. (JB, ENET-Nr. 9553371)
- [20] F. Kühnis, D. Maurer, EICHER+PAULI / U. AMMANN, Liestal/Langenthal: *Betriebsüberwachung von Dreiwegkatalysatoren*. (JB, ENET-Nr. 9553311)
- [21] R. Röthlisberger, LENI / EPF-Lausanne: *Swiss Motor*. (JB, ENET-Nr. 9553707)

(JB) Jahresbericht 1995 vorhanden

(ZB) Zwischenbericht vorhanden

(SB) Schlussbericht vorhanden

## 8. Referenzen

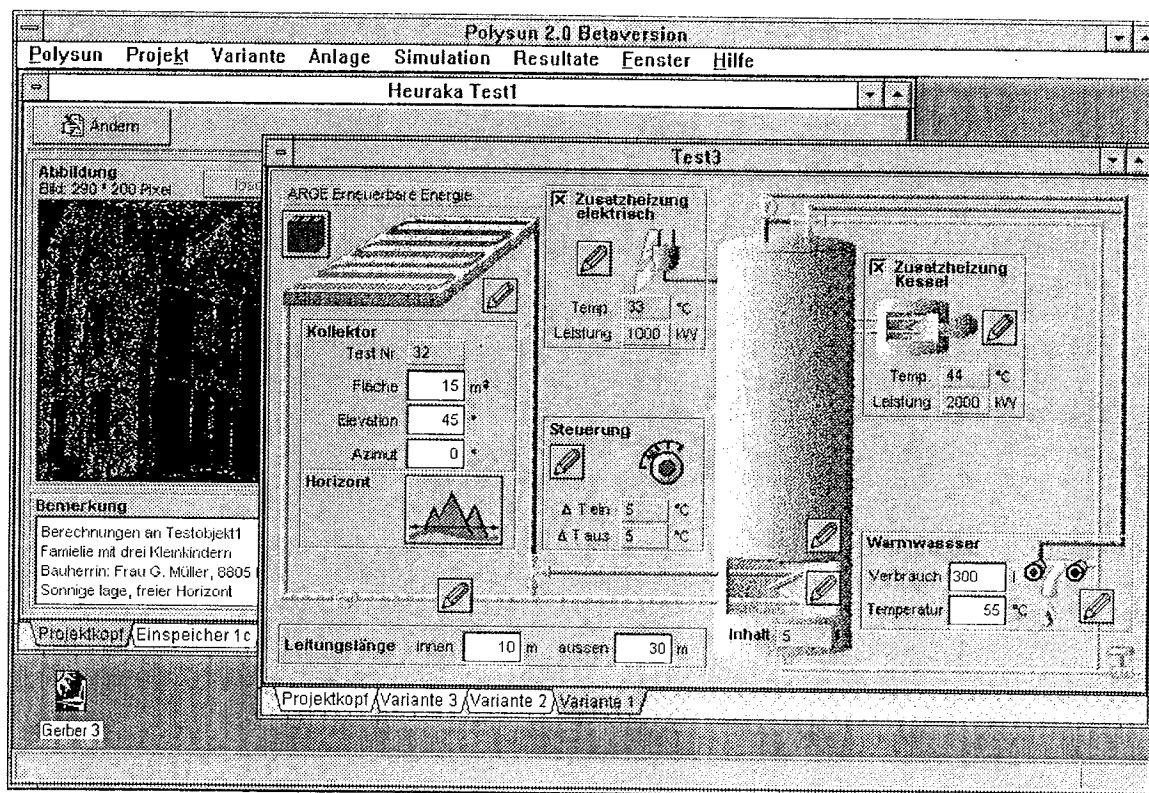
- [22] J.R. Thome: *Flow Boiling of Refrigerant-Oil-Mixtures: a current review*, Int. Conf. "Convective Flow Boiling" Banff, Canada, April 30 - May 5, 1995.
- [23] N. Kattan, J.R. Thome, D. Favrat: *Flow Boiling in Horizontal and Vertical Tubes: The Effect of Tube Orientation on Heat Transfer*, Preprints of the "Int. Conf. Convective Flow Boiling" Banff, Kanada, April 30 - May 5, 1995.
- [24] J.P. Budliger: *Progress made on the Stirling Heat Pump with Resonance Tube - a Supercharged Vuilleumier Process*, 7th International Conference on Stirling Cycle Machines ICSC 95 (Tokyo), Proceedings, S.465/470.
- [25] F. Staine: *Intégration énergétique des procédés industriels par la méthode du pincement étendue aux facteurs exergétiques*, Thèse 1318, EPF-Lausanne, 1994.
- [26] *Proc. 19th Int. Congress of Refrigeration, The Hague, August 20-25, 1995, Vol. IVa und IVb*.
- [27] M. Zogg: *Heizen mit 150 % statt 90 % Nutzungsgrad - Kombination von Wärme-Kraft-Kopplung und Wärmepumpentechnologie*, SIA 113(95)43, 29/31. ♦ *Konzept 1996/1999 für das F+E-Programm "Umgebungs- und Abwärmenutzung, Wärme-Kraft-Kopplung"*, BEW 1995, ENET-Artikel 30398.
- [28] *Heizungssysteme mit Wärmepumpen und Blockheizkraftwerken: Planungs- und Optimierungsmethoden mit PC-Programmen, Tagungsband*, M. Zogg (Hrsg.), BEW 1995, ENET-Artikel 30277.

# SOLAIRE THERMIQUE ET STOCKAGE DE CHALEUR

**Rapport de synthèse**  
sur les activités 1995 du programme de recherche

**Pierre Bremer**

SEDE, Rue du Midi 33, 1800 Vevey  
☎ 021/921 05 15 – Fax: 021/921 95 57



**POLYSUN**

Logiciel de dimensionnement d'installations solaires thermiques.

## 1. Les travaux effectués en 1995

Pendant l'année 1995, les divers projets de recherche en cours et entrepris dans le cadre du programme 1992-1995 ont été poursuivis. Quatre projets ont pu être menés à terme, huit sont en voie d'achèvement et six sont encore en cours.

### MÉTÉOROLOGIE SOLAIRE

Bien que faisant partie du Programme de recherche "Photovoltaïque", il y a lieu de rappeler ici l'achèvement du projet METEONORM 95, salué par toute la communauté solariste, toutes spécialisations confondues. METEONORM 95 est une mise à jour et une extension des données météorologiques publiées initialement dans le cadre de METEONORM 85. Cette nouvelle version se présente sous la *forme d'un logiciel s'appuyant sur une base de données de 10 ans de mesures du rayonnement solaire effectuées dans plus de 60 stations par l'Institut Suisse de Météorologie (ISM)*. Comme dans la version (écrite) précédente, il est possible de déterminer en moyenne mensuelle le rayonnement et la température en n'importe quel lieu en Suisse, les *nouveautés principales étant la génération de valeurs horaires et la prise en compte de l'horizon local*. Les fichiers de sortie sont conformes aux besoins des logiciels de dimensionnement disponibles en Suisse [1].

### COMPOSANTS

Comme par le passé, les divers travaux concernant la technologie des capteurs et des composants solaires ont été poursuivis au **Laboratoire Fédéral d'Héliotechnique de Rapperswil (SPF-ITR)**.

Les principaux travaux et résultats sont les suivants [2]:

- Le "record" de l'année passée du nombre de nouveaux capteurs testés a été dépassé, passant de 40 à 49, ce qui porte le nombre total à 187. Plus de 1200 exemplaires du catalogue des protocoles de mesures sont en circulation.
- La révision complète des stands d'essais, commencée en 1994, a été poursuivie en 1995 et durera jusqu'en 1996.
- Les essais sur la résistance aux intempéries des couvertures transparentes englobent maintenant 700 échantillons qui ont été exposés pendant 10 ans à Rapperswil et à Davos. L'analyse de cette banque de données unique au monde fera l'objet d'une publication sur un CD-ROM.
- Comme annoncé, un groupe de travail international a été créé sous la *dénomination "Materials for Solar Thermal Collectors"*. Un programme de recherche comprenant 6 projets a été élaboré. Le SPF-ITR participe à tous ces projets.
- Les résultats prometteurs initialement obtenus sur des produits antigel de type "éther polyglycolique" n'ont malheureusement pas été confirmés: bien qu'ils restent stables jusqu'à 200 °C, leur faible chaleur massique les rend impropres à l'utilisation pratique dans un circuit de capteurs thermiques. Des essais comparatifs ont montré une *diminution du rendement et du taux de couverture de l'ordre de 10 %*. Ces antigels ne peuvent donc pas être recommandés. Le problème de la surchauffe reste ainsi entier.
- Les stands d'essai "système" ont été améliorés. Les cabines de mesure ont été agrandies, elles sont climatisées et le système d'acquisition de données a été complété.

Afin de comparer les chauffe-eau solaires compacts qui apparaissent actuellement sur le marché suisse, suite à l'introduction du chauffe-eau **SOLKIT**, un concours entre constructeurs sera organisé. Après une certaine hésitation de la part de ceux-ci, près de 15 d'entre eux ont décidé d'y participer. Les mesures auront lieu en 1996. Le SPF-ITR a introduit les tests d'un *label de qualité pour les capteurs* selon les normes ISO et européennes. Sur les 6 premiers capteurs testés, seules 2 unités ont satisfait aux critères de qualité requis [2].

Les travaux du projet **Absorbeur 2000** entrepris conjointement entre le Laboratoire de Rapperswil et l'Institut de Physique (IFP) de l'Université de Bâle ont été poursuivis:

- L'appareil de mesure de l'efficacité de captage des ailettes a été intensément utilisé par les principaux constructeurs et certains produits ont pu être nettement améliorés. Ainsi, par exemple, il a été possible *d'économiser 20 % de matériau sans réduire le rendement de l'ailette*.

- Les essais sur les nouvelles surfaces sélectives donnent satisfaction et sont terminés. Une réunion de travail a été organisée avec 15 représentants de l'industrie, dans le but d'obtenir leur participation à une exécution industrielle. Malheureusement, les industriels se sont abstenus, étant d'avis que le projet *n'était pas encore suffisamment avancé*. C'est pourquoi cette partie du projet sera prolongée en 1996 par une phase de consolidation [2].

Dans des installations solaires d'une certaine importance, comportant un accumulateur de chaleur stratifié, il est utile de connaître avec suffisamment de précision l'énergie contenue dans la cuve de stockage. Cette grandeur peut servir, d'une part, au calcul du bilan de l'installation et, d'autre part, à la gestion énergétique du système. La procédure usuelle consiste à mesurer les températures à plusieurs niveaux et d'en calculer la moyenne. L'équipement requis est relativement important et coûteux. Dans le projet *Mittlere Speichertemperatur* on tente de représenter cette mesure au moyen d'une *seule sonde*. Une cuve d'essai d'une contenance de 300 litres a été construite. Elle permet de simuler différentes configurations de la disposition interne des échangeurs de chaleur. 49 thermocouples, disposés par groupe de 7 sur 7 niveaux, permettent de comparer la température moyenne calculée à celle mesurée par la sonde unique. Les mesures commenceront au début 1996 [3].

Le projet *Konvektion im Wasserraum von Latentspeichern mit kugelförmigen Elementen*, initialement financé par le NEFF, étudie par modélisation mathématique et essais pratiques, le *transfert de chaleur dans un accumulateur à chaleur latente*. Les essais se font sur une configuration classique, composée d'une enceinte remplie de billes d'un diamètre de 70 mm contenant une substance changeant de phase à 27°C.

Il a été possible de créer un modèle de simulation relativement simple et de décrire les phénomènes par les paramètres classiques sans dimension de la théorie des transferts de chaleur, aussi bien dans le cas de convection naturelle que forcée. Ce modèle permettra le dimensionnement de tels accumulateurs avec le logiciel TRNSYS [4].

## APPLICATIONS

La phase actuelle du projet, **Centrale électro-solaire alpine**, entrepris en commun par les EPF de Lausanne et Zürich, basé sur la conception d'un *cycle de Rankine à 2 étages*, est terminée. Les essais effectués durant tout l'hiver sur le nouveau capteur CEP2 ont donné des résultats mitigés, et certains éléments du programme n'ont pas pu être exécutés. En effet, si le concentrateur s'est comporté de manière satisfaisante dans les intempéries, ce ne fut pas le cas des *structures pare-avalanche de soutien*; les fondations ont cédé suite à une coulée de neige, interrompant les essais et les mesures. Selon les responsables, ce type d'évènement serait vraiment exceptionnel et ne devrait pas remettre en cause l'utilisation de pare-avalanches comme support.

Une première turbine *scroll*, adaptée à partir d'un compresseur HITACHI, a été testée avec succès. La puissance de cette machine étant limitée à quelques kW, un nouveau modèle TRANE, *pouvant aller jusqu'à 15 kW*, a été étudié. Le banc d'essais bi-étage a été mis en service avec cette turbine au cycle inférieur, une vanne plus un échangeur en guise de turbine au cycle supérieur. Des problèmes sont apparus au niveau des pompes à fluide de travail et ont nécessité de longs délais de correction. Bien que le projet, dans sa définition initiale (faisabilité) puisse être considéré comme terminé, il serait souhaitable, pour être plus concluant, de bénéficier d'une extension visant à aboutir à un concept détaillé de *centrale expérimentale de quelque 10 kWél*. Une proposition dans ce sens a été élaborée [5].

Le complexe de 44 logements **SAILLON 1 MW Solaire** [6] (62 m<sup>2</sup> de capteurs vitrés, 957 m<sup>2</sup> d'absorbeurs non-vitrés, stock saisonnier en aquifère de 7'500 m<sup>3</sup>, appoint par chaudière au mazout, distribution par CALOBUS sanitaire) est entré dans son deuxième cycle de fonctionnement. Rappelons que le premier avait été incomplet et accompagné de problèmes opérationnels. La charge du stock a fonctionné de façon prometteuse jusqu'à fin juin 1995. A partir de cette date, suite à un orage violent, le *niveau de la nappe s'est élevé à une valeur telle* qu'il a fallu réduire aussi bien le débit de charge que celui de stabilisation de la nappe pour ne pas inonder les environs de l'habitat. En conséquence, le cycle de charge a été complètement perturbé, de sorte que les résultats ne sont guère meilleurs que ceux du premier cycle. Le suivi du projet se termine normalement en mars 1996. Compte tenu des difficultés rencontrées, une prolongation du projet est à l'étude.

Les *sheds* d'une halle industrielle sont couverts de **panneaux photovoltaïques hybrides refroidis à l'air**. La surface de captage est égale à 500 m<sup>2</sup>. L'air préchauffé sert à la ventilation de la halle et, en été, sa chaleur est accumulée dans un stock souterrain accouplé à une pompe à chaleur. Un groupe de chaleur-force et une chaudière à mazout complètent l'installation. Les mesures faites sur l'installation s'étalent sur deux saisons complètes (92/93, 93/94). Le

rendement électrique et thermique des panneaux est de 9, respectivement 35 %. Le taux de couverture total (chaleur et électricité) atteint 60 à 62 % [7].

Le rapport final sur le projet **Sonnenkollektoren für die Heubelüftung: Erfolgskontrolle in der Praxis** [8] est disponible. Une enquête effectuée auprès de 550 propriétaires d'installations de séchage de foin a permis de mettre en évidence les données suivantes:

- La section de séchage du foin est en moyenne de 154 m<sup>2</sup> et la surface des collecteurs atteint 247 m<sup>2</sup>. La plupart des installations sont *sous-dimensionnées*.
- Le modèle le plus courant est composé d'un toit en ETERNIT sous lequel se trouvent les canaux de ventilation de l'air de séchage.
- En général, les installations sont construites par *les agriculteurs eux-mêmes* avec l'aide des conseillers en vulgarisation agricole. Le coût moyen s'établit à Fr. 39.-/m<sup>2</sup>, soit Fr. 10'000.- par installation.
- La production de chaleur peut être estimée à 30'000 kWh par an. La consommation électrique des ventilateurs est ramenée en *moyenne de 12 à 7 kWh/100 kg de foin*, soit à 42 %.
- 99 % des propriétaires n'hésiteraient pas à reconstruire leur installation. Le séchage du foin par l'énergie solaire est devenu une spécialité helvétique.

Parallèlement à cette enquête, 5 installations ont fait l'objet de *mesures afin d'en déterminer le rendement* et de le comparer aux valeurs données par un logiciel informatique de dimensionnement développé par la FAT. Il s'avère être un *bon outil pour la planification de telles installations*. Les rendements mesurés sont en général quelque peu supérieurs à ceux calculés, ce qui donne une marge de sécurité. Afin de déterminer directement le débit d'air, ce logiciel sera complété d'une liste des *ventilateurs utilisés*.

L'étude **Ganzjährige Nutzung der Solarenergie in Bürogebäuden** [9] a analysé le potentiel technique et économique de la climatisation de bâtiments administratifs au moyen d'une machine de froid à absorption. Ces machines produisent de l'eau glacée à partir d'une source de chaleur ayant une température d'au moins 75 à 80 °C. Celle-ci peut être atteinte avec des capteurs plans ou évacués. L'intérêt de cette approche est de maximiser la production des capteurs pendant toute l'année, puisqu'en été la demande de froid et l'offre solaire sont en phase.

L'étude a été faite au moyen du programme de simulation TRNSYS, sur la base d'un bâtiment administratif type. Celui-ci est composé de 3 étages, d'un volume de 35m x 20m x 9m = 6'300 m<sup>3</sup>. L'isolation est poussée, de sorte que les chaleurs internes (personnes, éclairage, bureautique) couvrent une grande partie de la demande de chauffage en hiver.

L'installation comporte dans sa variante de base 160 m<sup>2</sup> de capteurs évacués, un accumulateur de chaleur de 25 m<sup>3</sup> en amont de la machine à absorption et, en aval, un accumulateur d'eau glacée de 15 m<sup>3</sup>. La puissance de froid est de 26 kW. Une chaudière à mazout sert d'appoint. La distribution de chaleur se fait par radiateurs, celle du froid par plafonds froids; la ventilation renouvelle l'air une fois par heure. Pour la comparaison, une installation classique comportant un groupe de froid électrique a été retenue.

Les résultats suivants ont été obtenus:

- Avec la variante de base, généreusement dimensionnée, un *taux de couverture de 90 %* peut être atteint.
- L'hypothèse d'une utilisation optimale de l'énergie solaire tout au cours de l'année *n'est pas confirmée*. En effet, aux entre-saisons, la demande de froid ou de chaleur est quasi-nulle, de sorte que *l'installation solaire tourne à vide pendant au moins 3 mois*. La recherche d'un taux de couverture élevé n'est donc pas très intéressante.
- Aux prix actuels du marché, les économies d'énergie réalisées suffisent à peine à couvrir les frais d'exploitation. En outre les coûts d'investissement sont élevés, les 2/3 étant dus aux capteurs. En effet, une *grande surface est requise pour compenser le faible coefficient de performance* de la machine de froid à absorption.
- En conclusion, l'utilisation de telles machines, mues à l'énergie solaire, pour la climatisation de bâtiments administratifs, souffre actuellement d'un handicap financier trop important.

Une maison familiale comportant 2 appartements a été équipée d'un **chauffage solaire avec stockage saisonnier** [2]. La surface de captage est de 70 m<sup>2</sup>. Le stockage est réparti sur 2 cuves à eau d'un volume de 40 et 5 m<sup>3</sup> (stock saisonnier et hebdomadaire). Une chaudière à bois fournit l'énergie d'appoint. Le système de régulation a été conçu et réalisé au moyen d'*automates programmables* existant sur le marché. Il s'agit d'en optimiser les algorithmes. Ce système, après quelques difficultés initiales, donne satisfaction, mais il peut encore être amélioré. En effet, le taux de



couverture annuel atteint sur la première année a été de 87 %, alors que les 100 % devraient être possibles. Un rapport sur les stratégies de réglage optimal sera publié au début 1996.

Le projet GEOSER [10] sert à **l'étude du stockage journalier de la chaleur excédentaire d'une serre**. Trois serres identiques ont été construites. Dans l'une, la chaleur est récupérée par un échangeur air/eau et stockée dans une cuve à eau. Dans une seconde, la chaleur est stockée en terre dans des conduites aménagées sous la serre. La troisième sert de témoin. Le dispositif de 180 mesures d'état et de flux, actif depuis juillet 1993, a fonctionné sans interruption jusqu'au 30 mars 1995. Sur la base du cycle annuel complet, le bilan montre une économie d'énergie thermique de 21 % pour la serre avec stockage en cuve à eau et de 12 % pour la serre avec stockage en terre. Ces valeurs correspondent aux estimations faites initialement. Un modèle de simulation a été développé avec le logiciel TRNSYS et validé au moyen des mesures disponibles. Le rapport final sera élaboré au début 1996 et un colloque international sur le stockage de chaleur et la gestion du climat et de l'énergie sera organisé en février 1996.

L'étude **CLIMSOL: Bilan et perspectives de la réfrigération solaire** [11] analyse, sur la base d'une revue bibliographique très complète, l'application de la machine de froid à absorption dans les installations de climatisation pendant ces 20 dernières années. Cette machine, fonctionnant selon un principe thermochimique et utilisant en général un mélange eau-bromure de lithium, permet de produire de l'eau dite glacée (9 à 14°C) à partir d'eau chaude à 75°C, produite par exemple par des capteurs solaires. Elle a l'avantage d'être silencieuse et d'éliminer les CFC, et le défaut d'avoir un mauvais coefficient de performance, inhérent au principe même de l'absorption.

De nombreuses installations ont été construites de par le monde, surtout au Japon, où un constructeur a pris une place prépondérante. Cependant une percée commerciale stable n'a jamais été atteinte. En Suisse 2 installations ont vu le jour dans les années 80, l'une servant à maintenir un bouteiller à vin au frais, l'autre à la climatisation des locaux du Service d'entretien des autoroutes de Charrat, en Valais. La première fonctionne toujours à la satisfaction du vigneron. Plus récemment, une machine a été installée à l'aéroport de Genève-Cointrin pour la climatisation et la production d'eau chaude d'un restaurant.

Un des problèmes rencontrés est la gestion des puissances déterminées à l'entrée par l'offre solaire et à la sortie par la demande de froid. Les schémas hydrauliques et la régulation deviennent rapidement compliqués. Outre cette tendance à la complexité, le frein majeur au développement de cette technique a été les coûts. En effet, à cause du mauvais coefficient de performance, l'investissement rendu nécessaire par la grande surface des capteurs devient prépondérant.

Il ne paraît pas que ce handicap puisse être levé à court terme, d'autant plus que de nouvelles techniques, plus simples et moins gourmandes en énergie, telles que la *déshumidification de l'air* ou des systèmes passifs basés sur *l'évaporation de l'eau*, apparaissent sur le marché.

Une installation pilote de **préchauffage d'eau chaude sanitaire au moyen d'absorbeurs sélectifs non-couverts** [12] a été mise en service en mars 1994. Les absorbeurs, d'une surface totale de 77 m<sup>2</sup>, sont posés avec une inclinaison de 5° sur un toit plat et alimentent un accumulateur de 2'500 litres. Le *risque de surchauffe étant éliminé*, il devient possible de simplifier notablement l'installation:

- pas d'isolation des conduites du circuit des absorbeurs;
- utilisation de matériaux plastiques en torche;
- utilisation de conduites à sertir;
- utilisation d'un plus petit vase d'expansion et élimination du vase tampon.

Mise en service en mai 1994, le fonctionnement de l'installation a dû être interrompu de décembre 94 à mars 95 pour la réparation de l'étanchéité de la toiture. Néanmoins, une estimation faite au moyen des données disponibles permet d'envisager un taux de couverture de l'ordre de 30 %. La campagne de mesures sera prolongée jusqu'en mars 96 afin d'obtenir un cycle annuel complet. Sur la base des résultats obtenus, des règles de dimensionnement pour ce genre d'installation seront élaborées.

Une installation du type **plancher solaire direct** [13] a été réalisée au nouveau Centre d'entretien de la N5, à Boudry (NE) et mise en service en automne 1994. Elle est équipée de 102,5 m<sup>2</sup> d'absorbeurs sélectifs non-couverts intégrés dans la façade sud-ouest du bâtiment atelier. Les absorbeurs, complétés par une isolation thermique arrière et un caisson, constituent les éléments de façade. En hiver, l'énergie solaire est directement injectée par l'intermédiaire d'un échangeur de chaleur dans la dalle du "plancher solaire direct". En été, l'énergie solaire contribue à la production

d'eau chaude sanitaire. Une chaudière à bois de 230 kW sert d'appoint. La mise en service définitive du système de mesures a été retardée jusqu'au mois de mars 1995, suite à des défauts de 2 compteurs de chaleur. Puis des difficultés sont apparues au niveau de la gestion entre le plancher solaire et la production d'eau chaude sanitaire. Des résultats complets seront disponibles fin 1996 seulement.

Le **stockage de chaleur en nappe phréatique** [14] est le plus économique mais aussi le plus risqué si la nappe est instable. Par ailleurs, les boues de lavage de gravier constituent un rejet industriel difficilement recyclable. Ces boues ont néanmoins la propriété d'une très faible perméabilité, comme cela a été mis en évidence par le Laboratoire de Géologie de l'EPFL. Des essais faits dans le terrain ont permis de montrer qu'il est possible de construire, avec des machines de chantiers usuelles, une barrière hydraulique stable, permettant de confiner la nappe. Avant de passer à une éventuelle réalisation d'une installation pilote, une modélisation numérique a été entreprise, afin d'étudier différentes variantes de stockage. Les simulations ont montré l'importance de la conductance et de la convection naturelle dans les pertes thermiques, ainsi que la difficulté de maintenir un stock de chaleur exploitable [19].

## LOGISTIQUE

Le **logiciel de dimensionnement de chauffe-eau solaires, POLYSUN** [2] (*voir page d'en-tête*), fait l'objet d'une mise à jour complète:

- Son interface est maintenant conforme à l'environnement Windows, le système opérationnel le plus répandu dans le monde des PC (*voir page de couverture*).
- La nouvelle base de données météorologiques METEONORM 95 y a été intégrée.
- Le modèle de simulation d'un bâtiment appelé HELIOS, développé à l'EMPA, a été incorporé afin de déterminer la charge de chauffe.
- En conséquence, il est possible de dimensionner une installation de production combinée d'eau chaude sanitaire et de chauffage domestique, configuration fréquente dans la pratique.

La version *beta* a été présentée avec succès aux futurs utilisateurs, la version finale étant prévue pour le printemps 1996.

## 2. Collaboration nationale et internationale

Le projet **Absorber 2000** s'effectue en collaboration avec le programme "Chimie solaire" et avec l'Institut de Physique de l'Université de Bâle et des partenaires industriels.

Au niveau international, la participation de la Suisse aux projets de l'Agence Internationale de l'Énergie dans le domaine de l'énergie solaire thermique reste très active:

- le projet *Advanced Solar Energy Systems* a pris du retard et se terminera en 1996;
- le projet *Advanced Glazing and Associated Materials for Solar and Building Applications*, démarré en 1994, poursuit ses activités et tiendra un atelier de travail organisé par la Suisse en 1996.
- un groupe de travail international s'est constitué pour l'étude de nouveaux matériaux pour capteurs solaires thermiques (*Materials for Solar Thermal Collectors*) et a commencé ses activités.

## 3. Transfert à la pratique

Le séminaire *CISBAT '95* organisé par l'EPFL, les 12/13 octobre, a été axé sur le Programme "Solaire thermique et Stockage de chaleur". 13 contributions sélectionnées ont été présentées.

Dans le cadre du programme d'action **PACER**, 3 cours de 2 jours ont été organisés en 1995 sur le thème "Les installations solaires actives – réalisation, mise en service et entretien". Un nouveau cours concernant "Les installations solaires spéciales" (objets: écoles, homes, piscines, casernes, etc.) a été lancé avec succès.

Dans le cadre du programme d'action **Énergie solaire thermique**, 7 projets "P+D" ont été sélectionnés, notamment une installation de froid solaire à l'aéroport de Genève-Cointrin.

Près de 50 prototypes du chauffe-eau solaire "*SOLKIT*" ont été installés dans le cadre de la campagne de promotion du programme "**Énergie 2000**". Chaque unité fait l'objet d'un suivi technique. Plusieurs défauts ont ainsi pu être corrigés. Un contrat de licence avec un industriel a été signé [2].

Le SPF-ITR entretient un service permanent de transfert des connaissances à l'intention des constructeurs et des utilisateurs. Des ateliers de travail sur des sujets choisis ont eu lieu et des voyages d'étude ont été organisés [2].

## 4. Perspectives 1996

En 1996, les derniers cours PACER "installations solaires" seront organisés, 1 en français et 6 en allemand.

Le programme "Solaire thermique et stockage de chaleur 1992-1995" est arrivé à terme. Un nouveau programme quadriennal 1996-1999 a été établi. Il s'inscrit dans les grandes options de la recherche énergétique telles que définies dans le "Plan directeur de la recherche énergétique de la Confédération".

## 5. Liste des projets

- [1] J. Remund, METEOTEST, Bern: *METEONORM Neuauflage Etappe 4* (RA).
- [2] U. Frei, Solarenergie Prüf- und Forschungsstelle ITR, Rapperswil: *Leistungsfähigkeit und Lebensdauer von Solaranlagen.* (RA) ♦ *Fachtechnische Informations- und Qualitätskontrollstelle für Sonnenenergieanlagen und -komponenten.* (RA) ♦ *Absorber 2000.* (RA) ♦ *Regelstrategie einer Saisonspeicheranlage.* (RA) ♦ *Erweiterung des Programms Polysun.* (RA) ♦ *SOLKIT, 20 Versuchsanlagen.* (RA)
- [3] Ch. Hilgenberg, ISB-Burgdorf: *Mittlere Speichertemperatur.* (RA)
- [4] P.W. Egolf, B. Frei, R.Furter, ZTL-Horw: *Konvektion im Wasserraum von Latentwärmespeichern mit kugelförmigen Elementen.* (RA)
- [5] Y. Allani, LENI / EPF-Lausanne & LES / ETH-Zürich: *Mini-centrale électro-thermo-solaire CSIP II.* (RA)
- [6] O. Graf, ENERGIE SOLAIRE, Sierre, BSI, Lausanne: *SAILLON 1 MW solaire.* (RA)
- [7] P. Berchtold, ARGE ATLANTIS ENERGIE / P. BERCHTOLD, Sarnen: *Fabrikgebäude mit einem hohen solaren elektro-thermischen Deckungsgrad.* (RA)
- [8] K. Egger, INFOENERGIE, Tänikon: *Sonnenkollektoren für die Heubelüftung: Erfolgskontrolle.* (RF)
- [9] BASLER & HOFMANN, Zürich: *Ganzjährige Nutzung der Solarenergie in Bürogebäuden.* (RF)
- [10] A. Reist, RAC-Conthey: *GEOSER, stockage souterrain de chaleur pour serres.* (RA)
- [11] J.-Ph. BOREL, Cully: *Bilan et perspectives de la réfrigération solaire.* (RF)
- [12] L. KELLER/Ch. FREUDIGER, Lavigny; C. A. MACHEREL/P-H. HEIZMANN, Le Lignon: *Capteurs sélectifs non-vitrés dans une installation de préchauffage de l'eau chaude sanitaire.* (RA)
- [13] M. Kernen, PLANAIR, La Sagne: *PSD CEB Plancher solaire direct CE Boudry/NE.* (RA)
- [14] G. de los Cobos, A. Parriaux, GEOLEP / EPF-Lausanne; J. Wilhelm, ZSCHOKKE, Renens: *Confinement d'une nappe perméable par boues de lavage de gravier.* (RA)

(RA) Rapport annuel 1995 disponible

(RF) Rapport final disponible



# PHOTOVOLTAIK

**Überblicksbericht**  
zum Forschungsprogramm 1995

**Stefan Nowak**

POLYGON, Université, 1700 Fribourg

☎ 037/29 73 30 – Fax: 037/29 97 28

E-mail: stefan.nowak@unifr.ch

---



## **Photovoltaik im Überkopfbereich**

In einer neuen Perron-Überdachung im Bahnhof von Morges wurden transluzide PV-Module in einer 9.6 kWp-Anlage eingesetzt. Diese Anwendung stellt besondere Anforderungen an Sicherheit und Reinigung (Konzept: LESO-EPFL, Marc RUETSCHI & COPER, Ausführung: SOLUTION und SOTTAS).

## 1. Programmübersicht und anvisierte Zielpunkte für 1995

Das Programm "Photovoltaik" verfolgte 1995 die wesentlichen inhaltlichen Zielsetzungen der früheren Jahre, wobei dem **Systemaspekt, strategischen Überlegungen** und der **Umsetzbarkeit** der Resultate vermehrtes Gewicht beigemessen wurde. Im Vordergrund stehen netzgekoppelte, gebäudeintegrierte Anwendungen. Die Koordinations-tätigkeit mit anderen Förderstellen und die internationale Zusammenarbeit sollte weiter intensiviert werden. Das Programm ist neu in folgende Bereiche aufgeteilt:

Zellen: Der Schwerpunktbereich der **Dünnschicht-Siliziumzellen** wird weiter verfolgt. Daneben werden aber in internationalen Projekten und in Zusammenarbeit mit der Industrie weitere Zelltechnologien in einer grossen Materialvielfalt bearbeitet.

Module und Gebäudeintegration: Die Entwicklung von neuen Solarmodulen ist ganz auf die **Integration in der bebauten Umgebung** ausgerichtet, insbesondere für Flachdachanwendungen, Fassaden, Überkopfbereich und entlang von Verkehrsträgern.

Systemtechnik: Für den Wechselrichterbereich konzentrieren sich die Forschungsarbeiten auf den **Modulwechselrichter** und die **Wechselrichterprüfstelle**. Weitere Systemkomponenten, z.B. neue Modultechnologien oder kommerzielle Module, werden systematisch erfasst und evaluiert. Spezifische Komponenten für die Gebäudeintegration, z.B. **Befestigungsmethoden** oder **elektrische Steckverbindungen**, sind ebenfalls Bestandteil der Systemtechnik.

Diverse Projekte und Studien: Verschiedene leistungsfähige Hilfsmittel für die Anlagenplanung, insbesondere **PC-gestützte Planungs- und Simulationshilfen**, und **technische Referenzwerke** sind abgeschlossen. Ausserdem werden weitere, nicht-technische Aspekte bearbeitet, z.B. **Umweltverträglichkeit** und Potentialabklärungen.

Internationale Zusammenarbeit: Die internationale Zusammenarbeit und Koordination bildet einen wesentlichen Pfeiler des Programms Photovoltaik, insbesondere die Projekte mit der Europäischen Union und die Tätigkeiten innerhalb der spezifischen Programme der IEA.

Anlagenspezifische Projekte: Die meisten anlagenspezifischen Projekte (inkl. P+D-Teil) sind Bestandteil des Förderprogramms und werden im entsprechenden Jahresbericht beschrieben.

## 2. 1995 durchgeführte Arbeiten und erreichte Ergebnisse

### ZELL-TECHNOLOGIE

Am *Institut de Microtechnique*, IMT, in Neuchâtel wurde die 4. Projektetappe [1] fortgesetzt, wobei sich die Arbeiten vermehrt den Möglichkeiten des neuen, **dünnen mikrokristallinen Materials** ( $\mu\text{c-Si:H}$ ) zuwendeten. Dieses Material eröffnet, in Verbindung mit den amorphen Siliziumschichten ( $\text{a-Si:H}$ ), aufgrund seiner spektralen Empfindlichkeit, neue Perspektiven für Tandem- und Tripelzellen. Die Kombination von amorphen und mikrokristallinen Schichten in einer Tandemzelle wurde mit dem Begriff der "mikromorphen" Zelle zusammengefasst. Im Berichtsjahr wurde für diese Zelle ein Anfangswirkungsgrad von 10.6 % realisiert, welcher nach der Degradation bei 8.9 % liegt. Die Degradation ist dabei auf die amorphe Schicht zurückzuführen.

Im Rahmen des EU-Projektes HELIOS [1] werden zudem die Möglichkeiten der **SiGe-Technologie** für Tandemzellen erforscht. In einem NEFF-Projekt werden Solarzellen in umgekehrter Schichtabfolge (n-i-p) auf Aluminiumsubstraten untersucht und mit den Eigenschaften auf Substraten aus rostfreiem Stahl und Glas verglichen. Auf Aluminium wurde dabei ein Anfangswirkungsgrad von 8 % erreicht.

Am *Centre de Recherche en Physique des Plasmas* der ETHL [2] wurde das Projekt der **grossflächigen Abscheidung** von dünnen Siliziumschichten fortgesetzt; dabei fand ein intensiver Austausch mit der Firma BALZERS statt. Im Berichtsjahr wurde der Betrieb im VHF-Frequenzbereich (13.56-100 MHz) ohne Probleme aufgenommen, wobei die Homogenität der Schichten und die Pulverbildung im Vordergrund standen.

Am Paul Scherrer Institut, PSI, wurde das Projekt [3] der **dünnen kristallinen Zellen** abgeschlossen. Der Lichteinfall in der dünnen Zelle wird durch ein Gitter bewerkstelligt. Bei dünnen Zellen muss die Diffusionslänge etwa fünf mal grösser sein als bei dicken Zellen; zudem muss die Oberflächenrekombinationsgeschwindigkeit für hohe Kurzschlussströme und Leerlaufspannungen unterhalb von 100 cm/s liegen. Für Zelldicken von 50 µm wurde mit Gitter ein Wirkungsgrad von 18 % realisiert.

Die AFIF in Zürich setzte ihre Arbeiten an den EU-Projekten EUROKIS und EUROKAD [4] fort. Bezüglich beiden Projekten wurden die entsprechenden Phasen im Berichtsjahr abgeschlossen. Nebst epitaktischen Dünnschichten von CuInSe-Verbindungen auf Si (111)-Oberflächen und ersten Zellen, ihren strukturellen und elektronischen Eigenschaften wurden mittels Vakuumverdampfen hergestellte polykristalline CdTe-Zellen entwickelt und untersucht. Die Fortsetzung beider erfolgreicher Projekte ist vorgesehen aber zur Zeit noch nicht gesichert.

Das *Institut de Physique Appliquée* der ETHL konnte seine Arbeiten im EU-Projekt EURO-TMDC [5] über neue Solarzellenmaterialien auf der Basis von Dichalkogeniden von Übergangsmetallen fortführen. Die durch Sputtern aufgetragenen amorphen WS<sub>x</sub>-Schichten werden in einem Ausglühschritt teilweise rekristallisiert und können durch optische Eigenschaften (Absorption und Photoleitung), welche den entsprechenden Einkristallen ähnlich sind, charakterisiert werden.

Die Arbeiten zu den **nanokristallinen Zellen** (Grätzel-Zellen) [6] wurden am *Institut de Chimie Physique* der ETHL fortgesetzt. Diese Arbeiten finden in Zusammenarbeit mit verschiedenen industriellen Partnern statt, wobei weitere Fortschritte hinsichtlich Zellversiegelung, Stabilität und Verschaltung gemacht wurden. Erste Anwendungen für den *consumer*-Markt sind in Vorbereitung.

## SOLARMODULE UND GEBÄUDEINTEGRATION

PMS ENERGIE konnte die Entwicklung eines **integrierten Flachdachsystems** (SOFREL®, *Solar Flat Roof Element*) [7] weitgehend abschliessen, wobei sich die Arbeiten im Berichtsjahr auf die Version "Beton dicht" konzentrierten. Gleichzeitig wurden die Kosten analysiert und optimiert. Es liegen Lösungen vor, welche sich durch attraktivere Kosten kennzeichnen: Systempreise von Fr.12.-/Wp sind durchaus realistisch und können für grössere Anlagen noch weiter gesenkt werden. Damit werden auch Stromgestehungspreise deutlich unterhalb Fr.1.-/kWh möglich. Die erfolgreiche Umsetzung findet sowohl bezüglich industriellen Produkten wie auch im Hinblick auf den Einsatz in weiteren geplanten Anlagen ihre Fortsetzung.

Ein neues Projekt am LESO der EPFL [8] befasst sich auf umfassendere Art mit der Flachdachvariante und hat zum Ziel, aufgrund einer Typologie-Studie neue Systemlösungen für **integrierte Flachdachanwendungen** zu entwickeln. Das LESO befasst sich weiterhin auch mit der Fortsetzung des Projektes **DEMOSITE** [8], in welchem PV-Konstruktionselemente in kleinen, funktionsfähigen Anlagen nebeneinander betrieben werden. Die realisierten Beispiele der PV-Gebäudeintegration werden dem Publikum in der Publikation *DEMONEWS* zugänglich gemacht und bilden einen wesentlichen Beitrag zum entsprechenden IEA-Projekt *PV in Buildings*. Im Berichtsjahr konnten zwei neue Stände in Betrieb genommen werden. Mit dem ersten Teil einer Anlage im Bahnhof von Morges von 9.6 kWp konnte zudem am LESO das Projekt [8] zum Einsatz der Photovoltaik auf der **Bedachung von Bahnhofsperrons** weitgehend abgeschlossen werden.

Das Projekt [9] zur Entwicklung eines **integrierten Photovoltaik-Fassadensystems** ALUCOSOL® wurde bei ALUSUISSE LONZA SERVICES weiter verfolgt. In der Berichtsperiode wurden verschiedene materialspezifische Untersuchungen zur Verklebung und dem Oberflächenschutz der Module durchgeführt. Erste Labormodule mit kristallinen Zellen stehen an verschiedenen Orten zur Prüfung im Einsatz. Nebst diesen technischen Aspekten wurden auch eine Marktanalyse für das neue Fassadensystem durchgeführt.

Das Projekt zur Entwicklung von Grossmodulen für Anwendungen im **Überkopfbereich** [10] wurde bei ALPHA REAL zusammen mit der EMPA weitergeführt. Die Arbeiten konzentrierten sich auf die Bedingungen des *Hot Spot* Thermobruchverhaltens der verwendeten, ungehärteten Gläser.

TNC CONSULTING führte ein NEFF-Projekt zur Entwicklung von neuen Systemen zur Kombination von **Photovoltaik und Schallschutz** entlang von Verkehrsträgern weiter. Für die Berichtsperiode liegen Messreihen zu vertikal montierten PV-Modulen entlang der Autobahn N13 sowie zur Analyse von zweiseitig nutzbaren PV-

Modulen in Nord-Süd-Ausrichtung vor. Im Sommerhalbjahr werden auf den zweiseitig nutzbaren Modulen leicht grössere Monatssummen (104 % - 108 %) gegenüber der Südausrichtung festgestellt.

## SYSTEMTECHNIK

Das Projekt zur Entwicklung eines **Modulwechselrichters** an der Ingenieurschule Biel [11] konnte abgeschlossen werden. Im Berichtsjahr stand die Fertigung und das Ausmessen von Prototypen von zwei ausgewählten Schaltungstopologien im Vordergrund. Die Kosten für eine Serie von 1000 Stück wurden auf Fr. 1.90/W geschätzt. Für grössere Serien sind weitere Kostensenkungen denkbar.

Die erste Phase der **Wechselrichterprüfstelle** an der Ingenieurschule Burgdorf [12] konnte abgeschlossen werden. Sieben verschiedene kommerzielle Wechselrichter wurden auf alle wichtigen Parameter untersucht. Insgesamt weisen die neueren Wechselrichtermodelle eine deutlich verbesserte Zuverlässigkeit bei gleichzeitig erhöhtem Wirkungsgrad auf. Weitere Verbesserungen sind beim EMV-Verhalten notwendig. Die ausführlichen Messungen von Ertrag und Zuverlässigkeit von PV-Anlagen im Kanton Bern [12] wurden an der Ingenieurschule Burgdorf abgeschlossen. Das Projekt liefert umfassende Analysen (Monats- und Tagesdiagramme) für PV-Anlagen (1.1 - 8.9 kWp) in unterschiedlicher geografischer und meteorologischer Umgebung sowie bezüglich verschiedenen Systemkomponenten. Für die Anlage auf dem Jungfrauoch konnte trotz extremer Bedingungen ein lückenloser Betrieb mit einer jährlichen Produktion von 1427 kWh/kWp (*Performance Ratio* PR = 84.1 %) realisiert werden.

In einem neuen Projekt an der Ingenieurschule St-Imier [13] haben die Arbeiten zur Evaluation von **neuen Photovoltaiksystemen** begonnen. Die entsprechenden Messungen werden in unmittelbarer Umgebung des 560 kWp PV-Kraftwerks Mont-Soleil vorbereitet. Die Messplätze können mit bis zu 12 Prototypen-Systemen bestückt werden. Parallel zu diesen Aktivitäten wird das Datenerfassungssystem des Kraftwerks unterhalten und die entsprechenden Daten analysiert und publiziert. Das Kraftwerk produzierte im Jahr 1995 rund 539'000 kWh.

**Kommerzielle PV-Module** werden weiterhin am TISO an der HTL-Trevano [14] erfasst und für ausgewählte Produkte eingehend evaluiert. Nebst den 11 bereits ausgemessenen Modulen wurden im Berichtsjahr 6 neu Produkte untersucht. Die Daten von rund 500 kommerziellen Modulen sind in einer Datenbank enthalten und wurden als Broschüre "Katalogisierte PV Module" publiziert. Die Daten der beiden Anlagen am TISO (4 kWp a-Si und 10 kWp m-Si) werden weiter erfasst und analysiert. Die entsprechenden Messreihen stellen aufgrund der langen Beobachtungsdauer einzigartige Erfahrungsdaten dar.

Die Arbeiten zum **Sonnensimulator** [15] für die Qualitätssicherung von PV-Modulen bis zu 2.2 m<sup>2</sup> wurden bei SOLUTION abgeschlossen. Aufgrund von Vergleichsmessungen mit dem JRC/ESTI in Ispra konnte die Repetierbarkeit der Messungen innerhalb 2 % bestätigt werden.

Die Arbeiten zur Entwicklung eines **optimierten Verkabelungssystems** wurde bei ALPHA REAL im Rahmen eines NEFF-Projektes fortgesetzt. Im Berichtsjahr wurde die Entwicklung eines AC-Steckers weiter verfolgt, welcher auch die Funktionskontrolle über jede Einheit erlaubt. Sicherheitsaspekte sowie einfache Konzeption und Handhabung stehen im Vordergrund. Das NEFF-Projekt zur Entwicklung eines **Funkendetektors** konnte abgeschlossen werden. Das Projekt wurde durch den Wettbewerb Technologiestandort Schweiz (Hannovermesse 1995) ausgewählt und findet als EU-Projekt eine Fortsetzung.

In einem neuen Projekt des PSEL hat EWI mit der detaillierten Messung der 80 kWp PV-Anlage mit **DC-Direkteinspeisung** PARK+RIDE Neufeld in Bern begonnen. Die bei dieser Anlage auftretenden schnellen Laständerungen stehen dabei im Vordergrund und liegen in der Form von ersten Messreihen vor.

## DIVERSE STUDIEN

Das Projekt über die **Umweltverträglichkeit** verschiedener PV-Technologien [16] wurde durch ALPHA REAL fortgesetzt. Dabei wurden zur umfassenden Beurteilung der Stoff- und Energieflüsse bei der Herstellung von Solarzellen auch neuere Technologien zur Herstellung von Siliziumrohmaterial und -wafer evaluiert und in die Datenbank aufgenommen.



Das Projekt zur Entwicklung und Validierung des **PC-Planungsinstrumentes** PVSYST [17] zur Dimensionierung und Simulation von PV-Anlagen wurde in der Groupe de Physique Appliquée der Universität Genf erfolgreich abgeschlossen. Die Validierung fand an 7 gut dokumentierten PV-Anlagen statt und lieferte im allgemeinen ausgezeichnete Simulationswerte.

Die Neuauflage des erfolgreichen PC-Programms **METEONORM '95** [18] wurde durch METEOTEST abgeschlossen und publiziert. Es handelt sich dabei um ein umfassendes klimatologisches Grundlagenwerk zur Sonnenenergienutzung mit folgenden Aspekten: Kataster der schweizerischen Klimadaten, Computerprogramm zur Berechnung von Klimadaten, Nachschlagewerk zu klimatologischen Grundlagen, Datenbasis für Dimensionierungsprogramme sowie als Normierungswerk.

In einem PSEL Projekt hat EWI ein **Engineering-Handbuch** für PV-Anlagen > 50 kWp zusammengestellt. Dieses Nachschlagewerk umfasst Lösungen der wichtigsten Problemkreise grösserer PV-Anlagen und soll die Planung solcher Anlagen erleichtern. Das EU-Projekt [19] zur Zusammenstellung von **Designkriterien** für Multimegawatt PV-Anlagen konnte abgeschlossen werden. EWI konnte bei der Solarwasserstoffanlage **HYDROSOL** in Payerne [19] das Messsystem fertigstellen. Aufgrund von anhaltenden Problemen mit dem Elektrolyseur konnte der Betrieb jedoch noch nicht wie vorgesehen aufgenommen werden.

In einer Praktikumsarbeit bei POLYGON an der Universität Freiburg [20] wurde eine neue Abschätzung des **PV-Flächenpotentials** im schweizerischen Gebäudepark vorgenommen. Frühere methodische Ansätze und Daten wurden miteinander verglichen und durch eine weitere statistische Abschätzung ergänzt. In Abhängigkeit des Ertragskriteriums (Minderertrag infolge nichtoptimaler Ausrichtung) und unter Berücksichtigung verschiedener Reduktionsfaktoren stehen für Dächer zwischen 100 und 200 km<sup>2</sup>, für Fassaden zwischen 45 und 75 km<sup>2</sup> zur Verfügung.

## KOORDINATION

Das TISO an der Ingenieurschule Lugano ist für die Vertretung der Schweiz [14] im IEA-Photovoltaik-Projekt *Exchange and Dissemination of Information on PV Power Systems* zuständig. Im Berichtsjahr wurde der erste *Survey Report* publiziert, welcher den Stand der PV-Systeme in den beteiligten Ländern dokumentiert. Der Informationsaustausch wird durch den *Newsletter "PV Power"* ergänzt.

Der Schweizer Beitrag [21] zum IEA-Projekt *Operational Performance and Design of PV Power Systems* wird durch TNC CONSULTING koordiniert. Im Berichtsjahr wurde eine Datenbank mit ausgewählten PV-Anlagen sowie die entsprechenden Messmethoden und Analysen vorbereitet.

PMS ENERGIE koordiniert die Schweizer Aktivitäten [22] im IEA-Projekt *PV in Buildings*.

PMS ENERGIE ist zudem Experte im IEA-Projekt *Grid Interconnection of Buildingintegrated and other Dispersed PV Power Systems*, während ATLANTIS ENERGIE die Vertretung im IEA-Projekt *Use of PV Power Systems in Stand-alone and Island Applications* wahrnimmt.

## 3. Nationale Zusammenarbeit

Nebst der intensiven Zusammenarbeit mit dem Förderprogramm Photovoltaik wurde auf Programmebene mit verschiedenen nationalen Stellen im Berichtsjahr eine gute Zusammenarbeit etabliert, insbesondere mit dem PSEL, dem VSE, dem SPP Werkstoffforschung, dem BBW sowie mit einzelnen Elektrizitätswerken. Mit der Industrie wird auf Projektebene auf vielfältige Art zusammengearbeitet.

## 4. Internationale Zusammenarbeit

Die internationale Zusammenarbeit hat im Programm "Photovoltaik" eine ausgezeichnete Tradition, sowohl im Rahmen der EU wie mit der IEA. Bei der Ausschreibung im EU-Programm JOULE beteiligten sich die Schweizer Photovoltaik-Forscher in über 20 verschiedenen Projekten. Die Schweizer Beteiligung ist zur Zeit allerdings nur in 3 Projekten gesichert. Anfangs 1996 ist aber eine zusätzliche Ausschreibung für den Bereich der nicht-nuklearen Energien vorgesehen.

## 5. Transfer in die Praxis

Die Umsetzung der Forschungsergebnisse in industrielle Lösungen und Produkte ist ein wichtiges Ziel des Programms Photovoltaik und stellt deshalb auch ein Kriterium zur Projektförderung dar. Im Bereich der Systemtechnik findet diese Umsetzung auch auf vielfältige Weise statt: Module, Wechselrichter und neue Lösungen für die Gebäudeintegration werden zusammen mit der Industrie entwickelt und anschliessend in entsprechende Produkte umgesetzt. Die erfolgreiche Umsetzung umfasst aber zudem das gesamte Engineering, welches sich in Form von Planungshilfen, Referenzwerken, Qualitätssicherung und einer breiten Anwendungserfahrung niederschlägt.

## 6. P+D-Projekte

Th. Nordmann, Förderprogrammleiter

Die Schweizer P+D-Aktivitäten konzentrieren sich auf den Ausbildungsbereich – von der Elektroberufsschule bis zur Hochschulanlage – sowie auf das Gebiet der Photovoltaik-Gebäudeintegration. Die P+D-Projekte werden im Jahresbericht des Förderprogramms "Photovoltaik" ausführlich beschrieben. Die wichtigsten P+D-Projekte mit Tätigkeiten für 1995 sind in der Projektliste aufgeführt [23 - 32].

1995 wurden 4 P+D-Projekte mit einer Gesamtleistung von 77.4 kWp neu in Angriff genommen. Darunter befindet sich ein 20 kWp Projekt an der Ingenieurschule Buchs [32], sowie ein Photovoltaik/Sonnenschutz-Kombinationsprojekt der Stadt Winterthur [33].

Die Datensätze und normalisierten Auswertungen von insgesamt 18 systematisch ausgemessenen und ausgewerteten Photovoltaik P+D-Projekten liegen jetzt vor. Die Gesamtleistung von mehr als 1 MWp ist aufgeteilt in Anlagen zwischen 1.13 kWp bis zu 560 kWp. Die Projekte in der ganzen Schweiz liegen zwischen 222 bis 3454 m.ü.M., also in allen Klimazonen. Mit Ausnahme von zwei Projekten erreichen alle eine jährliche *Performance Ratio* von mehr als 60 %. Der Spitzenwert mit 84 % stellt einen europäischen Rekord dar. Diese Erkenntnisse fliessen als Schweizer Beitrag auch in die IEA-Arbeiten ein [21].

## 7. Bewertung 1995 und Ausblick für 1996

Das Programm "Photovoltaik" war 1995 in bezug auf die Forschung durch Kontinuität gekennzeichnet. Im Systembereich finden immer mehr erfolgreiche Projekte ihre Fortsetzung als Produktentwicklung, z.B. das Flachdachsystem SOFREL, Wechselrichter in verschiedenen Leistungsklassen, elektrische Systemkomponenten, sowie verschiedene Planungshilfsmittel. Durch diese Entwicklungen lassen sich einerseits die Systemkosten kontinuierlich senken, andererseits werden die Systeme zuverlässiger und zunehmend mit einer industriellen Fertigung kompatibel. Die Frage nach einer künftigen Zell-Technologie, welche allenfalls die heutige Technologie des kristallinen Silizium erfolgreich ersetzen kann, ist aber immer noch offen. Diese Frage bedarf weiterer intensiver und international abgestützter Forschungs- und Entwicklungsarbeit.

Während die Mittel für die Photovoltaik-Forschung einigermaßen kontinuierlich vorhanden sind, wurden seitens der Förderung (Anwendungen) empfindliche Abstriche gemacht.

Im April fand das Schweizer Photovoltaik-Seminar 1995 [34] statt, welches Gelegenheit bot, Forschung, Entwicklung und Anwendung einander näher zu bringen. Das breitgefächerte Programm beinhaltete zudem energiepolitische Rahmenbedingungen zur weiteren Entfaltung der Photovoltaik.

Die internationale Zusammenarbeit war 1995 durch wichtige Konferenzen gekennzeichnet. In den USA fand im Rahmen der IEA eine Konferenz zur Beurteilung der strategischen Ausrichtung der Photovoltaik [35] statt, an welcher ca. 180 Entscheidungsträger aus der Photovoltaikindustrie, der Elektrizitätswirtschaft sowie Regierungsstellen anwesend waren. Die Konferenz war durch ein sehr positives Klima und eine spürbare Aufbruchstimmung gekennzeichnet. In wissenschaftlicher Hinsicht fand in Nizza die 13. Europäische Photovoltaikkonferenz statt, welche die bisher grösste Konferenz ihrer Art darstellte. Die Schweiz war an dieser Konferenz durch zahlreiche Beiträge vertreten; auch das Schweizer Forschungsprogramm "Photovoltaik" wurde vorgestellt [35].

In Abstimmung mit dem "Konzept der Energieforschung des Bundes 1996-1999" wurde das Konzept für den Teil "Photovoltaik 1996-1999" [35] ausgearbeitet. Es setzt weiteren Akzent auf die Bedeutung der umfassenden Systemtechnik, der Gebäudeintegration und neu für Inselanwendungen, sowohl in der Schweiz wie auch in Entwicklungsländern, mit welchen geeignete Formen der Zusammenarbeit gesucht werden. Zudem kommt der nationalen und der internationalen Koordination eine immer grössere Bedeutung zu.

## 8. Liste der Projekte

- [1] A. Shah, IMT, UNI-Neuchâtel: *Solarzellen aus amorphem Silizium, phase IV.* (JB) / ENET 9400091 ♦ **HELIOS.** (JB) / ENET 9401261
- [2] Ch. Hollenstein, CRPP / EPFL-Lausanne: *Grossflächige Abscheidung von amorphen, photovoltaischen Silizium-Schichten.* (JB) / ENET 9400051
- [3] H. Kiess, PSI, Villigen: *Dünne Solarzellen aus kristallinem Silizium.* (JB+SB) / ENET 9200271
- [4] H. Zogg, AFIF / ETH-Zürich: **EUROCIS II.** (JB+SB) / ENET 9400611 ♦ **EUROCAD.** (JB+SB) / ENET 9400621
- [5] F. Lévy, IPA / EPFL-Lausanne: **EURO-TMDC: MoS<sub>2</sub> and WS<sub>2</sub> thin films for photovoltaic applications.** (JB)
- [6] M. Grätzel, ICP2 / EPF-Lausanne: *Cellules solaires basées sur des films semiconducteurs nanocristallins colorés.* (JB) / ENET 9401231
- [7] P. Toggweiler, PMS ENERGIE, Mönchaltorf: **SOFREL: Entwicklung eines flachdach integrierten Photovoltaiksystems.** (JB) / ENET 9200191
- [8] J.-B. Gay, LESO / EPF-Lausanne: *Photovoltaïque sur toits plats – une nouvelle approche* (JB) / ENET 9554392 ♦ *Site de démonstration d'éléments de construction photovoltaïques intégrés au bâtiment. Phase II.* (JB) / ENET 9400261 ♦ *Installations photovoltaïques intégrées aux marquises de gare.* (JB+SB) / ENET 9400641
- [9] M. Weng, ALUSUISSE-LONZA, Neuhausen: *Entwicklung eines Fassadensystems mit integrierten Solarzellenmodulen.* (JB) / ENET 9301131
- [10] Chr. Meier, ALPHA REAL, Zürich: *Untersuchungen für Solarzellenkraftwerk Autobahnüberdeckung.* (JB) / ENET 9400371
- [11] V. Crastan, HTL-Biel: *Mini-Wechselrichter für direkten Netzanschluss 230 Vac von Solarmodulen.* (JB) / ENET 9300831
- [12] H. Häberlin, HTL-Burgdorf: *Aufbau einer Testanlage für PV-Wechselrichter bis 60kW.* (JB) / ENET 9400561 ♦ *Ertrag und Zuverlässigkeit von netzgekoppelten Photovoltaikanlagen im Kanton Bern.* (JB+SB) / ENET 9107610
- [13] C. Brielmann, EISI, St-Imier: *Programme de recherche sur des cellules PV à haut rendement.* (JB) / ENET 9552187

- [14] M. Camani, Dip. del Territorio, Bellinzona: *Tests di componenti e sistemi per progetti nel campo della tecnica fotovoltaica, TISO - periodo IV.* (JB) / ENET 9400931 ♦ *TISO: Valutazione e sorveglianza di lavori nel settore dei sistemi fotovoltaici.* (JB) / ENET 9400991
- [15] S. De Matteis, SOLUTION, Härkingen: *Bau und Betrieb eines SUN-Simulators.* (JB+SB) / ENET 9400041
- [16] M. Real, ALPHA REAL, Zürich: *Modell zur Analyse und Prognose der langfristigen Umweltverträglichkeit verschiedener PV-Technologien* (JB)
- [17] A. Mermoud, GAP / UNI-Genève: *Logiciel pour systèmes photovoltaïques.* (JB+SB) / ENET 9200071
- [18] S. Kunz, METEOTEST, Bern: *Meteonorm'95.* (JB+SB)
- [19] R. Minder, EWI, Zürich: *Comparative Review of Design Criteria for Multimegawatt PV plants.* (JB) ♦ *Solarwasserstoffanlage HYDROSOL. Datenerfassung und Evaluation des Anlagenverhaltens.* (JB)
- [20] S. Nowak, POLYGON, UNI-Fribourg: *Abschätzung des PV-Flächenpotentials im schweizerischen Gebäudepark.* (JB) / ENET 9008009
- [21] L. Clavadetscher, TNC CONSULTING, Männedorf: *Schweizer Beitrag IEA-PVPS Task II.* (JB)
- [22] P. Toggweiler, PMS ENERGIE, Mönchaltorf *IEA-SHCP: Photovoltaik in Gebäuden.* (JB) / ENET 9008009 ♦ *Ausmessen der Solaranlage Schauenbergstrasse 50 in Zürich.* (SB) / ENET 9200121

## 9. P+D-Projekte

- [23] PMS ENERGIE: *Betonelement.* (JB)
- [24] ALPHA REAL: *Grossmodul mit integriertem Wechselrichter.* (JB+SB)
- [25] ATLANTIS: *Mobiles Messsystem.* (JB)
- [26] METEOTEST: *PV-Monitor.* (JB)
- [27] NOK: *1-MWp Solarkette NOK - IEA-konforme Datenauswertung.* (JB)
- [28] TNC CONSULTING: *Netzverbundanlage auf Lärmschutzwand Autobahn N13 (100 kWp).* (JB); *Netzverbundanlage entlang Eisenbahn (100 kWp).* (JB)
- [29] WASAG: *PV Hybrid-Fassade an Lagerhaus (77 kWp).* (JB)
- [30] Gewerbliche Berufsschule Wattwil: *Flachdachanlage mit SOFREL (10 kWp).* (JB)
- [31] NOK: *PV Fassade (66 kWp).* (JB+SB)
- [32] Interstaatliche Ingenieurschule Buchs: *Gebäudeintegrierte Solaranlage (20 kWp).* (JB)
- [33] Th. Hotz: *Winterthur Shadovoltaik (37 kWp).* (JB)

(JB) Jahresbericht 1995 vorhanden

(SB) Schlussbericht vorhanden

## 10. Referenzen

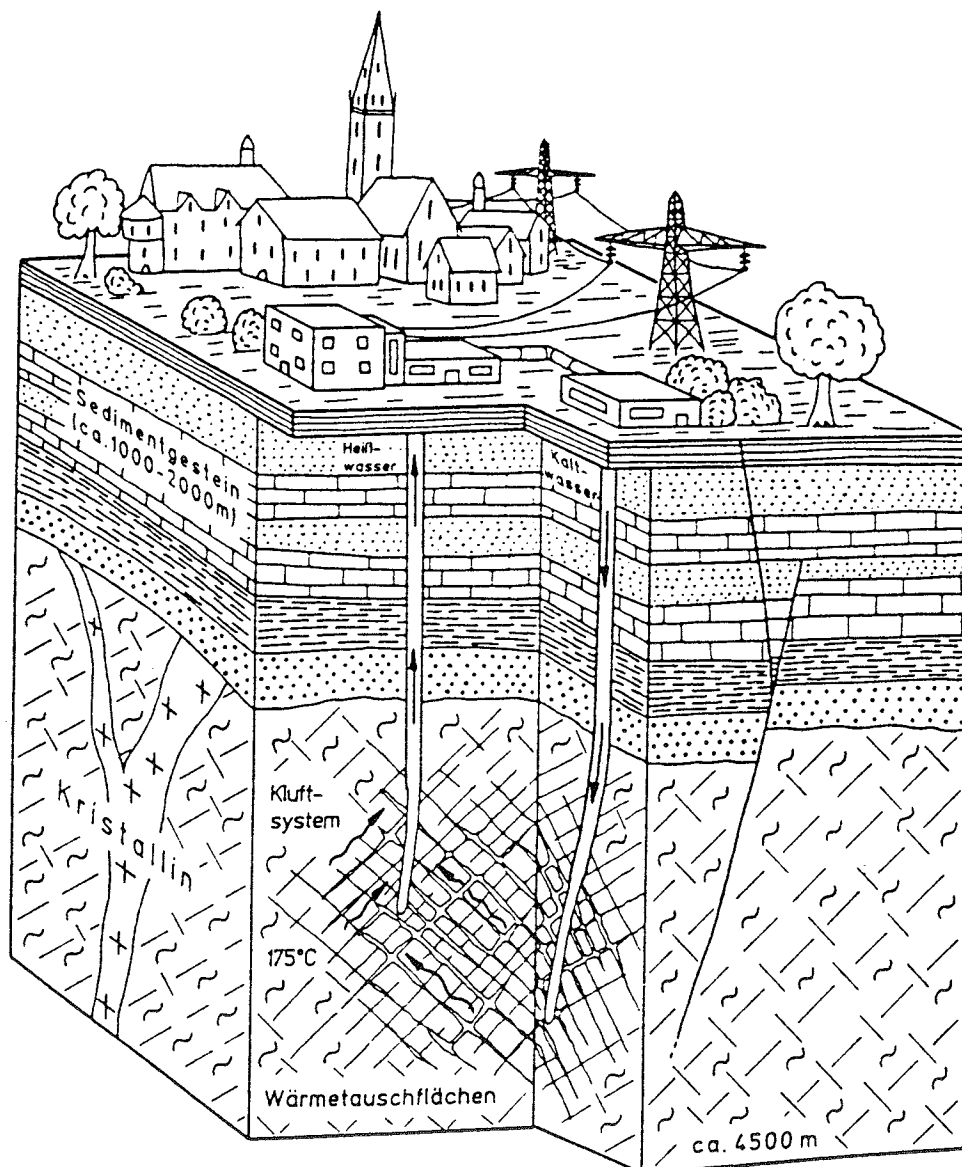
- [34] *Photovoltaik Seminar, Tagungsband, Freiburg, 4./5. April 1995*
- [35] S. Nowak, POLYGON, Fribourg: *The 1995 International Executive Conference on Strategic Photovoltaic Business Opportunities for Utilities* aus Schweizer Sicht, Forschungsprogramm Photovoltaik, Februar 1996 ♦ *Die 13. Europäische Photovoltaikkonferenz* aus Schweizer Sicht, Februar 1996 ♦ *The Swiss PV R&D Programme: Objectives, Elements and Results, Proc. 13th European PV Solar Energy Conference, Nice 1995* ♦ *Forschungskonzept Photovoltaik 1996-1999*, Februar 1996

# GEOTHERMIE

Überblicksbericht  
zum Forschungsprogramm 1995

Harald L. Gorhan

EWI, Bellerivestr. 36, 8034 Zürich  
☎ 01/385 27 33 – Fax: 01/385 26 54



## Prinzipische Skizze der geplanten *Hot Dry Rock*-Pilotanlage in Soutz-sous-Forêt

Durch eine Injektionsbohrung wird kaltes Wasser in den heißen, trockenen Untergrund gepresst. Mittels Produktionsbohrung(en) wird dann Dampf gefördert und zur Strom- und Wärmeproduktion verwendet. Eine derartige Anlage befindet sich bereits in Testphase.

## 1. Programmübersicht und anvisierte Zielpunkte für 1995

Das bereits für das letzte Jahr geplante Projekt **Gewinnung geothermischer Energie aus Tunnels** konnte nun im Jahr 1995 begonnen werden. Dies mit der Absicht, die Realisierung eines entsprechenden P&D-Projektes in gezielter Form zu einer energetisch optimalen Lösungen zu führen.

Weitere Schwerpunkte bildeten Projekte zur Erhöhung der Wirtschaftlichkeit von Erdwärmesonden-Anlagen. Um dies zu erreichen müssen in erster Linie die Bohr- und Installationskosten gesenkt werden. Deshalb interessierten auch ökologische Fragestellungen, wie die Stilllegung/Entsorgung von Erdwärmesonden bzw. mögliche Grundwasserkontaminationen und das Auftreten von hydraulischen Kurzschlüssen.

Forschungsprojekte zur Nutzung der geothermischen Energie für die Beheizung von Treibhäusern, für das Trocknen von landwirtschaftlichen Produkten, für die Fisch- und Tierzucht, etc., werden zur Zeit im EU-Raum mit beachtlichen finanziellen Mitteln unterstützt (*Community Energy Technology Projects in the Sector of Geothermal Energy*). Dies nicht nur in Staaten mit Hochtemperaturfeldern wie Italien, sondern auch in Ländern mit ähnlichen geothermischen Verhältnissen wie in der Schweiz (z.B. Deutschland, Holland, Dänemark). Aus diesen genannten Gründen wurde eine Arbeit zur Nutzung von geothermischen Ressourcen für derartige Zwecke angeregt um entsprechende Möglichkeiten, auch in unserem Land, abzuklären.

Das Schweizer Molasse-Becken beherbergt die am dichtesten besiedelten Zonen unseres Landes. Mit der zunehmenden Nutzung geothermischer Ressourcen werden dabei detaillierte Kenntnisse über die geothermischen Eigenschaften des Untergrundes (Wärmeleitfähigkeit und -kapazität) unabdingbar. Dies mit modernsten Methoden festzustellen, bildete das Thema eines Forschungsprojektes zur " tiefen Geothermie".

Erfolgversprechende Ergebnisse aus Zirkulationstests zwischen Injektions- und Produktionsbohrungen der *Hot Dry Rock*-Anlage in Soultz-sous-Forêt (Elsass) ermutigten die Auftraggeber dieser Anlage zu einer Weiterfinanzierung für die nächste Zukunft. Dank eines BBW-Kredites, ist auch die Schweiz an den Forschungsarbeiten in Soultz-sous-Forêt beteiligt.

## 2. 1995 durchgeführte Arbeiten und erreichte Ergebnisse

### 2.1 UNTIEFE GEOTHERMIE

#### Erhöhung der Wirtschaftlichkeit geothermischer Bohrungen [1]

In einem ersten Schritt wurden konventionelle Bohrmethoden hinsichtlich Verbesserungs-(Verbilligungs-) Möglichkeiten untersucht und Informationen über neue Bohr-Technologien gesammelt. Parallel dazu wurden einige, zur Zeit in Arbeit befindliche, Erdwärmesonden-Bohrungen im Detail begleitet. Ziel ist es, relevante Bohrparameter zu sammeln sowie die Bohrleistungen unter verschiedenen geologischen Verhältnissen zu erfassen, als Entscheidungsgrundlagen für das weitere Vorgehen.

Interessanterweise scheinen Kleinfirmen (1 bis 2 Bohranlagen) wirtschaftlicher arbeiten zu können als grössere Firmen. Letztere besitzen einen gut ausgebauten Organisationsapparat, weisen aber im heutigen Wirtschaftsumfeld eine meist ungünstige Geräteauslastung auf.

#### *Recherche des paramètres permettant d'élever la température moyenne des fluides circulant dans des sondes en terre verticales [2]*

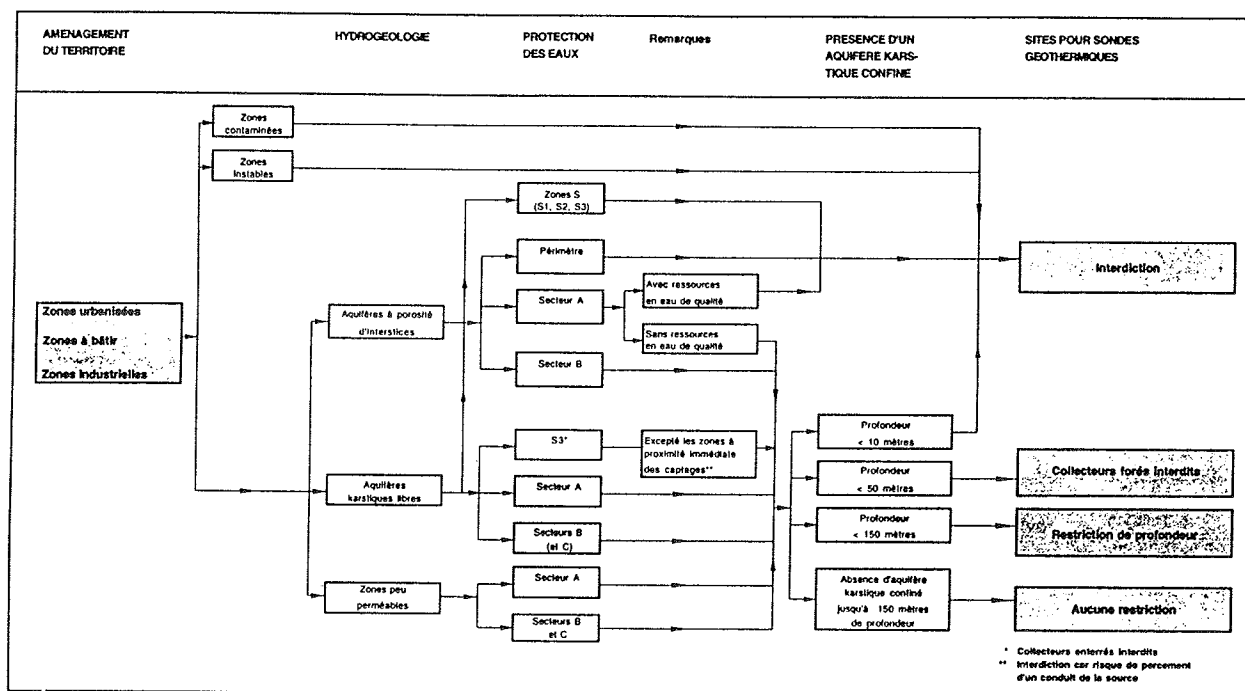
Unter Mitarbeit von mehreren Privatfirmen wurden an Hand von Feldversuchen die thermischen Eigenschaften verschiedener Hinterfüllungen getestet. Folgende thermischen Widerstände wurden an vier, je 60 m tiefen Erdwärmesonden (doppel-U Form,  $\varnothing$  32/36 mm) gemessen:

- Typ 1: Bentonit-Zement Hinterfüllung, keine Distanzhalter:  $R_{th} = 0.14 \text{ K/(W/m)}$
- Typ 2: Bentonit-Zement Hinterfüllung, mit Distanzhalter:  $R_{th} = 0.14 \text{ K/(W/m)}$
- Typ 3: 50 % Sand und Bentonit-Zement, mit Distanzhalter :  $R_{th} = 0.12 \text{ K/(W/m)}$
- Typ 4: 100 % Quarzsand, mit Distanzhalter :  $R_{th} = 0.10 \text{ K/(W/m)}$

Beim Typ 4 konnte demnach der thermische Widerstand deutlich reduziert werden. Bei einer spezifischen Sondenleistung von 50 W/m würde – gegenüber Typ 1 oder Typ 2 – immerhin ein Gewinn von + 2 K resultieren. Es war jedoch nur mit Hilfe der Distanzhalter eine komplett durchgehende Verfüllung mit Quarzsand erreichbar.

### Étude pilote: prospection et catalogue des sites pour sondes géothermiques dans le Jura central [3]

Aufgrund des grossteils verkarsteten Untergrundes spielen im Kanton Jura bei der Erstellung von Erdwärmesonden die Grundwasser-Schutzzonen eine besonders wichtige Rolle. Basierend auf geologisch-geotechnisch-hydrogeologischen Kartierungen und unter Beachtung von legalen Aspekten konnten Karten für geeignete Erdwärmesonden-Standorte erstellt werden.



### Auswahlkriterien bei der Standortbestimmung von Erdwärmesonden in Karstgebieten des Schweizer Jura

Entreprises	Année d'entrée sur le marché des sondes (Indicatif)	Nombre de sondes installées (Indicatif)	Fluide caloporteur le plus utilisé actuellement	Fluides utilisés occasionnellement ou dans le passé
Bohrex AG	1991	plusieurs centaines	Antifrogen N	Antifrogen L, eau
Broder AG	1980	>2000	Antifrogen N	-
Dalcalor SA	1989	?	Monopropylène glycol	-
Frutiger AG	1978	plusieurs milliers	Antifrogen N	Antifrogen L
Grundag AG	1980	>6000	Antifrogen N	Antifrogen L, eau
Grünenwald AG	?	?	Antifrogen N	Antifrogen L, saumure, eau
KWT-Kälte-Wärme-Technik AG	1979	150/année	Aseol Solera 81-72	saumure jusqu'en 1985 environ
Multi-Energie AG	1979	200/année	Thermofrost P, Antifrogen N et L	Dowcal 10, Dowcal 20, alcool
Neucalora AG	1977	2000	Boss 824	Antifrogen N, Saumure
Polytherm	1992	180	Thermofrost P	Glykol N
Sapac	1986	500	Glykolen	
Six Madun SA	1983	plusieurs centaines	Antifrogen N	Antifrogen L, Glythermin GP 42-51, alcool
Störi Mantel Wärmetechnik AG	?	quelques centaines	Antifrogen N	Aseol Solera 81-72, propylène glycol
Striega therm AG	?	100	Antifrogen L	alcool, eau

Liste der derzeit und in der Vergangenheit in Schweizer Erdwärmesonden verwendeten Wärmeträgerflüssigkeiten

#### ***Risques de contamination du sous-sol par les sondes géothermiques [4]***

Breit angelegte Befragungen der zuständigen kantonalen Ämter, sowie Literaturstudien betreffend Limitationen bei der Erstellung von Erdwärmesonden-Anlagen, konnten abgeschlossen werden (siehe Tabelle auf der Vorderseite). Des weiteren konnten die Toxizitäten von verschiedenen Wärmeträgerflüssigkeiten in der Schweiz identifiziert werden. Mit den eigentlichen Labor-versuchen zur Feststellung der daraus resultierenden hydrogeologischen Risiken wird demnächst begonnen.

## **2.2 TIEFE GEOTHERMIE**

#### **Geothermisches Begleitprogramm im Rahmen der "Gewinnung geothermischer Energie aus Tunneln [5]**

Dieses Begleitprogramm wurde erstellt um die in Bau befindlichen Tunneln und Stollen *en route* zu bearbeiten. Dabei steht die Erfassung und Verarbeitung der beim Bau anfallenden, für die Tunnelwärme-Nutzung relevanten Daten im Vordergrund. Zu diesen gehören, neben der geologisch-strukturellen Basisinformation, Angaben über Felstemperaturen sowie über die physikalisch-chemischen Eigenschaften der angetroffenen Bergwässer (Schüttung, Temperatur, Chemismus, etc.). Die bis Ende 1995 verfügbaren Daten der Objekte Vereina, Polmengo, Frutigen, Dixence und Mauvoisin wurden erfasst und kompiliert.

#### **Methoden zur Leistungsverbesserung bei Erdwärmesonden [6]**

Die vorliegende Studie betrifft vor allem die tiefen Sonden. Bei untiefen Sonden ist ein grösserer Bohrlloch-durchmesser als dies heute generell üblich ist energetisch eindeutig von Vorteil. Während man bei den tiefen Sonden – aus wirtschaftlichen Gründen – hauptsächlich bestehende Bohrlöcher benutzen sollte, wird man bei untiefen Sonden (bis ca. 400 m) in der Regel neue Bohrlöcher abteufen. Wenn eine Erwärmesonde über ihre Gesamtlänge einen mässig grösseren Durchmesser aufweist, kann der gleiche Wärmenutzen wie bei einer "Kavernenaushöhlung" mit sehr grosser, aber limitierter Länge gewonnen werden. Die Herstellung und Verfüllung von künstlich erzeugten Klüften trägt jedoch nur sehr wenig zum Energiefluss bei und ist ausserdem mit grossen Unsicherheiten versehen.

#### **Aquifer-Bewirtschaftung für geothermische Wärmenutzung [7]**

An Hand von 3-D *Finite Element*-Modellierungen für eine *Single*nutzung der geothermischen Förderbohrungen Kloten und Bassersdorf konnte gezeigt werden, dass die Sensitivität der Porosität und der Mächtigkeit des Aquifers auf die thermische Nutzungsdauer einer Bohrung bei konstanter Förderrate vernachlässigbar ist. Im Gegensatz dazu hat die Wärmeleitfähigkeit des Gesteins sowie der Abstand zur Infiltration einen entscheidenden Einfluss. Die hydraulische Durchlässigkeit des Aquifers beeinflusst zwar die Druckhöhe im Bohrlloch, hat aber auf die Strömungsgeschwindigkeit im Aquifer und damit auf den Wärmetransport darin, keinen Einfluss.

#### **Pilotstudie: Geothermische Eigenschaften des Molassebeckens [8]**

Die Wärmeleitfähigkeit und -kapazität der durchteuften Gesteinsformationen stellen bei der Planung und Dimensionierung von geothermischen Speicheranlagen, Sondenfeldern und tiefen Erdwärmesonden, die entscheidenden Grössen dar. Die Integration von verschiedenen neuen Forschungsentwicklungen der letzten Jahre erlauben heute eine Bestimmung dieser Kennwerte auch bei fehlendem Kernmaterial.

Anhand von einigen Tiefbohrungen in der Molasse soll diese neue Technologie zunächst kalibriert werden. Im kommenden Jahr sind einfache Sensitivitätsanalysen bei einem berechneten Wärmeentzug und eine Zusammenstellung von Wärmeleitfähigkeiten vorgesehen.

#### ***Application des techniques de forage "slimhole" pour diminuer les coûts de prospection [9]***

Vergleiche mit konventionellen Bohrmethoden beim Abteufen von Explorationsbohrungen haben gezeigt, dass die *Slimhole*-Technologie in allen Fällen deutlich kostengünstiger ist. Grössere Nachteile, wie zum Beispiel geringere Bohrgeschwindigkeiten, konnten in der letzten Zeit beseitigt werden. Heute werden praktisch die gleichen Vortriebsgeschwindigkeiten wie bei konventionellen Bohrmethoden erreicht.

Im Falle des Auffahrens eines geothermischen Reservoirs stellt sich des weiteren die Frage, ob ein *Slim*bohrloch auch als zukünftige Produktionsbohrung weiterverwendet werden kann. In diesem Sinne konnte gezeigt werden, dass Bohrdurchmesser zwischen 8.9 cm und 12.7 cm (3½" und 5") durchaus für eine Wasserförderung in der Grössenordnung von 60 m<sup>3</sup>/h genügen.



Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass mittels der *Slimhole*-Technik generell 25 %, je nach Tiefe und Geologie des Untergrundes sogar bis 50 %, der Bohrkosten eingespart werden können.

Bis zum Auslaufen der Risikodeckung des Bundes Ende 1997 sind solche Erkenntnisse für die restlichen geplanten geothermischen Tiefbohrungen von grossem wirtschaftlichen Interesse. Da bei der *Slimhole*-Technik mit leichterem Bohrergerät gearbeitet werden kann, ist die Belastung der Umwelt (Lärm!) deutlich geringer als bei konventionellen Anlagen.

### **Geothermienutzung in der Schweiz [10]**

Eine Gegenüberstellung des direkten Geothermiejnsatzes in der Schweiz und im Ausland weist markante Unterschiede auf. In unserem Land ist die Nutzung einseitig und durch die Gewinnung der Bodenwärme aus Erdwärmesonden, gekoppelt mit Wärmepumpen, geprägt.

Eine Verwendung der Geothermie für die Fischzucht ist zur Zeit nur von der Thermalbad-Anlage Brigerbad bekannt. Eine weitere derartige Anlage ist in Môtier (NE) geplant.

Im Vergleich zum näheren Ausland ist der Einsatz der Geothermie für die Landwirtschaft, inklusive Treibhäuser, ausserordentlich gering. Neben wirtschaftlichen Überlegungen sind in der Schweiz vermutlich auch die Unkenntnis eines derartigen Einsatzes von geothermischen Ressourcen der Grund dafür. In diesem Sinne sollte gezielt Informationsarbeit geleistet werden.

### **2.3 EU - PROJEKTE**

Hier ist die Mitarbeit an zwei Projekten im Rahmen von JOULE II (*Atlas of Geothermal Resources* [7] bzw. *Coupled Hydraulic-Thermal-Mechanical Modelling* [11]) zu erwähnen. Das erstgenannte Projekt betrifft den Schweizer Beitrag für einen gesamteuropäischen Ressourcen-Atlas. Wertvolle, neue erdwissenschaftliche Daten aus der Kohlenwasserstoff- und Geothermieexploration sowie von NAGRA-Tiefbohrungen konnten verarbeitet werden.

### **2.4 HOT DRY ROCK - PROJEKTE**

Das im Zuge des zweiten EU-Projektes [11] erstellte 3D *Finite Element* Modell *FRACTure* wird zur Zeit bei der Auswertung von *hydraulic fracture* Testresultaten der *Hot Dry Rock*-Pilotanlage in Soultz (Elsass) eingesetzt.

## **3. Nationale und internationale Zusammenarbeit**

Nationale und internationale Zusammenarbeiten haben im Rahmen von Teilnahmen und Vorträgen an folgenden Tagungen stattgefunden:

- *World Geothermal Congress* in Florenz.
- Mehrere Kontaktnahmen mit Vertretern der Deutschen Geothermischen Vereinigung (GtV) zur Vorbereitung einer gemeinsamen Fachtagung GtV / SVG in Konstanz.
- *Simposio sull'energia geotermica a Lugano*.
- Geologie grosser Infrastrukturbauten (Schweizerische Fachgruppe der Ingenieurgeologen). Speziell von Interesse waren hier Vorträge über Abschätzungen von Bergwasserzuflüssen beim Bau der AlpTransit-Projekte.
- 5. Schweizerische Energieforschungs-Konferenz in Yverdon.

Als weitere internationale Kontaktnahmen seien an dieser Stelle der *Swiss/UK Science Day* in London (Teilnahme von zwei Schweizer Geothermie Experten) zu erwähnen und die Präsentation der beiden Schweizer Beiträge *Shallow Geothermal Resources* und *Hot Dry Rock* anlässlich des zweiten *IEA Geothermal Expert Meeting* in Paris. In diesem Zusammenhang sei erwähnt, dass L. Rybach, ETH-Zürich, zum *Chairman of the IEA Geothermal Experts Group* ernannt wurde.

Auf ein beachtliches internationales Interesse ist auch die tiefe Erdwärmesonden-Anlage in Weggis gestossen, was zu mehreren Besichtigungen durch Fachleute aus dem Ausland geführt hat.

Das gleiche gilt für die untiefen Erdwärmesonden, wo zahlreiche Kontakte mit Experten aus Japan und den USA stattgefunden haben [12].

## 4. Transfer in die Praxis

Ein intensiver Transfer in die Praxis des durch Forschungsprojekte gewonnenen *Know-hows* wird sowohl bei der "untiefen" als auch "tiefen" Geothermie gepflegt. Ganz generell konnte bei allen aufgeführten Projekten eine sinnvolle gegenseitige Ergänzung von Forschungs- und Förderprojekten erzielt werden.

Die enge Zusammenarbeit mit renommierten Bohrfirmen sowie Erstellern von Erdwärmesonden-Anlagen zielen auf eine Verbesserung und Verbilligung von Bohrmethoden und eine Steigerung bei den spezifischen Sondenleistungen.

Bei der tiefen Geothermie ist die Nutzung von warmen Tunnelwässern von grossem Interesse. Zum Beispiel benützt bereits die Gemeinde Airolo Tunnelwässer aus dem Gotthard Strassentunnel für Heizzwecke und möchte dies noch weiter ausbauen. Die Gemeinden Biasca und Bodio haben ebenfalls Interesse an einer Tunnelwassernutzung aus dem geplanten Gotthard Basistunnel bekundet. Weitere Projekte ähnlicher Natur befinden sich zur Zeit noch in Vorabklärung.

Wie bereits erwähnt, kann die Realisierung der tiefen Erdwärmesonden-Anlage in Weggis durchaus als Erfolg bezeichnet werden. Zwei im Jahre 1995 durchgeführte Studien haben gezeigt, dass in der Schweiz mehrere bereits bestehende, aber nicht mehr gebrauchte Tiefbohrungen für eine geothermische Wärmenutzung zur Verfügung stehen würden. Mit in der Nähe befindlichen Gemeinden sollen nun entsprechende Nutzungsmöglichkeiten abgeklärt werden.

Ähnliches gilt für die Nutzung von warmen Tiefenwässern für Gewächshäuser, die Landwirtschaft und Fischzucht, etc. Dies könnte zum Beispiel in Form eines "Endwärme-Verbrauches" von Thermalwässern erfolgen, das heisst, als Abschluss einer "Kaskadennutzung" aus den geplanten geothermischen Tiefbohrungen in Schinznach Bad, Saillon, Yverdon und Lavey-les-Bains.

## 5. P+D-Projekte

### Untiefe Geothermie

Die Erstellung der unten erwähnten Anlagen wurden durch BEW-Förderbeiträge mitfinanziert und im folgenden messtechnisch überwacht. Das Ziel ist der Vergleich von Wirtschaftlichkeit und Effizienz bei verschiedenen Erdwärmesondentypen und die längerfristige Belastbarkeit bei der Wärmeentnahme aus dem Untergrund. Das gleiche gilt für verschiedene Energiepfahltypen zur Wärme- und Kälteproduktion bei Wohn- und Industrieanlagen

- Energiepfahlanlage Finkernweg, Kreuzlingen
- Energiepfahlanlage PHOTOCOLOR, Kreuzlingen
- Energiepfahlanlage LIDWIL GEWERBE, Altendorf
- Energiepfahlanlage PAGO, Grabs
- Thermoprogramm Erdsonden, HTL-Burgdorf
- Geothermische Wärmenutzung durch das Bade- und Kurzentrum in Scuol
- Mitteltiefe Erdwärmesonden, Typ GRUNDAG-SIMPLEX, Gossau

### Tiefe Geothermie

Hier sind zwei Projekte zu erwähnen, deren Realisierung ebenfalls durch Förderbeiträge des BEW unterstützt und deren Betrieb zur Zeit messtechnisch überwacht wird.

Das erste Projekt betrifft eine tiefe Erdwärmesonden-Anlage und das zweite eine geothermische Heizzentrale. Beide Arten von geothermischer Energienutzung wurden erstmalig in der Schweiz realisiert und es sollen nun Betriebserfahrungen bei längerfristigen Wärmeentnahmen aus dem tiefen Untergrund gesammelt werden (Beheizung von mehreren Wohnblöcken):

- Mess- und Planungsprogramm der Wärmeverteilung ab der Tiefenerdwärmesonde Weggis 1
- Geothermische Wärmenutzung in Riehen (Wärmeverbund)

## 6. Bewertung 1995 und Ausblick für 1996

Sowohl bei der untiefen als auch tiefen Geothermie konnten die gesteckten Ziele erreicht werden. Dank der einheitlichen Programmleitung konnte die Forschung mit der Förderung optimal koordiniert werden.

Hauptziel für das Jahr 1996 stellt eine noch intensivere Umsetzung der Forschungsaktivitäten in die Praxis dar. Dies gilt im speziellen für die Nutzung von warmen Tunnelwässern, wo drei bis vier Vorprojekte für eine baldmögliche Realisierung ausgearbeitet werden sollen.

Basierend auf die nun vorliegenden Kataloge von nicht mehr gebrauchten Tiefbohrungen sollen die für eine Wärmenutzung günstigsten ausgewählt sowie potentielle Abnehmer identifiziert werden.

Eine wichtige Stossrichtung bei der Forschung wird 1996 bei der *Hot Dry-* und *Wet-Rock*-Forschung liegen. Konkret ist eine grössere Studie zur Identifizierung von möglichen *Hot Dry Rock*-Standorten in der Schweiz geplant. In einer ersten Phase könnten zum Beispiel mögliche Standorte mit hohen geothermischen Gradienten, sowie mit günstigen Gesteinsparameter ausgeschieden werden, die ganz prinzipiell für eine solche Anlage in Frage kämen (Vertiefung der COLENCO-Studie "Strom aus Erdwärme"). Dies im Lichte der, sowohl mit der Testanlage im Elsass als auch im weiteren Ausland (speziell in Japan) gewonnenen, neuesten Erfahrungen. Letztere geben tatsächlich zu berechtigten Hoffnungen Anlass, die Anwendung dieser geothermischen Nutzungsmethode nun doch in greifbarere Nähe rücken zu lassen. In diesem Sinne ist auch die Teilnahme an entsprechenden Arbeiten in der IEA geplant.

## 7. Liste der Projekte

- [1] FORALITH, Gossau: *Erhöhung der Wirtschaftlichkeit geothermischer Bohrungen*. (JB)
- [2] B. MATTHEY, Montezillon: *Recherche des paramètres d'élever la température moyenne des fluides circulant dans des sondes en terre verticales*. (JB) ♦ *Documentation SIA D025 - Grundlagen zur Wahl von Heizsystemen mit Nutzung der untiefen Erdwärme*. (SB)
- [3] Ch. Rieben, MFR GÉOLOGIE-GÉOTECHNIQUE, Bienne: *Etude pilote. Prospection et catalogue des sites pour sondes géothermiques dans le Jura Central (Canton du Jura)*. (JB)
- [4] A. Parriaux, GEOLEP / EPF-Lausanne: *Risques de contamination du sous-sol par les sondes géothermiques*. (JB)
- [5] ARGE ZEWEI, Dietlikon und Zürich: *Geothermisches Begleitprogramm im Rahmen der Gewinnung geothermischer Energie aus Tunneln*. (JB)
- [6] AGT (Arbeitsgemeinschaft für Tiefenwärme), Zürich: *Machbarkeitsstudie zu Bohrlochsonden mit Igelkaverne (Phase 1)*. (SB)
- [7] L. Rybach, ETH-Zürich: *Aquifer-Bewirtschaftung für geothermische Wärmenutzung*. (JB) ♦ *Atlas of Geothermal Resources*.
- [8] GEOFORM, Winterthur: *Pilotstudie: Geothermische Eigenschaften des Molassebeckens*. (JB)
- [9] CRSFA (Centre de recherches scientifiques fondamentales et appliquées), Sion: *Projet de recherche sur les forages slimholes*. (SB)
- [10] LUCO, Bern: *Geothermienutzung in der Schweiz*. (JB)
- [11] R. Hopkirk, POLYDYNAMICS-Zürich, L. Rybach, ETHZ-Zürich: *Coupled Hydraulic-Thermal-Mechanical Modelling*.

(JB) Jahresbericht 1995 vorhanden

(SB) Schlussbericht vorhanden

## 8. Referenzen

- [12] G. W. Huttner (Geothermal Management Company, USA), *Ground-Coupled Thermal Energy Systems in Switzerland*, U.S. Geothermal Resources Council Transactions, 1995.



# BIOMASSE

**Überblicksbericht 1995**  
zum Forschungsprogramm 1995

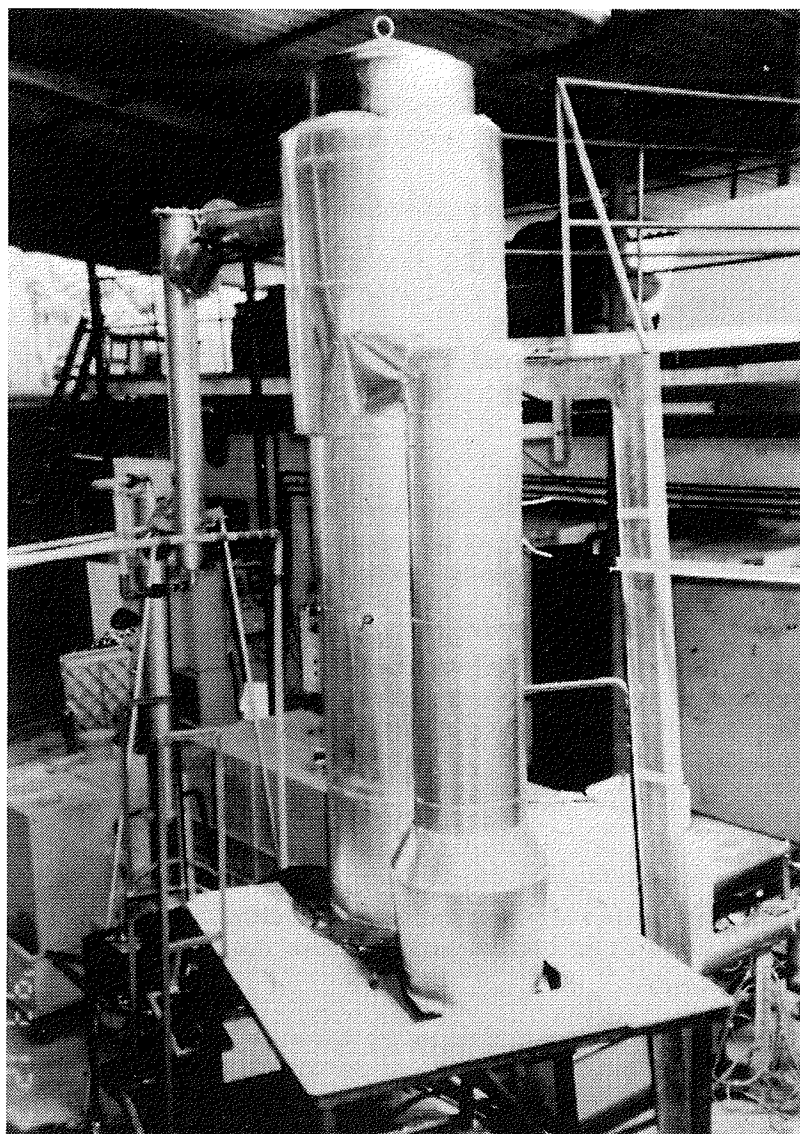
**Martin Hinderling**

BEW, 3003 Bern

☎ 031/322 56 42 – Fax: 031/382 44 03

E-mail: hinderling@bew.admin.ch

---



## **Holzvergaser indischer Herkunft**

Versuchsmessungen an einem 275 kW<sub>th</sub>-Vergaser in Châtel-St-Denis sollen u.a. nachweisen, ob das produzierte Rohgas punkto Teer- und Partikelgehalt für die motorische Anwendung geeignet ist.

## 1. Programmschwerpunkte

Das Forschungsprogramm "Biomasse" (Holz, Pflanzen, organische Abfälle aller Art) befasst sich zum kleinen Teil mit dem Ernten, Einsammeln und Aufbereiten der Biomasse, zum grossen Teil mit deren Umwandlung in Energie. Das Programm soll mithelfen, den Anteil der Biomasse an der schweizerischen Energieversorgung zu erhöhen. Seine Schwerpunkte sind Forschungs-, Entwicklungs- und Demonstrationsanstrengungen in den Teilbereichen Verbrennen, Vergasen und Vergären von Biomasse sowie energetische Nutzung der sog. nachwachsenden Rohstoffe.

## 2. Programmziele für 1995

Die Ziele für 1995 lassen sich wie folgt zusammenfassen:

- Die Voraussetzungen für die Verbreitung von Holzheizungen verbessern: energetischer Wirkungsgrad, Abgasemissionen, Wirtschaftlichkeit (Holz, Altholz).
- Entwicklung von Holzvergäsern zur motorischen Nutzung des produzierten Gases vorantreiben.
- Vergären von Abfällen verschiedener Herkunft: Forschungslücken schliessen, Pilot- und Demonstrationsanlagen realisieren.
- Fortsetzung der Arbeiten für die Abklärung, ob und wie nachwachsende Rohstoffe energetisch sinnvoll genutzt werden können.

## 3. Durchgeführte Arbeiten und erzielte Resultate

### BIOMASSE BEREITSTELLEN

Das Projekt **Untersuchung über die nachhaltig nutzbare Energieholzmenge, Bewirtschaftungs- und Erntemethoden in Niederwäldern** [1] weist nach, dass sich mit dieser Bewirtschaftung jährlich rund 10'000 t Heizöl durch Holzschnitzel zu marktüblichen Preisen substituieren liessen.

Im Projekt **Vergleich der Wertschöpfung der Mittelwaldbewirtschaftung und Niederwaldbewirtschaftung mit der Wertschöpfung aus Hochwaldbewirtschaftung** [1], durchgeführt anhand ausgewählter Standorte, werden mittels Literaturrecherche und gezielter Ernteversuche die Erträge der Niederwald- und Mittelwald/Bewirtschaftung (Brennholznutzung) mit jener der Hochwaldbewirtschaftung (Stammholznutzung) verglichen.

### BIOMASSE UMWANDELN

#### a) *Verbrennung und Vergasung von Holz und Altholz*

**Klein-Holzfeuerung mit fuzzy-Control** [2]: Mit dem Einbau einer effizienten Regelung in "fuzzy-Technik" kann man die Schadstoffemissionen einer Klein-Holzfeuerung reduzieren, den energetischen Wirkungsgrad erhöhen und den Bedienungskomfort verbessern.

Im Projekt **Holzbetriebene Hypokausten-Heizungen** [3] werden Wärmeerzeugungsanlagen nach dem Hypokaustenprinzip optimiert. Damit sollen die Grundlagen für Dimensionierung und bauliche Ausbildung von Hypokausten-Heizungen geschaffen werden.

**Kochen und Heizen mit Holz** [4]: Ein neues Koch- und Heizgerät, eingesetzt v.a. in Niedrigenergiehäusern, soll ermöglichen, wahlweise zu kochen und/oder zu heizen.

**Erfolgskontrolle SNCR-Verfahren zur Entstickung von Holzfeuerungen** [5]: Provisorische Auswertungen von Messungen an einer 1'800 kW-Anlage zeigen, dass im Praxisbetrieb eine hohe Entstickung möglich ist, wenn die Feuerungsleistung annähernd konstant gehalten werden kann.

Das Konzept der **Low NO<sub>x</sub>-Holzfeuerung** [8] mit zweistufiger Verbrennung und Reduktionskammer wird an einer praxisgerechten automatischen Holzfeuerung realisiert. Damit lässt sich eine massgebliche NO<sub>x</sub>-Minderung beim Verbrennen von Waldhackschnitzeln und Restholz erreichen.

Die Studie **Optimierung des Abscheideverhaltens von HCl, SO<sub>2</sub> und Dioxinen/Furanen in einem Gewebefilter nach einer Altholzfeuerung** [7] beschreibt, charakterisiert und interpretiert das Abscheideverhalten der für die Altholzfeuerungen besonders wichtigen Abgaskomponenten.

Beim **Vergleich von neuen Messtechniken mit konventionellen Methoden im Abgas einer Altholzfeuerung** [6] werden die Ergebnisse von Emissionsmessungen z.B. mittels FTIR-Messtechnik (Fourier-Transformations-Infrarotspektroskopie) und mittels konventioneller Methode (Horiba-Geräte) verglichen. Die Autoren empfehlen, welche Messtechnik in welchem Falle eingesetzt werden sollte.

Im Projekt **Langzeitemissionen einer 850 kW Altholz-Rostfeuerung** [8] wurden die Abgas-Emissionen im 3-monatigen Dauerbetrieb gemessen. Es zeigte sich, dass eine deutliche Reduktion insbesondere der CO-Tagesmittelwerte nur zu erreichen ist, wenn verschiedene Massnahmen gleichzeitig realisiert werden (u.a.: Reduktion Luftüberschuss, Anlage-Leistungsreduktion).

Im BUWAL-Projekt **Holzasche und Rückstände, deren Verwertung und Entsorgung (HARVE)** wird untersucht, wie Holzasche umweltgerecht entsorgt werden kann. Beim Austrag der Asche auf die Felder muss man sich punkto Schwermetalle an den Grenzwerten für Kompost orientieren (Publikation Studie demnächst).

Ziel des Projektes **UNIGAS** [9] ist die Abklärung der technischen Machbarkeit einer Vergasungsanlage nach dem Prinzip eines liegenden Drehrohrs. Aufgrund der bisher erfolgten Versuche an einem 20 kW-Prototyp ist noch nicht erwiesen, ob ein liegender Vergasertyp im Vergleich zu einem stehenden vorteilhaft ist.

*Adaptation du gazéificateur IISc pour une application en Suisse* [10]: Ein 275 kW-Vergaser des *Indian Institute of Science (IISc)* wurde in Châtel-St-Denis neu aufgebaut (siehe Titelbild) und soll mit verschiedenen Holzsortimenten aus der näheren Umgebung betrieben und ausgemessen werden.

Inhalt des Mandates *Planification d'un gazogène co-courant* [11] war die Planung eines Holz-Vergasers (aufsteigende Gleichstrom-Vergasung). Als Resultat liegt eine Methode für die Dimensionierung der geplanten 200 kW-Anlage vor.

Das NEFF-Projekt **Vergasung biogener Brennstoffe zur Strom- und Wärmeerzeugung** wird voraussichtlich im 1. Quartal 1996, nach Abschluss einer Messperiode über 150 Vergaser-Betriebsstunden, beendet werden.

#### **b) Vergärung von Tier- und Pflanzenabfällen**

Das Projekt *Digestion en discontinu d'herbes énergétiques* [12] soll nachweisen, inwiefern Gras, Heu, Silage mit oder ohne Mistbeisetzung vergärt werden können. Es zeigt sich schon jetzt, dass ein schneller Transfer dieses Verfahrens für konkrete Anwendungen nicht oder noch nicht möglich ist.

#### **c) Vergärung organischer Siedlungs- und Industrieabfälle**

In der *Etude de critères permettant l'évaluation des systèmes de méthanisation des déchets organiques ménagers, industriels, et des vieux papiers, en Suisse* (ECOBIOGAZ) [12] wurde im Berichtsjahr die Ökobilanzmethode für mehr oder weniger grosse Einzugsgebiete der Grünabfall-Entsorgung weiter entwickelt.

In der Biogasanlage der INFOENERGIE Tänikon sind Versuche zur **Vergärung von häuslichen Abfällen im ländlichen Raum** [13] durchgeführt worden. Sie zeigen auf, dass die Vergärung von häuslichen Grünabfällen ohne Rezirkulation möglich ist, sofern den Abfällen mindestens 10 Gewichts-Prozente Mist beigemischt wird. Dieses Projekt und die oben genannte Etude ergänzen sich gegenseitig.

*Etude de la digestion des graisses végétales* [12]: Eine Literaturrecherche wurde durchgeführt; der Beginn der Batchversuche musste aus externen Gründen auf das Jahr 1996 verschoben werden.

Im Rahmen des Projektes **Zweistufige Vergärung von festen biogenen Abfallstoffen** [20] konnte gezeigt werden, dass sich für die zweistufige Vergärung (Hydrolyse/Fermentation) interessante Anwendungsgebiete abzeichnen.

Das NEFF-Projekt **Untersuchungen zur Co-Vergärung von festen biogenen Abfällen** auf der Kläranlage Frutigen hat aufgezeigt, dass sich solche Abfälle in Kläranlagen technisch einwandfrei "co-vergären" lassen. In der Schweiz kämen etwa 50 Kläranlagen für diesen Prozess in Frage.

#### **d) Energiepflanzen**

Aus Gras und Feldholz lassen sich Wärme und Strom gewinnen. Ist das aber sinnvoll? Das **Projekt Energiegras/Feldholz** klärt in 8 Teilprojekten ab, ob die energetische Nutzung von Gras, Chinaschilf und Feldholz technisch machbar und aus ökonomischer wie ökologischer Sicht attraktiv ist. Es handelt sich um ein arbeitsintensives, komplexes Projekt, dessen Abwicklung sich über die Jahre 1993 bis 1996 erstreckt.

Das Teilprojekt **Projektmanagement** [15] stellt den reibungslosen Arbeitsablauf, den Informationsaustausch und die Koordination zwischen den einzelnen Teilprojekten einerseits und mit andern externen Vorhaben andererseits sicher.

Teilprojekt **Energiegras** [18]: Die Erträge der dreijährigen Chinaschilf-Pflanzungen lagen zwischen 13 und 16 t Trockensubstanz/ha. In einem Kleinkammerversuch konnte die Kälteresistenz von Chinaschilf zuverlässig ermittelt werden: Pflanzen, die sich nicht mehr in der eigentlichen Wachstumsphase befinden, ertragen Minustemperaturen bis ca. 8 °C. Tieferen Temperaturen schaden zunehmend.

An 6 verschiedenen Standorten in 5 Kantonen wurde die Wachstumsentwicklung von Feldholz (Teilprojekt **Feldholz**) [17] weiterverfolgt. Es zeigt sich, dass schnellwachsende Baumarten wie Zitterpappel, Erle, Weide auf gutem Boden bereits nach 2 bis 3 Jahren ein geschlossenes Gehölz bilden, in dem sich auch Kleintiere ansiedeln.

Wie das Teilprojekt **Verbrennung und Vergasung von Energiegras und Feldholz** [8] nachweist, kann die Verbrennung von Graspellets und -briketts zu Verschlackungen und Ascheanbackungen führen, weil Pflanzen niedrige Ascheerweichungstemperaturen aufweisen. Eine 400 kW-Anlage wurde messtechnisch so ausgerüstet, dass sich der Temperaturverlauf auf Rost und Seitenwänden kontinuierlich erfassen lässt. Dies soll abzuklären gestatten, welche Betriebsweisen Verschlackung verunmöglichen. Die Salz- und Partikelbildung bei der Verbrennung von Energiegras begünstigen Ablagerungen im Kessel, Problem, das man aufgrund einschlägiger ausländischer Erfahrungen zu lösen hofft.

Im Teilprojekt **Vergärung von Energiegras zur Biogasgewinnung** [14] wurde aufgrund der bisherigen Labor- und Grundlagenversuche die verschiedenen denkbaren Gärssysteme beurteilt. Die Anlagekosten, die Betriebssicherheit des gewählten Verfahrens, der Anlagestandort und die Anlagegrösse beeinflussen die Systemwahl. Die Biogasausbeute bewegt sich zwischen 500 und 580 l pro kg zugeführte organische Substanz.

Im Teilprojekt **Ökobilanz** [19] wurden die Methoden zur ökologischen Bewertung der Energiegewinnung aus Energiegras und Feldholz bereinigt, so dass nun ein zweckmässiges Bewertungsinstrument vorliegt, um verschiedene Szenarien wie "Wärmegewinn aus Chinaschilf" mit Referenzszenarien wie "Wärmegewinn aus Heizöl / extensiv genutzte Wiese auf stillgelegter Ackerfläche" vergleichen zu können.

Im Teilprojekt **Ökonomie** [16] des Projektes Energiegras/Feldholz liegen die methodischen Grundlagen vor, um einzelne Module, aber auch ganze Prozessketten gewisser Energiesysteme ökonomisch bewerten zu können.

Mit dem Teilprojekt **Logistik** [15] sollen geeignete Ernte-, Transport-, Aufbereitungs- und Lagerverfahren für halmgutartige Pflanzen und Feldholz bereitgestellt werden, unter Berücksichtigung des Anlagestandortes, der Brennstoffqualität und eines möglichst geringen Energieaufwandes. Das Potential der energetischen Nutzung von Energiegras/Feldholz dürfte etwa 1 % des heutigen Endenergieverbrauchs an fossilen und festen Brennstoffen betragen.

Parallel und koordiniert mit dem Projekt Energiegras/Feldholz führt das Bundesamt für Landwirtschaft die Studie **Bewertung nachwachsender Rohstoffe** durch.

## **SYSTEME UND EINZELPROJEKTE**

Ziel des Projektes **Methanol aus Biomasse (Biometh)** [21] ist die grosstechnische Demonstration der thermochemischen Umwandlung von Biomasse und Biomasseabfällen in den flüssigen Energieträger Methanol.



Biometh erweist sich als machbar, sofern Ethanol zum Äquivalenzpreis von 95 Rp/l Benzin verkauft werden kann, eine Finanzierung zu 50 % *à fonds perdu* möglich ist und spezifizierte Abfall-Sortimente zu einer mittleren Entsorgungsgebühr von 45 Fr/t als Rohstoff verfügbar sind.

Im Projekt **Optimierung des Pflanzenölmotors Mahler für die Landwirtschaft** [22] wurde eine Motoranpassung nach Patent Mahler vorgenommen. Sie erlaubt, unverändertes Rapsöl oder Sonnenblumenöl als Traktor-Treibstoff zu verwenden.

Die **Entwicklung eines Verfahrens zur Herstellung von Ethanol aus Biomasse** [23] hat zu einem funktionierenden "Ethanolkessel" im Labormassstab geführt. Nun ist das *up scaling* geplant.

Mit der Studie **Energetische Verwertung von altem Speiseöl** [24] wurde untersucht, ob die energetische Verwertung von altem Speiseöl und Speisefett allenfalls interessant sein könnte. Das Resultat der Studie verneint dies.

#### 4. Nationale und internationale Zusammenarbeit

Auf nationaler Ebene erfolgt die Zusammenarbeit zwischen zahlreichen Bundesstellen, andern öffentlichen Institutionen, Ingenieurbüros usw. im üblichen Rahmen. Abgesehen von firmeneigenen Entwicklungsbemühungen v.a. im Bereich Holzheizungen wird die grosse Mehrzahl der F+E-Projekte im Programm "Biomasse" von öffentlichen Institutionen mitfinanziert. Auch ist die "Szene" insbesondere in den Bereichen Vergasung, Vergärung, Nachwachsende Rohstoffe klein; somit kann relativ leicht ein Überblick darüber gewonnen werden, wo was erforscht und entwickelt wird. Dies begünstigt die Zusammenarbeit zwischen verschiedenen Projektleitern.

Ohne Anspruch auf Vollständigkeit wären als BEW-Partner und Akteure nationaler Zusammenarbeit etwa zu nennen: BLW, BUWAL, praktisch alle landwirtschaftlichen Forschungsstellen, Fachhochschulen ETHZ und ETHL, HSG, EMPA St. Gallen und Dübendorf, Paul Scherrer Institut PSI, Universität Bern, HTL Brugg-Windisch, diverse forstwirtschaftliche Dienste, zahlreiche Anlagbauer aus der Holzheizungs- und Fermenterbranche.

Auch auf internationaler Ebene erfolgt eine rege Zusammenarbeit: Zum einen wird sie durch persönliche Kontakte von Projektleitern, z.B. anlässlich von internationalen Konferenzen und Seminaren, ausgelöst. Zum andern haben sich innerhalb des 4. EU-Rahmenprogrammes für Forschung und Entwicklung, Ausschreibungsthema "Nicht-nukleare Energie", bereits recht zahlreiche und vielversprechende Beziehungen zwischen Schweizer Institutionen und Ingenieurbüros einerseits und EU-Ländern anderseits angebahnt. Schliesslich verweisen wir auf die Mitgliedschaft der Schweiz im *IEA Bioenergy Agreement*. Dessen Zielsetzung besteht darin, im Bereich Forschung, Entwicklung, Demonstration sowie Informationsaustausch zusammenzuarbeiten. Die Schweiz beteiligt sich in 3 Activities: *Biomass Combustion*, *Biomass Gasification*, *Anaerobic Digestion of MSW*. Drei Experten stellen den Informationsaustausch in "beiden Richtungen" sicher.

#### 5. Umsetzung in die Praxis, P+D-Projekte

Wiederum wurden Öffentlichkeit und Fachleute mittels Publikationen, Fachartikeln, Vorträgen, Tagungen, Seminaren usw. über den Stand von Forschung, Entwicklung und Demonstration in verschiedenen Biomasse-Teilbereichen informiert. Etwas willkürlich sei herausgegriffen: Ausstellung und Fachtagung an der ETHZ zum Thema "Holz im 21. Jahrhundert"; Seminar "*Études et projets de chauffages automatiques au bois*" in Lausanne; Tagung "Nachwachsende Rohstoffe" in Weinfelden mit (u.a.) dem Schwerpunkt "energetische Nutzung von nachwachsenden Rohstoffen".

Das Programm "Biomasse" hat bisher von den Ende 1995 abgeschlossenen DIANE-Programmen im Holzbereich und von deren Umsetzungsaktivitäten profitieren können. Es gilt, hier künftig geeigneten Ersatz zu finden.

**Folgende P+D-Projekte** wurden im Berichtsjahr begonnen, weitergeführt bzw. zu Ende geführt:

Im Rahmen des Projektes **Semikontinuierliche Vergärung von strohhaltigem Mist** [25] wurde die Pilotanlage "Gärkanal" erstellt. Sie erweist sich als Anlage mit funktionstüchtigem, prozessstabilem Vergärungsverfahren.

Phase II des Projektes **Kleine, schlüsselfertige Biogasanlage** [26] wurde in Angriff genommen, nachdem schliesslich ein Landwirt im St.Galler Rheintal Interesse am Bau einer solchen Kleinanlage bekundet hatte.

Ende 1994 konnte in Baar nach dem Kompostier- auch der Vergärteil der **Regionalen Kompostier- und Vergäranlage "Allmig"** [27] in Betrieb genommen werden. Es folgten dann mehrmonatige Optimierungsphasen, die noch nicht restlos abgeschlossen sind. Auch werden Untersuchungen betreffend biologisch abbaubare Abfallsäcke sowie Vorkommen von Pilzsporen in Funktion der Verfahrenstechnik durchgeführt.

Nach rund 1000 Betriebsstunden der P+D-Anlage **Kompo-Mobil I** [26] zeigt sich, dass der Energiebedarf für die Herstellung von Biogas mit annähernd Erdgasqualität (CH<sub>4</sub>-Gehalt nahe bei 95 %) sehr energieaufwendig ist. Ein Anschlussprojekt (Kompo-Mobil II) bezweckt die Verbesserung der Energiebilanz.

Die **Bioenergie-Produktionsanlage für pflanzliche technische Öle, Schmierstoffe und Treibstoffe** [28] stellt aus Ölsaaten die genannten, biologisch abbaubaren Produkte her. Die Verarbeitung der Raps-Ernte 1995 (ca. 90 ha) ist in Angriff genommen worden. Notwendige Anlageänderungen und -anpassungen sind erfolgt.

Die Demonstrationsanlage *Transformation de colza en carburant pour moteurs diesel, à Etoy* [29] wird vermutlich Ende Januar 1996 den Betrieb aufnehmen. Das Bundesamt für Landwirtschaft wird auch über das Jahr 1996 hinaus Flächenbeiträge für die Rapskulturen entrichten. Ohne solche Beiträge kann die Anlage nicht wirtschaftlich produzieren.

Leider ist es auch im Berichtsjahr nicht gelungen, im Rahmen des Projektes **Energiegras/Feldholz** den Bau einer Pilotanlage in die Wege zu leiten.

## 6. Beurteilung 1995 und Perspektiven für 1996

Gegen 40 Forscher bzw. Anlage-Realisatoren bearbeiten etwa ebensoviele Projekte im Gebiet Biomasseforschung, -entwicklung und -demonstration. Das Programm erweist sich somit als recht breitgefächert. Es konnte im grossen Ganzen wie geplant durchgeführt werden.

Insgesamt haben die Forschungsprojekte wiederum beachtliche, wenn auch nicht spektakuläre Resultate und Fortschritte erzielt. Ein Lichtblick ist der vom EVED empfohlene, bis Ende 1998 trotz Stromüberfluss gesicherte Strom-Mindesttarif von 16 Rp/kWh (Rücklieferung von Strom aus erneuerbaren Energien). Ein weiterer Lichtblick besteht darin, dass der Ständerat als Erstrat anlässlich der Beratung zum Mineralölsteuergesetz die erneuerbaren Energien von der Besteuerung befreite.

Das Programm 1996 wird im wesentlichen die bisherigen Zielsetzungen weiterverfolgen und für Kontinuität besorgt sein. Man kann davon ausgehen, dass hierfür etwa die gleichen finanziellen Mittel wie 1995 zur Verfügung stehen werden.

## 7. Projektliste

### a) F+E-Projekte

- [1] F. Schnider, B. Bally, AMBIO, Zürich: *Untersuchung über die nachhaltig nutzbare Energieholzmenge, Bewirtschaftungs- und Erntemethoden in Niederwäldern.* (JB) ♦ *Vergleich der Wertschöpfung der Mittelwaldbewirtschaftung und Niederwaldbewirtschaftung mit der Wertschöpfung aus Hochwaldbewirtschaftung, durchgeführt anhand ausgewählter Standorte.* (JB)
- [2] P. Schweizer, PASOL, Liestal: *Klein-Holzfeuerung mit fuzzy-Control.* (SB, ENET 9400331/1)

- [3] P. Siegl, K. Imbach, AG HYPOKAUSTEN-HEIZUNGEN, Weesen: *Holzbetriebene Hypokausten-Heizungen*. (JB)
- [4] A. Riemens, B. Salerno, GAAN und ALTENO, Zürich: *MIMI, Kochen und Heizen mit Holz*. (JB)
- [5] R. BÜHLER, IEU/VERENUM, Maschwanden: *Erfolgskontrolle SNCR-Verfahren zur Entstickung von Holzfeuerungen*. (JB)
- [6] R. Bühler, P. Hasler, T. Nussbaumer, VERENUM / UMWELT+ENERGIE, Zürich: *Vergleich von FTIR- und FAG-Messtechniken mit konventionellen Methoden im Abgas einer Altholzfeuerung*. (SB, ENET 9010013/27) ♦ *Langzeitemissionen einer 850 kW Altholz-Rostfeuerung*. (SB, ENET 9004004/30)
- [7] P. Hasler, VERENUM, Zürich: *Optimierung des Abscheideverhaltens von HCl, SO<sub>2</sub> und Dioxinen/Furanen in einem Gewebefilter nach einer Altholzfeuerung*. (JB und SB, ENET 9400081/2)
- [8] T. Nussbaumer, IES / ETH-Zürich: *Low NO<sub>x</sub>-Holzfeuerung*. (JB) ♦ *Energiegras/Feldholz: Verbrennung und Vergasung von Energiegras und Feldholz*. (JB)
- [9] M. Müller, W. Schlachter, HTL-Brugg-Windisch: *UNIGAS*. (JB)
- [10] H. Sharan, Centre de Compétence DASAG / EICHER+PAULI, Châtel-St-Denis: *Adaptation du gazéificateur IISC - DASAG pour une application en Suisse*. (JB)
- [11] I. Bordonzotti, L. Jaccard, ENSOFOR, Curio: *Planification d'un gazogène co-courant*. (SB)
- [12] Y. Membrez, EREP, Aclens: *Digestion en discontinu d'herbes énergétiques*. (JB) ♦ *Etude de critères permettant l'évaluation des systèmes de méthanisation des déchets organiques ménagers, industriels, et des vieux papiers, en Suisse*. (JB) ♦ *Étude de la digestion des graisses végétales*. (JB)
- [13] K. Egger, U. Meier, INFOENERGIE, FA-Tänikon: *Vergärung von häuslichen Abfällen im ländlichen Raum*. (JB)
- [14] U. Baserga, INFOENERGIE, FA-Tänikon, *Energiegras/Feldholz: Vergärung von Energiegras zur Biogasgewinnung*. (JB)
- [15] J.-L. Hersener, FA-Tänikon: *Energiegras/Feldholz: Projektmanagement*. (JB) ♦ *Logistik*. (JB)
- [16] T. Trauboth Müller, FA-Tänikon: *Energiegras/Feldholz: Ökonomie*. (JB)
- [17] J. Rüegg, FA-Wädenswil, *Energiegras/Feldholz: Feldholz*. (JB)
- [18] V. Mediavilla, J. Lehmann, E. Meister, FA-Reckenholz, *Energiegras/Feldholz: Energiegras*. (JB)
- [19] F. Dinkel, CARBOTECH, Basel: *Energiegras/Feldholz: Ökobilanz*. (JB)
- [20] M. Gradenecker, W. Edelmann, ARBI, Maschwanden: *Zweistufige Vergärung von festen biogenen Abfallstoffen, Phase III*. (JB)
- [21] J. Leuenberger, S. Stucki, PSI-Villigen: *Methanol aus Biomasse (Biometh)*. (JB)
- [22] W. Mahler, Obfelden: *Optimierung des Pflanzenölmotors Mahler für die Landwirtschaft*. (SB)
- [23] S. GRASS, Zürich: *Entwicklung eines Verfahrens zur Herstellung von Ethanol aus Biomasse*. (JB)
- [24] M. Egger, F. Kühnis, H. Schöttl, T. Weisskopf, EICHER+PAULI, Liestal / PROBAG, Baden: *Energetische Verwertung von altem Speiseöl*. (SB)

#### **b) P+D-Projekte**

- [25] U. Baserga, INFOENERGIE, FA-Tänikon: *Semikontinuierliche Vergärung von strohhaltigem Mist*. (JB/SB, ENET 9107870/1)
- [26] K. Egger, INFOENERGIE, FA-Tänikon: *Kleine, schlüsselfertige Biogasanlage, Phase II*. (JB) ♦ *Kompo-Mobil I*. (JB)
- [27] H. Brotschi, MÜLLER, Baar: *Regionale Kompostier- und Vergäranlage "Allmig"*. (JB)
- [28] U.C. Knopf, AGROGEN, Freiburg: *Bioenergie-Produktionsanlage für pflanzliche technische Öle, Schmierstoffe, Treibstoffe*. (JB)
- [29] P.A. Tardy, CVA, Lausanne: *Transformation de colza en carburant pour moteurs diesel, à Etoy*. (JB)

(JB) Jahresbericht 1995 vorhanden

(SB) Schlussbericht vorhanden



# VERKEHR

**Überblicksbericht**  
zum Forschungsprogramm 1995

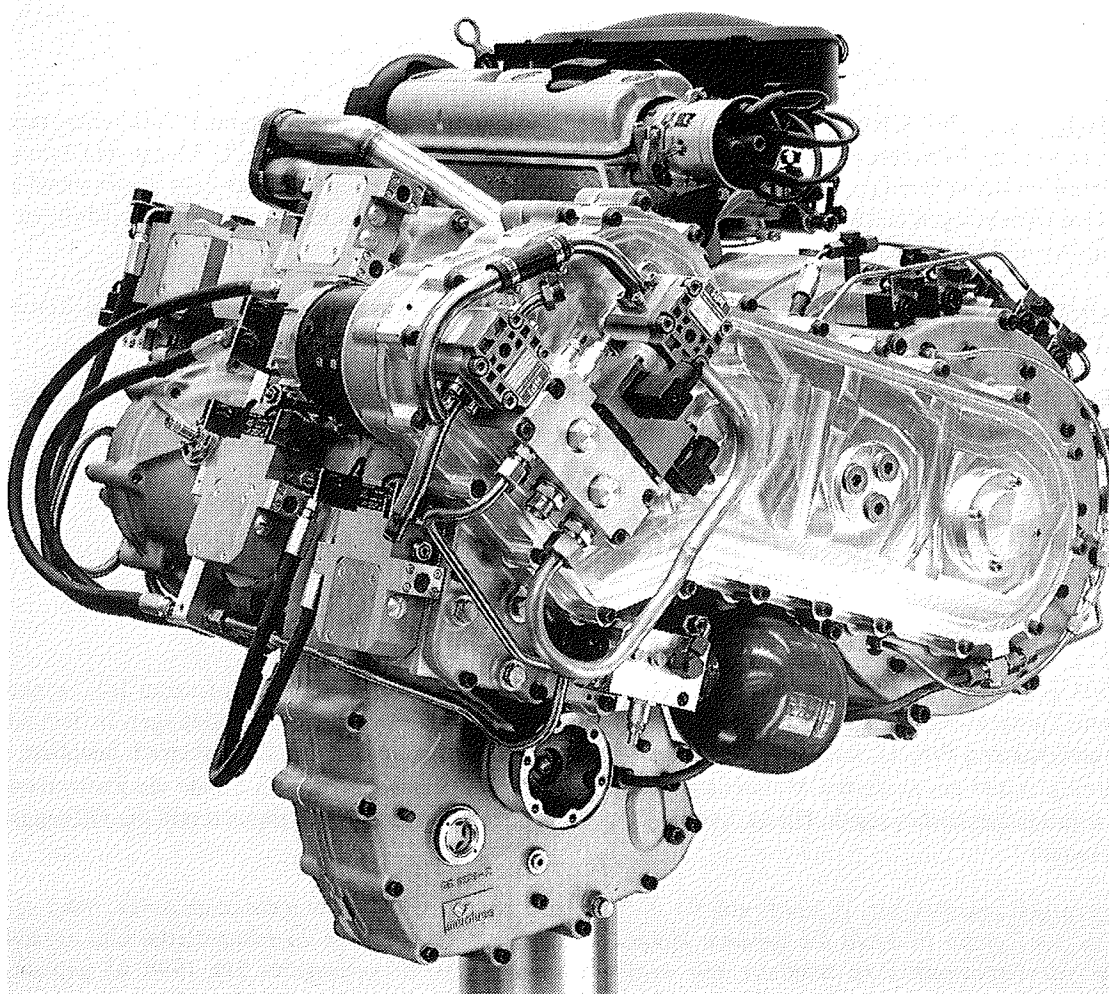
**Martin Pulfer**

BEW, 3003 Bern

☎ 031/322 49 06 – Fax: 031/382 44 03

E-mail: pulfer@bew.admin.ch

---



## Ökomobil Hybrid III

Die oben abgebildete, Antriebsgruppe wurde an der ETH-Zürich entwickelt. Sie besteht aus dem hinten rechts ersichtlichen Verbrennungsmotor, der anschliessenden Schwungradgruppe, der Elektromaschine und der Reibkupplung. In der hinteren Bildebene ist zusätzlich das Getriebe sichtbar.

## 1. Programmübersicht und anvisierte Zielpunkte für 1995

Das Forschungsprogramm "Verkehr" verfolgt generell die Ziele:

- Verbesserung der Energieeffizienz,
- Reduktion der ökologischen Belastung,
- umsetzbare Problemlösungen.

Einen wesentlichen Aspekt stellte 1995 – nach dem Wechsel in der Programmleitung – die Wahrung der Kontinuität, respektive die Initialisierung von neuen Projekten dar.

Aus der Gesamtenergiestatistik der Schweiz (1994 wurde in der Schweiz über ein Drittel des gesamten End-Energiebedarfs für den Verkehr aufgewendet, hiervon fielen ca. 56 % auf den motorisierten Individualverkehr, ca. 17 % auf den Gütertransport, ca. 4 % auf den Schienenverkehr, ca. 1 % auf den öffentlichen Strassenverkehr und ca. 22 % auf den Flugverkehr) und dem möglichen Einsparungspotential, leiten sich der Programmaufbau und die folgenden Schwerpunktsthemen ab:

- Individualverkehr,
- Gütertransport,
- neuartige Technologien und Systeme.

Individualverkehr: Ein Schwerpunkt liegt in der Erforschung effizienter, emissionsarmer **Antriebssysteme**, wie beispielsweise der hybriden Antriebe. In einem zweiten Schwerpunkt wird versucht, die **Masse** der Fahrzeuge zu **reduzieren** und gleichzeitig deren Sicherheit zu verbessern. Ein weiterer Schwerpunkt liegt in wissenschaftlichen **Begleituntersuchungen** betreffend den im Berichtsjahr gestarteten Versuchen mit **Leicht-Elektro-Mobilen (LEM)** in Mendrisio und Partnergemeinden.

Gütertransport: Im Vordergrund steht hier die **Optimierung** der **Transportketten** mit Hilfe des kombinierten Güterverkehrs sowie der Entwicklung geeigneter, modularer Transportverpackungen.

Neuartige Technologien und Systeme: In diesem Bereich werden grundlegende Aussagen für neue Technologien und Systeme, wie z. B. der SWISSMETRO, erarbeitet.

## 2. 1995 durchgeführte Arbeiten und erreichte Ergebnisse

### 2.1 MOTORISIERTER INDIVIDUALVERKEHR

Das 1995 gestartete Projekt **Ecomotor für Leichtmobile (Leichthybrid II)** der HTL-Luzern [8], beinhaltet die komplette Entwicklung eines Serienhybrid-Antriebes mit Erdgas und Elektrizität als Energieträger. In dem auch vom NEFF unterstützten Projekt, konnte der Zweizylinder Verbrennungsmotor auf den Erdgasbetrieb adaptiert werden. Gleichzeitig wurde ein modernes Motorenmanagement entwickelt, welches mittels  $\lambda$ -Sonde die Zusammensetzung des Luft-Erdgasgemisches regelt. Dieses System steuert auch den optimalen Zündzeitpunkt und die Öffnungszeit des Eindrüsventils.

Ein Kurzzeitenergiespeicher, in Form von 94 in Serie geschalteten Hochleistungskondensatoren, wird es künftig erlauben, bei Tempo 60 km/h die gesamte kinetische Energie des Fahrzeugs zu rekuperieren und zusätzlich die Batterie vor Stromspitzen zu schützen und so deren Lebensdauer zu verlängern. Für 1996 ist geplant, dieses Antriebssystem in das bestehende Testfahrzeug *Blue Angel* zu integrieren und bei Vergleichsfahrten, bei einem sehr tiefen Verbrauch, die sehr strengen *US ULEV*-Normen um 50 % zu unterschreiten (*ULEV* = *Ultra Low Emission Vehicles*).

Das bis Mitte 1996 dauernde ehrgeizige Grossprojekt **Ökomobil Hybrid III** der ETHZ [3], umfasst die vollständige Entwicklung und Optimierung eines neuartigen Antriebssystems, bestehend aus Verbrennungsmotor, Schwungrad und Elektromotor. 1995 wurden diese drei Aggregate als Teilsysteme in Betrieb genommen und es konnten so die theoretischen Werte zu 90 % nachgewiesen werden.

Beim Verbrennungsmotor wurden gegenüber der Ausgangsmotor, bei tiefen Teillasten, Treibstoffeinsparungen von bis zu 40 % erzielt. Das stufenlose Getriebe wurde auf dem Prüfstand in Betrieb genommen und die prognostizierten Wirkungsgrade konnten erreicht werden. Der Antriebseinheit, eine Schwungradkomponente und die Leistungs elektronik wurden erstmals am internationalen Automobilsalon in Genf ausgestellt und erzielten als vielbeachtetes Demonstrationsobjekt einen Werbe-Effekt für die Schweizer Forschung (*siehe Titelblatt*). Für 1996 ist vorgesehen, die einzelnen Teilsysteme zum einem Gesamtantrieb zusammenzubauen und auf dem Prüfstand zu erproben und zu optimieren. Von VOLKSWAGEN liegt weiter die Zusage vor, nach Projektabschluss den Einbau des Antriebs in ein Fahrzeug zu finanzieren.

Die HTL-Biel setzte ihre Forschungsarbeiten am Projekt **Minderungspotential der Schadstoffemissionen und des Schadstoffverbrauchs** [9] fort und testete an einen *Microcar*, motorisiert mit einem Diesellaggregat, auf dem Rollenprüfstand, verschiedenen Einrichtungen zur Emissionsminderung (Abgasrückführung, Partikelfilter, Oxidationskatalysator). Mit ergänzenden Massnahmen konnte der Kraftstoffverbrauch auf unter 4 l pro 100 km, bei wesentlich reduzierten Schadstoffemissionen, gesenkt werden. Das zweite Fahrzeug, ein AIXAM, wurde auf einen LOMBARDINI Zweizylinder-Ottomotor umgerüstet. Bestückt mit einem auf  $\lambda=1$  geregelten elektrischen Vergaser wird für dieses Fahrzeug ebenfalls ein Verbrauch unter 4 l pro 100 km erwartet.

Von der WENKO Burgdorf initiiert und unter deren Leitung realisiert, wurde das von GREENPEACE Deutschland unterstützte Projekt, **SmILE: Small, Intelligent, Light, Efficient** [13]. Das Projekt umfasst die Halbierung des Treibstoffbedarfs eines RENAULT TWINGO, wobei die übrigen wesentlichen Aspekte (Emissionen, Fahrverhalten, Sicherheit, Lärmemissionen und Transportkapazität) zumindest nicht verschlechtert werden durften. Bis zum Jahreswechsel konnten auf dem Motorenprüfstand die rechnerisch prognostizierten Verbrauchswerte zu grössten Teil bestätigt werden (*siehe Titelbild, Umschlag*).

Die Firma BRUSA ELEKTRONIK schloss im Berichtsjahr ihre Entwicklung eines Elektromotors mit dem Titel **Reluktanzmotor als Direktantrieb** [23] erfolgreich ab. Im Vergleich zu einem Asynchronantrieb gleicher Baugrösse zeigte sich, dass sich der Reluktanzmotor durch ein höheres Anfahrmoment und eine grössere Leistungsbandbreite auszeichnet. Für den Einsatz als Antrieb, direkt auf der Radachse des LEMs, erwies sich dieses Konzept im erreichten Entwicklungsstand noch als zu schwer.

Die 1995 beendete Studie **Grundlagen für die Inverkehrsetzung von Leichtmobilen** der Firma PROTOSCAR in Rovio [19] analysierte die revidierte Verordnung über den Bau und die Ausrüstung der Strassenfahrzeuge. Sie zeigte Normierungsfragen und Inkompatibilitäten zur alten und zu den ausländischen Verordnungen auf.

Das gegen Ende des Berichtsjahrs gestartete Projekt **PALOS - Ein optimales Antriebssystem für Leichtmobile** der ETHZ [5] erstreckt sich bis zur Jahrtausendwende und optimiert mit numerischen Methoden Verbrennungsmotoren. Die so gewonnenen Resultate werden in bestehenden und in neuen Antriebskonzepten umgesetzt. Ziel dieses Projektes sind Antriebsaggregate für (familientaugliche) Leichtfahrzeuge mit minimalstem Verbrauch und mit Emissionen deutlich unter der sehr restriktiven Euro-III- und der ULEV-Norm.

Im Rahmen dieses Projektes wurde ein bestehendes, sehr verbrauchsarmes Aggregat einer Schweizer Firma untersucht und der Verbrauch eines PW im ECE-Zyklus quasistatisch simuliert. Es zeigte sich, dass der aktuelle Verbrauch des Systems von knapp 3 l pro 100 km mit relativ einfachen und umsetzbaren Massnahmen nochmals um ca. 15 % reduziert werden kann.

Gegen Ende des Jahres konnten die beiden Partnerfirmen HORLACHER und ESORO ihr gemeinsames Projekt **Modultec - Modultechnologie für Leichtmobile** [15] starten. Dieses langfristige Projekt unterteilt sich in zwei Unterbereiche und strebt eine namhafte Massereduktion bei der Karosserie an. 10 kg Masseminderung pro Fahrzeug auf der gesamten Schweizer Fahrzeugflotte ergibt eine Treibstoffeinsparung von ungefähr 40 Millionen Liter Benzin, das entspricht ca. 1 % unseres Treibstoffjahresbedarfs. In einem ersten Bereich erforscht und entwickelt die Firma HORLACHER ein Herstellverfahren für eine modular aufgebaute, sehr leichte und selbsttragende Kunststoffkarosserie. Dabei wird zusätzlich die Integration eines sehr hohen Sicherheitsstandards angestrebt. Im zweiten Bereich entwickelt die ESORO ein Fahrwerkmodul mit einer Faserverbund-Querblattfeder.

Die in diesem visionären Gesamtprojekt erarbeiteten Verfahren reduzieren auch die *Graue Energie* in der Fertigung und lassen sich auch in eine Grossserienherstellung umsetzen.

Im Spätherbst des Berichtsjahres startete die ESORO ihr Projekt **Twin Trak, Neuartiger Hybridantrieb für Leichtmobile** [14]. Dieses Projekt stellt die Fortsetzung des von der Firma 1994 erfolgreich abgeschlossenen Vorprojektes der Entwicklung eines Parallelhybrid-Antriebes auf der Basis Benzin / Elektro dar. Für das von der ESORO patentierte Hybridkonzept wird ein kleinvolumiger, sehr effizienter Zweizylinder-Viertaktmotor auf die Parallelhybrid-Anwendung adaptiert. Synchron zu diesen Arbeiten entwickelt ESORO ein neues Layout der konstruktiven Gesamteinheit. Eine zentrale Rolle spielen hierbei die kompakte Anordnung der beiden Antriebe nebeneinander, die durch eine entsprechende Ausbildung der Getriebe- / Kupplungseinheit realisiert wird.

Die Arbeitsgemeinschaft ABAY & MEIER, Zürich – BONALUMI E FERRARI, Giubiasco – POLYQUEST, Bern führte die wissenschaftlichen Begleituntersuchungen zum 1995 gestarteten **Grossversuch mit Leicht Elektro Mobilen in Mendrisio und Partnergemeinden** durch. Die POLYQUEST wertete die gewonnenen Daten zu einer **Bekanntheits- und Kaufwiderstandsanalyse** [20] aus. Entsprechend dieser Analyse wird der Einsatz der LEMs gefördert durch:

- Subventionen,
- Bevorteilung der LEM-Besitzer, z.B. mit privilegiertem Parkplatz,
- Fahrverhalten und fehlende Fahrgeräusche der LEMs,
- Umweltfreundlichkeit der LEMs.

Gemäss dieser Untersuchung ist es für 39 % der Haushalte grundsätzlich denkbar und für 41 % undenkbar ein LEM zu kaufen. 19 % der Haushalte sind noch unentschieden. Kaufwiderstand bezüglich der LEMs ergibt sich aus folgenden Gründen:

- Benutzer wollen primär viersitzige Fahrzeuge (die Lieferbereitschaft für dieselben war bisher mangelhaft),
- Reichweite, Autonomie,
- ungenügender Informationsstand bei den Garagen aber auch den Kunden,
- Zeit: "Der Versuch dauert bis 2001, wir haben noch Zeit",
- wirtschaftliche Lage, defensives Kaufverhalten.

Selbstverständlich fliessen diese Resultate in die Massnahmenplanung der Versuchsleitung ein.

Die EPF-Lausanne konnte im Berichtsjahr ihr Projekt **Omegaz II** [2], einem hybriden Verbrennungsantrieb für Benzin und Erdgas, erfolgreich (mit dem Erreichen der gesteckten Ziele) abschliessen. Insbesondere konnte ein vom Projektnehmer patentierter Injector entwickelt werden. Der so verbesserte und optimierte hybride Verbrennungsmotor wurde in einen RENAULT EXPRESS als Versuchsträger eingebaut. Bei der anschliessenden Erprobung auf dem Prüfstand, im FTP 75 - Zyklus, zeigte sich aber, dass das System mit diesem Injector die doppelten HC-Emissionen verursachte, als bei einem identischen System, jedoch nur mit kontinuierlichen Gaseinspritzung. Wurden bei der kontinuierlichen Gaseinspritzung zusätzlich ein Vorkatalysator verwendet, betrugen die Emissionen beim Injectorsystem im Vergleich hierzu, sogar das Dreifache. Mit wenigen, relativ gut realisierbaren Massnahmen lassen sich jedoch die Emissionen beim Injectorsystem bezüglich der HC-Emissionen noch massiv verbessern. Bei den andern Schadstoffen erreicht das Projekt schon jetzt sehr tiefe Emissionswerte.

## 2.2 GÜTERTRANSPORT

Das Projekt des Planungsbüros JUD, Zürich, **Einsatz bimodaler Gütertransportsysteme** [25] beinhaltet eine Überprüfung, der im Rahmen eines "DIANE" Vorprojektes erarbeiteten Erfolgsprognosen bezüglich des Kombirail-Grossversuch der MIGROS und der SBB. Konkrete Resultate können erst beim Abschluss der Studien bekannt gegeben werden.

Das innerhalb "DIANE" abgewickelte Projekt **City Logistik Zürich**, wurde nach acht Monaten Versuchsdauer plangemäss beendet. Bei diesem Projekt gelang es anfänglich, einige Kunden zu gewinnen; diese waren jedoch nach Ablauf der Probephase nicht bereit, die gebündelte Auslieferung zu bezahlen.



## 2.3 NEUE TECHNOLOGIEN UND SYSTEME

Die 1994 gestartete und bis Mitte 1998 dauernde Hauptstudie **Schnellbahn SWISSMETRO** der EPFL [1] wird von sieben Arbeitsgruppen bearbeitet: Netz und Strecke, Infrastruktur, Elektromechanik, Mechanik und Vakuum, Konzession und Homologation, Wirtschaft und Transporte sowie die Sicherheit.

Innerhalb dieses interdisziplinären Grossprojektes befasste sich eine Studie mit der numerischen Simulation der Luftströmungen im Tunnel, hervorgerufen durch den Hochgeschwindigkeitszug. Für diesen Zweck wurde im Berichtsjahr eine entsprechende Software NUMSTA entwickelt. Erste Berechnungen zeigten, dass bei den gewählten Parametern, insbesondere einem engen Tunneldurchmesser, ähnliche Leistungen notwendig sind wie bei klassischen Systemen.

In der Folge werden nun Effekte des Luftaustausches zwischen benachbarten Tunneln mit perforierten Wänden und Leitbändern untersucht.

## 3. Nationale Zusammenarbeit

Neben der intensiven Zusammenarbeit im Rahmen der Begleitgruppe, dem P+D Programm Leicht-(Elektro)-Mobile, dem Programm "DIANE", hat sich mit den Forschungsinstituten, der Industrie und den kantonalen Energiefachstellen eine gute Zusammenarbeit etabliert. Einen besonderen Dank gebührt dem vormaligen Programmleiter, Herrn B. Albrecht, für seine kooperative Arbeit bei der Programmübergabe.

Die bei der *HELBLING Management* durchgeführte Tagung "Entwicklungsprojekte für Leichtmobile", ergab eine äusserst wertvolle Kooperation zwischen mehreren Projektnehmern, was Fachwissen verbindet und die Gefahr von Doppelspurigkeiten reduziert.

## 4. Internationale Zusammenarbeit

Projektnehmer des Bereichs Verkehr arbeiten im Rahmen von Zusammenarbeitsverträgen erfolgreich mit ausländischen Firmen und Institutionen zusammen. Dies betrifft über 10 konkrete Projekte im Bereich der industriellen Umsetzung. Die Partner befinden sich in Europa (Deutschland, Frankreich, England etc.), in den USA und in Asien. Schweizer Firmen arbeiten auch im Rahmen von internationalen Forschungsprogrammen der Europäischen Union (EU) und der Internationalen Energieagentur (IEA). Im Bereich der EU geschieht dies im Rahmen des *Joule* Programmes für Elektromobil-Fahrzeugflotten. Bei der Internationalen Energieagentur (IEA) erfolgt die Zusammenarbeit im *Implementing Agreement for Electric Vehicles*. Diese internationalen Kooperationen werden in Zukunft noch wesentlich bedeutsamer sein. Nebst der Forschungszusammenarbeit sichern sie den Projektnehmern den Zugang zu sehr viel grösseren Ressourcen und Märkten als alleine in der Schweiz. Dies kommt auf dem Umweg über verbesserte Produkte und tieferen Fahrzeugpreisen, direkt den Schweizer Anwendern zugute und beeinflusst so auch den Gesamtenergieverbrauch positiv.

## 5. Transfer in die Praxis

Die erfolgreiche Umsetzung der Forschungsergebnisse in marktgängige Produkte, stellt für jeden Investor ein Hauptanliegen dar. Mit der auf den Jahreswechsel vollzogenen Reorganisation, (das Forschungsprogramm bildet nun zusammen mit dem P+D Programm den Bereich Verkehr), konnte in Bezug auf den Produkte-Lebenszyklus und auf die Projekt-Ablauforganisation ein wesentlicher Schritt realisiert werden.

Die hohe Qualität der in den Projekten erzielten Resultate sowie deren wirksame Präsentation in Berichten, in den Medien und an Messen fördern nachhaltig das Interesse der Industrie und deren Engagement bei der Umsetzung oder ihre Einbindung in die Folgeprojekte.

## 6. P&D - Projekte Leichtmobile

Urs Muntwyler, Programmleiter P&D

Der Schwerpunkt der Projektbetreuung lag 1995 auf dem Start des Projektes "Grossversuch mit Leicht-Elektromobilen in Mendrisio". Dieses Schwerpunktprojekt will bis zum Jahr 2000 in der Gemeinde und der näheren Agglomeration durch gezielte Massnahmen einen Anteil von 8 % Leicht-Elektromobilen am Personenwagenbestand (ca. 350 LEM bis Ende 2000) erreichen. Die Gemeinde Mendrisio qualifizierte sich Ende 1994 in einem mehrstufigen Verfahren gegen 33 Mitbewerber aus der ganzen Schweiz. Mit dem Grossversuch sollen die positiven und negativen Auswirkungen eines erhöhten Anteils an elektrisch betriebenen Fahrzeugen studiert werden. Weiter sollen Rahmenbedingungen für den erfolgreichen Einsatz dieser und weiterer energieeffizienter Fahrzeuge evaluiert werden. Das sehr breit abgestützte Projekt wurde am 23. Juni 1995 gestartet. Bis Ende 1995 wurden 50 Gesuche zum Kauf eines Leicht-Elektromobils an das BEW und den Kanton Tessin gestellt. 37 Gesuche wurden bereits positiv beantwortet. Zusammen mit den 15 schon vorhandenen und nicht geförderten LEMs, ergibt sich ein Bestand von über 50 Fahrzeugen, was den Zielvorgaben für das erste Jahr entspricht. Die Verkäufe wurden trotz der schwierigen wirtschaftlichen Lage des Südtessin erreicht. Dazu liefern einige Automobilhersteller ihre 4-plätzig Modelle, nach denen ein erhöhter Bedarf besteht, erst 1996 aus.

Ergänzt wird der geographische Versuchsschwerpunkt Mendrisio durch Projekte in sogenannten Partnergemeinden. Erste Projekte in den Gemeinden Ittigen, Monthey, Riehen und Wil wurden 1995 bereits bewilligt. In diesen Partnergemeinden wurden weitere 37 Gesuche für den Kauf von Leicht-Elektromobilen gestellt und bewilligt. Die Projekte in den Partnergemeinden haben folgende Schwerpunkte:

- Ittigen: Mobilitätsberatung und Vermietung von LEM in der Agglomeration Bern,
- Monthey: Machbarkeitsstudie *Véhicule Individuel Public VIP*,
- Riehen: LEM als Autoersatz für Pendler einer Agglomerationsgemeinde,
- Wil: Elektrobusse im Einsatz bei der neuen Regionalbuslinie.

Die restlichen Projekte werden bis ungefähr Mitte 1996 definiert sein.

Gestartet werden konnte auch das Projekt *Lean Mobility*, das der Touring Club Zürich durchführt. Mit diesem Projekt soll das Image und die Verbreitung kleiner, leichter und damit energieeffizienter Personenwagen gefördert werden.

Im technischen Bereich stehen verschiedene weitere Projekte vor dem Abschluss oder wurden 1995 abgeschlossen, so z.B.:

- Produktionsumsetzung und Zulassung des Leicht-Elektromobils *TWIKE*,
- Elektrofahrrad *VELOCITY* [17]: Typenprüfung und Start des Pilotversuches mit 25 Fahrzeugen,
- Feldmessungen "Batterie-Management-System" im Elektrotaxibetrieb *SOLTAXI*,
- KOLIBRI-Stadtfahrzeug mit Radnabenantrieb (HORLACHER),
- Typenprüfung eines Elektro-Fahrzeuges mit Produktion in China (*ECO DRIVE*),
- erster Einsatz der integralen Fahrzeugelektronik der Firma SCHMIDHAUSER,
- standardisierte Verbrauchsmessung bei 18 Elektromobilen (HTL-Biel),
- erste Vergleichsmessungen von Fahrzeugen mit Elektro-, Diesel- und Benzinantrieb (HTL-Biel).

Der Informationsverbreitung der Resultate der verschiedensten Projekte zuhanden der Öffentlichkeit und der interessierten Fachleute kommt mit dem "Grossversuch mit Leicht-Elektromobilen in Mendrisio" eine erhöhte Bedeutung zu. Dazu wurde im März 1995 die traditionelle Tagung "Leicht-Elektromobile im Alltag" in Bern durchgeführt. Weiter wurden 2 Ausgaben der "Leicht-Elektromobil-News" herausgegeben. An Tagungen im In- und Ausland wurde über die P+D-Projekte im Bereich "Leichtmobile" berichtet. Private, Fachleute aller Richtungen und Medienleute wurden über die einzelnen Projekte informiert. Dazu wurden gegen 20 Fachbeiträge für Fachkongresse und Fachzeitschriften im In- und Ausland verfasst. Trotz dieser sehr aktiven Informationstätigkeit verlangen Fachleute, Behörden und Medienvertreter noch mehr Informationen speziell über den Grossversuch mit Leicht-Elektromobilen in Mendrisio. Insgesamt erschienen weit über 300 Berichte in den verschiedensten Medien der Schweiz. Schwerpunkte waren der Grossversuch mit Leicht-Elektromobilen in Mendrisio, das Projekt *Lean Mobility* sowie das *TWIKE*.

## 7. Bewertung 1995 und Ausblick für 1996

Im Programm "Verkehr" sind einige, bezüglich der Resultate erfolgreiche, Projekte, zum Abschluss gebracht worden. Deren Umsetzung in industrielle Produkte wird von der Projektleitung angestrebt, ist jedoch noch nicht gesichert. Gleichzeitig konnten im Berichtsjahr mit den Arbeiten an mehreren, innovativen und chancenreichen Projekten begonnen werden. Mit ersten konkreten Resultaten kann ab Mitte Jahr gerechnet werden.

Basierend auf dem "Konzept der Energieforschung des Bundes 1996-1999" wurde das Feinkonzept für den Bereich "Verkehr" für den gleichen Zeitraum erstellt. Hierbei wurden die Schwerpunkte auf dem Individualverkehr und dem Güterverkehr belassen, wobei letzterem vermehrt Beachtung geschenkt wird.

## 8. Liste der Projekte

- [1] M. Jufer, EPF- Lausanne: *Elektromagnetisches Gleitsystem*. (SB) ♦ *Schnellbahn SWISSMETRO*. (JB) / ENET 8900655
- [2] D. Favrat, EPF-Lausanne: *Optimisation d'un moteur à essence commutable au gas naturel OMEGAZ I + II*. (SB)
- [3] M. Eberle, ETH-Zürich: *Hybrid III Ökomobil*. (JB) / ENET 8900359 ♦ *Verbessertes Einspritzmodul für Ökomobile*. (JB) / ENET 8900360
- [4] H.P. Geering, ETH-Zürich: *Optimale Regelung von Automobilkatalysatoren*. (JB)
- [5] L. Guzzella, ETH-Zürich: *Optimale Antriebssysteme für Leichtfahrzeuge PALOS*. (JB) / ENET 9555285
- [6] P. Niederer, ETH-Zürich: *PIV - Personal Independent vehicle: Safety Aspects*. (JB)
- [7] H. Faulstich, HTL-Windisch: *Messpaket zur Abgasuntersuchung bei dieselgetriebenen Strassenfahrzeugen*.
- [8] M. Chastonay, ZTL-Horw: *Ecomotor für Leichtmobile (Leichthybrid II)*. (JB) / ENET 9300271
- [9] J. Czerwinski, HTL-Biel: *Minderungspotential der Schadstoffemissionen und des Kraftstoffverbrauchs bei Kleinmobilen*. (JB) / ENET 9400291
- [10] K. Meier-Engel, HTL-Biel: *Energieverbrauch von Elektrofahrzeugen*. (JB)
- [11] F. Walz, UNI-Zürich: *Sicherheitssitz für Leichtmobile*. (JB) ♦ *Prüfanlage für die Sicherheit von Leichtmobilen*. (JB)
- [12] M. BERCHTOLD, Küsnacht: *Gemischaufbereitung für Automotoren mit Magerbetrieb*. ENET 8900400 ♦ *Strassenerprobung eines des Magermotorkonzeptes*. (JB)
- [13] U. Wenger, WENKO, Burgdorf: *SmILE - Small, Intelligent, Light, Efficient*.
- [14] D. Jaggi, ESORO, Zürich: *Neuartiger Hybridantrieb für Leichtmobile*. (SB) / ENET 9400071 ♦ *Leicht-Elektromobil ESORO*. (JB)
- [15] M. Horlacher, HORLACHER / ESORO, Möhlin: *Modultec - Modultechnologie für Leichtmobile*. ENET 9554961
- [16] M. HORLACHER, Möhlin: *Radnabenmotor*. (JB) ♦ *Kolibri*. (JB)
- [17] P. SCHOLL, Vernier: *Adaptation "Vélocité" pour handicapés physiques*. (JB) ♦ *Crash tests*. (SB) ♦ *Flottenversuch mit 10 Leichteletromobilen, ECO-TRACT*. (JB)
- [18] M. Piffaretti, PROTOSCAR, Rovio: *Grundlagen für die Inverkehrsetzung von Leichtmobilen*. (SB) / ENET 9401141 ♦ *Autotelaio in materiali compositi*. (JB)
- [19] M. Piffaretti, INFOVEL, Mendrisio: *Grossversuch mit Leicht-Elektro-Mobilen in Mendrisio und Partnergemeinden*. (JB)
- [20] M. Simon, POLYQUEST, Bern: *Bekanntheits- und Kaufwiderstandsanalyse*. (JB)
- [21] B. Ketterer, HELBLING MANAGEMENT, Dietikon: *Entwicklungsprojekte für Leichtmobile*. (SB)
- [22] R. Schnyder, TWIKE, Gelterkinden: *Leicht-Elektromobil Kleinstserienfertigung TWIKE*. (JB) ♦ *Information und Beratung TWIKE*. (JB)

- [23] J. Brusa, BRUSA ELEKTRONIK, Gams: *Reluktanzmotor als Direktantrieb im Elektrofahrzeug*. (JB) / ENET 9107530
- [24] U. ZAHN, Biel: *Stromverbrauchsmessungen an Elektro-Fahrzeugen*. (JB) ♦ *Gesamtschweizerisches Konzept eines LEM-Kundendienst*. (JB)
- [25] S. Schneider, JUD, Zürich: *Einsatz bimodaler Gütertransportsysteme*. (JB) / ENET 9401131
- [26] A. Schmid, VSGB, Bern: *Zweirad-Entwicklung*. (SB) / ENET 9300520
- [27] J. P. Porchet, ECOSENS, Brüttisellen: *Energetische und gesamtökologische Beurteilung von Antriebssystemen*. (SB)
- [28] R. Kriesi, VERKEHRS-ZENTRUM, Zürich: *Ökologisches Fahren im Realbildsimulator*. (JB)
- [29] H. Mutter, SULZER, Winterthur: *Erdgas-Tanksäule (NGV-Dispenser)*. (JB) / ENET 9107300
- [30] L. Griesser, EWI, Zürich: *Verbesserung der Wirkung von Katalysatoren*. (JB)
- [31] C. Balet, CENTRE D'INNOVATION, Sion: *Container intelligent appliqué au gaz naturel*. (JB)
- [32] M. Signer, IVECO, Arbon: *Treibstoffe für emissionsarme Fahrzeuge*. (JB)
- [33] M. Nussbaumer, UNITRON ELECTRONICS, Oensingen: *Antriebselektronik für Leichtelektromobile*. (JB)
- [34] K. Ambühl, SOLTAXI, Solothurn: *Elektrotaxi (SOLTAXI)*. (JB)
- [35] R. Cavegn, TCS, Zürich: *Informationsprojekt Schlanke Mobilität*. (JB)
- [36] S. Maciocia, ASMO, Basel: *Elektro-Roller KOLIBRI*. (JB)
- [37] A. Eggenberger, HY-BI, St. Gallen: *Hybrid-Elektromotorfahrrad HyBike*. (JB)
- [38] A. SCHMIDHAUSER, Neukirch: *Integrale Fahrzeugelektronik für Elektromotorfahrzeuge*. (JB)
- [39] F. KOCH, Ottawa: *Internationale Zusammenarbeit Leichtelektromobile*. (JB)
- [40] M. Eisenring, STROMBOLI, Niederuzwil: *Mechanische Komponenten für Leichtbau-Fahrzeuge*. (JB) ♦ *Stromboli*. (JB)
- [41] J.P. Genoud, SERVICE CANTONAL DE L' ÉNERGIE, Genève: *Mise à disposition du public de véhicules électriques*.
- [42] M. HOLLINGER, Bern: *Nachladesystem für Batterien / Park & Charge*. (JB)
- [43] A. BRUNNER, Winterthur: *Sicherheitsverbesserungen an Leichtmobilen*. (JB)
- [44] T. Huber, ADEV, Bern: *Solartankstelle für Leicht-Elektromobile*. (JB)
- [45] F. Kuonen, ADM. COMMUNALE, Monthey: *Véhicule individuel public VIP, étude de faisabilité*. (JB)
- [46] D. NOTZ, Münchenstein: *Citylogistik: Öko-Cargo-Volta*. (JB)
- [47] R. Anner, TELEFRACHT, Zürich: *Nationale Frachten- und Laderaumbörse*. (JB)

(JB) Jahresbericht 1995 vorhanden

(SB) Schlussbericht vorhanden

# FEUERUNG UND VERBRENNUNG

**Überblicksbericht**  
Forschungsprogramm 1995

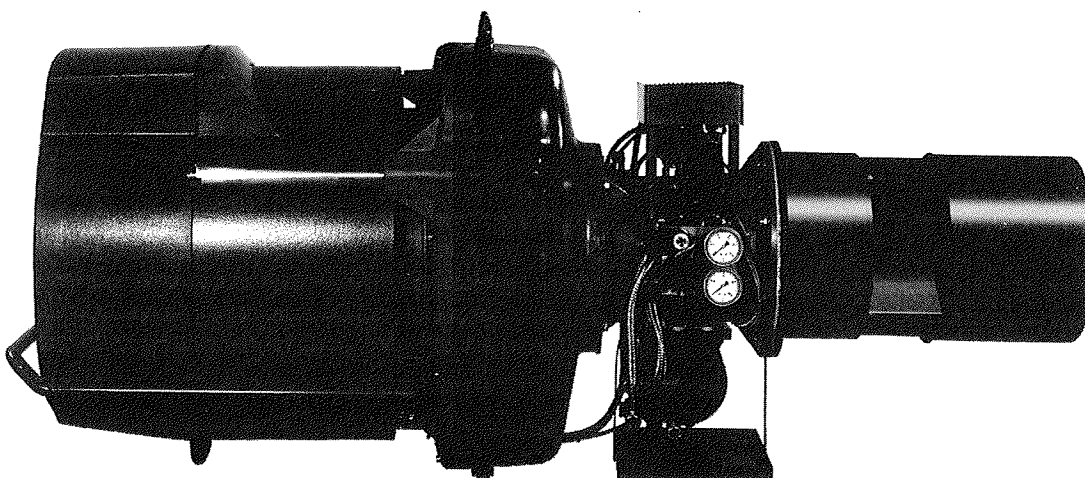
**Alphons Hintermann**

BEW, 3003 Bern

☎ 031/322 56 54 – Fax: 031/382 44 03

E-mail: hintermann@bew.admin.ch

---



## **Moderne Methoden in der Brennerentwicklung**

Die numerische Simulation – als neues Instrument in der Brennerentwicklung – hat ihre Bewährungsprobe bestanden! Durch ihren gezielten Einsatz konnte die Entwicklungszeit dieser OERTLI NOVOBLOC-Brenner-Kessel-Kombination (Leistungsbereich  $> 1$  MW) wesentlich verkürzt werden.

## 1. Programmübersicht und anvisierte Ziele für 1995

Seit einigen Jahren stehen in Sachen Verbrennungsforschung den Hochschulen, den HTL's und der Privatwirtschaft vier Hochschulgruppen als *Know how*-Zentren, kompetente Berater sowie Ansprech- und Zusammenarbeitspartner zur Verfügung. Ihre Experten befassen sich nicht nur mit numerischen Modellen zur Simulation von Verbrennungsvorgängen, sondern auch mit der Verifikationen spezifischer Aussagen aus der Modellierung durch Experimente. Mit modernen Laser-Messtechniken erarbeiten sie neue Perspektiven in der experimentellen Charakterisierung von Verbrennungsabläufen, die ihnen erlauben, die Gültigkeit von Modellansätzen zu überprüfen.

Am Laboratorium für Energiesysteme (LES) der ETH-Zürich werden die Grundlagen für die Entwicklung effizienter und trotzdem schadstoffarmer Verbrennungssysteme erarbeitet. Die numerische Simulation von stationären Verbrennungsvorgängen, das experimentelle Ausmessen von einfachen Flammen zwecks Validierung der Modelle und dem besseren Verständnis der  $\text{NO}_x$ - und Russpartikelbildung sowie die Zusammenarbeit mit der Privatwirtschaft stehen dabei im Vordergrund.

Wissenschaftliche Grundlagen der motorischen Verbrennung stehen am ETH-Laboratorium für Verbrennungsmotoren und Verbrennungstechnik (LVV) im Vordergrund. Die LVV-Forschungsschwerpunkte liegen in der Mehrphasendiffusionsverbrennung (Dieselsprays, Einspritzsysteme), den turbulenten Vormischflammen (Otto-, Gasmotor, Gasturbinen) und der  $\text{NO}_x$ - und Russpartikelreduktion in instationären Verbrennungssystemen (Berechnung, Bildungsmechanismen und Nachweis). Unkonventionelle Lasermesstechniken wie auch rechnergestützte Simulation werden zum vertieften Verständnis der turbulenten Verbrennung, der Russpartikel- und Schadstoffbildungsmechanismen eingesetzt.

Am Institut für Verfahrens- und Kältetechnik (IVUK) der ETHZ werden spezifische Probleme für zirkulierende Wirbelschichtverbrennung [15, 16] sowie von stationären Grossdieselmotoren [14] in direktem Kontakt mit Industriepartnern wissenschaftlich untersucht.

Als weiteres Kompetenzzentrum befasst sich das PSI mit den Gruppen Verbrennungsdiagnostik und Reaktionsanalysen mit Grundlagen und neuen Methoden von Laser-Messverfahren. Zwei weitere PSI-Gruppen befassen sich mit der Chemie der Verbrennung sowie der Abgasnachbehandlung. Neben den engen Kontakten zu den obgenannten Instituten der ETHZ werden auch Problemstellungen wie "Magere Vormischverbrennung" (am ABB-Forschungszentrum, Dättwil) und "NO-Bildung in Brennern" (bei YGNIS) aus der Privatwirtschaft bearbeitet.

Die Beherrschung der gängigsten Techniken und numerischen Modelle, das Ausloten deren Grenzen sowie das Entwickeln neuer Messmethoden ist ein absolutes Muss, um weiterhin international anerkannte Leistungen zu erbringen und in ausgewählten Programmschwerpunkten an vorderster Front mitzukämpfen. Erklärtes Programmziel 1996-1999 ist es, diese Fachkompetenz zu erhalten und diese weiterhin konsequent in der Privatwirtschaft umzusetzen.

Die konkreten Ziele für 1995, d. h. die Gründung eines Schweizerischen Nationalkomitees für Verbrennungsforschung, die Fertigstellung der Hochdrucktemperaturzelle als neuen Labor-Versuchsträger [11] und der verstärkte Industriebezug in den Projekten, wurden erreicht. So hat beispielsweise die numerische Simulation als Entwicklungswerkzeug für den Konstrukteur in einem NEFF-Projekt [21] ihre Feuerprobe mit Erfolg bestanden. Dank ihrem Einsatz konnte der OERTLI-NOVOBLOC-Brenner (*siehe Titelbild*) in knapp zwei Jahren und, im Vergleich mit traditionellen Entwicklungsmethoden, in wenigen Konstruktionsschritten von der Idee bis zum marktreifen Produkt im Berichtsjahr fertiggestellt werden. Das Ergebnis übertraf die Erwartungen, denn mit ihm ist nun eine in kompaktbauweise konzipierte Brenner-Kesseleinheit im Leistungsbereich  $> 1$  MW auf dem Markt, welche die heutigen LRV-Grenzwerte deutlich unterschreitet.

## 2. 1995 durchgeführte Arbeiten und erreichte Ergebnisse

### GRUNDLAGEN DER VERBRENNUNG

Im Projekt **Turbulenzparameter von Strömungen** [9] wird das Strömungsfeld im Verbrennungsmotor experimentell untersucht. Die hierzu durchgeführten, weltweit erstmaligen örtlich und zeitlich koinzidenten 3-D Laser-Doppler-

Anemometrie-Messungen [26] stiessen international auf grosse Beachtung. Weitere Schritte in Richtung Simulation von kompressiblen, chemisch reagierenden Strömungen sind in Bearbeitung [25]. Dabei konnte als erste Approximation von Tropfenverbrennung die reagierende Strömung um ein Partikel erfolgreich simuliert werden.

In enger Zusammenarbeit mit der Privatwirtschaft konzentriert sich die Forschung im Vorhaben **Katalytische Verbrennung** [17] auf die Kopplungsmechanismen der heterogenen und homogenen Reaktionen bei der katalytisch stabilisierten Verbrennung von Methan-Luft-Gemischen. Dazu wurde 1995 ein Versuchsstand aufgebaut, in Betrieb genommen und mit Unterstützung der PSI-Lasersektion ein 2-D Messverfahren zur qualitativen OH-Radikal-Bestimmung mittels Laser induzierter Fluoreszenz (LIF) entwickelt [27]. Damit konnte die Verteilung von OH-Radikalen in einer Hochdruckflamme bei Drücken bis 20 bar zweidimensional vermessen werden [18].

## LASER- UND ANDERE OPTISCHE MESSMETHODEN

Das Verhalten kurzlebiger Moleküle in Flammen wird mit verschiedenen Methoden im Projekt **Messungen von relativen und absoluten Konzentrationen instabiler Moleküle in Flammen mit laserspektroskopischen Methoden** [18] untersucht. Die Dichten von OH-Radikalen und  $S_2$  konnten absolut gemessen werden. Mit Laser-induzierter Fluoreszenz gelang es, die Verteilung von OH-Radikalen in einer Hochdruckflamme zweidimensional zu vermessen. Für den Nachweis von  $S_2$  wurde ein *Degenerate-Four-Wave-Mixing* (DFWM)-Verfahren entwickelt, das mit Absorptionsmessungen in OH und dem Vergleich der DFWM-Signale beider Moleküle geeicht werden konnte [34]. Zudem konnte mit abstimmbaren Lichtpulsen unter einer Picosekunde (psec) Dauer die Stossrelaxation von angeregten OH-Radikalen in einer Flammenumgebung direkt gemessen werden. Zum Verständnis der komplexen chemischen Reaktionen während der Verbrennung sind auch Mess- und Nachweismethoden um die Konzentration von instabilen Zwischenprodukten direkt in der Flamme notwendig, um so den Nachweis von Fragmenten sowie Bindungsenergien kurzlebiger Fragmente zu erbringen. Dazu werden neue Messmethoden mit hoher zeitlicher Auflösung im psec-Bereich entwickelt, die in Kombination mit dem PSI-Molekularstrahl mit Massenspektrometer zum Einsatz kommen. Die Messdaten können dann direkt als Parameter in der Modellierung der Verbrennungschemie verwendet, respektive für die quantitative Auswertung von Verbrennungsmodellen bereitgestellt werden [28].

Mit resonanter holographischer Interferometrie soll im Projekt **Temperatur- und Turbulenzstrukturerfassung in Flammen** [19] die Verteilung der Temperatur und der Konzentration von Spezies wie NH und OH in Flammen gemessen werden. Die Interpretation der Daten aus zwei aufeinanderfolgenden Aufnahmen lieferte keine eindeutigen Informationen. Daher wird nun ein Zweifarben-Messsystem realisiert, das simultane Messungen ermöglicht.

Im Projekt **Schnell-Messverfahren in Flammen** [2] wurde ein mobiles System zur Messung von Strahlungsdaten einer Flamme erarbeitet. In kurzer Zeit können damit Karten von Temperaturverteilungen und anderen Kenngrößen erzeugt werden. Das Messsystem wird im Hinblick auf den industriellen Praxiseinsatz gezielt getestet und vervollständigt.

Im Vorhaben **Flammenstrahlung in Gasturbinen-Brennkammern** [3] sind die Versuchseinrichtungen am ABB-Hochdruckprüfstand DIVA aus dem NEFF-Projekt **Russbildung und Flammenstrahlung bei hohem Druck** [6] weiter ausgebaut worden. Die nun verschiebbare DIVA-Optiksonde erlaubt jetzt auch orts aufgelöste optische Russmessungen. Der wichtige Schritt der Modellierung der Strömung des verwendeten industriellen Doppelkegelbrenners konnte abgeschlossen werden und stellt die Grundlage für die anschliessende Simulation der Verbrennung und der Russbildung dar. Gute Übereinstimmung zwischen experimentellen Daten und Simulation wurden erzielt [29]. Die im Projekt entwickelte Absaugsonde zur Temperaturmessung weckte starkes Interesse bei der ABB.

Die Verminderung partikelförmiger Emissionen von Dieselmotoren ist Gegenstand der Projekte **Geometrische Partikeldetektion von Russteilchen** [10], **Flammenfront- und Schadstoffvisualisierung** [11] und **Methoden der digitalen Bildverarbeitung zur Ermittlung eines 2D-Geschwindigkeitsfeldes** [12]. Die in [10] entwickelte Methode zur simultanen Messung von Grösse und komplexem Brechungsindex konnte an Partikeln bekannter Geometrie sowie Brechungsindex ( $TiO_2$ ) erfolgreich getestet und an Russteilchen in einer Diffusionsflamme [23] in Abhängigkeit von verschiedenen Stöchiometrien angewandt werden. Zur parallelen Abstützung der Experimente wurde ein Russpartikelentstehungsmodell in Diffusionsflammen entwickelt und auf die Laborflamme adaptiert. Im Projekt [11] konnte am LVV die Hochtemperatur- und Hochdruckzelle vollständig in Betrieb genommen und erste Phasen Doppler Anemometrie-Messungen an Diesel-Einspritzstrahlen [24] am 21. CIMAC-Kongress in Interlaken vorgestellt werden. Der numerische Teil dieses Projekts fokussierte sich auf die Berechnung von intermittierenden Diesel-Brennstoffeinspritzungen. Planare Lasermessmethoden ermöglichen simultane 2D-Messungen von Geschwindig-

keitsfeldern. Um diese effizient darzustellen und auszuwerten, steht die digitale Bildverarbeitung dieser Informationen im Projekt [12] im Vordergrund. Sie soll integraler Bestandteil eines Messsystems werden. Grundlegende Erkenntnisse und Erfahrungen bezüglich der wichtigsten Systemkomponenten konnten gewonnen werden.

Das Verständnis der Wärmetransportvorgänge in Motoren ist für die Industrie von grossem Interesse. Im NEFF-Projekt **Gesetzmässigkeiten des wandnahen Wärmeübergangs in instationären Verbrennungssystemen** [13] wurde ein neues optisches Verfahren zur Messung von 3D-Temperaturfeldern mittels heterodyner holografischer Interferometrie entwickelt. Auf theoretischer Seite konnte in Zusammenarbeit mit der Universität Warschau die Simulation einer variablen Russchicht auf der Brennraumwand eines Dieselmotors unter Berücksichtigung neuester Theorien der Russbildung und des Russpartikeltransports zur Brennraumwand hin erstmals durchgeführt werden [30].

## NUMERISCHE SIMULATION VON VERBRENNUNGSVORGÄNGEN

Die numerische Simulation ist in der Verbrennungsforschung unumgänglich. Deshalb wird nach ersten Erfolgen [1, 21] weiterhin an einem praxistauglichen Simulationspaket für den Brennerkonstrukteur gearbeitet.

Im Projekt **Modellierung der NO-Bildung in Flammen** [4] wurden die Wechselwirkung zwischen turbulentem Strömungsfeld und den Verbrennungsreaktionen in Flammen modelliert sowie mit einem NO-Bildungsmodell die experimentellen Trends qualitativ richtig berechnet. Es konnte gezeigt werden, dass mit einem schnellen Abbau der Radikale die NO-Bildung abgeschwächt werden kann. Für technische Anwendungen ist die Kenntnis der Stabilität einer turbulenten Flamme ebenso wichtig wie die Frage: *Unter welchen Bedingungen erlischt eine turbulente Flamme?* In Zusammenarbeit mit einer Brennerfirma und der Universität Stuttgart wurde in den Vorhaben **Physikalisch-numerisches Verbrennungsmodell für turbulente Diffusionsflammen** [22] und **Numerische Simulation der Flammenstabilität bei realen Ölbrennern** [5] dieses Thema untersucht und Modellaussagen [32] mit Messdaten an einem realen Brenner konfrontiert.

Im NEFF-Projekt **Basiswissen für Low-NO-Brenner und -Brennkammern** erarbeitete das LES gemeinsam mit verschiedenen Brenner- und Kesselfirmen Grundlagen einer möglichst schadstoffarmen Verbrennung fossiler Brennstoffe, die in der nächsten Generation von Brennern zum Einsatz kommen sollen. Für weitere Untersuchungen im Projektteil **Ölspray** [7] wurden zur Untersuchung der Verdampfungsraten von Brennstoffen unter blaubrennertypischen Bedingungen ein Prüfstand aufgebaut und erste Messungen und Modellierungen vorgenommen. Im Projektteil **Umwelteinflüsse** [8] konnte experimentell bewiesen werden, dass die Umgebungsbedingungen (Lufttemperatur, -druck und -feuchtigkeit) hauptsächlich die thermische Stickoxidbildung in Kleinfeuerungen beeinflusst. Das subtile Zusammenspiel von Umwelteinflüssen, Brennstoffqualität, Betriebszustand und Brennertyp (Gelb- oder Blaubrenner) wurde als Dissertation [33] eingereicht.

## SCHADSTOFFREDUKTION UND SCHADSTOFFASPEKTE

Die im Vorgängerprojekt **Reduzierung von Stickoxiden in Abgasen** erarbeiteten Grundlagen [35] werden im Vorhaben **NO<sub>x</sub>-Reduktion mit Harnstoff-SCR** [20] für den mobilen Einsatz (LKW) ausgedehnt. Entscheidend ist dabei die Verringerung des erforderlichen Katalysatorvolumens. In enger Zusammenarbeit mit der Privatwirtschaft wird daher die Entwicklung aktiver SCR- und SCO-Katalysatoren mit hoher Priorität vorangetrieben.

Das Grundlagenwissen [35, 20] fliesst auch ins Projekt **Stickoxidminderung bei stationären Dieselmotoren** [14] ein. Ein kinetisches Modell zur Ermittlung der NO<sub>x</sub>-Bildung im Zylinder des Dieselmotors konnte mit Messungen validiert werden. Mit dem Motorumbau auf den Millerprozess konnten in Übereinstimmung mit den Modellrechnungen NO<sub>x</sub>-Senkungen um ca. 20% realisiert werden. Für die Netzersatzanlage der ETH-Zürich steht nun auch eine online-Ammoniakanalyse-Einheit zur Verfügung. Damit können die Auswirkungen sekundärer Entstickungsmassnahmen wie Schlupf über dem Katalysator und Konzentrationsprofile im Strömungsquerschnitt gemessen werden.



### 3. Nationale und internationale Zusammenarbeit

Als schweizerisches Pilotzentrum für Verbrennungsforschung innerhalb der europäischen **ERCOTAC**-Vereinigung sind unsere Forscher aus Hochschulinstituten und Privatwirtschaft unter dem Namen **Leonhard Euler Research Center for Combustion** organisiert. Zur Förderung der Zusammenarbeit und des *Know-how*-Transfers fand am 30. März 1995 die dritte Jahrestagung statt. Diese, wie auch die von den einzelnen Kompetenzzentren Verbrennung, Messtechnik und *Computational Fluid Dynamik (CFD)* 1995 organisierten Fachseminare, haben bei den Industrievertretern guten Anklang gefunden.

Im Sinne einer optimalen Nutzung der tendentiell abnehmenden Ressourcen und maximalen Ausschöpfen von Synergien des vorhandenen Forscherpotentials und der zur Verfügung stehenden Geräte hat 1995 ein enger Schulterschluss zwischen den Aktivitäten des LVV und dem PSI stattgefunden. Die Forschungsaufgaben sind nun projektorientiert und es kann auf die Ressourcen von PSI und LVV zurückgegriffen werden. Mit zwei identischen Hochdrucktemperaturzellen, wovon die erste am LVV schon ausgetestet wurde und die zweite am PSI noch im Bau ist, ist ein gemeinsamer Versuchsträger geschaffen worden um spezifische Probleme aus der Privatwirtschaft unter Laborbedingungen zu untersuchen. Dadurch können Synergien nicht nur durch verschiedene, abteilungsübergreifende Projekte, sondern auch durch koordinierten Industriebezug genutzt werden.

Mit der Zielsetzung der Förderung der Verbrennungsforschung fand am 4. Juli 1995 die Gründungsversammlung der **Schweizerischen Vereinigung für Verbrennungsforschung (SVV)** statt. Die Gründungsmitglieder des Vereins sind die Firmen ABB Kraftwerke, ELCO LOOSER, OERTLI Wärmetechnik, das CSEM sowie die Institute LES und IVUK der ETH-Zürich. Gemäss Vereinsstatuten soll die SVV der Informationsverteilung in der Schweiz, der Kontaktförderung zwischen Mitgliedern und – nach aussen – der Organisation von nationalen und internationalen Tagungen und Seminaren sowie der Formulierung von Forschungsbedürfnissen zuhanden der öffentlichen Hand, industriellen Verbänden und Firmen dienen. Insbesondere vertritt die SVV nun seine Mitglieder als schweizerisches Nationalkomitee bei der *International Flame Research Foundation (IFRF)*.

Anlässlich ihres *Triannual Meetings* in Ijmuiden, NL, im Mai 1995 nahm die *IFRF* von der baldigen Gründung des schweizerischen Nationalkomitees Kenntnis und begrüßte im voraus die Schweiz als neues Vollmitglied. Unser Konferenzbeitrag *Influence on Boundary Conditions on the Performance of Flue Gas Recirculation Low NO<sub>x</sub> Burners*, welcher die Ergebnisse aus den Projekten [7, 8] zusammenfasste, stiess auf starke Beachtung. Ein weiterer internationaler Höhepunkt stellte im Mai der 21. CIMAC-Kongress in Interlaken dar [24].

Die im Berichtsjahr fast 200 Vollastbetriebsstunden des Hochdruckprüfstands DIVA wurden wiederum zu einem grossen Teil von der ABB belegt. Nach wie vor haben die andern Partner, ETHZ und PSI, einerseits zuwenig DIVA-relevante Projekte, andererseits können sie einen Teil der hochdruckrelevanten Forschungsfragen kostengünstiger an den Hochtemperaturdruckzellen beantworten.

Das 17. *Task-Leaders Meeting* im Rahmen des IEA-Programms *Energy Conservation and Emissions Reduction in Combustion* [36] fand am 18.-20. September 1995 in Liège statt. Mit 54 Teilnehmern und 35 Vorträgen, wovon 5 aus der Schweiz, wurde die Veranstaltung - dank starker Beteiligung des Gastgeberlandes - im Vergleich zu früheren Jahren besser besucht.

### 4. Umsetzung der Ergebnisse und P&D-Projekte

Die Umsetzung erfolgt einerseits über die etablierten Kanäle der Jahres- und Schlussberichte via BEW/ENET, ETHZ- und PSI-interne Berichte sowie Veröffentlichungen in Fachzeitschriften [23-36]. Nicht zu vernachlässigen sind ausserdem die Fachtagungen und Symposien im nationalen und internationalen Rahmen, die neben dem Ausloten des aktuellen Wissensstands stets auch Gelegenheit zum wichtigen persönlichen Erfahrungsaustausch bieten.

Unter dem Motto **Abstimmung der Forschungsbedürfnisse zwischen Privatwirtschaft und Hochschule** fand am 25. August 1995 das mit über 70 Teilnehmern gut besuchte Seminar der Schweizerischen Interessensgemeinschaft für Feuerungsforschung SIFF statt. Die anwesenden Industrievertreter haben sich positiv zur Zusammenarbeit mit

den Hochschulen geäußert. Sie wollten sich aber nicht auf feste Regeln, insbesondere bei mehreren Partner aus der Industrie, festlegen. Solche sollen dem Projekt angepasst definiert werden.

Die SIFF-Arbeitsgruppe **Abgasanalytik** hat sich zu den Themen "BUWAL-Konzept der überarbeiteten Emissionsmessempfehlungen" und "Messgasaufbereitungen" geäußert. Die Aktivitäten der früheren SIFF-Arbeitsgruppen **Feuerungssimulationsmethoden** und **Laser-Messverfahren** sind durch Meetings der Kompetenzzentren des obgenannten *ERCOTAC Leonhard Euler Centers* abgelöst worden.

Ziel des P&D-Projekts Thermische Verwertung von Abfällen durch Wirbelschichtverbrennung unter Berücksichtigung des Einflusses der Aufgabe- und Bettkörnung [15, 16] ist, Einflussfaktoren auf die thermische Verwertung von Abfällen in Wirbelschichtfeuerungen an der 2 MW-Pilotanlage des industriellen Partners aufzuzeigen. Im Berichtsjahr konnten die Inbetriebsetzung der Anlage sowie alle vier geplanten Messkampagnen mit Abfallbrennstoffen und die Vergleichsmessung zur kalten Versuchsanlage des IVUK durchgeführt werden.

## 5. Bewertung 1995 und Ausblick 1996

Die Kontinuität und internationale Qualität der Forschung konnte gewährleistet werden. Unsere Forschungsergebnisse wurden 1995 an verschiedenen wichtigen internationalen Konferenzen der Kritik der Fachwelt vorgestellt und haben positives Echo ausgelöst.

Betreffend der Umsetzung von Forschungsergebnissen in die Praxis ist trotz erfreulichen Fortschritten noch viel Überzeugungsarbeit zu leisten. Der *Payback*-Horizont von Forschungsinvestitionen in Zusammenarbeit mit den Hochschulen ist für viele Unternehmen noch zu unklar, um in grössere Vorhaben zu investieren. Teilweise wird ein verstärktes Engagement seitens der öffentlichen Hand gefordert. In diesem Falle zeichnet sich aber ganz klar ab, dass bei Zusammenarbeitsprojekten Hochschule - Privatwirtschaft eine straff geplante und in Etappen gegliederte Projektstruktur bessere Erfolgchancen hat. Dazu gehören neben klaren Aufgabenteilungen unter den Partnern auch Erfolgskontrollen der Etappenziele. Für die Planungsphase ist daher genügend Zeit einzusetzen. In diesem Sinne haben sich 1995 zwei Folgeprojekte aus dem abgebrochenen CVC-Projekt herauskristallisiert, die im kommenden Jahr gemeinsam von ABB, dem LES, LVV und dem PSI etappenweise bearbeitet werden.

Zwei internationale Ereignisse werden 1996 in der Schweiz stattfinden. Die Initiative des LES, eine erste europäische Kleinbrennerkonferenz zu organisieren, ist im EU-Raum auf positives Echo gestossen. Sie wird am 25./26. September 1996 in Zürich durchgeführt. Dass sie einem Bedürfnis entspricht, zeigen die über 70 eingereichten Konferenzbeiträge, die bereits Ende 1995 vorlagen. Positiv zu bewerten ist auch, dass auf Anfrage der Deutschen Vereinigung für Verbrennungsforschung, deren Jahrestagung am 27. September 1996 zusammen mit derjenigen der neugegründeten SVV in Zürich stattfinden kann. Sicher können dabei neue Kontakte mit unseren Nachbarn geknüpft werden, die vor allem für künftige EU-Projekte von Nutzen sein können.

## 6. Liste der Projekte

- [1] J. Gass, H. Dreher, M. Ochs, O. Schuler, LES / ETH-Zürich: *Basiswissen für Low-NO<sub>x</sub>-Brenner und -Brennkammern*. (NEFF-SB)
- [2] J. Gass, P. Stuber, Ch. Mikšovic, LES / ETH-Zürich: *Schnell-Messverfahren in Flammen*. (JB)
- [3] J. Gass, S. Martens, A. Martin, C. Müller, R. Schulz, B. Spiess, LES / ETH-Zürich: *Flammenstrahlung in Gasturbinen-Brennkammern*. (JB)
- [4] J. Gass, M. Flury, M. Schlatter, LES / ETH-Zürich: *Modellierung der NO-Bildung in Flammen*. (JB)
- [5] J. Gass, LES / ETH-Zürich: *Numerische Simulation der Flammenstabilität bei realen Ölbrennern*. (JB)
- [6] J. Gass, S. Martens, B. Spiess, R. Schulz, LES / ETH-Zürich: *Russbildung und Flammenstrahlung bei hohem Druck*. (NEFF-JB)
- [7] J. Gass, M. Ochs, LES / ETH-Zürich: *Basiswissen für Low NO<sub>x</sub>-Brenner und -Brennkammern, Projektteil Ölspray*. (NEFF-JB)

- [8] J. Gass, O. Schuler, LES / ETH-Zürich: *Basiswissen für Low NO<sub>x</sub>-Brenner und -Brennkammern, Projektteil. Umgebungseinflüsse.* (NEFF-JB)
- [9] K. Boulouchos, P. Dimopoulos, LVV / ETH-Zürich: *Turbulenzparameter von Strömungen.* (SB)
- [10] B. Ineichen, B. Mandel, LVV / ETH-Zürich: *Geometrische Partikeldetektion von Russteilchen.* (SB)
- [11] K. Boulouchos, LVV / ETH-Zürich: *Flammenfront- und Schadstoffvisualisierung.* (JB)
- [12] B. Ineichen, LVV / ETH-Zürich: *Methoden der digitalen Bildverarbeitung zur Ermittlung eines 2D-Geschwindigkeitsfeldes.* (JB)
- [13] B. Ineichen, R. Müller, LVV / ETH-Zürich: *Gesetzmässigkeiten des wandnahen Wärmeübergangs in instationären Verbrennungssystemen.* (NEFF-JB)
- [14] G. Weisser, LVV, F. Bettoni, IVUK / ETH-Zürich: *Stickoxidemissionsminderung bei stationären Dieselmotoren.* (JB)
- [15] L. Reh, IVUK / ETH-Zürich: *Thermische Verwertung von Abfällen durch Wirbelschichtverbrennung unter Berücksichtigung des Einflusses der Aufgabe- und Bettkörnung.* (JB)
- [16] Y. Caloz, L. Reh, IVUK / ETH-Zürich: *Messung von Scale-up Parametern energieeffizienter und umweltfreundlicher zirkulierenden Wirbelschichtanlagen.* (JB)
- [17] P. Benz et al., PSI-Villigen: *Katalytische Verbrennung.* (JB)
- [18] W. Hubschmid, T. Gerber, PSI-Villigen: *Messungen von relativen und absoluten Konzentrationen instabiler Moleküle in Flammen mit laserspektroskopischen Methoden.* (JB)
- [19] T. Gerber, A. Tsannis, PSI-Villigen: *Temperatur- und Turbulenzstrukturerfassung in Flammen.* (JB)
- [20] M. Koebel, PSI-Villigen: *NO<sub>x</sub>-Reduktion mit Harnstoff-SCR.* (JB)
- [21] F. Jellinghaus, OERTLI, Schwerzenbach: *Entwicklung eines schadstoffarmen Monoblockbrenners.* (NEFF-SB)
- [22] T. Fey, ELCO, Vilters: *Physikalisch-numerisches Verbrennungsmodell für turbulente Diffusionsflammen.* (SB)

(JB) Jahresbericht 1995 vorhanden  
 (SB) Schlussbericht vorhanden

## 7. Referenzen

- [23] B. Mandel, B. Ineichen, LVV / ETH-Zürich: *Investigation of Soot Particle Growth in a Diffusion Flame Considering the Temperature Dependent Optical Constant of the Particle*, Proc. SAE Conf., Detroit, 1995.
- [24] F. X. Tanner, LVV / ETH-Zürich: *Numerical Simulation of Diesel Sprays and Diesel Combustion: A Case Study*, CRFD- and Laserdiagnostic Workshop, Proc. 21<sup>st</sup> CIMAC Congress, Interlaken, 1995.
- [25] G. Valentino, P. Dimopoulos, K. Boulouchos, LVV / ETH-Zürich: *Appropriate Cut-Off Frequencies for Cycle Resolved Turbulence Parameters in Engines*, submitted for the 26<sup>th</sup> international Symp. on Combustion, 1996.
- [26] P. Dimopoulos, K. Boulouchos, LVV / ETH-Zürich: *Reynold Stress Components in the Flow Field of a Motored Reciprocating Engine*, Proc. SAE-Conference, Detroit, 1995.
- [27] A. Schlegel, P. Benz, H. Bockhorn, T. Griffin, W. Weisenstein, PSI-Villigen: *Katalytisch stabilisierte magerre Vormischberbrennung: Eine Methode zur Verringerung der NO<sub>x</sub>-Emissionen*, VDI-Berichte, 1995.
- [28] A. Stampanoni-Panariello, B. Hemmerling, W. Hubschmid, PSI-Villigen: *Electrostrictive Generation of Non-Resonant Gratings in the Gas Phase by Multi-Mode Lasers*. Phys. Rev. A51, 655, 1995.
- [29] B. Spiess, J. Gass, S. Martens, R. Schulz, P. Stuber, B. Hemmerling, LES / ETH-Zürich: *Russ- und Strahlungsmessungen an einem Gasturbinenbrenner*, VDI-Bericht, 17. Deutschen Flammentag, Hamburg 1995.
- [30] A. Wolff, R. Müller, K. Boulouchos, LVV / ETH-Zürich: *A Computational Investigation of Unsteady Heat Flux Through an I. C. Engine Cylinder Wall Including Soot Layer Dynamics*, to be published 1996
- [31] M. Ochs, J. Gass, LES / ETH-Zürich: *Ölzerstäubung in Low NO<sub>x</sub>-Brennern*, Heizung, Lüftung/Klima, Haustechnik, Bd. 46 (1995), Nr. 6.

- [32] J. C. Ferreira, J. Gass, P. Suter, LES / ETH-Zürich: *Numerical Simulation of a Furnace and analysis of three turbulent combustion models*, 3<sup>rd</sup> European Conf. on industrial Furnaces and Boilers, Lisbon, 1995.
- [33] O. Schuler, LES / ETH-Zürich: *Einfluss von Temperatur, Feuchte und Druck der Verbrennungsluft auf die NO<sub>x</sub>-Emissionen von Kleinfeuerungen*, Diss. ETH Nr. 11431 (1995).
- [34] B. Mischler, PSI-Villigen: *Lineare und nichtlineare optische Diagnostik in einer Flammenfront und in schwefelhaltigen Verbrennungen* Diss. UNI-Freiburg Nr. 1117 (1996).
- [35] M. Koebel, M. Elsener, PSI-Villigen: *Determination of Urea and its Thermal Decomposition Products by High-Performance Liquid Chromatography*. J. Chromatogr. A, 689, 1995.
- [36] *XVII Task-Leaders-Meeting, Proc. IEA-Conf. Liège*, 1995.

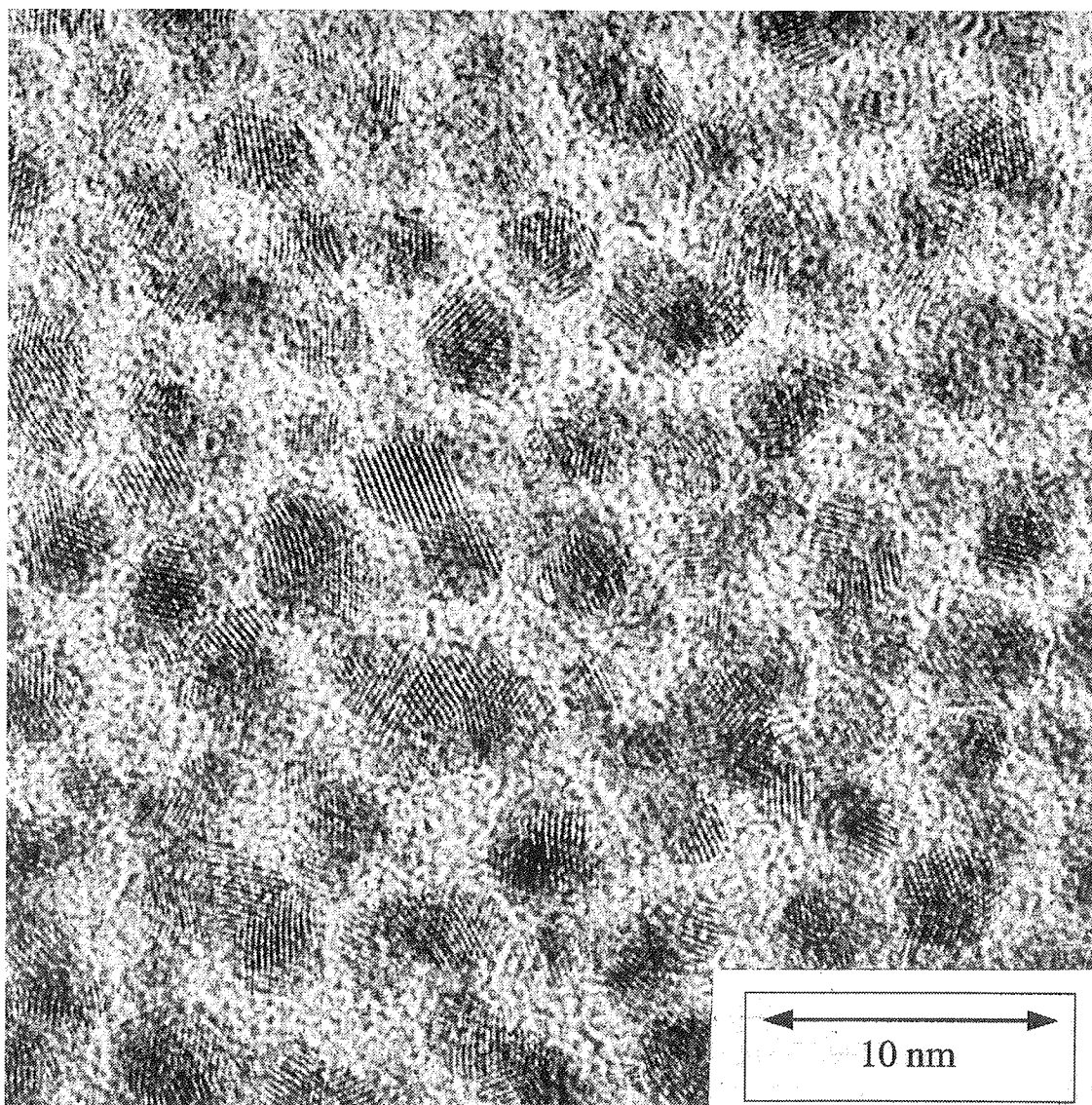
# SOLARCHEMIE / WASSERSTOFF

**Überblicksbericht**  
zum Forschungsprogramm 1995

**Armin Reller**

Stadelhofenstr. 40, 8001 Zürich  
☎ 01/260 33 77 – Fax: 01/251 45 49  
E-mail: [reller@chemie.d400.de](mailto:reller@chemie.d400.de)

---



## Neue Materialien eröffnen neue Möglichkeiten in der Energieforschung

In amorphem Kohlenstoff dispergierte nanokristalline Metallteilchen absorbieren in einem Solarkollektor *ABSORBER 2000* in dünnen Schichten äusserst effizient und selektiv solare Strahlungsenergie. Das Bild zeigt eine Hochauflösungs-Durchstrahlungs-Elektronenmikroskopie einer Gold-Kohlenstoffschicht.

## 1. Programmübersicht und anvisierte Zielpunkte

Das Programm "Solarchemie/Wasserstoff" umfasst Forschungs- und Entwicklungsarbeiten, deren Zielsetzung darin besteht, mittels physikalischer, thermo-, photo- und photoelektrochemischer Prozesse und entsprechender Verfahrenstechniken Strahlungsenergie unterschiedlicher Konzentration (sowie anderweitige regenerative Energiequellen) möglichst effizient und ökologisch verantwortbar in nutzbare Prozesswärme, chemische Energieträger, insbesondere Wasserstoff, oder auch elektrisches Potential umzuwandeln. Darüberhinaus werden neuartige Prozesse erforscht und entwickelt, in denen die genannten Energiepotentiale eingesetzt werden, um fossile Energieträger zu substituieren sowie Kohlendioxid chemisch zu reduzieren. Auch hier spielt neben Elektro- vor allem Wasserstoffchemie eine hervorragende Rolle. Insgesamt wird im Programm "Solarchemie/Wasserstoff" versucht, dem Zusammenhang zwischen Energietechnologie und damit intrinsisch verknüpften Stoffumwandlungen angemessen Rechnung zu tragen. Dies bedeutet auch, dass die Material- und Werkstoffwissenschaften mit all ihren realisierten und potentiellen Anwendungen in den Projekten eine bedeutende Rolle spielen.

Ein wichtiges Ziel dieses Programms besteht darin, Grundlagenwissenschaften, Angewandte Wissenschaften und Technische Realisierung sinnvoll und angemessen zu koordinieren, um so die eingesetzten Mittel möglichst effizient umsetzen zu können. Dieser Ansatz wird es in Zukunft vermehrt notwendig machen, Projektteams aus Hochschulen und Industrie zusammenzustellen, die in vorgegebenen Zeiträumen zielgerichtete Arbeiten ausführen. Darüberhinaus ist die Einbettung der Projektarbeiten in internationale Aktivitäten unabdingbar.

Zusammenfassend lässt sich das Programm "Solarchemie/Wasserstoff" mit den Eckpfeilern *Regenerative Prozesswärmeerzeugung*, *Technische Photosynthese*, *Wasserstofftechnologie* sowie *Energierrelevante Verfahrenstechnik und Materialwissenschaften* beschreiben, wobei sich die genannten Teilgebiete vielfach überlappen bzw. ergänzen.

Im Bereich der *Regenerativen Prozesswärmeerzeugung* wird die Absorption von Strahlungsenergie zur Erhitzung der Medien Luft und Wasser mittels derjenigen Absorbersysteme optimiert, die dem jeweiligen Temperaturbereich bzw. dem Konzentrationsgrad der Strahlung angepasst sind.

Die *solarthermochemischen Prozesse* befassen sich einerseits mit der Produktion von Wasserstoff aus der Spaltung von Wasser. Andererseits werden Methanol, Ethanol, Amine und weitere Grundchemikalien als Reduktionsprodukte von Kohlendioxid angestrebt. Die letztgenannten Verfahren haben zum Ziel, einerseits die in Abfall – d.h. in Biomasse oder synthetischen Materialien – gespeicherte Sonnenenergie mittels katalysierter Prozesse wieder in brauchbare Energieträger, andererseits das "Abfallprodukt" Kohlendioxid durch geeignete Reduktionsprozesse ebenfalls wieder in verwendbare Chemikalien umzuwandeln. Hier konzentrieren sich die Forschungs- und Entwicklungsarbeiten auf die katalytische Umwandlung von Kohlendioxid sowie die Erzeugung von Wasserstoff aus Abfall mittels Pyrolyse. Als vielversprechende neue Variante der Hochtemperatursolarchemie hat sich die thermochemische Reduktion von Metallerzen mit Wasserstoff oder aber Methan herausgestellt. Als Produkte können so die gediegenen Metalle und beim Einsatz von Methan als Reduktionsmittel direkt Synthesegase hergestellt werden.

Die *photo- und photoelektrochemischen Arbeiten* haben zum Ziel, mittels geeigneter Halbleiter-Systeme Wasser in Wasserstoff und Sauerstoff zu spalten. Die vorliegenden Untersuchungen sind für die Entwicklung neuartiger photovoltaischer Zellen von Bedeutung.

*Wasserstoff* stellt im gesamten Programm die eigentliche "Zielchemikalie" bzw. den "Ziel-Energieträger" dar. Den der Einführung der Wasserstofftechnologie entgegenstehenden technischen und ökonomischen Faktoren wird insofern Rechnung getragen, als Forschungs- und Entwicklungsarbeiten im Gebiet der Speicherung und der Nutzung von Wasserstoff durchgeführt werden. Bei der Speicherung stehen feste und quasi-flüssige Metallhydride, aber auch organische Materialien, im Zentrum des Interesses. Neben dem Einsatz im Verbrennungsmotor – ein Testmotor wurde im Berichtsjahr optimiert – wird nach technischen Prozessen Ausschau gehalten, in denen Wasserstoff als Reduktionsmittel, d.h. als Substitut für konventionell bzw. mittels fossiler oder nuklearer Energiequellen erzeugte Reduktionsmittel, eingesetzt werden kann. Derartige Nischenanwendungen sind von grosser Bedeutung für eine beschleunigte Promotion der Wasserstofftechnologie.

## 2. Durchgeführte Arbeiten und erreichte Ergebnisse

Im Berichtsjahr 1995 wurden seitens des BEW – koordiniert mit anderweitigen Aktivitäten – die folgenden, thematisch gegliederten Projekte ausgeführt:

### ERARBEITUNG GRUNDLAGENWISSENSCHAFTLICHER ZUSAMMENHÄNGE

Um in effizienter Weise Strahlungsenergie zu absorbieren und bestenfalls in Form von chemischen Energieträgern zu speichern, sind einerseits grundlagenwissenschaftliche Arbeiten betreffend der Wechselwirkungen zwischen Strahlung und Materie auf mikroskopischer und makroskopischer Ebene notwendig. Andererseits müssen die bei den eingesetzten chemischen Prozessen auftretenden stofflichen Veränderungen möglichst umfassend charakterisiert werden. Diese Befunde stellen gleichsam das Fundament für die kontrollierte Prozessführung dar.

Für den erfolgreichen Betrieb von konzentrierenden Solaranlagen, wie sie z.B. am PSI in Villigen zur Verfügung stehen, sind Messungen der Verteilung der Emissivität, Temperatur und Beleuchtungsstärke entscheidende Voraussetzungen für eine effiziente Absorption und Umwandlung der Strahlung. Es wurde gezeigt [1], dass **bestrahlte Festkörperoberflächen** sowohl hohen Bestrahlungsstärken im Bereich von  $\sim 500 \text{ W/cm}^2$  als auch extremen Gradienten der Bestrahlungsstärke von  $\sim 50 \text{ W/cm}^2/\text{cm}$  ausgesetzt sind. Daraus resultieren hohe Temperaturen bzw. Temperatur-gradienten an den Festkörperoberflächen. Die simultane Messung von Emissivität, Temperatur und Beleuchtungsstärke ausgewählter Oberflächen bzw. relevanter Materialien stellt messtechnisch grosse Anforderungen. Am PSI wird an der Realisation eines verlässlichen Messverfahren gearbeitet. Experimente am Sonnenofen ergaben folgende Befunde:

- Es wurde eine Validierung der Temperaturmessung vorgenommen.
- Im Sonnenofen wurden Messungen an Siliziumkarbidscheiben, sandgestrahlten Nickelrohren und an einem kleinen *Luftreceiver* vorgenommen.
- Je nach Bestrahlungsstärke konnten im Sonnenofen Temperaturen bzw. -verteilungen im Bereich von  $600^\circ\text{C}$  bis  $700^\circ\text{C}$  gemessen werden.
- Bei der Charakterisierung von Festkörperoberflächen mit geringer Reflektivität oder grossen Streuungen der Reflektivitäten ergeben sich Probleme der Datenerfassung mit dem gegenwärtig verfügbaren System.
- Aufgrund der nun vorliegenden Erfahrungen (Labor und Sonnenofen) kann damit gerechnet werden, dass eine zuverlässige Temperaturbestimmung von bestrahlten Oberflächen, aber auch von volumetrischen *Receivern* oder Pulverwolken mit dem gewählten System prinzipiell möglich und auch genügend exakt ist.

Es gilt, die folgende, grundlagenwissenschaftlich bedeutende, aber auch bezüglich des praktischen Anwendungspotentials entscheidende Frage zu beantworten: Ist ein direkter Effekt der Photonen auf Hochtemperaturprozesse nachzuweisen oder zu widerlegen? Die vorliegenden Resultate lassen darauf schliessen, dass eine eindeutige Beantwortung nach der Optimierung der genannten Messmethoden möglich sein sollte. Dies ist nicht nur für die Sonnenenergieforschung, sondern ganz allgemein für das Verständnis thermo- und photochemischer Reaktionen von Bedeutung.

Im Zusammenhang mit den genannten Arbeiten betreffend Strahlungsenergie-Materie-Wechselwirkungen ist die absolute Bestimmung des chemischen Potentials angeregter Moleküle komplementär und unabdingbar. Sie kann aus **Lumineszenzmessungen** erfolgen [2]. Aufgrund thermodynamischer Überlegungen ist bekannt, dass Systeme, welche Strahlungsenergie direkt in chemische oder elektrische Energie umwandeln, notwendigerweise lumineszieren. Das chemische Potential eines angeregten Zustands eines bestimmten Systems ist somit ein Mass für die treibende Kraft einer photochemischen Reaktion. Da die messbare Lumineszenz vom elektrischen bzw. chemischen Potential der angeregten Zustände abhängt, ist sie ein Mass für das Energiespeichervermögen des untersuchten Quantensystems.

Die wichtigsten Ergebnisse, die in diesem Projekt erreicht wurden, lassen sich wie folgt zusammenfassen:

- Die Messung und Interpretation von Lumineszenzquantenausbeuten von Zink- und Titanoxid zeigt, dass angeregte Zustände dieser Halbleiter auch bei hohen Temperaturen ein erhebliches chemisches Potential aufweisen. Dies deutet darauf hin, dass photochemische Reaktionen auch bei hohen Temperaturen möglich sind.

- An Zinkoxid konnte gezeigt werden, dass die Lebensdauer der photonischen Anregung im Bereich von 100 Pikosekunden liegt. Dies entspricht der Zeit, die für photochemische Reaktionen zur Verfügung steht.
- An Titandioxid liess sich nachweisen, dass die Photosynthese von Methan aus Kohlendioxid und Wasserdampf möglich ist, wenn auch mit sehr geringer Quantenausbeute.
- Es konnten Hinweise gefunden werden, dass die Reduktion von Zinkoxid mit Methan (siehe unten) durch photochemische Prozesse unterstützt wird.

Die bisher erreichten Resultate bilden die Grundlage der "Rezeptur" für chemische Systeme, die in Hochtemperatur-Photoreaktionen effizient eingesetzt werden können und so das Solarspektrum wesentlich besser ausnützen.

Für praktische Anwendungen, z.B. für Warmwasserkollektorsysteme (als primäres Einsatzgebiet der Kollektorsysteme ist die Warmwasseraufbereitung für Haustechnik und Industriebetriebe vorgesehen), ist die Absorption von Strahlungsenergie im Temperaturbereich zwischen 100 °C und 500 °C interessant. Im Rahmen des Verbundprojekts *Absorber 2000* wurde die plasmagestützte Abscheidung von optisch selektiven Schichten für die thermische Konversion von Solarenergie vorangetrieben [8]. Die Charakterisierung der für den technischen Einsatz relevanten Eigenschaften der erzeugten Schichten war dabei wichtiger Bestandteil der Projektarbeiten. Die Zielsetzung, ein im genannten Temperaturbereich optimal arbeitendes Direktabsorptionssystem zu entwickeln, konnte weitgehend erreicht werden. Zur Zeit werden aus Chrom/Chromoxid und metallhaltigem Kohlenstoff aufgebaute selektive Schichten mit plasmagestützten Methoden abgeschieden und bezüglich ihrer physikalischen Eigenschaften und ihrem chemischen Reaktionsverhalten geprüft (*siehe Titelbild*). Bei Chrom-haltigen Kohlenwasserstoff-Schichten wurden die optischen und elektronischen Eigenschaften in einem grossen Konzentrationsbereich charakterisiert. Der Einfluss von Depositionsparametern, Schichtaufbau und Oberflächen-beschaffenheit des Kollektorbleches auf die Degradation konnte weitgehend geklärt werden, sodass nun Industriepartner für die Produktion eines bezüglich Wirkungsgrad, Alterungsbeständigkeit und auch Preis optimalen Kollektors gesucht werden. Die Erkenntnisse betreffend optimaler Herstellung des Schichtaufbaus wurden patentrechtlich geschützt.

Da praktisch in allen Projekten Kenntnisse betreffend der chemischen und physikalischen **Eigenschaften der eingesetzten Materialien** von grosser Bedeutung sind, wurden im Berichtsjahr eine Vielzahl von entsprechenden Untersuchungen vorgenommen [5, 9]. Es kam ein breitgefächertes und qualitativ erstklassiges Instrumentarium zum Einsatz, das die erforderlichen Spezifikationen der Materialeigenschaften wie Struktur, Morphologie und thermochemisches Reaktionsverhalten erlaubte. Die gewählte Form einer eigentlichen Serviceleistung, die von allen Projektleitern beansprucht werden kann, soll in Zukunft weitergeführt und optimiert werden.

## HOCHTEMPERATUR-SOLARCHEMIE

Die Hochtemperatursolarchemie hat zum Ziel, konzentrierte Solarstrahlung bei hohen Temperaturen mit möglichst hohem Wirkungsgrad in speicher- und transportierbare chemische Energieträger umzuwandeln. Die Arbeiten fokussieren sich auf kinetische und mechanistische Untersuchungen an **Redoxprozessen von Metalloxiden zur Speicherung hochkonzentrierter Solarstrahlung** [3]. Hauptziel ist die Realisierung sowie die thermodynamische und kinetische Optimierung eines zweistufigen Kreisprozesses zur Wasserspaltung, d.h. insbesondere die Wasserstofferzeugung mittels Redoxprozessen in Eisen-Mischoxiden. Die für die Hochtemperatur-Reduktion bzw. Wasserspaltung wohl optimale thermochemische Reaktivität von Eisenoxid-Phasen ist für eine zukünftige Anwendung bezüglich Ökonomie und Ökologie vielversprechend. Im Sonnenofen des PSI wurde der erste Teilschritt des Kreisprozesses, d.h. die thermische Reduktion des Metalloxids, bei über 1750 °C durchgeführt. Der zweite Schritt – d.h. die Herstellung von Wasserstoff durch die Spaltung von Wasser mittels Re-Oxidation des Metalloxids – wurde im Labor zwischen ~400 °C und ~900 °C erfolgreich getestet. Damit diese Resultate, die international einiges Aufsehen erregten, erreicht werden konnten, war eine Vielzahl von festkörperchemischen, verfahrenstechnischen und materialwissenschaftlichen Untersuchungen notwendig:

- Die Metalloxidreduktion wurde bezüglich wichtiger Parameter wie Zusammensetzung, Partikelgrösse, Verweilzeit im Fokusbereich, sowie Pulverwolkenlichte charakterisiert.
- Für die kinetischen Untersuchungen wurden Durchfluss-Pulverwolkenreaktoren konzipiert, gebaut und getestet (siehe unten).
- Für die Wasserspaltungsreaktion mittels reduzierter Eisenoxidphasen wurden einerseits die apparativen Bedürfnisse realisiert, andererseits die kinetisch-mechanistischen Prozessparameter aufgeklärt und hinsichtlich eines zukünftigen technischen Einsatzes charakterisiert.



Neben der Wasserspaltung zur Erzeugung von Wasserstoff wurden zwei weitere solarenergiegestützte Prozesse studiert: Einerseits Reformierungsreaktionen zur Erzeugung von Metallen und Synthesegas aus Methan und Metalloxiden, andererseits die Herstellung von Metallen aus natürlichen Erzvorkommen mittels Reduktion mit Wasserstoff. Bei diesen Arbeiten wurde insbesondere darauf geachtet, an unterschiedliche Regionen gebundene Einsatzpotentiale bezüglich Rohstoff- und Energievorkommen – d.h. Solarstrahlung, Metallerze und Erdgas – zu definieren und deren Realisierbarkeit zu prüfen. Diese Projekte stellen eine wichtige Voraussetzung für eine mögliche technisch-industrielle Umsetzung der Forschungs- und Entwicklungsarbeiten dar und werden zur Zeit auf internationaler Ebene weiter vorangetrieben. Als Partner sind Gruppen in Japan, USA, Australien und Deutschland aktiv.

## VERFAHRENSTECHNISCHE ENTWICKLUNGEN

**Konzentratoren und Reaktoren zur chemischen Umwandlung** pulverförmiger Stoffe mittels Direktabsorption konzentrierter Solarstrahlung wurden hinsichtlich der durch die eingesetzten chemischen Prozesse bedingten verfahrenstechnischen Anforderungen entwickelt und optimiert [4]. Dabei mussten natürlich auch die Spezifikationen der am PSI zur Verfügung stehenden Konzentrador-Anlagen – der McDONNELL-DOUGLAS Parabolspiegel sowie der Heliostat-Parabolspiegel-Konzentrator – berücksichtigt werden.

Der Bau und die Optimierung unterschiedlicher volumetrischer *Receiver*/Reaktor-Systeme erlaubte es, Pulverwolken der jeweiligen chemischen Reaktanden effizient und kontrolliert durch einen Fokusbereich zu bewegen und gleichzeitig die Reaktorwände möglichst kühl zu halten.

Dem *Receiver*-/Reaktor-Projekt entsprechende, unterstützende Aktivitäten umfassten die Analyse von Strahlungswärmeübertragung, Laser-Diagnostik für solarchemische Reaktionen, sowie die erfolgreiche Untersuchung und Charakterisierung der folgenden thermochemischen Prozesse:

- Herstellung von Wasserstoff aus Wasser mittels Redoxprozessen an komplexen Metalloxiden
- Kombiniertes Reforming-Reduktionsprozess zur gleichzeitigen Herstellung von Metallen und Synthesegas aus Metalloxiden und Methan.
- Herstellung von gebranntem Kalk.

In einem weiteren, industrienahen Projekt werden **keramische Absorbermodule für solarthermische Kraftwerke** oder Anwendungen in der Hochtemperatursolarchemie entwickelt und getestet [13]. Das Konzept besteht darin, feinstrukturiertes, keramisches Absorber-Material mit einem ebenfalls keramischen Träger zu verbinden und so einen volumetrischen *Absorber / Receiver* zu bauen, der für die Produktion von Prozesswärme hoher Temperatur geeignet ist. Das Hauptproblem dieses Projekts besteht darin, eine "Schwarze Keramik" in *verwebbarer* Form zur Verfügung zu haben, die einerseits ein optimales Absorptionsvermögen aufweist, andererseits den extremen thermischen und mechanischen Belastungen (Thermoschocks, etc.) standhält.

Es zeigt sich im Bereich "Verfahrenstechnik" ganz besonders, dass die Entwicklung und Realisierung von neuen Energietechnologien – ausgehend von den theoretischen Grundlagen über die Evaluation von geeigneten chemischen Speicherprozessen bis hin zu angepassten verfahrenstechnischen Konzentrador-/Reaktor-Systemen – breitgefächerte, optimal koordinierte Aktivitäten erfordert. Dementsprechend beruhen die erzielten Resultate auf einer erfolgreichen programm- und institutionsübergreifenden Zusammenarbeit.

## REDUKTION VON CO<sub>2</sub> bzw. CO<sub>2</sub> ALS GRUNDCHEMIKALIE

Da gegenwärtig der weitaus grösste Teil der Energieversorgung durch fossile Energieträger abgedeckt wird und dementsprechend die anerkannte Problematik der Kohlendioxid-Emission angegangen werden muss, werden im Programm "Solarchemie/Wasserstoff" vermehrt Wege zur Substitution fossiler Energieträger und zur *Rezyklierung des Kohlendioxids mittels katalysierter thermochemischer Reduktion* mit z.B. Wasserstoff [6] oder aber *mittels photokatalytischer und elektrochemischer Reduktion* [10] untersucht. Zielprodukte sind bei diesen Aktivitäten Kohlenstoffverbindungen mit möglichst hoher Wertschöpfung. Ein Forschungsansatz hat zum Ziel, neben den bekannten und industriell hergestellten Produkten Methan und Methanol komplexere Grundchemikalien, insbesondere Amine, zu synthetisieren [6]. Dies geschieht durch selektive katalytische Umsetzung von Kohlendioxid mit Wasserstoff und Ammoniak. So gelang es, Monomethylamin, Dimethylamin und Trimethylamin herzustellen. Methylamine werden kommerziell aus Ammoniak gewonnen, wobei bei dieser Reaktion das thermodynamische Gleichgewicht die Bildung von Trimethylamin deutlich bevorzugt. Die mittels katalytischer Prozessführung erreichte Produktverteilung ist deshalb interessant, da in der Industrie der Bedarf an Mono- und Dimethylamin sehr gross ist.

Die Wahl und Optimierung des Katalysators sowie die Zusammensetzung des Eduktgasgemisches für die Bildung der Amine, bzw. für die Unterdrückung der Bildung von Methanol, konnte entscheidend verbessert werden.

Die elektrochemische und photokatalytische Reduktion von Kohlendioxid konnte erfolgreich fortentwickelt werden [10]. Für das elektrolytische Verfahren konnten Stromdichten von  $200 \text{ mA/cm}^2$  erreicht werden, ein Wert, der nahe demjenigen für die industrielle Wasserelektrolyse liegt. Das wichtigste Ziel dieser Arbeiten, d.h. die kontrollierte Bildung von interessanten Produkten wie Ethylen oder Ethanol, etc., wurde durch Modifikationen der Kupfer-Elektrodenoberfläche weiter verfolgt. Das Problem der Desaktivierung des Elektrodenmaterials konnte gelöst werden, indem die Degradation durch einen Reaktivierungsschritt rückgängig gemacht werden kann. Resultate dieser Arbeiten wurden patentrechtlich geschützt.

## PHOTO- & PHOTOELEKTROCHEMISCHE SPALTUNG VON WASSER

Photochemie und Photoelektrochemie gehören in der gegenwärtigen Energieforschung zu den meistbearbeiteten Themen. Dabei steht die Wasserspaltung bei Umgebungstemperatur mittels oxidischer Halbleiter im Zentrum des Interesses. Im Berichtsjahr wurde die **photochemische und photoelektrochemische Oxidation von Wasser** mit Hilfe von Silberchlorid-haltigen Materialien bezüglich Quantenausbeute studiert [12]. Es konnte gezeigt werden, dass im nahen UV und im blauen Spektralbereich mindestens 80 %, im grünen Spektralbereich über 50 % des Strahlungseintrags umgesetzt werden können. Es konnte auch gezeigt werden, dass Farbstoffe mit Antennenfunktion – zum Vergleich sei an dieser Stelle das Chlorophyll genannt – in die Kanäle von Zeolithen eingebracht und auch genügende Energieübertragungsraten erreicht werden können. Diese Resultate lassen die berechnete Hoffnung auf die Entwicklung einer neuen Generation von photovoltaischen Zellen zu.

Die **Photolyse von Wasser**, d.h. die solare Herstellung von Wasserstoff gelang durch die Kombination von zwei Photohalbleiter-Systemen [7]. Dabei werden dünne Filme von Wolframtrioxid und mit einem Sensibilisator versehenes, nanokristallines Titandioxid in einer Tandem-Konfiguration aufgebaut. Durch die Absorption von Licht durch die zwei gekoppelten Photosysteme wird über einen komplexen Mechanismus Wasser gespalten. Im Berichtsjahr gelang es erstmals, einen transparenten Wolframtrioxid-Film auf einen nanokristallinen Titandioxidfilm aufzubringen und so die Funktionsfähigkeit des Systems zu beweisen. Es konnten Photoströme von maximal  $3 \text{ mA/cm}^2$  und Wirkungsgrade bis zu 4.5 % erreicht werden.

Die in diesem Kapitel zusammengefassten Forschungsaktivitäten werden an den Universitäten Genf und Bern, sowie an der EPF Lausanne als gemeinsames Projekt bearbeitet. Diese Form der Kooperation soll in Zukunft vermehrt gewählt werden.

## SPEICHERUNG & NUTZUNG VON WASSERSTOFF

Die bislang genannten Forschungsprojekte sind grossteils der regenerativen Produktion von Wasserstoff gewidmet. Konsequenterweise werden Möglichkeiten der Speicherung und der Nutzung von Wasserstoff als wichtiger, komplementärer Bereich des Programms "Solarchemie/Wasserstoff" behandelt. Eckpfeiler dieser Aktivitäten sind die Entwicklung und Charakterisierung von Metallhydriden und Metallhydridsuspensionen, in denen grosse Mengen von Wasserstoff reversibel gespeichert und transportiert werden können. Die Einsatzgebiete für Metallhydride sind moderne Batteriesysteme sowie – als mittelfristige Option – Speicher für wasserstoffgetriebene Automobile. Das Auffinden von **billigen Metallegierungen, die reversibel Wasserstoff speichern** bzw. abgeben können, stellt in diesem Themenkreis eines der zentralsten Probleme dar. Im Berichtsjahr konnten eine erstaunlich grosse Zahl von neuartigen Legierungen gefunden und charakterisiert werden [11]. Für die Möglichkeit eines technischen Einsatzes müssen jedoch noch viele Abklärungen getroffen werden.

Eine interessante Variante zur **Speicherung von Wasserstoff in Metallhydriden** besteht darin, diese als Suspension in organischen, inerten Lösungsmitteln, d.h. als quasi-flüssige Metallhydride herzustellen [14]. Derartige Gemische könnten vor allem als mobile Wasserstoffspeicher in Fahrzeugen zum Einsatz kommen. Im Berichtsjahr wurde gezeigt, dass eine kontinuierliche Dehydrierung einer Suspension möglich ist. Die Dehydrierleistung war aber mit 350 - 400 Watt noch relativ bescheiden. Mit einem neuen Dehydrierreaktor konnten aber in den vergangenen Monaten die Dehydrierleistungen auf ~1000 Watt gesteigert werden. Nimmt man an, dass dieser Reaktor bei maximaler Suspensionsbelastung von 30 Gewichts-Prozenten Magnesium analog funktioniert, so kann eine Dehydrierleistung von ca.  $2 - 2.5 \text{ kW}_{\text{thermisch}}$  erwartet werden.

Schliesslich wurde im Berichtsjahr die Funktionsfähigkeit eines Wasserstoff-Motors geprüft und optimiert [15]. Es konnten zahlreiche technische Verbesserungen vorgenommen werden, sodass auch die bislang kritische Konzentration von Stickoxiden in den Abgasen auf akzeptable Werte gebracht werden konnten. Die Entscheidung, welcher Leistungsklasse die nächste Generation wasserstoffbetriebener Motoren angehören sollen, wird in Koordination mit möglichen Nutzern abgeklärt.

### 3. Nationale und internationale Zusammenarbeit.

Die breitangelegten Arbeiten am PSI haben im Berichtsjahr zu einer Vielzahl nationaler und internationaler Zusammenarbeiten auf unterschiedlichen Ebenen geführt: Im Bereich der Messmethodik bestehen sehr aktive Austauschprogramme und gemeinsame Messkampagnen mit einer Gruppe an der *Australian National University Canberra*. Die Arbeiten an Metalloxidsystemen haben eine Reihe von internationalen Aktivitäten ausgelöst. Aktive Zusammenarbeiten bestehen mit dem *Tokyo Institute of Technology*, dem *Weizmann-Institut, Rehovot (Israel)*, der *University of Valparaiso (USA)* sowie der *DLR, Köln*.

Erste Kontakte mit der Schweizer Zementindustrie müssen dahingehend vertieft werden, dass die Funktionsfähigkeit und die Wahl optimaler Standorte für solar betriebene Direktabsorptions-Reaktoren oder aber für volumetrische *Receiver* (Prozesswärme) gemeinsam abzuklären.

Mit dem Projekt *ABSORBER 2000* hat eine programmübergreifende Zusammenarbeit mit dem Programm *Aktive Solarnutzung und Wärmespeicherung* eine erfolgreiche Entwicklung gebracht. Aufgrund der erarbeiteten Resultate konnten die entscheidenden Verfahrensschritte patentrechtlich geschützt werden. Eine Pilotanlage zur industriellen Produktion ist in Zusammenarbeit mit geeigneten Industriebetrieben in Planung.

Die internationale Zusammenarbeit wurde im Berichtsjahr auch im Rahmen der IEA weiter ausgebaut. Es bestehen Zusammenarbeiten mit weltweit 16 Ländern.

### 4. Umsetzung der Ergebnisse

Viele Arbeiten des Programms "Solarchemie/Wasserstoff" wurden an nationalen und internationalen Konferenzen und Symposien in Form von Vorträgen und Postern präsentiert. Zu erwähnen sind insbesondere die *ASME / JSME / ISES*, Hawaii, die *ACHEMASIA*, Beijing, die *ISES*, Harare (Zimbabwe), sowie die *3rd Int. Conf. on Carbon Dioxide Reduction and Efficient Utilization*, Tokyo an denen die Arbeiten des Programms ausführlich vorgestellt und diskutiert wurden.

### 5. Ausblicke für 1996

Die grundlagenwissenschaftlichen und in vermehrtem Masse die materialwissenschaftlichen Untersuchungen werden an den potentiell wichtigen Stoffsystemen weiter koordiniert und vertieft. Es sollen insbesondere neuartige solar betriebene Prozesse definiert und getestet werden, aber auch optimierte Werkstoffe und Materialien in bestehenden Prozessen eingebracht werden.

Die Realisierung der Wasserspaltung mittels Redoxprozessen an Metalloxidsystemen erfordert seitens der Verfahrenstechnik weitere Optimierungsarbeiten. Die Arbeiten an einem Pilotreaktor bzw. die Realisierung eines Pilotexperiments an einer Grossanlage wie Almeria oder Odeillo wird im kommenden Jahr in die entscheidende Phase treten.

Es ist geplant, in Zusammenarbeit mit einer australischen Gruppe, der Universität Basel, dem PSI sowie mit FRICKER, Rickenbach, ein Sonnenkraftwerk zu konzipieren, das über einen volumetrischen *Receiver* mit sehr

hohem Wirkungsgrad konzentrierte Solarstrahlung in Prozesswärme umwandelt und in einem neuartigen System chemisch speichert. Insgesamt soll das "Kraftwerk" den Tag- und Nachtbetrieb erlauben.

Im Bereich der Wasserstoff-Forschung werden Möglichkeiten der günstigen, evt. pyrolytischen Herstellung dieses wichtigen Energieträgers aus unterschiedlichen Materialien wie Hausmüll, Kunststoff, usw. abgeklärt werden. Zusammen mit der Weiterentwicklung von Wasserstoffmotoren sowie chemischen Nutzungen von Wasserstoff soll dessen Einsatzpotential möglichst verbessert werden. Es wird ebenfalls untersucht, inwiefern die neueste Generation von Hochdruck-Elektrolyseuren zwecks Wasserstoff-Produktion aus Wasser als P&D-Projekt umgesetzt werden kann.

Im kommenden Jahr sind zumindest vier internationale Konferenzen für die Projekte des Programms "Solarchemie/Wasserstoff" von grosser Bedeutung: *Hydrogen '96*, Stuttgart, *Metal Hydrogen Systems*, Les Diablerets, *XXIII<sup>th</sup> Int. Symp. on the Reactivity of Solids*, Hamburg und *8<sup>th</sup> Int. Symp. on Solar Thermal Concentrating Technol.*, Köln.

## 6. Liste der Projekte

- [1] P. Tschudi, M. Schubnell, PSI-Villigen: *Simultane Messung der Verteilung, Emissivität, Temperatur und Beleuchtungsstärke an beleuchteten, heissen, matten Oberflächen.* (JB)
- [2] M. Schubnell, I. Kamber; F. Saladin, PSI-Villigen: *Absolute Bestimmung des chemischen Potentials angeregter Moleküle aus Lumineszenzmessungen.* (SB)
- [3] P. Kuhn, PSI-Villigen: *Kinetische Untersuchungen an Redoxprozessen von Metalloxiden zur Speicherung konzentrierter Solarstrahlung.* (SB)
- [4] A. Steinfeld et al., PSI-Villigen: *Entwicklung und Untersuchung an Reaktoren zur chemischen Umwandlung pulverförmiger Stoffe mittels konzentrierter Solarstrahlung.* (JB)
- [5] V. Shklover, ETH-Zürich: *Strukturelle Untersuchungen an Materialien, die für die chemische Speicherung von Energie relevant sind.* (JB)
- [6] R. Köppel, A. Baiker, ETH-Zürich: *Katalytische Synthesen ausgehend von mineralischen Kohlendioxid-Quellen.* (JB)
- [7] M. Grätzel, EPF-Lausanne: *Photolyse von Wasser, solare Herstellung von Wasserstoff.* (SB)
- [8] P. Oelhafen et al., UNI-Basel: *Optische Schichten für die thermische Konversion von Solarenergie.* (JB)
- [9] P. Hug, H.R. Oswald, UNI-Zürich: *Festkörperchemische und materialwissenschaftliche Untersuchungen des thermo-chemischen Reaktionsverhaltens von Phasen, die für die chemische Speicherung von Sonnenenergie interessant sind.* (SB)
- [10] J. Augustynski, UNI-Genève: *Elektrolytische und photokatalytische Reduktion von Kohlendioxid.* (JB)
- [11] K. Yvon, UNI-Genève: *Synthese und Charakterisierung von neuartigen ternären und quaternären Metallhydriden.* (JB)
- [12] G. Calzaferri, UNI-Bern: *Photochemische und photoelektrochemische Umwandlung und Speicherung von Sonnenenergie.* (JB)
- [13] H. FRICKER, Rickenbach: *KEREK, keramisches Absorber-/Receiver-System.* (JB)
- [14] T. Bücherer, K. Marti, HTL-Burgdorf: *Quasi-flüssige Metallhydride (QLMH) als Wasserstoffträger für Automobile.* (JB)
- [15] J. Jäger, B. Jäger, LARAG, Wil: *Weiterentwicklung des Wasserstoffmotors für das MTH-System.* (JB)

(JB) Jahresbericht 1995 vorhanden

(SB) Schlussbericht vorhanden

## PILES À COMBUSTIBLE & ACCUMULATEURS

**Rapport de synthèse**  
sur les activités 1995 du programme de recherche

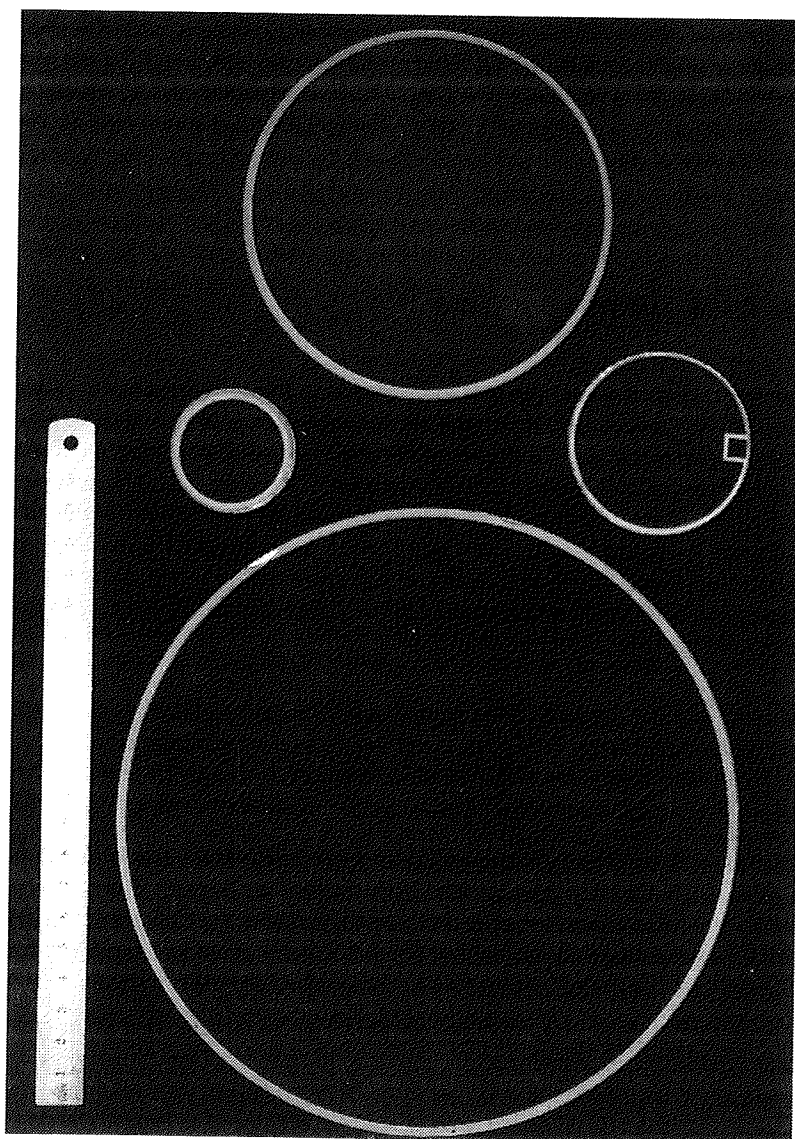
**Léo Dubal**

OFEN, 3003 Berne

☎ 031/322 56 44 – Fax: 031/382 44 03

E-mail: dubal@bew.admin.ch

---



### **Piles à combustible céramiques**

La production de piles par projection sous-vide au chalumeau à plasma chez MEDICOAT, à Mägenwil a conduit à l'essai chez SULZER-Innotec, à Winterthur, d'un *stack* HEXIS de 60 W (5 éléments modulaires de 12 cm Ø) avec 5 % de dégradation sur 1'000 heures et d'un élément de 20 cm Ø, délivrant 50 W.

## 1. Introduction

Le programme de recherche et démonstration "Piles à combustible et accumulateurs" vise à l'acquisition en Suisse, du savoir-faire en matière de générateurs électrochimiques qu'exige la tendance du marché à la production *locale* – voire portable – d'électricité. Par les piles à combustible, cette production est appelée à jouer un rôle-clé dans notre économie énergétique domestique, où le gaz naturel atteint les 2/3 des logements suisses et représente le combustible rationnel à mettre en oeuvre. Par les accumulateurs, elle offre une mobilité totale, mais à un prix élevé: en l'absence d'un "chargeur intelligent", l'électricité fournie par les accumulateurs ne représente qu'une petite fraction de l'électricité investie, et coûte d'autant plus cher.

Rappelons qu'un *générateur électrochimique* convertit directement en électricité, l'énergie libérée lors d'une réaction chimique. Les réactants sont un *oxydant* (l'oxygène de l'air, ou d'un oxyde) et un *combustible* (un élément électropositif, par ex.: H<sub>2</sub>, CO, CH<sub>4</sub>, Li, Zn ou Pb). Ils doivent être tenus séparés par un *électrolyte* (un conducteur ionique, par ex: soude caustique, acide sulfurique, acide phosphorique, polymère avec des groupes ioniques, ou de la zircone dopée à l'*yttria*) qui assure la continuité électrique et offre un passage à la diffusion et à la migration des ions d'une électrode à l'autre. Dans un générateur du type "piles à combustible", l'anode est approvisionnée en combustible au fur et à mesure, alors que pour le type "accumulateur", l'anode est "rechargée" en inversant la réaction, c'est-à-dire, le sens du courant.

## 2. Principaux axes du programme

Le rôle du programme est: 1) de faciliter l'élaboration d'une stratégie de recherche cohérente; 2) de stimuler l'activité du secteur privé par des mandats de recherche sur des problèmes-clés; 3) d'aider à la mise en place au sein des institutions publiques de recherche, de "Centres d'excellence" à même de soutenir cette activité du secteur privé; 4) d'assurer l'insertion des efforts suisses dans la collaboration internationale; et, 5) de favoriser la promotion de ces technologies, en particulier, en tenant les compétences à disposition de l'ensemble du secteur public. Au niveau du financement, il faut souligner le caractère *subsidaire* des contrats attribués par l'OFEN qui permettent d'élargir – et seulement là où cela est indispensable à la cohérence du programme – les activités des projets suisses et internationaux. Soulignons que la dimension industrielle des activités relevant de ce programme et leur ancrage dans la collaboration internationale constituent leur atout majeur.

Considérant l'état de la technique du domaine "Piles à combustible et accumulateurs", les stratégies appropriées pour la Suisse se répartissent en quatre classes; la *classe A*: option totale d'un développement 100 % suisse, la *classe B*: développement d'un système incorporant des éléments clés étrangers, la *classe C*: le seul développement d'éléments clés en Suisse, et la *classe D*: démonstration d'une technologie innovante étrangère.

- Pour les piles au gaz naturel à électrolyte céramique, il s'agit de développer un module chaleur-force attractif, opérant à 800 °C, quasi sans entretien pendant plusieurs années, de la taille d'une chaudière (dizaines de kW) pour le chauffage individuel des logements et permettant de produire *localement* l'électricité *à la demande*. Les défis technologiques sont l'apprêtage du gaz naturel à petite échelle et, en se basant sur des matériaux connus, la mise au point de procédés de fabrication nouveaux des composants des piles (*classe: A ou B*).
- Pour les piles au gaz naturel à électrolyte d'acide phosphorique, le marché visé est le gros consommateur, type hôpital. C'est le seul type de piles à combustible déjà sur le marché. Une réduction de prix – au moins d'un facteur deux – est cependant indispensable pour que cette technologie sophistiquée devienne compétitive. Le défi présent est la réplique du projet de démonstration "GAZEL" des Services Industriels de Genève, (*classe: D*).
- Pour les piles au méthanol à électrolyte polymère, le principal marché visé est le véhicule électrique. Bien que quelques bus (alimentés à l'hydrogène) circulent déjà à l'étranger, le problème du reformage et de l'intégration du générateur n'est pas encore résolu, pas plus que celui du prix. Les défis technologiques sont: démontrer les avantages de la membrane suisse et devenir un partenaire incontournable des développements européens (*classe: C*).

- Pour les accumulateurs au plomb, les plus économiques de tous les accumulateurs actuels, le marché visé est la voiture hybride électro-diesel. Les défis technologiques sont la réduction de la masse des électrodes et un chargeur universel performant permettant un plus grand nombre de cycles (*classe: C*).
- Pour les accumulateurs "zinc-air", il s'agit de concurrencer ceux au plomb. Les défis technologiques sont d'éviter la carbonatation de l'électrolyte (traces de CO<sub>2</sub> dans l'air) et d'assurer l'humidification et la stabilité de l'électrode de zinc et de l'électrode bifonctionnelle à air (*classe: A*).
- Pour les accumulateurs "Ni-MH" (hydrures métalliques), un certain marché est assuré par les "ordonnances de protection de l'environnement" qui visent les accumulateurs nickel-cadmium. Le défi technologique pour les gros modules est d'éviter les dégradations thermo-mécaniques, ainsi que d'assurer une recharge correcte. Il s'y ajoute la difficulté de ne pas enfreindre les brevets existants (*classe: A*).
- Pour les accumulateurs "ions-lithium", le marché visé est le "portable". C'est déjà par millions d'unités que ce produit nous vient du Japon. Le secteur le plus prometteur pour un créneau suisse comprend les matériaux d'intercalation côté anode. Le défi technologique est de caractériser, en opération, le meilleur graphite, d'y apporter d'éventuelles modifications et de démontrer sa supériorité technologique (*classe: C*).
- Pour les supercondensateurs, le marché visé est la locomotive. Le premier défi technologique sera le choix et la caractérisation des matériaux appropriés (*classe: A*).

### 3. Buts visés pour 1995

#### PILES À COMBUSTIBLE

Procédé *VPS (Vacuum Plasma Spray)*: 1) atteindre une puissance surfacique de 200 mW/cm<sup>2</sup> à 850 °C, puis passer à des éléments de 20 cm Ø, en réduisant le nombre de passages du chalumeau nécessaire pour la fabrication de l'électrolyte, en optimisant la structure des électrodes, et en modifiant la composition des poudres, 2) établir les conditions optimales d'activation électrocatalytique lors de la mise en service initiale, et 3) évaluer les diffuseurs (air & combustible) et la barrière de diffusion anti-chrome.

Procédé *PVD (Physical Vapour Deposition)*: explorer la production d'électrolytes en zircone de 5 µm d'épaisseur en utilisant comme substrat, un diffuseur en mousse de manganite de lanthane (LSM); objectif: tension en circuit ouvert  $V_{oc} \geq 0.95$  volt.

Système *HEXIS (Heat EXchanger Integrated Stack)*: 1) effectuer le diagnostic *in situ* d'un élément de 12 cm Ø, 2) développer un module de reformage du gaz naturel, intégrable à son enceinte thermique; 3) analyser le gaz reformé et établir le bilan énergétique détaillé.

Membranes polymères de l'Institut Paul Scherrer, PSI: 1) les rendre "eurocompatibles", les caractériser, et construire un *stack*, 2) explorer le développement d'un système de gestion de l'eau, 3) étudier l'apprêtage du combustible.

#### ACCUMULATEURS

- Pour chaque projet: tentative d'intégration des projets dans les divers programmes européens.
- Accumulateurs "ions-Li" & "Zn-air": recherche active de partenaires industriels.
- Accumulateurs "Ni-MH": augmenter l'énergie massique de 43 Wh/kg, de 20 à 30 %.

## 4. Travaux effectués et résultats obtenus

### PILES À COMBUSTIBLE

Le **procédé VPS**, chez MEDICOAT [3], à Mägenwil, après l'intégration d'un *heat-sink holder*, a permis la fabrication d'éléments de 40, 60, 120 et 200 mm Ø (*voir page d'en-tête*), conformes aux objectifs posés par le système HEXIS en matière de puissance, reproductibilité et dégradation. Avec 40 mm Ø, une puissance surfacique de 253 mW/cm<sup>2</sup> à 850 °C a pu être démontrée. Un *stack* de 5 éléments de 12cm Ø, testé dans le **système HEXIS**, chez SULZER-Innotec [2], à Winterthur, montrait, après 1'000 heures d'opération, une dispersion des valeurs de la puissance surfacique des éléments de  $\pm 5\%$  à 250 mA/cm<sup>2</sup>, et une puissance maximum de 60 W, à 920 °C. Pour un élément de 200 mm Ø, la puissance maximum obtenue était de 50 W à 915 °C et un taux de conversion du combustible de 8 %. La très forte dépendance de la puissance en fonction du flux de combustible, particulièrement évidente sur l'échantillon de 200 mm Ø, s'explique par la structure insuffisamment poreuse du support métallique de l'anode VPS; le taux d'utilisation du combustible qui atteint 80 % avec un élément de fabrication étrangère par *tape-casting* (avec un collecteur de courant DUCROLLOY) n'est que de 22 % avec l'élément MEDICOAT (avec collecteur de courant HAYNES 230). L'étude menée à l'EPF-Lausanne [4] sur l'**activation électrocatalytique** initiale d'échantillons de 60 mm Ø a, entre autres, montré l'importance du rôle de la couche de contact entre le diffuseur-air et l'élément VPS, pour assurer l'apport suffisant d'ions oxydes à l'électrolyte. SULZER-Innotec a établi que le diffuseur-air en mousse dure de LSM développé à l'EPF-Zürich [5] donne des résultats équivalents au diffuseur métallique utilisé précédemment. Les études exploratoires sur la cobaltite de lanthane à l'EMPA-Dübendorf [6] pour la fabrication d'un feutre, comme **diffuseur-air**, a abouti au développement d'une fibre satisfaisante, et à l'EMPA-Thun, à des premiers dépôts d'une barrière de diffusion anti-chrome.

À l'aide du **procédé PVD**, chez SULZER-Innotec [2], à Oberwinterthur, l'adéquation du procédé pour la fabrication d'un électrolyte de zircone ultra-mince de 5 µm d'épaisseur a pu être démontrée. Des éléments fabriqués par dépôt sur une couche microporeuse recouvrant un diffuseur en mousse de LSM (obtenue à partir d'une solution organique) ont permis de quantifier les qualités nécessaires du substrat de départ et le rôle de la température de dépôt: la tension la plus élevée, observée à circuit ouvert, est de 0,86 V.

Chez SULZER-Innotec, à Winterthur, un module de **reformage du gaz naturel** – fonctionnant au gaz naturel – a été développé et testé avec succès [2].

Suite aux travaux à l'EPF-Lausanne sur l'inhibition de la formation du zirconate de lanthane à l'**interface électrolyte-cathode**, l'EPF-Zürich [5] a analysé, à l'aide de mono-cristaux de zircone, le mécanisme de la formation du La<sub>2</sub>Zr<sub>2</sub>O<sub>7</sub>, et a conclu à l'amélioration, par un facteur dix, de la conductivité de la cathode de LSM par dopage avec 4 % de manganèse. Par ailleurs, le savoir-faire en matière de fabrication de mousse de LSM par voie aqueuse a été transféré à SULZER-Innotec.

Dans le domaine des piles à électrolytes polymères, au PSI [1], à Villigen, en collaboration avec la maison STUDER, à Däniken, des **membranes** de 100 cm<sup>2</sup> ont été réalisées par électro-irradiation et greffage de films polymères et introduction de groupes sulfoniques, dont les performances sont restées stables sur plus de 600 heures. Un *stack* de 4 éléments, alimenté en H<sub>2</sub>/O<sub>2</sub> sous pression normale a délivré 156 W à 65 °C. Une étude exploratoire d'application aux véhicules électriques a conduit au développement d'une plaque bipolaire en aluminium dépassivé par une couche galvanique de phosphore de nickel déposée chez STEINER, à Vevey. Un concept d'humidification, des membranes a été évalué et, par modélisation numérique, des options pour la réduction du flux d'air nécessaire au refroidissement ont été identifiées. Sur l'apprêtage du combustible, un atelier a été organisé dans le cadre de l'Agence Internationale de l'Énergie [19].

### ACCUMULATEURS

Le projet de développement d'**accumulateurs Ni-MH** chez LECLANCHÉ [11], à Yverdon, a permis d'atteindre sur un modèle de 24 V, une énergie massique de 57 Wh/kg, et une capacité de 10 à 14 Ah qui, bien que trop petite pour les voitures électriques, répond parfaitement aux besoins de véhicules électriques de plus faible puissance. Au PSI [12], l'effet de la température sur l'**auto-décharge** de ce type d'accumulateur a été étudié en détail. À l'Université de



Fribourg [13] l'étude de l'**effet du cobalt** dans les alliages de type  $AB_5$  pour l'électrode d'hydrure métallique n'a pas débouché sur une solution techniquement utilisable permettant, dans une cellule pratique, de meilleurs résultats que les hydrures en vente actuellement; l'examen des propriétés des alliages du type  $AB_2$  ( $ZrV_xNi_{2-x}$ ), lui, progresse.

Le projet sur les **accumulateur Zn-air** au PSI [7] a permis de montrer qu'une structure suffisamment hydrophile (addition de 10 % de cellulose) de l'électrode en Zn, permettait d'atteindre 450 cycles et des puissances très intéressantes. Des électrodes bifonctionnelles pour la diffusion de l'oxygène ont atteint 1'700 heures d'opération en réduisant la fraction de  $CO_2$  de l'air de 300 à 100 ppm par absorption dans une lessive de soude. Un accumulateur bipolaire de 7 éléments de  $100\text{ cm}^2$  a permis d'obtenir une puissance de pointe de 90 W (sur une minute).

Le projet sur les **accumulateurs ions-lithium** au PSI [8] a permis de démontrer un procédé de charge de l'électrode graphite jusqu'à 350 Ah/kg. Après 100 cycles profonds la capacité était encore de 150 Ah/kg. Des techniques très performantes de caractérisation *in situ* des interfaces ont été mises au point. Divers électrodes positives et électrolytes ont été étudiés. À l'Université de Fribourg [9] en collaboration avec le PSI, une **modélisation numérique** basée sur la chimie quantique a été évaluée, et les densités d'électrons des plans graphite et lithium ont pu être calculées. Toujours à l'Université de Fribourg [10] l'étude voltamétrique de divers polymères avec une **activité redox** des groupes thiocarbamates a permis, entre autres, d'établir l'effet catalytique de la phtalocyanine, mais ces travaux restent très académiques.

## 5. Coordination & collaboration nationale

À partir de juillet, le programme "Électrochimie", qui était conduit par Otto Haas, à l'Institut Paul-Scherrer, a été fusionné avec le programme "Piles à combustible" sous l'appellation "Piles à combustible et accumulateurs". Pour évaluer les priorités immédiates, le chef du programme est secondé par cinq experts suisses et étrangers.

Dans le domaine des "piles céramiques", les échanges réguliers entre les divers groupes, ont été complétés par un atelier ciblé sur les diffuseurs gazeux (*Balance of PEN*) [18]. Grâce à la création d'un groupe de travail *ad hoc*, la collaboration entre l'EMPA et l'industrie (MEDICOAT, SULZER) s'est renforcée et il a été possible de démontrer que l'"option totale" (développement 100 % suisse) dans ce domaine est crédible. En ce qui concerne la collaboration entre les deux EPF et l'industrie (SULZER), le Programme Prioritaire Matériaux (PPM) constitue un pont important.

L'activité "pile polymère" a, elle aussi, débouché sur une fructueuse collaboration entre l'Institut Paul Scherrer et l'industrie (STUDER).

Dans le domaine des accumulateurs, un atelier [17] avec forte participation industrielle (ASULAB, DEVEX, GLUR, LECLANCHÉ, RENATA, RECYMET, TIMCAL) a permis de faire le point sur l'ensemble des problèmes: des attentes du consommateur aux nuisances à l'environnement, jusqu'au ciblage optimal du financement subsidiaire de l'OFEN. Les points forts, techniques, ont été les matériaux d'intercalation anodique pour accumulateur au lithium, l'accumulateur Zn-air comme candidat pour les véhicules électriques, l'utilisation rationnelle de l'énergie dans les batteries au plomb pour les véhicules hybrides.

Pour l'accumulateur Zn-air et les supercondensateurs, la préparation de requêtes communes (PSI et industries) au Fonds de l'économie électrique PSEL a occasionné des contacts étroits. Pour l'accumulateur au lithium, la collaboration entre le PSI et l'industrie, d'une part, et avec les Universités et EPF d'autre part, s'est également très fortement renforcée.

## 6. Coordination & collaboration internationale

Le chef du programme représente la Suisse dans les organismes de gestion des programmes de collaboration internationale.

Dans le cadre *Brite-Euram*, la maison DEVEX, à Châtel-St-Denis, participe à un projet sur la réduction du poids des accumulateurs au plomb.

Une intense activité de soumissions de projets aux nouveaux programmes européens *Joule* (5), *Brite-Euram* (1) et *TMR*(1) a abouti à la soumission de 7 projets, dont 4 sont acceptés: un très bon score.

La collaboration dans la recherche sous l'égide de l'Agence Internationale de l'Énergie a abouti à la conclusion des projets sur les piles céramiques (*Solid Oxide Fuel Cell*) et polymères (*Polymer Electrolyte Fuel Cell*), dont les rapports finaux sont attendus. Une poursuite de cette fructueuse collaboration dans ces deux domaines en est au stade de préparation avancée. La Suisse a accueilli la dernière réunion d'experts du projet *SOFC* [19], ainsi qu'un atelier de très haut niveau sur l'apprêtage du combustible pour les *PEFC* [16].

## 7. Transferts à la pratique

### PILES À COMBUSTIBLE

Sur les piles "*acide phosphorique*" au gaz naturel, les Services Industriels de Genève ont lancé le 4 mars 1993, le projet P+D GAZEL [14]. Il s'agissait d'établir la crédibilité de cette technologie, à l'aide d'une installation commerciale, de la firme américaine ONSI d'une puissance de 0,2 MW<sub>el</sub>. Les résultats sont excellents: avec un total, au 30 novembre, de 21'655 heures d'opération, la production a dépassé les 4 millions de kWh. Le rendement électrique PCI (pouvoir calorifique inférieur) net (consommation auxiliaire déduite) a été de 40,2 % et le taux de disponibilité de 90 %. La dégradation des performances, après 2 ans et 9 mois, est de 4 %.

Sur les piles "*polymères*" à hydrogène, le projet pilote d'ATEL [15], à Niedergösgen, a aussi franchi une sorte de ligne d'arrivée. Il s'agissait d'étudier le comportement de deux piles polymères commerciales de la firme canadienne BALLARD, de 3,5 kW<sub>el</sub> chacune. Sur trois ans, ces piles ont cumulé 5'380 heures d'opération. Si l'on ne tient pas compte des pertes causées par la compression de l'air, le rendement électrique net a été de 43 %.

Sur les piles "*céramiques*", SULZER-Innotec est parvenu, avec son 3<sup>e</sup> modèle fonctionnel "HEXIS-1 kW", à produire une puissance de 750 W.

### ACCUMULATEURS

LECLANCHÉ [11], à Yverdon, est parvenu à développer un accumulateur aux hydrures métalliques Ni-MH monobloc de 12 V, et 9,5 Ah, avec 57 Wh/kg et plus de 600 cycles, et un chargeur intelligent a été développé dans un projet NEFF, en collaboration avec l'EPFL.

Dans le cadre du programme "Électricité" (voir rapport de synthèse), la maison GLUR a adapté son procédé de recharge PROTAC aux accumulateurs au plomb.

Relevons encore, la publication par l'*Institut für Elektronik* de l'ETHZ, d'une fiche signalétique [20] pour l'information du grand public.

## 8. Évaluation 1995

Pour les piles céramiques, les importants progrès accomplis ces derniers mois marquent le point de départ dans la réalisation d'une pile 100 % suisse; par ailleurs, l'acceptation d'un projet européen renforce l'option d'opération à température réduite. Pour les piles polymères, l'acceptation d'un projet européen renforce, à point, l'encadrement industriel des recherches.

Pour les accumulateurs aux hydrures métalliques, la phase de recherche peut être considérée comme terminée (avec cependant un prolongement dans un projet européen accepté) et les résultats obtenus constituent une excellente base pour la production industrielle. Pour les accumulateurs ions-lithium, malgré le refus d'un projet européen, la base de connaissance acquise, permet le lancement d'une étroite collaboration industrie-PSI. Pour les accumulateurs Zn-air, les excellents résultats acquis, ouvrent déjà la perspective d'une mise en application pratique dans le domaine de la voiture électrique.

## 9. Perspectives 1996

Piles à combustible à électrolyte céramique: 1) Optimiser le procédé VPS pour obtenir  $250 \text{ mW/cm}^2$ , à  $850^\circ\text{C}$ , avec une dégradation inférieure à  $15 \mu\text{V/h}$ . Tester sa reproductibilité, puis produire plusieurs éléments de  $12\text{cm } \varnothing$  par fournée. 2) Optimiser les conditions d'activation électrocatalytique initiale et quantifier l'effet de privation de fuel et d'oxygène. 3) Développer, en cobaltite de lanthane, un diffuseur-air en feutre de fibres extrudées, et une barrière de diffusion anti-chrome, et, en nickel, une membrane microporeuse, pour le diffuseur-fuel. 4) Tester un *stack* HEXIS de 1 kW équipé d'éléments VPS et du module de reformage du gaz naturel et établir le bilan énergétique détaillé. 5) Optimiser le procédé PVD pour obtenir  $200 \text{ mW/cm}^2$  à  $850^\circ\text{C}$  avec un électrolyte en zircone ultra-mince.

Piles à combustible à électrolyte polymère: 1) Développer le système de gestion de l'eau dans le cadre du projet *Joule*. 2) Optimiser le procédé de fabrication des membranes et construire un *stack* de 200 W.

Accumulateurs ions-Li: Réduire les pertes survenant lors de l'intercalation initiale dans le graphite.

Accumulateurs Zn-air: Développer un modèle fonctionnel.

Accumulateurs Ni-MH: Démontrer la stabilité sur 200 cycles d'alliages du type  $\text{AB}_2$ , offrant une capacité massique de l'ordre de  $340 \text{ Ah/kg}$ .

Chargeur intelligent: Démontrer pour les accumulateurs soumis à forte demande (traction), les bénéfices de la recharge "alternée", développée pour les accumulateurs stationnaires (ininterruptibles).

## 10. Liste des projets

- [1] G. Scherer, PSI-Villigen: *Material- und Strukturaspekte von Membran-Brennstoffzellen*. (RA)
- [2] R. Diethelm, SULZER Innotec, Winterthur: *SULZER HEXIS SOFC SYSTEM*. (RA)
- [3] H. Gruner, MEDICOAT, Mägenwil: *Optimierung von HEXIS-kompatiblen PEN-Elementen durch VPS*. (RA)
- [4] A. McEvoy, ICPII / EPF-Lausanne: *Optimisation de l'activation initiale des PEN VPS*. (RA)
- [5] J. Wil, A. Mitterdorfer, NMW / ETH-Zürich: *Integrierte Stack-Repeat Elemente für HEXIS*. (RA)
- [6] B. Gut, K. Berroth, EMPA-Dübendorf: *Werkstoffe und Komponenten für keramische Brennstoffzellen*. (RA)
- [7] S. Müller, PSI-Villigen: *Alkalische wiederaufladbare Zink/Luft-Batterie*. (RA)

- [8] P. Novák, PSI-Villigen: *Wiederaufladbare Lithium-Ionentransfer-Batterie*. (RA)
  - [9] C. Daul, UNI-Fribourg & E. Deiss, PSI-Villigen: *Modélisation de cellules électrochimiques au lithium d'intercalation*. (RA)
  - [10] C.W. Schläpfer, UNI-Fribourg: *Anwendungen von Polymeren in elektrochemischen Zellen*. (RA)
  - [11] H. Desilvestro, LECLANCHÉ, Yverdon: *Nickel-Hydrid Akkumulator*. (RF)
  - [12] R. Michaelis, R. Kötz, PSI-Villigen: *Selbstentladung von Nickel-Metallhydrid Batterien*. (RF)
  - [13] A. Züttel, L. Schlapbach, UNI-Fribourg: *Metallhydride als Elektroden in reversiblen Batterien*. (RA)
  - [14] D.L. Nguyen, Services Industriels - Genève: *Projet GAZEL - SIG*. (RA + RF)
- (RA)      Rapport annuel 1995 disponible  
 (RF)      Rapport final disponible

## 11. Références

- [15] E. Fischer, ATEL-Olten: *Das Brennstoffzellen-Projekt der ATEL- eine Bilanz*, ATEL Mitteil. 151, Sept. 95
- [16] *Fuel Processing for PEFC*, Proceedings IEA Workshop, Villigen, Sept. 26, 1995; PSI, Jan. 1996
- [17] *La recherche suisse sur les accumulateurs*, C.-R. Workshop, Berne 18 oct., 1995; OFEN, oct. 95
- [18] *Balance of PEN*, Ovronnaz, Proceedings CH-Workshop, Nov. 15, 1995, EPFL, April 1996.
- [19] *Proceedings of the IEA SOFC Activity Meeting*, Ovronnaz, Nov. 16-17, 1995, EPFL, Feb. 1996.
- [20] *Merkblatt Batterien und Akkus*, IfE / ETH-Zürich, Porte ouverte du 11. nov. 95; version bilingue en préparation à l'OFEN

# KERNTECHNIK & NUKLEARE SICHERHEIT

**Überblicksbericht**  
zum Forschungsprogramm 1995

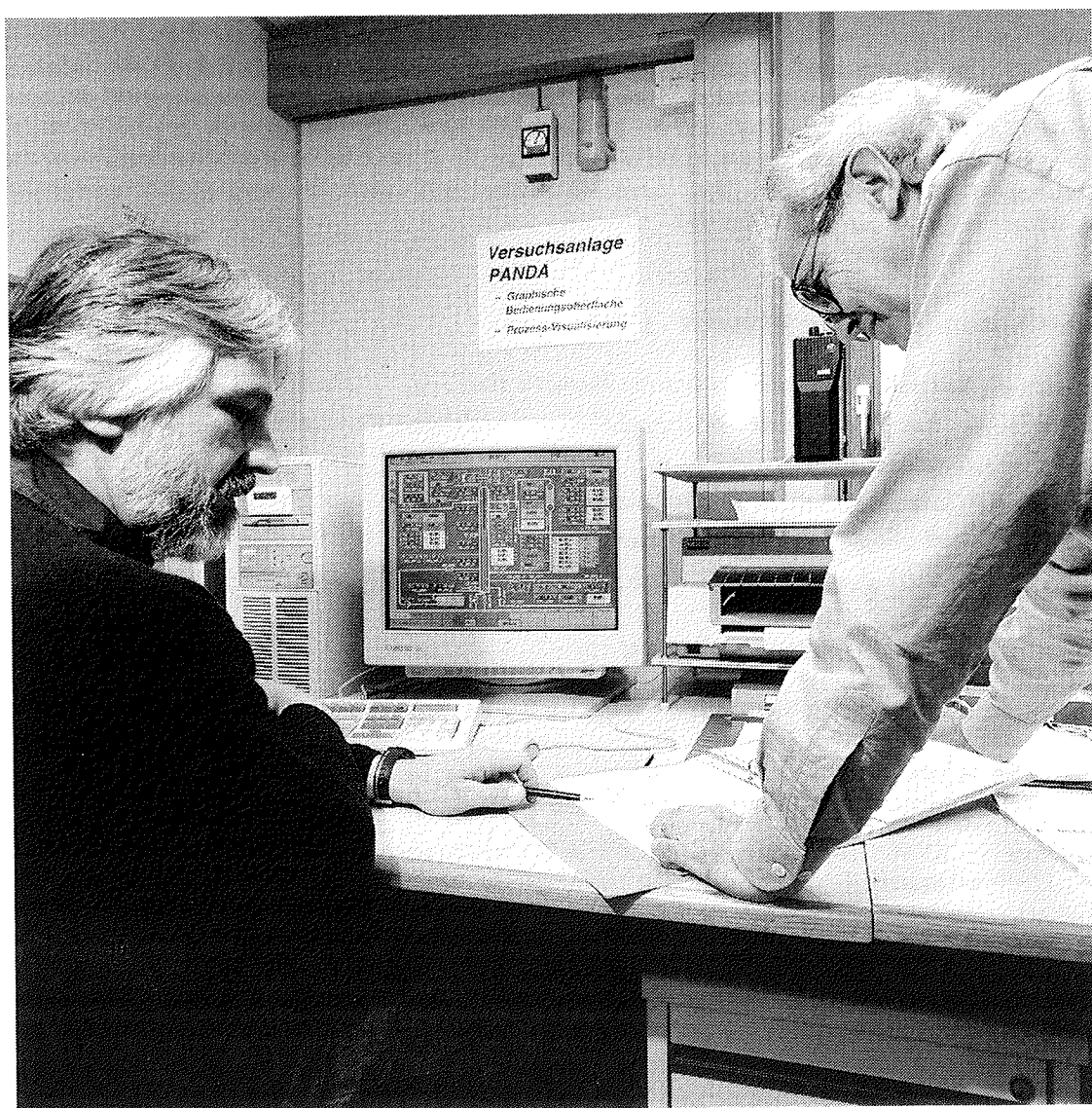
**Wolfgang Kröger**

PSI, 5232 Villigen

☎ 056/310 27 42 - Fax: 056/310 44 11

E-mail: kröger@psi.ch

---



## **Simulation der passiven Nachwärmeabfuhr in der PANDA-Anlage**

Die Anfangsbedingungen für die Tests werden mit dem Computer definiert und dem System aufgeprägt. Nach dem Teststart wird die Anlage – wie es sich bei passiven Systemen gehört – sich selbst überlassen, der Operateur greift in die Tests nur ein, um zusätzliche Systemstörungen einzugeben.

## 1. Programmziele

Forschung auf dem Gebiet der "Kerntechnik und (nuklearen) Sicherheit" in der Schweiz dient heute primär

- der ständigen Angleichung der Kompetenz an den internationalen Stand von Wissenschaft und Technik im Hinblick auf eine fortwährend sichere Nutzung der Kernenergie,
- der Ausbildung von fachlichem Nachwuchs durch attraktive Forschung in Kooperation mit den Hochschulen,
- der Bearbeitung wissenschaftlicher Fragestellungen bis hin zu Expertisen zu Einzelaspekten und dem Erbringen wissenschaftlich-technischer Dienstleistungen samt sicherem Betrieb der dazu notwendigen Anlagen und
- dem aktiven Verfolgen sich international abzeichnender sicherheitstechnischer Anforderungen an zukünftige Kernanlagen, Brennstoffkonfigurationen und -zyklen und der Evaluation technischer Lösungen.

Schwerpunktmässig findet die nukleare Energie- und Sicherheitsforschung in der Schweiz im Bereich "Nukleare Energie, Sicherheit" des Paul Scherrer Instituts (PSI) statt. Die Beiträge der Hochschulen konzentrieren sich auf die Lehre; Diplomanden und Doktoranden führen allerdings ihre Forschungsarbeiten in der Regel ebenfalls am PSI durch. Im Jahr 1995 wurden insgesamt ca. 200 Personen-Jahre (davon ca. 45 für Infrastruktur) und Sachmittel von ca. 6.8 Mio. Fr. in diese Forschung investiert. Mehr als 40 % der Personalmittel und etwa ein Drittel der Sachmittel wurden durch die Elektrizitätswirtschaft und die NAGRA, das BEW (bzw. HSK) sowie den NEFF meistens im Rahmen von Forschungsaufträgen finanziert. BEW steuerten ca. 26 % der drittfinanzierten Sachmittel und ca. 13 % des drittfinanzierten Personals bei; über diese Aktivitäten wird auch im nachfolgenden Jahresüberblick "Regulatorische Sicherheitsforschung der HSK" berichtet.

## 2. Arbeiten und Ergebnisse 1995

Die Forschungsarbeiten am PSI gliedern sich in die Themenkreise:

- Sicherheit und sicherheitsbezogene Betriebsprobleme schweizerischer Kernkraftwerke.
- Entsorgung radioaktiver Abfälle.
- Sicherheit und Technik zukünftiger Reaktorkonzepte.
- Ganzheitliche Betrachtung von Energiesystemen.

Im Folgenden werden die wichtigsten Projekte auf diesen Gebieten kurz dargestellt.

### FORSCHUNG ZU SCHWEREN UNFÄLLEN [1]

Das Studium schwerer Unfälle in Kernkraftwerken mit LWR umfasst experimentelle und theoretische Forschung zur Vertiefung von Grundlagenwissen sowie Verbesserung und Validierung mathematischer Modelle, die u.a. angewendet werden zur Analyse des phänomenologischen Ablaufs und radioaktiver Freisetzungen für unterstellte Unfallszenarien in schweizerischen KKW.

Der Betreiber des KKW Gösgen definierte drei solche **Unfallszenarien**, die Wassereinspeisungs-Brüche und ein Anlagen-*Blackout* postulieren. Die bisherigen Analysen zu einem 5 cm Ø – Bruch zeigten, dass das Reaktordruckgefäß zwischen 14 und 18 Stunden nach Eintreten des Unfalles versagen wird. Der Druck im *Containment* wird den Wert für die Einleitung der gefilterten Druckentlastung nach ungefähr 6 Tagen erreichen. Die Rechnungen zeigten auch, dass die Wasserstoffkonzentration die Detonationsschwelle erreichen mag. Da ein grosser Teil der luftgetragenen Aerosole im *Containment* durch natürliche Prozesse (Gravitationsablagerung usw.) zurückgehalten und so die Konzentration um 3 bis 4 Grössenordnungen reduziert wird, liegt die bei der Entlastung freigesetzte Aktivität der Aerosolteilchen in die Umgebung unter 10 Ci (400 GBq), die keine erhebliche Schäden in der Umgebung erwarten lässt. Solche Analysen finden mit finanzieller Unterstützung des UAK statt.

Am **POSEIDON**-Kreislauf [2] wurden 10 der 12 geplanten Experimente für die erste Phase des Programmes zur **Aerosolrückhaltung in Wasservorlagen** durchgeführt. Zweck dieser Tests ist, integrale Rückhaltungsdaten bereitzustellen, um ein gemeinsam mit externen Partnern entwickeltes Computerprogramm auszuwerten. Erste Vergleiche zeigen wesentlichen Diskrepanzen zwischen Experiment und Rechnung.

Die Untersuchung des extremen Unfallszenarios, bei welchem der Kernschmelzvorgang nicht gestoppt werden kann und die untere Kalotte des Reaktordruckbehälters in Kontakt mit Schmelze versagt, wurde international als eine wichtige Forschungsaufgabe erkannt. Das Projekt **CORVIS** (*Corium Reactor Vessel Interaction Studies*) [3] umfasst experimentelle und analytische Untersuchungen dieser Versagensart. **Durchschmelzexperimente** werden mit einer Aluminium/Eisen-Thermitschmelze als Ersatz für Kernschmelze durchgeführt. Im analytischen Teil des CORVIS-Projektes werden die experimentellen Daten benutzt, um Simulationsmodelle zu validieren, die fähig wären, dieses Versagen unter realistischen Unfallbedingungen, insbesondere unter hohem Systemdruck, zu beschreiben. Die Testanlage wurde im Berichtsjahr verbessert, einschliesslich einer Verdoppelung des elektrischen Stroms zur kontinuierlichen Heizung der Schmelze auf 4 kA und einer temperaturkontrollierten Vorheizung des Testgefässes mittels eines 150 kW Propangas/Sauerstoff-Brenners. Die automatische Vorrichtung zum Trennen von Aluminiumoxid und Eisenschmelze während des Giessvorgangs wurde erfolgreich getestet. Ein Grosstest Ende 1994 zur Untersuchung des Verhaltens der Entwässerungsleitung (typisch für SWR von *GENERAL ELECTRIC* / GE) wurde inzwischen detailliert ausgewertet. Die aufgetretene turbulente Strömung innerhalb der 800 kg Schmelze hat alle stählernen Strukturen (Gefässboden und Leitung) durch Oberflächenabtragung stark angegriffen: Die Entwässerungsleitung mit einem Durchmesser von 60 mm versagte ca. 6 s nach dem ersten Kontakt mit der Schmelze. Die numerische Analyse des obigen Experimentes ist abgeschlossen: Die gemessenen Temperaturschichten und der Ort des Leitungsversagens können mit dem verwendeten Modell gut vorausgesagt werden. Die thermo- und strömungsmechanische Berechnung eines Systems mit mobilen Schnittstellen zwischen festen Strukturen und Schmelze ist allerdings äusserst kompliziert; eine Vorausrechnung des Erosionsvorganges ist noch nicht möglich.

## KOMPONENTENSICHERHEIT

Ein neues Verständnis der verschiedenen Versagensmechanismen von Komponenten wurde möglich dank der Weiterentwicklung **bruchmechanischer Berechnungsmethoden** [4] (in Verbindung mit der Implementierung von gegenwärtig angewandten einfachen Schadensmodellen) und der Entwicklung von *Codes*, die die Fortpflanzung eines Risses mit einer einzigen Berechnung simulieren. Die neue Methode wurde auf der Notkühlung eines "alten" Druckgefässes angewandt, dessen Zähigkeit durch Neutronenbestrahlung bis hin zur Übergangszone zum spröden Regime vermindert wurde. Das berechnete Wachstum von vorhandenen Rissen, die thermischen Schocks unterworfen wurden, ergab unter Anwendung von einfachen Modellen für spröden Bruch eine unerwartet gute Übereinstimmung mit Daten aus Testproben. Die Tests zum J-Integral bei Temperaturen zwischen -65 und 235 °C des Materials A 533 B1 unter Benutzung vorgeritzter CHARPY-Proben wurden abgeschlossen; bei niedrigen Temperaturen setzte klar sichtbares stabiles Risswachstum ein. Die Tests werden derzeit sorgfältig analysiert.

Bruchmechanische Probestücke wurden konstanten Belastungen in einem Heisswasser-Kreislauf unterworfen, um deren Verhalten hinsichtlich **Spannungsrissskorrosion** [5] zu untersuchen. Die untersuchten ferritischen Reaktordruckbehälter-Stähle (20 MnMoNi 5 5, A 508 Cl.2) zeigten unter quasi-stagnierenden und wechselnden SWR-Kühlwasserbedingungen, die aber weit jenseits der betrieblichen Werte lagen, hohe Risswachstumsraten (3 mm/a bis 3 cm/a) bis hinunter zu Sauerstoff-Konzentrationen von 0.4 ppm und einer spezifischen Leitfähigkeit von 0.5 S/cm (mittlere Verunreinigung: Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>). Mit der neuen Vorrichtung zur direkten Messung des Risswachstums in den Autoklaven können die Inkubationszeiten von Rissen gemessen oder die Rissnukleation beobachtet werden.

Im Rahmen des Projektes **EDEN** [6] bleibt das Verständnis der Faktoren, die zu verbessertem Korrosionswiderstand von DWR-Hüllrohren führen, ein bedeutendes Forschungsthema. Das experimentelle Projekt der *Nuclear Fuels Industry Research Group* (Phase II) wurde mit schwierig vorzubereitenden TEM-Bildern der Metall-Oxyd-Schnittstelle von hochaktiven Zircaloyproben abgeschlossen. Innerhalb dieses Projektes wurde u.a. bewiesen, dass die gesteigerte Lithium-Aufnahme, welche den Korrosionswiderstand des Hüllrohres wesentlich verschlechtert, von der vorherrschenden Temperatur und Siedezuständen innerhalb des Oxidbereichs dominiert wird. In Zusammenarbeit mit dem Russischen Institut RDIPE wurde über Heisszellenuntersuchungen gezeigt, dass ein gebrochenes Brennstoff-Druckrohr vor dem Bruch eine Temperaturexkursion von 1300-1400 °C erfahren hat. Frühere Modelle schätzten die erwartete höchste Temperatur für einen solchen Bruch unter 900 °C ein.

Da im KKW Leibstadt im Sommer 1995 äusserst hohe Hüllrohr-Oxidschichtdicken mittels Wirbelstrommessung gemessen wurden, hat man sofort zwei Brennstäbe zum PSI-*Hotlabor* zur Nachbestrahlungsuntersuchung gesandt. Nach 7 intensiven Arbeitstagen könnte dann abschliessend gezeigt werden, dass die in-situ Messungen verfälscht waren: Das zur Verbesserung der Wasserchemie dem Kühlmittel zugegebene Zink hatte sich in die *Crud*-Schicht des

Hüllrohrs eingepflanzt, die tatsächliche Oxidschicht hatte aber die normale Dicke. Solche Arbeiten werden allgemein im Auftrag der schweizerischen Kernkraftwerke durchgeführt.

## COMPUTERUNTERSTÜTZTE TRANSIENTEN-ANALYSEN

Die vertragliche Einbindung eines Dienstleistungsbestandteiles *on-call* in das STARS-Projekt [7] stellt eine bedeutende Änderung dar. In diesem Rahmen wurden zwei Aufgaben vollendet: Die Analyse eines unbeabsichtigten Abschlusses der Haupt-Dampfisolationsventile ohne nachfolgende Schnellabschaltung für KKL bestätigte die Notwendigkeit einer Nachrüstung mit automatischer Abschaltung der Speisewasserpumpen, wie von der HSK gefordert. Unter der Annahme dieser Nachrüstung, zeigten die STARS-Analysen ein ansehnliches Zeitfenster für Operateur-Handlungen, um die Folgen des vorausgesetzten Unfalles zu mildern. Ferner wurden die Margen unter den kürzlich von der HSK vorgeschlagen neuen Genehmigungskriterien für reaktivitätsinduzierte Unfälle durch die Analyse eines Stabausfall-Unfalles für einen Schweizerischen SWR ermittelt; es zeigte sich, dass auch die verschärften Kriterien erfüllt werden können.

Erstmals wurde dem Projekt Anfang 1995 ein Auftrag direkt von einem Schweizerischen Elektrizitätsunternehmen erteilt: Es umfasst die Untersuchung einiger bisher nicht analysierter Transienten für spezielle Notfall-Zustände, die während des Genehmigungsprozesses Aufmerksamkeit fanden. Das Spektrum von STARS wurde auf Analysen im Bereich der Kühlmittelverlust-Störfälle durch eine Zusammenarbeit mit dem Labor für Thermohydraulik erweitert. Im Rahmen der Sicherheitsnachprüfung eines Schweizerischen DWR, stellte die HSK einige Fragen zur Reaktion der Anlage auf äusserst kleine Brüche. Diese Aufgabe wurde mit Bestätigung der eingereichten Analysen des Anlagenbetreibers erfolgreich abgeschlossen.

## LWR-KONTAMINATIONS-KONTROLLE [8]

Wasserkreislauf-Bedingungen eines SWR (300 °C, 700 MPa, 200 ppm O<sub>2</sub>) wurden im Labor unter mehreren Kombinationen hoher Temperaturen und Drücke modelliert. Ein Kreislauf dient der integralen Prüfung von Kreislaufkorrosion und Aktivitätsaufbau unter Variation der Speisewasser-Chemie und der Durchflussraten; Autoklaven mit Rührvorrichtungen werden benutzt, um individuelle Parameter zu studieren. Unter kontrollierten "Couette"-Strömungsbedingungen wurde gezeigt, dass der Aktivitätsaufbau auf rostfreiem Stahl (DIN 1.4970) zwischen 0 und 7 m/s unabhängig von der Wasser-Strömungsgeschwindigkeit ist und bis zu 2000 Stunden linear mit der Zeit zunimmt. Ersteres deutet darauf hin, dass die früher aufgestellten Kristallisations- und Ablagerungsmodelle mit durchflussabhängiger Korrosionsrate nicht bestätigt werden können. Bei Rührung in den Autoklaven konnte jedoch Oberflächen-Aktivitätssättigung durch <sup>58</sup>Co erreicht werden, die aber durch Zugabe eines konkurrierenden Ions wie z.B. <sup>59</sup>Co eindeutig reduziert werden kann. Solche positive Effekte konnten ferner bei Zugabe von Zink detaillierter untersucht werden: Eine niedrige Zinkzugabe, wie im KKW Leibstadt angewandt, erwies sich als wirksamer als eine zehnfach höhere Konzentration, wie von GE empfohlen. Es wurde auch eindeutig gezeigt, dass unterschiedliche Oberflächenbearbeitung und Voroxidierungsbedingungen den Co-Aktivitätsaufbau erheblich (etwa Faktor 10) beeinflussen.

## ENTSORGUNG RADIOAKTIVER ABFÄLLE [9]

Ziele der Entsorgungsaktivitäten sind die Entwicklung und Überprüfung von Modellen, sowie die Gewinnung ausgewählter Daten zur Unterstützung der Bewertung schweizerischer Endlager für radioaktive Abfälle. Im Zentrum steht die Weiterentwicklung des Verständnisses sicherheitsrelevanter Mechanismen und Prozesse, die die Freisetzung von Radionukliden aus Abfallmatrizen, ihren Transport durch das technische Barrierensystem und das Endlagerfernfeld bestimmen. Das so gewonnene Wissen wird dann in Sicherheitsanalysen eingebracht. Die rechtzeitige Realisierung eines Endlagers für kurzlebige schwach- und mittelaktive Abfälle hat erste Priorität. Da solche Endlager hohe Zementmengen beinhalten, wurden auch im Berichtsjahr die meisten Aktivitäten auf zementbezogene Fragen konzentriert. Drei breite Gebiete waren angesprochen: (i) die zeitliche Entwicklung von Zement-Porenwässern in einem Wirtgestein und die Transporteigenschaften der Radionuklide, (ii) der Einfluss organischer Substanzen im Abfall und im Zement auf solchen Eigenschaften und (iii) die Entstehung und Charakterisierung von Kolloiden im Zement. Das Projekt findet mit finanzieller Unterstützung der NAGRA statt.

Die Arbeit zum Zementabbau im Grundwasser wurde abgeschlossen. Das früher entwickelte Degradierungsmodell wurde anhand eines grossen Satzes experimenteller Daten weitgehend bestätigt. Unter Benutzung eines Modells, das Massetransport und chemische Reaktionen koppelt, wurde quantitativ gezeigt, wie die Auflösung von Zement durch



Mergel-Grundwasser seine Durchlässigkeit erhöht. Die Kalzit-Ablagerung im benachbarten Mergel reduziert dessen Durchlässigkeit aber stark und somit auch die Transportraten von Mergelwasser-Bestandteilen in den Zement und von Radionukliden aus dem Endlager.

Die Sorption einiger Elemente im Zement ist noch nicht gut verstanden: Integrale Sorptions- und Diffusionsexperimente ergaben inkompatible, aber reproduzierbare Ergebnisse für Nickel und Jodid, während sie für Caesium und Chlorid konsistent sind. Die Diffusionsexperimente sind zu Ende gegangen und ein nächster Schritt wäre die Analyse von Zementscheiben, um Information über der räumlichen Verteilung von Radioelementen zu erhalten. Es wurde bisher erwartet, dass die Produkte des Zelluloseabbaus die Nuklidsorption (z.B. für Americium) stark reduzieren und daher den Quellterm für die Freisetzung aus dem Endlager erhöhen würden. Experimente von kurzer Dauer bestätigten diese Erwartungen. Langzeitexperimente (über einige Monate) ergaben jedoch erstmals, dass sich die Sorptionsfähigkeit merklich erholt. Der verantwortliche Mechanismus ist noch nicht völlig verstanden, aber es ist offenbar, dass sich der Effekt in einer Sicherheitsanalyse sehr positiv auswirkt. In Zementporenwässern baut sich Zellulose langsam ab und es wurde gezeigt, dass das wichtige Abbauprodukt, Isosaccharinsäure, auf Zement sorbiert und ein unlösliches Kalziumsalz bildet. Alle diesen Faktoren tragen in einer positiven Richtung zur Endlagersicherheit bei.

Die Arbeit, welche auf ein mechanistisches Verständnis der Sorption auf komplexen Mineralien zielt, wurde fortgesetzt. Nach der erfolgreichen Modellierung eines breiten Bereiches von Daten aus konditioniertem Montmorillonit, wurden jetzt Arbeiten angefangen, um die Metallsorption auf realistischeren Materialien wie unkonditionierter Montmorillonit und Illit zu untersuchen.

#### **ALPHA-PROGRAMM [10]**

Im Programm ALPHA wurde die experimentelle und analytische Untersuchungen passiver Systeme zur Nachwärmeabfuhr und Spaltproduktückhaltung für fortgeschrittene Leichtwasserreaktoren mit Erfolg weitergeführt. Im Zentrum steht die Versuchsanlage PANDA, die im Berichtsjahr mit verschiedenen Anlagetests termingerecht in Betrieb genommen wurde. Sie dient dem Nachweis der Leistungsfähigkeit spezieller Kondensatoren zur passiven Langzeitabfuhr der Nachzerfallswärme aus dem Sicherheitsbehälter einer Reaktoranlage an die Umgebung. Das Projekt findet mit finanzieller Unterstützung des UAK, des NEFF und von GE statt.

Zu den Inbetriebnahmetests gehörten Druckproben, Leckageprüfungen, Wärmeverlustmessungen und die Ermittlung von Durchfluss-Druckabfall-Charakteristiken für Systemleitungen. Damit konnten die Auslegungsscharakteristiken der Anlage ausnahmslos bestätigt werden. Eine erste Serie von Versuchen war als Komponentenprüfung definiert. Die als Haupteinsatz der PANDA-Anlage vorgesehenen integralen Systemversuche wurden im vierten Quartal 1995 aufgenommen und weitgehend abgeschlossen. Dabei konnte auch die Funktionstüchtigkeit der umfangreichen Hilfsysteme, die die gesamte Anlage in den für einen Versuchsstart definierten Anfangszustand zu bringen haben, nachgewiesen werden. Die Analyse der ersten Versuche hat auch die Zuverlässigkeit und die hohe Genauigkeit der über 600 Messstellen umfassenden Instrumentierung der Versuchsanlage demonstriert.

Die integralen Systemversuche in PANDA simulieren einen Hauptdampfleitungsbruch in einem zukünftigen SWR mit vereinfachten Systemen (GE-SBWR). Da das Langzeitverhalten von Interesse ist, starten die Tests in PANDA eine Stunde nach dem "Leitungsbruch", und untersuchen das Verhalten des Systems mit passiven Kondensatoren für die nächsten maximal 20 Stunden. Die ersten Messdaten zeigen ein insgesamt gutmütiges Verhalten und den erwarteten Druckverlauf im Sicherheitsbehälter, der sogar unabhängig von den verschiedenen geschalteten Konfigurationen der Kondensatoren ist. Der gemessene Druckverlauf bestätigt demnach, dass die Nachzerfallswärme problemlos ohne aktive Komponenten über die Kondensatoren in die Umgebung transportiert werden kann.

Als weitere ALPHA-Teilprojekte konnten die experimentelle Anlage LINX zur Untersuchung eines sich im Sicherheitsbehälter befindenden, mit Lamellen bestückten Kondensators fertiggestellt und die Inbetriebnahmeexperimente durchgeführt werden. Der erste von 7 Tests, die für das AIDA-Teilprojekt bis Ende 1996 geplant sind, wurde erfolgreich durchgeführt. Der Test ergab wesentliche Aerosolablagerungen innerhalb des Kondensators, die den dort stattfindenden Kondensationsprozess unzulässig beeinflusst haben. Vier weitere Tests werden in Verbindung mit GE geplant, um Information zu bereitstellen, die das ganze Spektrum in solchen Kondensatoren auftretender Zustände abdecken. Die analytischen Arbeiten schliesslich befassten sich mit Voraus- (z.Hd. der amerikanischen Sicherheitsbehörde) und Nachrechnungen und Analysen von geplanten bzw. durchgeführten Experimenten, sowie mit begleitenden Rechnungen zur detaillierten Versuchsplanung. Die Qualifizierung der dabei zum Einsatz

kommenden Computerprogramme für behördlich anerkannte Sicherheitsbetrachtungen wird damit durch das Projekt entscheidend beeinflusst.

### PROTEUS [11]

Das experimentelle PROTEUS Benchmark-Programm für HTR mit niedrig angereicherten Brennstoff ist mit der Untersuchung zwei neuer Kernkonfigurationen weitergegangen. Besonders interessant war Kern 7, in welchem der theoretisch höchste Reaktivitätseffekt von Wassereinbruch durch Benutzung von Polyäthylen-Stäbchen simuliert wurde. Der Vergleich von Ergebnissen mit Kern 5 (ähnliche Geometrie, aber ohne Wassereinbruch) liefert wichtige Einsichten zu den massgeblichen physikalischen Effekten: Erste Vergleiche von Messresultaten mit Rechnungen beispielsweise zeigen grosse Diskrepanzen, die mit steigendem Wasserinhalt im Kern wachsen (bis zu 2.5 %). Dies scheint zunächst die Annahme zu widersprechen, wonach solche Diskrepanzen aus der fehlenden Behandlung des Neutronenstreamings in den letzten Rechnungen resultieren. Zusätzliche Messungen deuten allerdings darauf hin, dass die scheinbar bessere Übereinstimmung bei Kern 5 einer Kompensation des negativen Effekts ausströmender schneller Neutronen durch den positiven Effekt thermischer Neutronen, die in den untermoderierten Kern wieder reflektiert werden, zuzuschreiben ist. Mit der definitiven Dokumentation der PROTEUS-Systembeschreibung sind unsere internationalen Partner jetzt in der Lage, die Validierung ihrer Rechenmethoden in Angriff zu nehmen.

### SCHNELLE REAKTOREN [12]

PSI-Untersuchungen zur Sicherheit schneller Reaktoren liefern im Rahmen internationaler F&E-Aktivitäten Beiträge zu spezifischen reaktorphysikalischen und thermohydraulischen Fragen. Der reaktorphysikalische Teil zielt auf Reduktion der Unsicherheiten in den Berechnungen der Reaktorsicherheitsparameter. Dies ist von Bedeutung für die aktuellen Kernladungen im *SUPERPHÉNIX*, aber noch wichtiger für die beabsichtigten neuen Brennstoffzusammensetzungen zur Plutoniumverbrennung. Anhand von französischen reaktorphysikalischen Experimenten, die die neuen Kernkonfigurationen nachbilden, werden auch die Rechencodes des PSI validiert.

Im thermohydraulischen Teil wurde die Teststrecke NAMIX für Experimente mit Natrium gebaut und steht vor der Endmontage; der NALO-Kreislauf, der das Natrium für die Experimente liefert steht vor der Inbetriebnahme. Parallel wurde die direkte numerische Simulation turbulenter Mischungsschichten in internationaler Zusammenarbeit (Anwendung und Weiterentwicklung des Codes *FLOW-SB*) fortgesetzt. Die jetzt dreidimensionalen Studien haben Schichtungseffekte mitberücksichtigt; Proberechnungen für Luft, Wasser und Natrium zeigten gute Übereinstimmung mit Daten aus WAMIX-Messungen und der Literatur.

An einer Fachtagung zum Meinungsaustausch unter Fachleuten über die Sicherheit von *SUPERPHÉNIX*, die im Mai 1995 in Zürich vom BEW organisiert wurde, hat das PSI mit einem Vortrag über die daraus resultierende Gefährdung der Schweiz aktiv beigetragen.

### FORTGESCHRITTENE BRENNSTOFFZYKLEN [13]

Die *Highlights* des Projektes wurden an einem Internationalen *Workshop* über Fortgeschrittene Brennstoffzyklen präsentiert, der im September 1995 am PSI stattfand. Danach haben Reaktorphysik-Studien die Machbarkeit von plutoniumverbrennenden LWR erhärtet, die auf 100 % MOX-Kernladungen oder auf uranfreiem Pu-Er Oxid in einer inerten ZrO<sub>2</sub> Matrix basieren und Vernichtungsraten von jeweils 30 % bzw. 60 % der anfänglichen Plutoniummasse erreichen. Es könnten Kerne entworfen werden, die ähnliche Betriebs- und Sicherheitseigenschaften wie gegenwärtige LWR aufweisen.

Die Systemstudien zur Actinidentransmutation zeigten ferner, dass optimierte Systeme mit schnellen Spektren, die den Uran-Plutonium-Zyklus benutzen, am vielversprechendsten sind. Im Rahmen des ATHENA-1 Experiments wurden dünne UO<sub>2</sub>- und ThO<sub>2</sub>-Targets im 0.6 GeV Protonenstrahl des PSI-Beschleunigers bestrahlt. Dazu trug eine starke fachübergreifende Zusammenarbeit bei, die reaktorphysikalische Modellierung, präparative Chemie, Target-Engineering, Beschleunigeroperation und Strahlentechnik sowie Nachbestrahlungsuntersuchungen umfasste. Erste Ergebnisse zeigen, dass alle geplanten Analysetechniken anwendbar sind; vorläufige ICP-MS Messungen haben signifikante Abweichungen von rechnerischen Voraussagen ergeben.

Auf den materialtechnologischen Seite wurde schliesslich der nasschemische Prozess zur Erzeugung von (U,Zr)N-Kügelchen etabliert. Die chemischen und physikalischen Eigenschaften so produzierter Keramiken zur Bestrahlung im schnellen Reaktor *PHÉNIX* wurden untersucht. Hinsichtlich eines erhöhten Pu-Verbrauchs in LWR wurde

nachgewiesen, dass (U,Pu)Oxid, ebenfalls nasschemisch produziert und gesintert bei niedriger Temperatur, im Vergleich zu Brennstoff aus üblicher Pulvermischung verbesserte Auflösungseigenschaften zeigt. Im Hinblick auf besonders vielversprechende uranfreie Brennstoffe wurden Materialstudien durchgeführt, um nachzuweisen, dass (Pu,Np,Zr)O<sub>2</sub> in einer Phasenkeramik mit akzeptablen Neutronikeigenschaften über den ganzen Zyklus produziert werden könnte. Das Projekt findet mit finanzieller Unterstützung des UAK statt.

## GANZHEITLICHE BETRACHTUNG VON ENERGIESYSTEMEN [14]

Das diesbezügliche Projekt GaBE analysiert die verschiedenen Optionen für die schweizerische Energieversorgung und charakterisiert die damit verbundenen ökologischen, risikomässigen und ökonomischen Auswirkungen. Neben dem PSI-Forschungsbereich "Nukleare Energie" beteiligen sich daran der Bereich "Allgemeine Energie" sowie extern das Labor für Energiesysteme, das Institut für Wirtschaftsforschung und der Kompetenzverbund "Risiko und Sicherheit" der ETHZ. Die fachliche Koordination liegt beim PSI.

- Zur Ermittlung der Ökoinventare wurden Lebenszyklusanalysen (LCA) für ausgewählte zukünftige Elektrizitätsversorgungssysteme durchgeführt. Die Arbeit wurde vom Verband Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen unterstützt. Die bisher benutzte Datei und Methodik wurden erweitert, um sowohl technischen Fortschritt und neue Optionen als auch erwartete strukturelle Veränderungen zu berücksichtigen. Wie erwartet lassen sich die Emissionen der wichtigsten Schadstoffe erheblich reduzieren, allerdings steigt die relative Wichtigkeit anderer Zyklusschritte gegenüber dem Kraftwerk (insbesondere Transportmittel) und die von "grauen" Emissionen (Materialherstellung); dies belegt u.a. auch die Richtigkeit des LCA-Ansatzes. Basierend auf den erzielten Ergebnissen wurden sieben Szenarien zur Mankodeckung im Bereich der Stromversorgung für das Jahr 2030 unter Annahme zweier Nachfrageniveaus bewertet. Szenarios mit einem bedeutenden Anteil fossiler Systeme führen gegenüber heute zu einer beträchtlichen Erhöhung der Emissionen von Verbrennungsprodukten. Bei der freigesetzten Radioaktivität liegen die Emissionen nuklearbasierter Szenarien eine Grössenordnung höher als die mit den anderen Szenarien verbundenen.
- Die Arbeit auf dem Gebiet Risiko- und Sicherheitsaspekte, die vom BEW unterstützt wird, konzentrierte sich auf der Erweiterung der PSI-Unfalldatenbasis und auf damit verbundene Datenanalysen. Die Zahl von energiebezogenen Unfällen, die in der Datenbasis enthalten sind, wurde um zusätzliche 1023 (+44.7 %) erhöht und hat das Niveau von 3312 erreicht (davon 1239 schwere Unfälle). Die Erweiterungen betreffen insbesondere andersartige Unfallfolgen, einschliesslich Ölverschmutzungen und ökonomische Verluste. Detaillierte Analysen wurden für Wasserkraft durchgeführt, wobei die Anwendbarkeit weltweiter Erfahrungen mit Staudammbrüchen auf die besonders günstigen schweizerischen Bedingungen berücksichtigt wurde. Häufigkeits-/Folgenkurven und aktualisierte normalisierte Sterblichkeitskurven wurden für Kohle-, Öl-, Gas-, und Wasserkraft-Ketten erhalten. Für die Kernenergie-Kette wurde zudem eine neue Studienübersicht zu den externen Kosten schwerer Unfälle durchgeführt unter Einschluss einiger Analysen aus der Periode 1994-95.

## 3. Internationale Zusammenarbeit

- **CORVIS:** Vertragliche Kopplung von 19 Institutionen aus 10 Ländern im Rahmen einer Task-Force.
- **Aerosol-Rückhaltung, POSEIDON:** EPRI (USA), Framatome (F), AEA Technology (UK), GRS (D).
- **Komponentensicherheit, Spannungsriess-Korrosion:** Forschungszentrum Karlsruhe (D), Siemens/KWU (D), IAEA, MPA Stuttgart (D), VTT (FIN).
- **EDEN, Materialien des inneren Kernbereichs, Brennstoffforschung:** ABB (S), OECD/NEA-Halden (N), EPRI/NFIR (USA), internationale Brennstoffprogramme (GEMINI, FIGARO, ARIANE).
- **PROTEUS-Experimente:** Delegierte Experimentatoren aus USA, D, JPN, PRC, GUS im Rahmen eines IAEA-Programmes; zusätzlich französische Beteiligung.
- **ALPHA:** EPRI (USA), GE (USA), KEMA (NL), IEE (MEX), ENEL (I), EU.
- **Schnelle Reaktoren:** *European Fast Reactor*, CEA (F).
- **Fortgeschrittene Brennstoffzyklen:** CEA (F), OECD/NEA, PNC (JPN)
- **GaBE:** IAEA-Programm, COGEMA (F)

## 4. Perspektiven für 1996

Die dargestellten Forschungsprogramme sind mittel- und langfristig angelegt. Die meisten Aktivitäten werden 1996 fortgeführt. Es finden aber auch grundsätzliche Überlegungen über die Fortsetzung oder Umorientierung vieler PSI-Programme auf dem Gebiet der nuklearen Energieforschung statt und entsprechende Weichen gestellt. Die HSK hat die Nichtverlängerung des CORVIS-Vertrages angekündigt. Die Anlage wurde im Rahmen eines EU-Forschungsprogrammes eingebunden; fachliche Unterstützung und weitere Finanzierungsmöglichkeiten werden im Rahmen der OECD/CSNI gesucht. Eine Fortsetzung der Projekte "LWR-Kontamination" und "Spannungsrißkorrosion" wurde mit der HSK verhandelt. Das neue Programm der LWR-Kontamination zielt auf weiteren Untersuchungen zur Vorbehandlung neuer und alter, frisch dekontaminierter Komponentenoberflächen. Die Spannungsrißkorrosion betreffend, wird in Zukunft für die Wasserchemie eine stufenweise Anpassung an SWR-Normalbedingungen angestrebt; die Untersuchungen werden zu ferritischen und austenitischen Rohrleitungsstählen unter SWR- und DWR-Betriebsbedingungen erstreckt werden. Die HTR-PROTEUS-Experimente werden Mitte 1996 abgeschlossen. Ein Vorschlag für Folgeexperimente auf dem Gebiet fortgeschrittener LWR-Brennstoffe wurde formuliert und wird derzeit evaluiert; die Bewilligung dieses Forschungsprogrammes wird über den Weiterbetrieb der PROTEUS-Anlage entscheiden. Die ALPHA-Anlagen werden zukünftig für Grosseperimente im Rahmen der Forschungsprogramme der EU eingesetzt. Die Aktivitäten zu schnellen Reaktoren sollen mit dem Ablauf der bestehenden Verträge mit UAK und BEW (Ende 1996) abgeschlossen werden. Zum Programm "Fortgeschrittene Brennstoffzyklen" wird eine Verbindung mit der Japanischen Industrie aufgebaut, die sich bis zum Jahr 2000 erstreckt; die eher "exotischen" Teile des Projektes sollen aufgegeben werden. Allgemein wird im Rahmen der mittelfristigen PSI-Strategie eine Kompression der nuklearen Forschung geplant. Die Aktivitäten sollen sich vermehrt auf reelle gegenwärtige Bedürfnisse der Kernkraftwerke und der Sicherheitsbehörde ausrichten und eine noch stärkere Marktorientierung erfahren.

## 5. Publikationen

Im Rahmen der beschriebenen Projekte wurden 1995 rund 70 Arbeiten in Fachzeitschriften bzw. in Tagungsbänden internationaler Konferenzen publiziert; weitere ca. 80 Arbeiten wurden im Rahmen von Kolloquien und Seminaren präsentiert. Diese sind im Jahresbericht des Forschungsbereichs "Nukleare Energie, Sicherheit" des PSI (Annex IV) aufgeführt; die Liste kann auch beim Programmleiter gesondert angefordert werden.

## 6. Liste der Projekte

Weitere Angaben über die von BEW/HSK mitfinanzierten Projekte sind im Jahresüberblick "Regulatorische Sicherheitsforschung der HSK" zu finden. Alle nachfolgend aufgeführten Projekte gehören zum PSI.

- [1] P. Hosemann: *Quelltermanalysen*
- [2] S. Güntay: *POSEIDON-II - Experiment*
- [3] H. Hirschmann: *CORVIS*
- [4] K. Krompholz: *Komponentensicherheit, Bruchmechanik*
- [5] P. Seifert: *Spannungsriß-Korrosion-Loop*
- [6] G. Bart: *EDEN (Entwicklung, Durchführung und Evaluation von Nachbestrahlungsuntersuchungen)*
- [7] M. Zimmermann: *STARS (Simulations-Modelle für Transienten Analysen der Reaktoren in der Schweiz)*
- [8] E. Schenker: *Kontamination LWR*
- [9] J. Hadermann: *Programm Entsorgung radioaktiver Abfälle*
- [10] G. Varadi: *ALPHA (Advanced LWR Passive Heat Removal and Aerosol Retention)*
- [11] T. Williams: *PROTEUS-Experimente*
- [12] R. Brogli: *Sicherheit Schneller Reaktoren*
- [13] A. Stanculescu, G. Ledergerber: *Fortgeschrittene Brennstoffzyklen*
- [14] S. Hirschberg: *GaBE*

# REGULATORISCHE SICHERHEITSFORSCHUNG DER HSK

Überblicksbericht  
zum Forschungsprogramm 1995

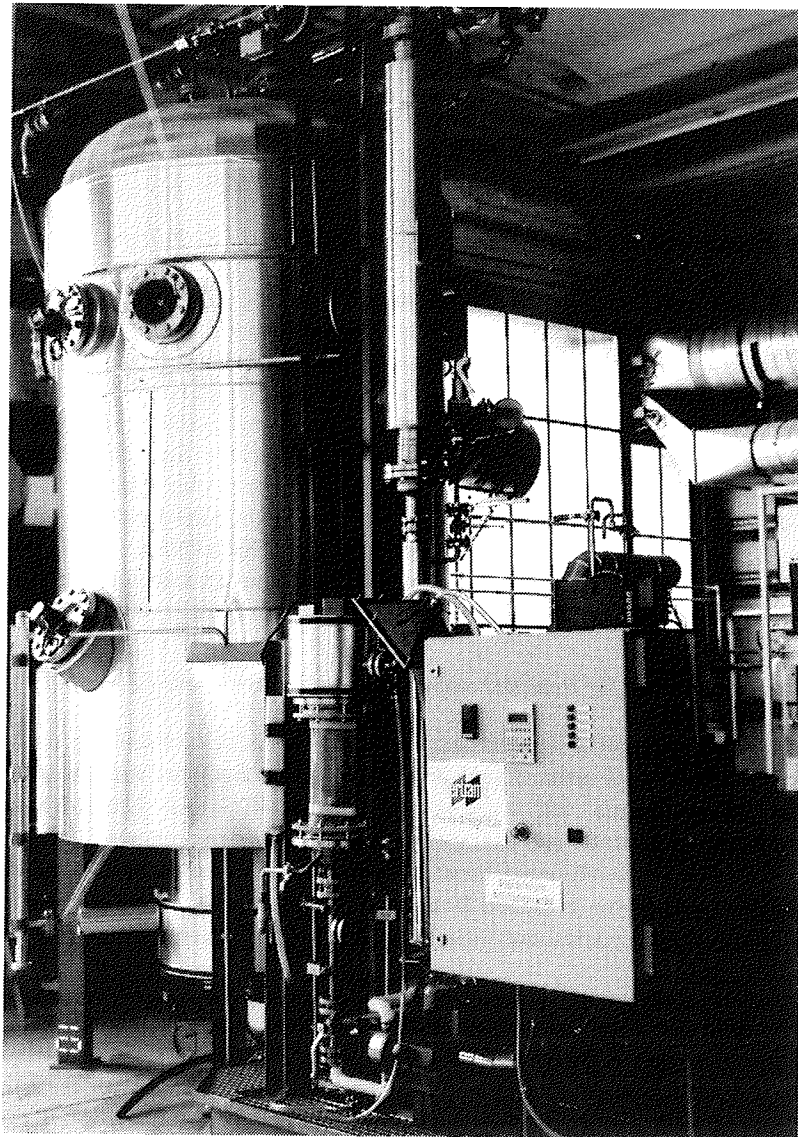
Sabyasachi Chakraborty

HSK, 5232 Villigen

☎ 056/310 39 36 – Fax: 056/310 39 95

E-mail: chakraborty@hsk.psi.ch

---



## Verschmutzung des Sumpfwassers

Anlage am Institut für Verfahrens- und Kältetechnik der ETH-Zürich zur Bestimmung des "Reentrainments" aus dem Sumpf des *Containments* nach einem Kernschmelzunfall, bei Leckagen oder bei einer kontrollierten Entlüftung des *Containments*.

## 1. Programm Ziele

Die Aufsichtsbehörde "Hauptabteilung für die Sicherheit der Kernanlagen (HSK) des BEW" hat die Sicherheit der schweizerischen Kernanlagen nach dem aktuellen Stand der Wissenschaft und Technik zu beurteilen und nötigenfalls ihre Forderungen für die die Sicherheit erhöhenden Massnahmen davon abzuleiten. Zu diesem Zweck unterstützt die HSK – als regulatorische Sicherheitsforschung – gezielt verschiedene Vorhaben.

Die Forschungsaktivitäten teilen sich in drei verschiedene Bereiche auf:

- Forschungsvorhaben am Paul Scherrer Institut (PSI) und an den Hochschulen;
- Einzelprojekte bei in- und ausländischen Ingenieur-Unternehmungen;
- Beteiligung an internationalen Projekten.

Im folgenden werden die Vorhaben aus der Sicht des Programmleiters kommentiert. Für weitere Informationen wird auf die detaillierten Jahresberichte der einzelnen Projekte verwiesen.

## 2. Arbeiten und Ergebnisse 1995

### *Simulationsmodelle zu Transientenanalysen in der Schweiz (STARS II); PSI-Villigen*

Im Rahmen des STARS II-Projekts werden Simulationsmodelle für alle schweizerischen Kernkraftwerke erstellt, um deren Verhalten bei Störfällen analytisch bestimmen zu können. Die Arbeiten sind im Berichtsjahr erfolgreich weiter geführt worden. Im Auftrag der HSK wurden spezielle Themen behandelt, u.a. das Brennstoffverhalten bei sogenannten RIA-Störfällen, das Verhalten der Anlage Leibstadt bei einem ATWS-Störfall zur Bestimmung des realistisch zur Verfügung stehenden Zeitfensters für Operateurhandlungen sowie spezielle LOCA-Analysen zur Bestimmung von Systemerfolgskriterien. Letztere Information ist wichtig für PSA-Analysen. Diese Aufgaben wurden vom STARS II Team effizient und erfolgreich in enger Zusammenarbeit mit der HSK gelöst. Im weiteren werden im Rahmen des Projekts detaillierte Untersuchungen zum Stabilitätsverhalten von Siedewasserreaktoren durchgeführt (Teilnahme an der Stabilitäts-Benchmarkübung der OECD/NEA). Zu erwähnen ist auch die Berücksichtigung der 3-dimensionalen Reaktorkinetik in Analysen von Transienten, ein Verfahren, das sich in jüngster Zeit als notwendig erwies, um wirklich aussagekräftige und belastbare Ergebnisse zu erhalten,

### *Spannungsrissskorrosion von Stählen für Reaktorkomponenten in Heisswasser; PSI-Villigen*

Während der Berichtsperiode sind weitere keilbelastete und -lastgesteuerte Versuche in den Autoklavenkreisläufen bei einer Temperatur von 288 °C und einem Druck von 11 MPa durchgeführt worden. Aufbauend auf früheren Versuchen wurde die Wasserchemie auf verschiedene Sauerstoff -und Leitfähigkeits-Werte eingestellt. Sensitivitätstests mit erhöhtem Sauerstoff -und Sulfat-Gehalt und quasistagnierendem Wasserdurchfluss haben den Zweck, Grenzwerte für zulässige Konzentrationen unter definierten hydrodynamischen Bedingungen herauszufinden. Bei höheren Spannungsintensitätswerten zwischen 39.6 und 124.8 MPa $\sqrt{\text{m}}$  bei ermüdungsangerissenen ferritischen Reaktorstahlproben wurden an verschiedenen bruchmechanischen Proben Spannungsrissskorrosion festgestellt.

Es ist allerdings zu bemerken, dass die bei solchen Versuchen vorgesehenen wasserchemischen Schlüsselparameter von den tatsächlichen im Reaktorwasser vorkommenden Werten teilweise abweichen. Die Ergebnisse werden daher als konservativ beurteilt und können nicht ohne weiteres als reaktorspezifisch eingestuft werden. In nächster Zeit werden diese Parameter sukzessive an die Reaktorbedingungen angenähert. In diesem Zusammenhang wird ein Teil des Programmes als Ringversuch mit anderen Instituten zusammen durchgeführt. An diesem Verifikationstest nehmen folgende Institute teil: PSI, MPA-Stuttgart, KWU-Siemens Erlangen, VTT-Finnland. Im Verlauf der weiteren Arbeiten ist das Modellieren des Phänomens "Spannungsrisse" unter Siedewasserreaktor-Bedingungen vorgesehen. Im Zusammenhang mit dem derzeitigen Alterungsüberwachungsprogramm in den KKW und den aktuellen Schäden durch Spannungsrissskorrosion an Kerneinbauten hat dieses Forschungsprojekt weiterhin hohe Relevanz.

### ***LWR-Kontaminationskontrolle; PSI-Villigen***

Die Arbeitsschwerpunkte im vergangenen Forschungsjahr waren:

- Modifikationen des *Loops*;
- *Online* -Untersuchungen der Oxidschichtbildung;
- Charakterisierung der Struktur und Zusammensetzung der Oxidschichten;
- Untersuchung des Einflusses der Strömung auf die Aktivitätsablagerung;
- Selektive Oxidation zur Verminderung der Aufnahmen von Co-58 und
- Vorversuche zur Ablagerung von Korrosionsprodukten auf beheizten Zircaloy-2-Rohren.

Wichtige Ergebnisse der vergangenen Forschungsperiode sind:

- Neue Erkenntnisse über den Zusammenhang zwischen Oxidwachstum und Aktivitätseinlagerung.
- Verbessertes Verfahren zur Voroxidation vom Reaktorstahl mit dem Ziel, die Aktivitätsaufnahmen zu reduzieren.

Das neue Verfahren soll nun in die Praxis umgesetzt werden. Eine Dissertation über den Oxydaufbau mit einer neuen elektrochemischen Messmethode wurde abgeschlossen.

Diese Forschung ist von besonderem Interesse für die Reduktion der Dosisleistung des KKW-Personals während des Betriebs und der Wartung der KKW.

### ***Bestimmung des Reentrainments aus dem Sumpf des Containments nach einem Kernschmelzunfall, bei Leckagen oder bei einer kontrollierten Entlüftung des Containments; ETH-Zürich***

Mit Abschluss der ersten Messreihe mit den wasserlöslichen Modellsubstanzen  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  und CsJ als Ersatz für die Verschmutzung im Sumpfwasser und ersten Vorversuchen mit festen Aerosolen wurden die Ziele der zweiten Projektperiode erreicht. Die Ergebnisse der ersten Versuchsreihe mit Natriumsulfat als Modellsubstanz zeigen, dass die Konzentration von  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  im Kondensat unter folgenden Bedingungen ansteigen:

- zunehmende Konzentration an  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  im Sumpf,
- abnehmende Sumpfoberfläche (bei gleichem Energieeintrag),
- zunehmender Luftvolumenstrom, der in den Sumpf des Versuchsbehälters zudosiert wird.

Mit Cäsiumjodid (CsJ) konnten die Ergebnisse der Versuchsreihe mit Natriumsulfat ergänzt und bestätigt werden.

Mit einem dimensionslosen Modellansatz können alle Messungen in eine einzigen Beziehung dargestellt werden. Dieser Ansatz eignet sich für das Umrechnen auf reale *Containmentdimension*.

Die Versuche mit unlöslichen Verunreinigungen zeigen den Trend, dass Partikel mit einem Durchmesser grösser als  $5\ \mu\text{m}$  kaum ins Filtersystem mitgeschleppt werden; dies braucht jedoch noch weitere Überprüfungen.

Für die HSK und auch für die internationale nukleare Gemeinschaft ist die Kenntnis der Quellterme bei kontrolliertem, gefiltertem Druckabbau im *Containment* nach schweren Kernschmelzunfällen von aktuellem Interesse.

### ***Zusammenarbeit in der Dosimetrie; PSI-Villigen***

Die Personendosimetrie durch äussere und innere Bestrahlung ist eine wichtige Aufgabe des Strahlenschutzes. Im PSI befasst sich die Sektion Messwesen der Abteilung Strahlenhygiene mit Fragen der Personendosimetrie. Im vergangenen Projektjahr sind 10 Teilprojekte und 1 *ad hoc*-Projekt bearbeitet worden. Beispielsweise: Bestimmung der Transportverluste von Aerosolen, Prüfungen und Kalibrierungen (auch für Tritium), *in-vivo*-Messungen, Evaluation von Geräten und Inbetriebnahme eines neuen Neutronen-Personendosimetriesystems auf der Basis von CR-39. Ein wichtiges Ergebnis war die Erkenntnis, dass die Partikelverluste im Bereich des Gerätemesskopfes für die mit der PSI-Methodik geprüften Geräte – mit Ausnahme des Abluftmonitors der Verbrennungsanlage und der Abluftmonitore des *Hotlabors* – sich noch in akzeptierbaren Grenzen halten. Die Arbeiten werden weitergeführt.

### ***Erdbebenfestigkeit von Tragwänden in Kernkraftwerken; BASLER & HOFMANN, Zürich***

Die Evaluation eines analytischen Modells, die Wahl geeigneter Materialkennwerte, die Übernahme der von NUPEC (*Seismic Ultimate Response Test in Japan*) zur Verfügung gestellten Erdbebenanregung (Beschleunigung-Zeit-Verlauf) sowie Vergleiche und Interpretationen der Ergebnisse der einzelnen Berechnungsarten mit den Resultaten der dynamischen Versuche der NUPEC waren die geleisteten Arbeiten im Jahre 1995.

### ***Beteiligung an der Forschung "schwerer Unfälle"; USNRC, Washington (USA)***

Die "schwere Unfallforschung" der amerikanischen Sicherheitsbehörde, an der die HSK beteiligt ist, hat den Zweck identifizierte Probleme der schweren Unfällen zu lösen, Fachkenntnisse und *Computer Codes* aufrechtzuerhalten sowie die Zulassung der fortgeschrittenen Leichtwasserreaktoren zu unterstützen.

Die wichtigen Programmelemente sind:

- Interaktion von geschmolzenem Brennstoff mit dem Kühlmittel;
- Integrität des Druckgefäßes und Kühlbarkeit von Kernschmelze;
- Direkte Aufheizung des *Containments*;
- Transport und Verbrennung von Wasserstoff;
- Quellterme;
- Verlauf der Kernschmelze;
- Computersimulation von schweren Unfällen.

### ***Schweizer Beitrag zum NESCI-Projekt; BASLER & HOFFMANN, Zürich***

Vorausrechnungen des simulierten "*Pressurized Thermal Shock (PTS)*" im Rahmen des internationalen Projektes NESCI und Abschluss der ersten Projektphase zur Bereitstellung der erforderlichen Berechnungswerkzeuge sowie Dokumentation der Ergebnisse in einem Technischen Bericht prägten die Forschungsarbeit im Jahre 1995. Verschiedene gängige *Finite-Element-Codes* wurden auf die Eignung für eine thermo-plastische Spannungsanalyse untersucht. Mit den *Codes* ist eine elasto-plastische Analyse für mechanische Belastungen möglich; thermische Lastfälle können zur Zeit nur elastisch behandelt werden.

Diese Tätigkeit liefert Beurteilungsgrundlagen für Modelle und Methoden zur Simulation von PTS-Beanspruchungen für die schweizerischen KKW.

### ***Radioökologie; PSI-Villigen***

Drei Schwerpunktthemen wurden bearbeitet: Modellrechnungen mit dem radioökologischen Modell CHECOSYS zur Abschätzung des Einflusses verschiedener Bodentypen auf die Ingestionsdosis, Fortführung des Kontaminationsversuches von Weizenpflanzen in verschiedenen Wachstumsstadien und Modellrechnungen für das internationale Projekt BIOMOVs II. Ergebnisse von früheren Tests zur Bestimmung des ungünstigsten Zeitpunktes einer Deposition von Radioisotopen auf die Aktivität in Körnern bei der Ernte konnte tendenzmässig bestätigt werden. Mit Hilfe des CHECOSYS wurde der Einfluss verschiedener Bodenparameter und des Transferfaktors Boden-Pflanze auf die Ingestionsdosis untersucht. Der Depositionszeitpunkt hat einen weit gewichtigeren Einfluss auf die Ingestionsdosis als die verschiedenen Bodentypen. Die Untersuchung der radioökologischen Vorgänge ist weiterhin ein wichtiges Thema für die HSK.

### ***Windbank für das untere Aaretal; PSI-Villigen***

Zur Erarbeitung dieser Windfeld-Datenbank sind meteorologische Messungen in einem Gebiet von rund 20 km Durchmesser um die Kernanlagen PSI, KKB (Beznau) und KKL (Leibstadt) erfolgreich durchgeführt worden. Eine Auswertung der erhobenen Daten und Aufbereitung zu 3-dimensionalen Windfeldern in Form einer Datenbank soll bis Ende April 1996 vorgenommen werden.



### ***OECD Halden Reactor Project; Institutt for energiteknikk, Halden (Norwegen)***

Die Forschungsschwerpunkte liegen bei Brennstoffen und Werkstoffen sowie Mensch-Maschine-Wechselwirkungen.

Ein bedeutender Fortschritt innerhalb der vielfältigen Aktivitäten wurde erreicht in der Erforschung der strahlungsinduzierten Spannungsrisskorrosion. Es zeigte sich, dass die Sauerstoff-Konzentration im Wasser einen massgebenden Einfluss hat. Des weitern wurden Prüfmethode für Rechenprogramme, Kommandoraumauslegung (Optimierung aller Aspekte inklusive der Verfügbarkeit) und Computersysteme zur Unterstützung der Operateure erarbeitet. Im Rahmen der Weiterbildung arbeiten Schweizer Forscher in den obengenannten Gebieten mit.

Im vergangenen Forschungsjahr wurde das neue 3-Jahres Programm (1977-1999) zwischen der Halden-Projektleitung und der schweizerischen Begleitkommission besprochen.

### ***Human Reliability Analysis; PSI-Villigen***

Die Arbeitsschwerpunkte im vergangenen Forschungsjahr waren: Überprüfung der Methoden der *Human Reliability Analysis* in den PSA-Studien der KKW Beznau and Mühleberg, Fertigstellung eines Statusberichtes als eine Vorstudie sowie Mitarbeit bei den internationalen Organisationen. Die HSK legt grossen Wert auf ein schweizerisches Forschungsprogramm in diesem Gebiet, da die Handlung und die Zuverlässigkeit der Betriebsmannschaft auf die Risikobewertung eines KKW einen bedeutenden Einfluss haben.

### ***Zusammenarbeit in der Radioanalytik; PSI, Villigen***

Die wesentlichen Ziele der Radioanalytik liegen bei der Entwicklung und Implementierung von radiochemischen Trennverfahren zur Isolation reiner  $\beta$ - und  $\alpha$ -Strahler, welche sich mit konventionellen Methoden aufgrund ihrer starken Massenschwächung im Probenmaterial nicht direkt nachweisen lassen. Dies trifft insbesondere auf die umweltrelevante Spaltprodukte (z.B.  $^{90}\text{Sr}/^{90}\text{Y}$ ) und Radionuklide aus der Aktinidenreihe (U, Pu, Np) zu.

Die anvisierten Ziele des Forschungsjahres 1995 (radiochemische Trennung von  $^{90}\text{Sr}$  neben anderen, kurzlebigeren  $\beta$ -Strahlern in frischen Spaltprodukten, Bestimmung von  $^{90}\text{Sr}$  in Urin und Separation von U-Isotopen aus Grund- und Flusswasseraquiferen) konnte erfolgreich abgeschlossen werden.

### ***Experimente zum Reaktordruckbehälter-Versagensmodus beim Kernschmelzen (CORVIS); PSI, Villigen***

Das Projekt CORVIS untersucht seit 1991 das Durchschmelzen des Druckbehälters von Leichtwasserreaktoren in der Spätphase eines angenommenen Kernschmelzunfalles. Es wurde ein Experiment am Modell einer Siedewasserreaktor- *drain line* durchgeführt.

Mit einem Rechenmodell konnten die gemessenen Temperaturverläufe, die Erosionseffekte und das Versagen des Rohrstützens nachvollzogen werden. Weiter wurde ein Test mit oxidischer Schmelze durchgeführt.

Das Projekt wird von der HSK nicht weiter unterstützt.



# FUSION THERMONUCLÉAIRE CONTRÔLÉE

**Rapport de synthèse**  
sur les activités 1995 du programme de recherche

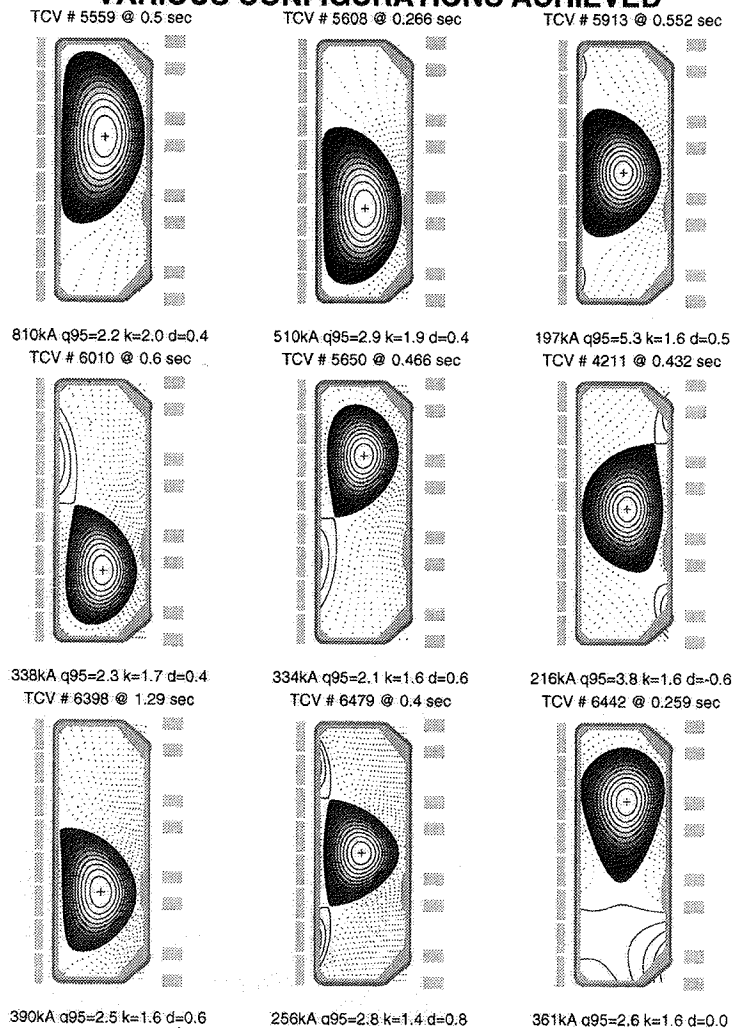
**Stéphane Berthet**

OFES, 3003 Berne

☎ 031/322 99 67 – Fax: 031/322 78 54

E-mail: stephane.berthet@bbw.admin.ch

## TCV TOKAMAK VARIOUS CONFIGURATIONS ACHIEVED



Différentes configurations de plasma obtenues en 1995 sur le Tokamak TCV (CRPP/EPFL).

## 1. Centre de gravité du programme

En Suisse, l'essentiel de la recherche dans le domaine de la fusion thermonucléaire se déroule dans le cadre du programme Fusion de la Communauté Européenne de l'énergie atomique (EURATOM) auquel notre pays participe de plein droit. La réussite d'un tel programme dépend de la cohérence du réseau d'organisations associées dans l'action communautaire et de l'exploitation maximale de la coopération avec les grands programmes extra-communautaires sur la fusion. Au niveau suisse, l'Association EURATOM-Confédération suisse gère notre participation à ce programme Fusion. Les activités de recherche sont effectuées au Centre de Recherches en Physique des Plasmas (CRPP) de l'EPFL qui a aussi la responsabilité de deux groupes de recherche en technologies de la fusion au PSI. D'autre part, une activité dans le domaine des couches superficielles des parois internes des réacteurs à fusion est conduite à l'Université de Bâle et au CRPP. L'activité de l'Université de Bâle est coordonnée avec le programme de base du CRPP et est la seule qui soit financée par l'OFEN en 1995. Notre pays, de par son appartenance à EURATOM, participe activement aux projets internationaux portant sur les plasmas, les matériaux et les technologies. Ses contributions reconnues internationalement lui permettent de se profiler comme un partenaire sérieux et fiable.

## 2. Vue d'ensemble du programme au niveau international

Avec la venue de nouveaux membres (A, S, SF) au sein de l'Union Européenne (UE), le programme Fusion de l'UE a vu son budget augmenter de 6.5 %. Du point de vue stratégique, l'Europe suit actuellement deux approches pour le confinement des plasmas toroïdaux. L'une est la voie *Tokamak* (JET, ITER) et l'autre celle du *Stellarator* (W7-X) qui propose une approche différente du problème du confinement magnétique d'un plasma toroïdal (configuration du champ magnétique différente). Le projet allemand W7-X de l'Institut pour la Physique des Plasmas (IPP) de Jülich a été proposé récemment comme nouveau projet majeur dans le cadre du programme Fusion 1994-1998 de l'UE. Le premier plasma est attendu pour 2002. L'installation expérimentale sera sans doute située en Allemagne, à Greifswald. La situation financière saine du programme permet à la Commission Européenne de financer les activités des Associations, la continuation de JET, le début du *Stellarator* W7-X, les actions prioritaires, les programmes de technologie et quelques actions industrielles. L'objectif principal de ces efforts est ITER (*International Thermonuclear Experimental Reactor*).

Dans le cadre de ce projet ITER (USA, Europe, Japon et Russie), le rapport intermédiaire (*Interim Design Report*) présenté au Conseil ITER, en juillet 1995, a été jugé positif. Cette étape, qui décrit l'état actuel du projet incluant le *design* technique, l'estimation de coûts, la sûreté et les exigences du site, place ITER sur la bonne voie. Le *design* définitif sera terminé et présenté en juillet 1998. Pour mars 1996, un groupe de travail spécial du Conseil doit fournir, un document définissant les différents critères pour le choix d'un site pour ITER. Cela servira de base aux différents États intéressés à faire une proposition pour accueillir ce réacteur expérimental. L'enjeu économique est de taille. Quant au coût définitif, il sera précisé dans les phases ultérieures, notamment lorsque le site d'ITER aura été défini. Avec cette étape intermédiaire, le consensus au Conseil ITER sur le fait qu'ITER est un pas nécessaire sur le chemin d'une énergie domestique issue de la fusion, n'a fait que se renforcer.

### Paramètres de la machine ITER

<i>Total Fusion Power</i>	1.5 GW	<i>kg95 (ellipticity @ 95 % flux surface)</i>	1.6
<i>Average Neutron Wall loading</i>	1 MW/m <sup>2</sup>	<i>q95 (safety factor @ 95 % flux surface)</i>	3
<i>Plasma inductive burn time</i>	1000 s	<i>Toroidal field B0 @ 8.1m radius</i>	5.7 T
<i>Plasma major radius</i>	8.1 m	<i>Max. Toroidal field B@ TF coil</i>	12.5 T
<i>Plasma minor radius</i>	2.8 m	<i>Max. Toroidal Ripple (at the separatrix)</i>	2 %
<i>Plasma Current Ip</i>	21 MA	<i>Max. Auxiliary Heating power</i>	100 MW

## Estimation des coûts (1 IUA = 1000 \$ 1989)

EDA ( <i>Engineering Design Activities</i> )	1000 KIUA
Preconstruction and construction engineering	1100 KIUA
Construction	5050-6620 KIUA
Operation	350-400 KIUA/yr
Decommissioning	300-800 KIUA/yr

- Réacteur de fusion schématisé. Ces réacteurs présentent des mérites intrinsèques vis-à-vis de l'environnement (absence de gaz à effet de serre et de pluies acides) et de la sûreté (ils s'arrêtent automatiquement au moindre dysfonctionnement).

### Plasma

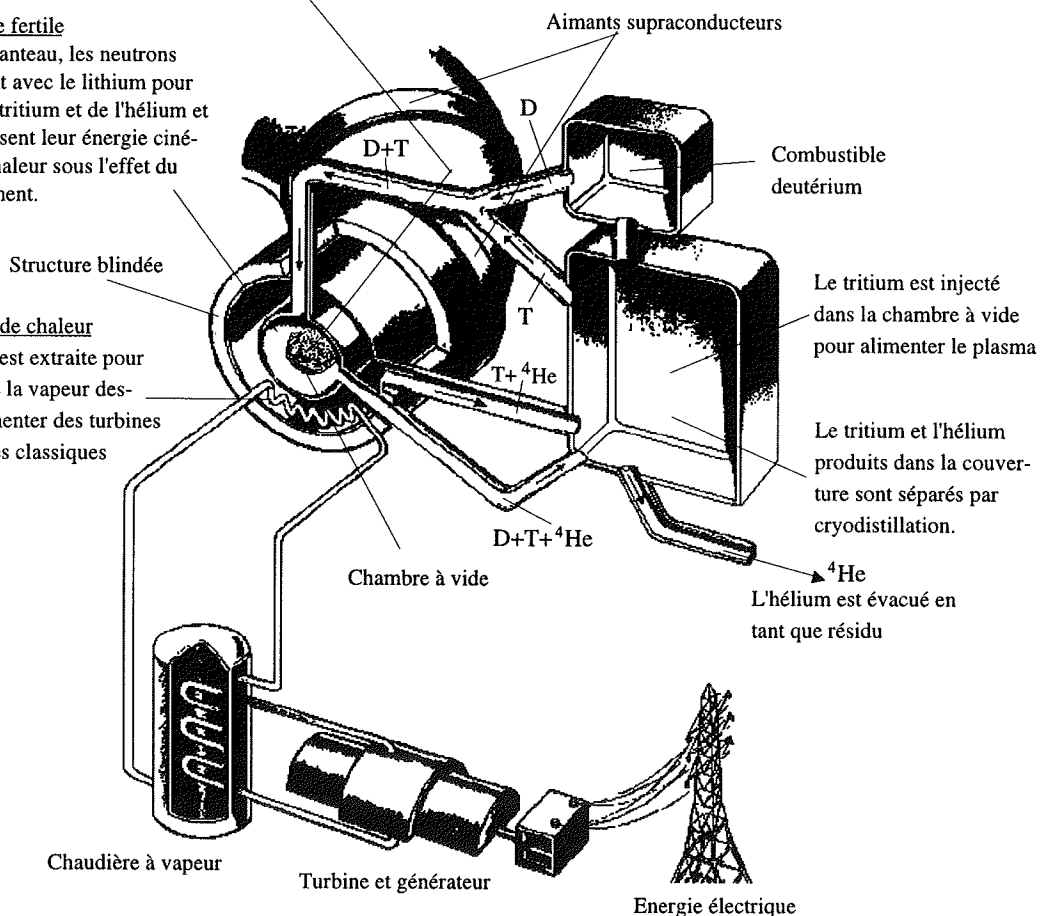
Dans le plasma, 80% de l'énergie résultant des réactions D-T consistent en neutrons de haute énergie qui s'échappent à travers le champ magnétique et sont ensuite captés par la couverture fertile contenant du lithium qui entoure la chambre à vide. Le plasma contenu dans le coeur du réacteur est autochauffé par les particules alpha, qui représentent les 20% restants de l'énergie produite.

### Couverture fertile

Dans ce manteau, les neutrons  
- réagissent avec le lithium pour former du tritium et de l'hélium et  
- convertissent leur énergie cinétique en chaleur sous l'effet du ralentissement.

### Echangeur de chaleur

La chaleur est extraite pour produire de la vapeur destinée à alimenter des turbines électrogènes classiques

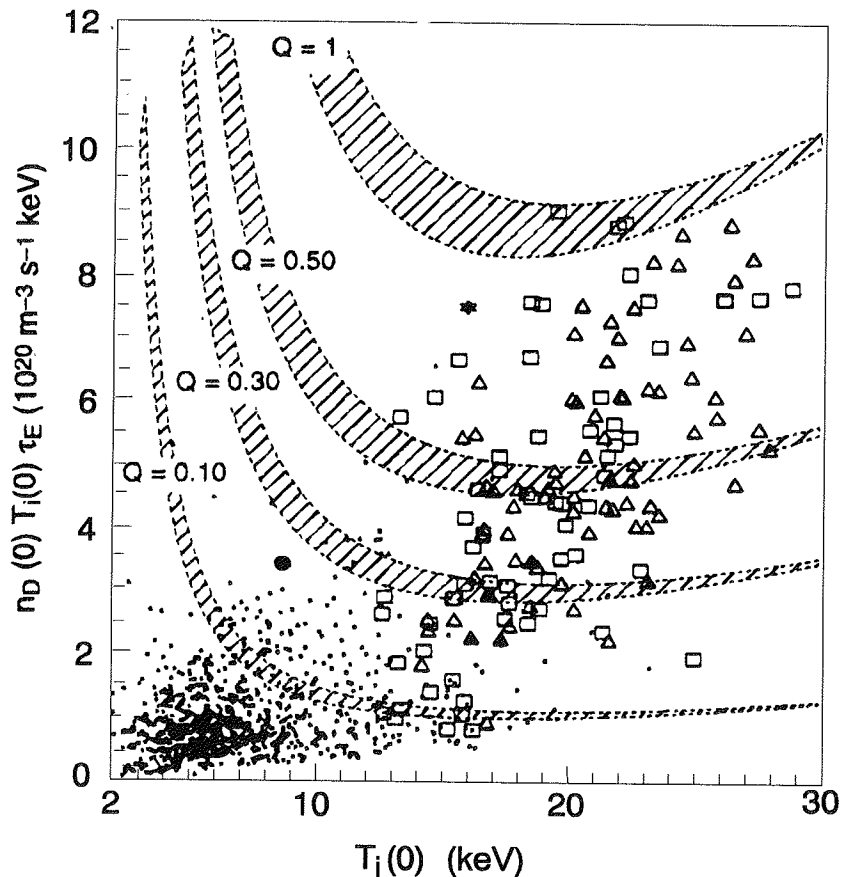


Actuellement, les ressources majeures d'énergie sont issues des combustibles fossiles tels que le pétrole ou le charbon. Ce sont aussi les principales sources de pollution. Du point de vue de la protection de l'environnement et des besoins énergétiques futurs toujours plus importants avec la croissance continue de la population mondiale, la

fusion nucléaire se profile comme une ressource énergétique potentielle. On ne connaît aujourd'hui aucune raison fondamentale d'exclure la fusion nucléaire comme source d'énergie.

Le rapport "*Safety and Environment Assessment of Fusion Power (SEAFP)*" de la Commission Européenne, publié en juin 1995, confirme les avantages d'un réacteur thermonucléaire au niveau de la sécurité. Il n'y a pas de possibilité de réactions non contrôlées du système. Néanmoins, un tel réacteur générera des déchets radioactifs, mais avec une radiotoxicité considérablement plus faible que les déchets des réacteurs à fission nucléaire. L'utilisation de matériel à faible activation pourra faciliter la gestion des déchets radioactifs. Globalement, l'étude montre que les déchets issus de ce type de réacteur nucléaire ne constitueront pas une charge pour les générations futures. ITER constitue une étape primordiale dans les activités à long terme engagées pour atteindre l'objectif d'une production commerciale d'énergie propre par fusion nucléaire.

- *Produit de fusion en fonction de la température ionique centrale:  $\square$  données 1991/92,  $\Delta$  données 1994/95,  $Q =$  puissance produite par les réactions de fusion/ puissance nécessaire pour maintenir la température et la densité requise dans le volume de plasma.*



Au **JET** (*Joint European Torus*), dont l'extension jusqu'en 1999 devrait être décidée au Conseil des ministres européens de la recherche en février 1996, les travaux sont maintenant de plus en plus orientés vers ITER. Les résultats de JET pendant la campagne expérimentale 94/95 ont contribué de manière significative aux R&D dans le domaine de la physique d'ITER et ont posé les bases de la prochaine phase du programme JET (*divertor* et expérience Deutérium-Tritium (D-T) avec jusqu'à  $2 \times 10^{20}$  neutrons (DTE1)). Le contrôle de la puissance, du chauffage, du pompage et de la capacité en courant élevé du nouveau JET a été pleinement démontré et permet de poursuivre un programme en support total à ITER. JET ayant une taille comparable à ITER, une géométrie et des

conditions de plasma de même qu'une configuration de *divertor* similaire à ITER, ses résultats sont donc particulièrement importants pour ITER. Les meilleures performances de fusion avec des valeurs  $nT_e$  comparables aux meilleurs résultats du passé ont été obtenues pendant la période 1994/1995, bien que le volume de plasma soit maintenant 20 % plus petit.

### 3. Travaux de recherche en Suisse et collaboration internationale

Au CRPP, les recherches effectuées sur le *Tokamak* à Configuration Variable (TCV) ont porté sur la création de nouvelles configurations de plasma, sur l'étude de leur contrôle et de leurs propriétés de confinement. Un important effort est également fait pour la mise en place d'un système de chauffage cyclotronique-électronique sur TCV (puissance installée = 4.5 MW) et sur le développement de gyrotrons à haute fréquence (118-140 GHz) et à haute puissance en collaboration avec des instituts de recherche et l'industrie européenne. Dans le domaine théorique, le CRPP s'est attaché au développement de la théorie des ondes et à l'étude de l'interaction entre les ondes et les particules du plasma (avec des applications au faisceau d'électrons du gyrotron) ainsi qu'à l'étude de la stabilité des plasmas confinés magnétiquement. Dans ce dernier domaine, le CRPP étudie non seulement la stabilité des structures de type *Tokamak* mais également celle des *Stellarators* comme la machine allemande W7-X. Toutes ces études font appel intensivement à la simulation numérique et particulière; la possibilité de travailler avec l'ordinateur massivement parallèle, CRAY T3-D, est un atout indiscutable pour le laboratoire.

Dans le domaine des interactions entre le plasma et la première paroi, les recherches, en Suisse, sont principalement axées sur un revêtement de lithium comme conditionnement de la paroi. Ces travaux sont effectués au sein d'une collaboration entre le CRPP, l'Institut de Génie Atomique de l'EPFL et l'Université de Bâle.

Dans le cadre du programme technologie de l'UE, les groupes Supraconducteurs et Matériaux (CRPP-Technologie de la fusion localisée au PSI) occupent une place importante avec leurs installations respectives SULTAN (*Supraleitung Test Anlage*) et PIREX (*Proton IRadiation EXperiment*). Le premier effectue des tests de supraconductivité sur des échantillons de conducteur et poursuit ses R&D sur les supraconducteurs à haut champ et sur les composants essentiels des bobines supraconductrices pour NET/ITER et d'autres machines (W7-X). Quant au groupe des Matériaux, il se consacre à l'étude des mécanismes régissant l'endommagement des matériaux pour la première paroi et des matériaux structurels sous l'effet de l'irradiation en utilisant PIREX. Leurs travaux visent à long terme à développer des matériaux à basse activation.

La plupart de ces activités sont conduites en collaboration avec l'industrie suisse et européenne, et avec d'autres laboratoires liés au programme Fusion européen ainsi qu'avec des laboratoires en Russie, en République Tchèque et aux USA.

### 4. Buts et résultats des projets financés par OFEN/OFES

Projet: *Herstellung und Charakterisierung dünner Schichten und anderer Materialien für Fusionsreaktoren* [1]

Les travaux réalisés au cours de l'année 1995 ont été focalisés sur deux objets:

- 1) Études sur les couches amorphes d'hydrocarbures contenant du lithium (a-C:H/Li) avec
  - caractérisation des interactions entre les couches comprenant des ions énergétiques d'oxygène, par la spectroscopie photoélectronique et microbalance à cristal oscillateur; et la spectrométrie de masse;
  - comparaison des résultats avec des études analogues sur des matériaux carboniques borurés.
- 2) Études des caractéristiques des échantillons exposés à des décharges de plasma dans le *Tokamak* TVC. Ces études portaient sur la qualité, la déposition et la redéposition de la couche borurée.

Les échantillons suivants ont été examinés:

- échantillons provenant des tuiles de graphite disposées au fond du tore et ayant été exposées à plusieurs borurations et à un grand nombre de décharges plasmatiques;
- échantillons ayant été exposés uniquement à la boruration, montés sur un dispositif expérimental *ad hoc* à l'intérieur du tore.

Pour l'analyse de la composition de la couche proche de la surface, on a recouru essentiellement à la spectroscopie photoélectronique.

Dans les réacteurs à fusion, la face du confinement entrant en contact avec le plasma fait l'objet d'un conditionnement spécial dans le but de prévenir le dégagement d'impuretés qui pourraient contaminer le plasma et entraîner une déperdition du rayonnement. Les matériaux présentant la double caractéristique d'un faible nombre atomique et d'un grand pouvoir d'absorption d'impuretés, notamment d'oxygène, se prêtent particulièrement bien à la réalisation de ce type de revêtement spécial.

Au cours des dernières années, l'emploi de revêtements de bore-carbone a permis d'obtenir un plasma d'une qualité nettement supérieure. Le recours à des revêtements de lithium-carbone promet d'améliorer encore les caractéristiques des surfaces intérieures des réacteurs.

Le groupe de l'Université de Bâle maîtrise désormais divers procédés de fabrication (par déposition de plasma ou de rayonnement ionique) permettant d'obtenir de tels revêtements à petite échelle. L'incidence de la structure de la matrice carbonique et des liaisons chimiques (Li-C) sur les propriétés d'érosion et de réactivité des surfaces a fait l'objet d'études spécifiques.

En plus, des échantillons provenant des tuiles à graphite du Tokamak TCV ont été étudiés quant à leur composition chimique, afin de mieux connaître les processus de déposition et d'érosion intervenant pendant et après la boruration.

Collaboration: CRPP/EPFL, *Institut für Plasmaphysik des Forschungszentrums Jülich* (D), *Max-Planck-Institut für Plasmaphysik* (D) et *Fakultät für Physik der Universität Freiburg* (D).

## 5. Projets pour 1996

A l'Université de Bâle, l'étude des couches minces de lithium sera poursuivie avec la fin des recherches sur la réactivité des couches minces a-C:H/Li et l'analyse de l'influence de l'hydrogène sur les propriétés d'érosion et de réactivité chimique des revêtements des parois de réacteurs. Il est aussi proposé d'étudier le comportement thermique ainsi que la régénération de ces revêtements endommagés (oxydés), dans le cadre d'études plus générales de la surface des matériaux des réacteurs de fusion. D'autre part, il est prévu un projet, complémentaire à celui de Bâle, émanant du groupe des Matériaux (CRPP-PSI) début 1996 sur la simulation de l'irradiation des matériaux pour la première paroi et des matériaux structurels des réacteurs de fusion en utilisant PIREX.

## 6. Liste des projets

- [1] P. Oelhafen, P. Reinke, J.-U. Thiele, UNI-Basel: *Herstellung und Charakterisierung dünner Schichten und anderer Materialien für Fusionsreaktoren*. (RA)

(RA) Rapport annuel 1995 disponible



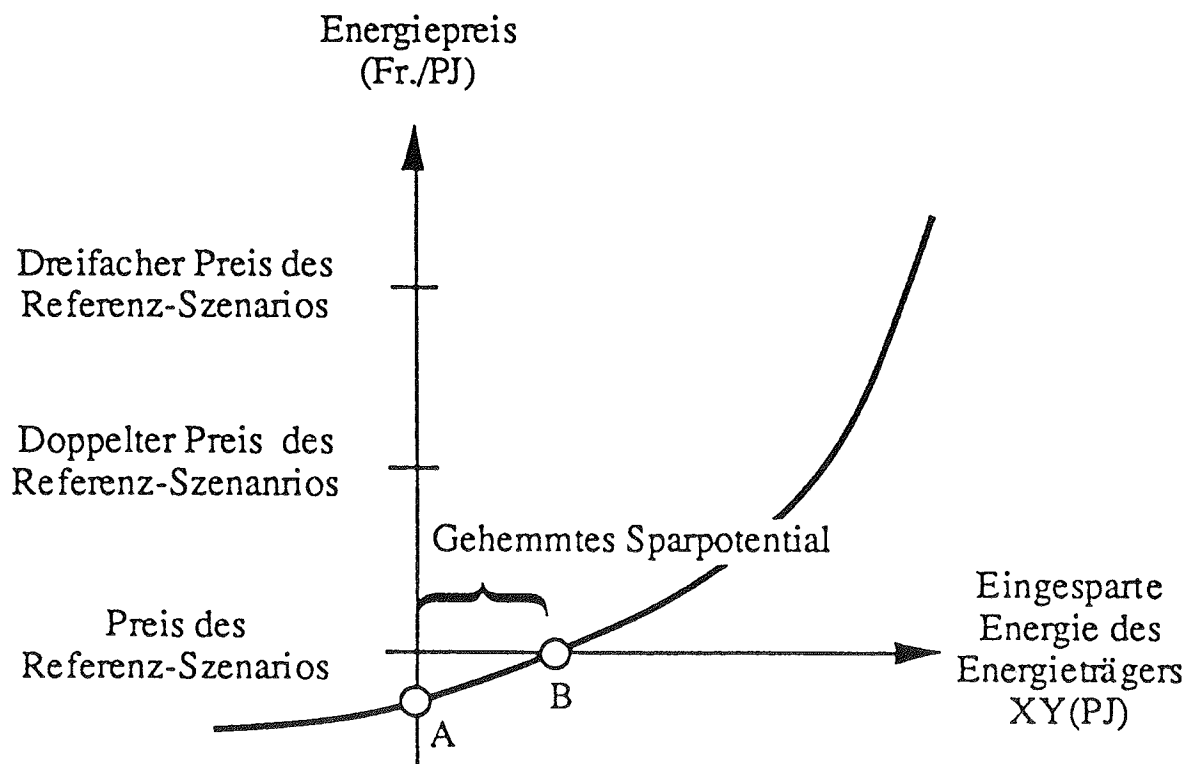
# ENERGIEWIRTSCHAFTLICHE GRUNDLAGEN

Übersichtsbericht  
zum Forschungsprogramm 1995

Ruedi Meier

Bolligenstr. 14b, 3006 Bern

☎ 031/633 36 22 – Fax+Tel: 031/333 24 69



## Kosten-Einsparkurve

Prinzipzeichnung einer Kosten-Einsparkurve für einen Energieträger und für ein Stützjahr für das Referenzszenario.

## 1. Schwerpunkte

Ein Schwerpunkt des Programms "Energiewirtschaftliche Grundlagen" im Jahr 1995 lag in der Bearbeitung der Energieperspektiven: Die Szenarien "beschlossene Massnahmen", "beabsichtigte Massnahmen ohne CO<sub>2</sub>-Abgabe" sowie "beabsichtigte Massnahmen mit CO<sub>2</sub>-Abgabe" sind überarbeitet und vertieft worden. Gleichzeitig wurden mittels ex-post-Analysen die Bestimmungsgründe des Energieverbrauchs (wirtschaftliche Entwicklung, Klima, Energiemassnahmen usw.) für die Jahre 1990 bis 1994 detailliert untersucht. Zudem sind Vorbereitungen für das Szenario "Energie-Umwelt-Initiative sowie Solarinitiative" vorgenommen worden.

Die Erarbeitung von Daten stellten eine Grundlage für die Energieperspektiven dar. Weitergehende Untersuchungen über Energiemodelle liefern wichtige Grundlagen für die weiteren Perspektivarbeiten.

Ein weiterer Schwerpunkt lag in der Analyse von Energiemassnahmen: So sind Untersuchungen über die SIA-Norm 380/4, Niedrigenergiehäuser/Mieter-Vermieter-Verhältnis, Steuererleichterungen im Energiebereich und individuelle Energiesparaktionen abgeschlossen bzw. in die Wege geleitet worden. Mit je einer Studie über "Energie/Politologie" bzw. über "Energie/Soziologie" ist der Forschungsstand sowie vor allem auch der Nutzen dieser Bereiche für die Energiepraxis evaluiert worden.

Wertvolle und sehr interessante Resultate konnten über die Wirksamkeit von Energietarifen im Elektrizitätsbereich fertiggestellt werden.

Der Schwerpunkt "Marktordnungen" ist erstmals mit einer Untersuchung über ausländische Erfahrungen bezüglich Neuregelungen im Energiebereich angegangen worden.

Die übergreifenden Projekte decken die Untersuchung von Grossunfällen im Energiebereich, die Auswirkungen von steigenden CO<sub>2</sub>-Konzentrationen sowie die Rekonstruktion des Klimas der letzten 250'000 Jahre ab.

## 2. Anvisierte Ziele 1995

Die Detailziele sind im Papier "Energiewirtschaftliche Grundlagen – Zukünftige Schwerpunkte" festgelegt worden: Die Entscheidungsbasis für die Politik im Energiebereich, aber auch für Verbände und Organisationen sowie einzelne Individuen ist zu verbessern und weiter sind Vorschläge für eine effizientere Energiepolitik auszuarbeiten.

Gemäss dem Schwerpunktprogramm sind hierzu die Energieperspektiven zu vertiefen und weiterzuführen sowie die Kenntnisse über Energiemassnahmen zu verbessern. Dabei werden praxisorientierte Untersuchungen angestrebt, die zu klaren Handlungsempfehlungen führen.

Weiter bestand die Absicht, die Kenntnisse über Deregulierungen, Privatisierungen und Liberalisierungen der Energiemärkte zu verbessern.

## 3. Durchgeführte Arbeiten und erreichte Ergebnisse

### DATEN

Die Studie **Erarbeitung von Basisdaten für die Perspektiven des Energieverbrauches** [1] dient als wichtige Grundlage für die in Bearbeitung begriffenen Energieperspektiven. Für das Jahr 1994 zeigte sich, dass sich die gesamte Energiebezugsfläche um 10 Mio. Quadratmeter auf rund 576 Mio Quadratmeter vergrössert hat. Damit wurde die höchste Zunahme seit 1990 registriert.

Mit dem Projekt **Klimabereinigung Endenergieverbrauch Raumwärme: Gebäudemodell Klima (Klimanormierungsmodell)** [2] ist eine Methode entwickelt worden, die den Endenergieverbrauch für Raumwärme ohne den störenden Klimaeinfluss ausweisen kann. Dies ist von grosser Bedeutung, da der Klimaeinfluss in einem Jahr

rund 5-10 % betragen kann. Die neue Methode ist mit der EMPA, dem SIA und der SMA diskutiert worden. Sie wird im Rahmen der Energieperspektiven angewandt.

Die Studie **Klimabereinigung Endenergieverbrauch Raumwärme: Hochrechnung** [1] stellt die konkrete Anwendung des Klimanormierungsmodelles dar. So zeigt sich, dass die Energiestatistik für den Energieverbrauch für Raumwärme eine recht starke Zunahme von 1990 bis 1991 ausweist und von 1993 bis 1994 ein deutlicher Rückgang verzeichnet wird. Die klimabereinigten Werte ergeben hingegen eine Stabilität des Energieverbrauches für Raumwärme für den Zeitraum von 1990 bis 1994.

## PERSPEKTIVEN

Die Erarbeitung von **Energieperspektiven** [3-6, 8, 10] stellen zur Zeit den wichtigsten Teil des Programmes "Energiewirtschaftliche Grundlagen" dar. Inzwischen liegen die Szenarien "beschlossene Massnahmen", "beabsichtigte Massnahmen; Energiegesetz" sowie "beabsichtigte Massnahmen; Energie- und CO<sub>2</sub>-Gesetz" vor. Die Ergebnisse werden im Frühjahr 1996 publiziert.

Gleichzeitig sind die Arbeiten für das Szenario "Energie-Umwelt-Initiative sowie Solarinitiative" an die Hand genommen worden. Für alle Perspektivbereiche (Haushalte, Industrie, Dienstleistungen, Verkehr) sind Kosten-Einsparkurven erarbeitet worden. Anhand von empirischen Daten wird aufgezeigt, mit welchen Kosten zusätzlich eingesparte Energie verbunden ist. Die Kosten-Einsparkurven stellen – vor allem für die Berechnung der wirtschaftlichen Effekte von Energiemassnahmen – eine wichtige Grundlage dar (*siehe Titelblatt*). Es hat sich herausgestellt, dass relativ geringe Energieeinsparungen keine Mehrkosten nach sich ziehen. Es können sogenannte gehemmte Energiesparpotentiale ausgeschöpft werden. Erst bei erheblichen Energieeinsparungen ist – unter Beachtung des heutigen Stands der Technik – mit namhaften Mehrausgaben zu rechnen.

Wichtiger Bestandteil der analytischen Vorarbeiten zu den Energie-Umwelt-Initiativen stellen zwei weitere Aufträge dar:

1. **Perspektiven des Energieverbrauches; Ökonomische Rückkoppelungen** [11]: Mit diesem Projekt sollen die Auswirkungen von Energiepreiszuschlägen auf das Standort- und Exportverhalten der Schweizer Industrie untersucht werden. Gleichzeitig sind die Möglichkeiten eines möglichst aussenhandelsneutralen Vorgehens bei einer forcierten Energiepreispolitik zu klären.
2. **Energieperspektiven: ökonomische Rückkoppelungen** [13]: Bei hohen Energieabgaben ist mit etwelchen Rückkoppelungen zu rechnen. Dazu gehören beispielsweise: Substitutionseffekte Arbeit/Kapital/Energie, Importsubstitutionen, Umstrukturierungen des privaten Konsums, Veränderung der sektoriellen und personellen Verteilung. Die Rückkoppelungen werden mit einem allgemeinen Gleichgewichtsmodell untersucht, das im Rahmen des Programmes "Energiewirtschaftliche Grundlagen" entwickelt worden ist.

## MODELLE

Die Studie *Taxe CO<sub>2</sub> et dynamique de l'économie suisse* [12] ist abgeschlossen worden. Auf theoretischer Ebene sind in Anlehnung an das neoklassische Modell die Mechanismen von Energieentscheiden durchleuchtet worden. Zudem wurde die bundesrätliche CO<sub>2</sub>-Abgabe aus dem Jahre 1994 in einem partiellen Gleichgewichtsmodell für die grossen Energiekonsumenten untersucht. Alternative Ansätze – wie die Erteilung von Subventionen – sind in die Überlegungen einbezogen worden.

Das Projekt *Greenhouse Gas Abatement through Fiscal Policy in the EU and Switzerland* [7] ist Bestandteil eines grösseren EU-Projektes. Der Schweizer Beitrag geht primär den Wirkungen einer aufkommensneutralen Verlagerung der Steuerlasten vom Faktor Arbeit zum Faktor Ressourcen/Umwelt nach. Vorhandene internationale Modellanalysen werden auf die Übertragbarkeit auf die Schweiz überprüft. Gleichzeitig werden internationale und nationale Modelle auf ihre echten, aber auch vermeintlichen Widersprüche und Inkonsistenzen durchleuchtet. Die Untersuchung soll zu handlungsorientierten Schlussfolgerungen für die Ausgestaltung einer Fiskalreform führen.

## EXTERNE KOSTEN

Der Schweizer Teilbericht zum EU-Projekt *External Costs of Transport and Internalisation* [14] ist abgeschlossen worden. Einerseits sind die Erhebungsansätze für externe Kosten im Verkehr auf theoretischer und empirischer

Ebene untersucht und vor allem vertieft worden. Andererseits wurden Internalisierungsstrategien auf internationaler, nationaler und lokaler Ebene für den Strassen-, Schienen- und Luftverkehr sowie die Binnenschifffahrt entwickelt. Im Detail sind differenzierte Verkaufs- und Motorfahrzeugsteuern, eine leistungsabhängige Schwerverkehrsabgabe sowie variable Infrastrukturgebühren im Schienenverkehr untersucht worden. Die Ergebnisse der Studie sind als Grundlage für die Arbeiten einer Richtlinie zum Thema "Internalisierung" von der Konferenz der europäischen Transportminister (ECMT) aufgenommen worden.

Das Projekt **Die externen Kosten der Verkehrs- und Energiewirtschaft in der Schweiz** [15] wird im Laufe des Jahres 1996 mit einer Populärfassung abgeschlossen werden. Die neuesten Erkenntnisse zu den externen Kostenschätzungen werden berücksichtigt.

## MASSNAHMEN

Mit dem Projekt **Quantifizierung SIA 380/4** [2] sind die Elektrizitäts-Einsparungen der überarbeiteten SIA-Empfehlung 380/4 berechnet worden. Es zeigt sich, dass die inzwischen publizierte SIA-Empfehlung 9 % des gesamten Elektrizitätsverbrauches abdeckt: indirekt sind es nochmals 13 %. Dank der SIA-Empfehlung sind Einspareffekte – bezogen auf den gesamten Elektrizitätsverbrauch – von 2 %-4 % zu erwarten.

Die Untersuchung **Niedrigenergiehäuser/Mieter-Vermieter-Verhältnis** [16] will die Chancen und Grenzen von Sanierungen mit möglichst tiefem Energieverbrauch abklären. So werden das Vermieter- und Mieterverhalten sowie relevante mietrechtliche Bestimmungen untersucht. In enger Zusammenarbeit mit den Vermieter- und Mieterverbänden sollen praxisorientierte Vorschläge für eine optimale Diffusion der Niedrigenergiehäuser ausgearbeitet werden.

Die **Evaluation der Steuererleichterungen für Massnahmen zur rationellen Energieverwendung und zur Nutzung erneuerbarer Energie** [15] wird einen systematischen Überblick der kantonalen Abzugsmöglichkeiten vermitteln und – anhand von drei Kantonen – deren Wirkungen im Detail aufzeigen. Letztlich sind Vorschläge für effizienzsteigernde Massnahmen im Bereich energetische Steuererleichterungen vorzunehmen.

Das Projekt **Energiesparaktionen** [17] untersucht die Wirkungen von organisierten Energiesparaktionen, die sich vor allem an einzelne Individuen und Haushalte richten. Es sind Empfehlungen für einen breiteren Einsatz von Energiesparaktionen auszuarbeiten.

Die Analysen **Energiewirtschaft und politikwissenschaftliche Analysen** [18] sowie **Sozialwissenschaftliche Energieforschung – der Beitrag von Soziologie und Sozialpsychologie für die Energiepraxis** [19] vermitteln einen Überblick über den internationalen und nationalen Stand der Forschung in diesem Bereich. Mit den Untersuchungen wird der Tatsache Rechnung getragen, dass von Seiten der Naturwissenschaften, der Technik und der Energiepraxis die Wichtigkeit des Faktors "Mensch" mehr und mehr erkannt wird. Die Berichte stellen für weitere umsetzungsorientierte Arbeiten eine gute Basis dar. Für die Politologie zeigt sich, dass sich die meisten Arbeiten mit den Eigenheiten der Energiepolitik und mit energiepolitischen Programmen auseinandersetzen. Seltener sind Untersuchungen zum Willensbildungs-, Entscheidungs- und Implementationsprozess der Energiepolitik. Interpretationen des politischen Handelns von Institutionen, Verbänden, Parteien und Regierungen liegen praktisch nicht vor. Im Bereich Energie/Soziologie beschäftigen sich die meisten Arbeiten mit dem individuellen Energie(spar)verhalten. Für Gruppen oder Institutionen und ihr Energieverhalten liegen hingegen nur wenige Erkenntnisse vor.

## ERFOLGSKONTROLLE

Das Projekt **Auswirkungen einer grenzkostenorientierten Tarifrevision auf die Elektrizitätsnachfrage** [20] ist abgeschlossen worden. Mit verschiedenen Datensätzen und Modellen sind Preis- und Kreuzpreiselastizitäten sowie der Einfluss anderer Grössen auf die Elektrizitätsnachfrage geschätzt worden. Für die Energiepraxis ziehen die Autoren aufgrund der empirischen Untersuchungen folgende Schlussfolgerungen:

"Im Hinblick auf die sparsame Verwendung von Elektrizität ist es von grosser Wichtigkeit, die Elastizitäten der Hochtarif- und Niedertarifnachfrage bezüglich der individuellen Elektrizitätspreise zu kennen. Die Tatsache, dass die Eigenpreiselastizitäten alle negativ und die Kreuzpreiselastizitäten positiv sind, impliziert, dass die Preispolitik ein effektives Instrument zur Elektrizitätseinsparung darstellt und dass eine zeitdifferenzierte Tarifierung zu einem

effizienteren Gebrauch der existierenden Produktions- und Verteilungskapazitäten führt, indem diese Anlagen besser ausgelastet werden. Durch die Tarifpolitik kann ausserdem das stetige Wachstum der Nachfrage nach Hochtarifelektrizität gebremst werden, welches die Hauptdeterminante für die Notwendigkeit von neuen Kapazitäten darstellt."

## MARKTORDNUNGEN

Mit der Arbeit **Reform des Elektrizitätsmarktes. Erfahrungen in Norwegen, Grossbritannien und anderen europäischen Ländern** [21] ist ein wertvoller Überblick als Ergänzung des BEW-Berichts "Öffnung des Elektrizitätsmarktes" (Arbeitsgruppe Cattin) geschaffen worden. Gleichzeitig liegt eine Grundlage für weitergehende Evaluationen neuer Organisationsmodelle der schweizerischen Elektrizitätswirtschaft vor.

In der Studie kommt zum Ausdruck, dass die wettbewerbsorientierten Reformen grundsätzlich positiv zu bewerten sind. Es werden aber auch verbleibende Defizite und teilweise negative Auswirkungen – insbesondere für den Fall England – festgehalten.

## UEBERGREIFENDE PROJEKTE

Im Rahmen des Projektes **Vergleichende Untersuchung von Grossunfällen im Energiebereich** [22] ist die Datenbasis weiter ausgebaut worden.

Im Projekt **Swiss FACE** [9] werden die Einflüsse erhöhter CO<sub>2</sub>-Konzentrationen auf die Flora und den Boden untersucht. So ergaben sich beim Raigras mittlere Ertragszunahmen von 4,5 % und beim Weissklee von 20 %. Noch stärker nahm die Biomasse zu (Raigras + 80 %; +34 % Weissklee).

Mit dem Projekt **Zulässigkeit der atmosphärischen Kohlendioxidkonzentration anhand polarer Eiskerne** [23] wird untersucht, ob der zur Zeit beobachtete Anstieg der atmosphärischen Konzentration von Treibhausgasen durch den Menschen verursacht ist. Unsicherheiten sollen so weit als möglich mit dem Einsatz der leistungsfähigsten Methoden beseitigt werden.

## 4. Nationale und internationale Zusammenarbeit

Im Rahmen der einzelnen Untersuchungen und Forschungsprojekte hat wiederum eine äusserst rege und intensive Zusammenarbeit mit Verwaltungsstellen, Verbänden, Organisationen und vor allem auch Unternehmen stattgefunden.

Wie oben erwähnt sind mehrere EU-Projekte im Gang bzw. bereits abgeschlossen.

## 5. Transfers in die Praxis

Die Umsetzung der Ergebnisse des Programmes "Energiewirtschaftliche Grundlagen" findet auf mehreren Kanälen statt:

- Im Rahmen der Beantwortung von parlamentarischen Vorstössen wird auf die laufenden Ergebnisse zurückgegriffen.
- Neben den Publikationen der Schlussberichte werden in Fachzeitschriften, aber auch in den öffentlichen Medien laufend Artikel plazierte, die teilweise eine hohe Beachtung finden.
- Anlässlich von Veranstaltungen und Fachtagungen sind die Zwischen- und Schlussergebnisse referiert worden.
- Von der Programmleitung durchgeführte *Workshop* "Energie im Lichte der Sozialwissenschaften" fand ein grosses Interesse und ein weitestgehend positives Echo.

## 6. Bewertung 1995

Die Arbeiten sind in den meisten Bereichen zufriedenstellend vorangeschritten. Das Programm "Energiewirtschaftlichen Grundlagen" findet nicht nur national, sondern auch international hohe Anerkennung. Da eine rationale und längerfristig ausgerichtete Energiepolitik auf die Ergebnisse dieses Programms angewiesen ist, stellt es für die weitere Energiepolitik ein zwingend notwendiges und unverzichtbares Instrument dar. Die gekürzten Mittel haben in den letzten Jahren zu einer Reduktion des Forschungsprogramms geführt. Im Rahmen des Energieforschungssymposiums in Yverdon wurde von allen Seiten festgehalten, dass die energiewirtschaftlichen Aspekte der Energieproblematik mit erster Priorität auszubauen ist.

## 7. Ausblick 1996

Die Arbeiten sind gemäss dem Mehrjahresprogramm 1996-1999 fortzuführen. Den Perspektiv- und Modellarbeiten kommt weiterhin ein Schwergewicht zu. Die Arbeiten zur Beurteilung der Energie-Umwelt- sowie der Solar-Initiativen sind abzuschliessen. Neue Modellerkenntnisse und Modellentwicklungen sind einzubeziehen. Die Datenbasis ist laufend zu verbessern.

Die Analysen zu Energiemassnahmen mit konkreten Handlungsempfehlungen sind weiter auszubauen. Im Vordergrund stehen - in Ergänzung zu den bereits laufenden Projekten - etwa der Technologietransfer, die Zusammenarbeit Bund/Kantone, Erfolgskontrollen auf kantonaler Ebene, das Energiemanagement, Wirkungen von Tarifen in der Industrie, optimierte Vollzugsmodelle, die Analyse von neuen Konsensverfahren. Bei der Analyse der Massnahmen und deren Weiterentwicklung ist die Zusammenarbeit mit der technischen Energiepraxis weiter zu verstärken.

Die Fragen neuer Regelungen der Energiemärkte sind für die Schweiz vertieft anzugehen, um die Entscheidungsgrundlagen für eine wettbewerbsorientierte und umweltverträgliche Energie-Marktordnung zu verbessern.

Im Bereich Interdependenzen sollen die Zusammenhänge Energie/Landwirtschaft und eventuell Energie/Raumordnung behandelt werden.

Für das Jahr 1996 wird eine noch engere Zusammenarbeit mit allen interessierten Kreisen angestrebt. Insbesondere soll die Zusammenarbeit mit den Kantonen vertieft sowie die Zusammenhänge mit ähnlichen Fragestellungen in verwandten Bereichen ausgenützt werden.

## 8. Liste der Projekte

- [1] U. Rey, WÜEST&PARTNER, Zürich: *Basisdaten für die Perspektiven des Energieverbrauchs*. (SB) ♦ *Klimabereinigung Endenergieverbrauch Raumwärme: Hochrechnung*. (SB)
- [2] E. A. Müller, C.U. BRUNNER, Zürich: *Klimabereinigung Endenergieverbrauch Raumwärme: Gebäudemodell Klima*. (SB) ♦ *Quantifizierung SIA 380/4* (JB)
- [3] PROGNOSE, Basel: *Koordination der Modellierungs- und Perspektivarbeiten*. (JB)
- [4] G. Schmid, PROGNOSE, Basel: *Analyse und Bewertung des Stromangebots*. (JB)
- [5] P. Hofer, PROGNOSE, Basel: *Perspektiven des Energieverbrauchs in den Haushalten*. (JB)
- [6] M. Keller, INFRAS/PROGNOSE, Bern: *Perspektiven des Energieverbrauchs im Verkehr*. (JB)
- [7] R. Iten, INFRAS, Zürich & R. van Nieuwkoop, ECOPLAN, Bern: *Greenhouse Gas Abatement through Fiscal Policy in the EU (Europe) and Switzerland*. (JB)
- [8] B. Aebischer, ETH-Zürich: *Perspektiven des Energieverbrauchs in Dienstleistungsbetrieben und Landwirtschaft*. (JB)
- [9] H. Blum, ETH-Zürich: *Swiss FACE Projekt (Phase 1)*. (JB)
- [10] W. Baumgartner, IBFG, Zürich: *Perspektiven des Energieverbrauchs für die Industrie*. (JB)

- [11] C. Muggli, IBFG, Zürich: *Perspektiven des Energieverbrauchs; Ökonomische Rückkopplungen*. (JB)
- [12] F. Carlevaro, CUEPE, Genève: *Taxe CO<sub>2</sub> et dynamique de l'économie Suisse*. (SB)
- [13] A. Müller, ECOPLAN, Bern: *Energieperspektiven: ökonomische Rückkoppelungen*. (JB)
- [14] S. Suter, ECOPLAN, Bern: *External costs of transport and internalisation*. (SB)
- [15] W. Ott, ECONCEPT, Zürich: *Die externen Kosten der Verkehrs- und Energiewirtschaft in der Schweiz*. (SB) ♦ *Evaluation der Steuererleichterungen für Massnahmen zur rationellen Energieverwendung und zur Nutzung erneuerbarer Energie*. (JB)
- [16] P. Marti, METRON, Brugg: *Niedrigenergiehäuser/Mieter-Vermieter-Verhältnis*. (JB)
- [17] E.O. GRAF, Basel: *Energiesparaktionen (ESA)*. (JB)
- [18] A. Balthasar, INTERFACE, Luzern: *Energiewirtschaftliche und politikwissenschaftliche Analysen*. (SB)
- [19] D. Gloor & D. Meier, CULTUR PROSPECTIV, Zürich: *Sozialwissenschaftliche Energieforschung*. (SB)
- [20] P. ZWEIFEL, M. FILIPPINI & S. BONOMO, Zürich: *Auswirkungen einer grenzkostenorientierten Tarifrevision auf die Elektrizitätsnachfrage*. (SB)
- [21] M. Filippini & F. Romerio, IEW, Zürich & CUEPE, Conches: *Reform des Elektrizitätsmarktes. Erfahrungen in Norwegen, Grossbritannien und anderen europäischen Ländern / Réforme du marché de l'électricité. Le cas de la Norvège, de la Grande Bretagne et d'autres pays européens*. (SB)
- [22] S. Hirschberg, PSI-Villigen: *Vergleichende Untersuchung von Grossunfällen im Energiebereich*. (JB)
- [23] B. Stauffer, UNI-Bern, Physikalisches Institut: *Zuverlässigkeit der Rekonstruktion der atmosphärischen Kohlendioxidkonzentration anhand polarer Eiskerne*. (JB)

(JB) Jahresbericht 1995 vorhanden

(SB) Schlussbericht vorhanden





## KONTAKTSTELLEN FÜR DIE ENERGIEFORSCHUNG POINTS DE CONTACT DE LA RECHERCHE ÉNERGÉTIQUE

- A) Für die im folgenden aufgeführten **Bereichsleiter** gilt generell folgende Adresse:  
Pour les **Chefs de domaine**, l'adresse générale suivante est à utiliser:

BEW – OFEN, 3003 Bern

Fax: 031 / 382 44 03

E-mail: Vorname-prénom.Name-nom@bew.admin.ch

1. **Gebäudehülle & Systeme – Systèmes techniques & enveloppe du bâtiment**  
Hans-Peter NÜTZI, ☎ 031 / 322 56 49
  2. **Haustechnik – Installations CVC**  
Martin STETTLER, ☎ 031 / 322 55 53
  3. **Solararchitektur & Tageslichtnutzung – Architecture solaire & éclairage naturel**  
Walter LUGINBÜHL, ☎ 031 / 322 56 41
  4. **Geräte & Elektrizität – Électricité (appareils, production & distribution)**  
Rolf SCHMITZ, ☎ 031 / 322 54 61
  5. **Umweltwärme & Wärme-Kraft-Kopplung –  
Chaleur ambiante & couplage chaleur-force**  
Fabrice ROGNON, ☎ 031 / 322 47 56
  6. **Aktive Sonnenenergie (Wärme & Strom) – Solaire actif (Chaleur & électricité)**  
Urs WOLFER, ☎ 031 / 322 56 39
  7. **Abwärme – Récupération de chaleur**  
Martin BRUNNER, ☎ 031 / 322 56 10
  8. **Übrige Erneuerbare (Geothermie, Wind, Kleinwasserkraftwerke) –  
Autres agents renouvelables (Géothermie, vent, petits aménag. hydrauliques)**  
Martin BRUNNER, ☎ 031 / 322 56 10
  9. **Biomasse**  
Martin HINDERLING, ☎ 031 / 322 56 42
  10. **Holz – Bois**  
Daniel BINGGELI, ☎ 031 / 322 68 23
  11. **Verkehr – Transports**  
Martin PULFER, ☎ 031 / 322 49 06
  12. **Verbrennung, Chemische Energieträger, Wärmespeicherung –  
Combustion, agents chimiques, stockage de chaleur**  
Alphons HINTERMANN, ☎ 031 / 322 56 54
  13. **Brennstoffzellen & Akkumulatoren - Piles à combustible & accumulateurs**  
Léo DUBAL, ☎ 031 / 322 56 44
  14. **Kernenergie – Énergie nucléaire**  
Christophe de REYFF, ☎ 031 / 322 56 66
- B) Die Namen und Adressen der **Programmleiter** finden sich auf den Titelseiten des jeweiligen Beitrages im vorliegenden Bericht.  
Les noms et adresses des **Chefs de programme** se trouvent sur les pages de titre de chaque compte rendu respectif du présent rapport.
- C) **Allgemeine Auskünfte** über die Energieforschung:  
**Renseignements généraux** sur la recherche énergétique:  
Gerhard SCHRIBER, ☎ 031 / 322 56 58, Adresse wie bei A)
- D) Bezugsort für **Jahres- und Schlussberichte** aus der Energieforschung:  
Centre de distribution pour les **rapports annuels et finaux** de recherche énergétique:  
ENET, Thunstr. 9, Postfach, 3000 Bern 6, ☎ 031 / 352 19 00 Fax: 031 / 352 77 56

