Recherche énergétique

Energie-Forschung 1996

Rapports de synthèse des chefs de programme
Überblicksberichte der Programmleiter

Neuer Wind...
# RECHERCHE ÉNERGÉTIQUE 1996

ENERGIEFORSCHUNG 1996

Rapports de synthèse des chefs de programme
Überblicksberichte der Programmleiter

<table>
<thead>
<tr>
<th>Titel</th>
<th>Seite</th>
</tr>
</thead>
<tbody>
<tr>
<td>Vorwort / Avant-propos</td>
<td>3</td>
</tr>
<tr>
<td>Fortschritte der Energieforschung 1996</td>
<td>4</td>
</tr>
</tbody>
</table>

*Programmes de recherche – Forschungsprogramme*

<table>
<thead>
<tr>
<th>Thema</th>
<th>Seite</th>
</tr>
</thead>
<tbody>
<tr>
<td>Rationelle Energienutzung in Gebäuden</td>
<td>7</td>
</tr>
<tr>
<td>Solararchitektur</td>
<td>15</td>
</tr>
<tr>
<td>Elektrizität</td>
<td>23</td>
</tr>
<tr>
<td>Umgebungs- und Abwärme, Wärme-Kraft-Kopplung</td>
<td>31</td>
</tr>
<tr>
<td>Solaire actif &amp; Chaleur</td>
<td>39</td>
</tr>
<tr>
<td>Photovoltaik</td>
<td>49</td>
</tr>
<tr>
<td>Biomasse</td>
<td>57</td>
</tr>
<tr>
<td>Geothermie</td>
<td>65</td>
</tr>
<tr>
<td>Kleinwasserkraftwerke</td>
<td>71</td>
</tr>
<tr>
<td>Windenergienutzung</td>
<td>77</td>
</tr>
<tr>
<td>Solarchemie &amp; Wasserstoff</td>
<td>83</td>
</tr>
<tr>
<td>Feuerung &amp; Verbrennung</td>
<td>91</td>
</tr>
<tr>
<td>Stockage de chaleur</td>
<td>99</td>
</tr>
<tr>
<td>Kerntechnik und nukleare Sicherheit</td>
<td>107</td>
</tr>
<tr>
<td>Regulatorische Sicherheitsforschung der HSK</td>
<td>115</td>
</tr>
<tr>
<td>Fusion thermonucléaire contrôlée</td>
<td>123</td>
</tr>
<tr>
<td>Piles à combustible &amp; Accumulateurs</td>
<td>129</td>
</tr>
<tr>
<td>Verkehr</td>
<td>135</td>
</tr>
<tr>
<td>Energiewirtschaftliche Grundlagen</td>
<td>143</td>
</tr>
</tbody>
</table>

*Annexe – Anhang*

<table>
<thead>
<tr>
<th>Thema</th>
<th>Seite</th>
</tr>
</thead>
<tbody>
<tr>
<td>Organisation de la Recherche et P&amp;D – Forschungs- und P&amp;D-Organisation</td>
<td>150</td>
</tr>
<tr>
<td>Adresses importantes – Wichtige Adressen</td>
<td>151</td>
</tr>
</tbody>
</table>
VORWORT


Der vorliegende Band enthält die Jahresüberblicksberichte der Programmleiter und ist für die breite Öffentlichkeit bestimmt. Beschriften sind vorwiegend diejenigen Vorhaben, welche ganz oder teilweise durch das BEW finanziert wurden. Enthalten sind aber auch Hinweise auf andere mit öffentlichen und privaten Mitteln durchgeführte Forschungsarbeiten. Es sei hier darauf hingewiesen, dass auch die meisten Forschungsstellen in ausführlichen Jahresberichten über ihre Aktivitäten informieren.


BUNDESAMT FÜR ENERGIEWIRTSCHAFT

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 œuvre de manière subsidiaire aux efforts des organisations de recherche privées et publiques. L’OFEN a décidé en 15 domaines son travail de soutien aux nouvelles technologies. L’accompagnement des programmes de recherche, pilote & démonstration y relatif incombe à des chefs de programmes, internes, voire externes, à la Confédération. Une vue d’ensemble de l’organisation est donnée en annexe, ainsi que les points de contact.

En 1996, les dépenses globales du secteur public pour la recherche énergétique ont atteint la somme de quelque 210 millions de francs, dont 28 millions pour les installations pilotes et de démonstration. Pour sa part, l’OFEN a attribué, en 1996, des mandats de recherche pour 42 millions de francs. Cette somme comprend 14 millions de francs de subsides pour des installations pilotes ou pour des mesures sur ces installations. 47% des moyens de l’OFEN ont été attribués au secteur privé, 17% aux organisations cantonales de recherche (Universités, Écoles d’ingénieurs), et 36% aux instituts fédéraux de recherche (en particulier aux deux EPF et au PSI).

La présente brochure contient les rapports de synthèse, pour l’année 1996, des chefs de programme et s’adresse 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 synthèse des chefs de programme peuvent être reproduits, à condition que l’on mentionne la source. Les rapports annuels (RA) ou final (RF) relatifs aux projets mentionnés dans les rapports de synthèse, peuvent être obtenus, soit par l’intermédiaire du chef de programme, soit par ENET (Fax:031/3500005).

14 mars 1997
OFFICE FÉDÉRAL DE L’ÉNERGIE

Zur Illustration auf dem Umschlag:

Neuer Wind... Die Inbetriebnahme des Wind-Kraftwerk-Parks auf dem Mont-Crosin (Bild) hat der Nutzung der Windenergie in der Schweiz einen spürbaren Impuls gegeben. (Foto: Corinne Voiro, BEW)
Neuer Wind bläst aber auch in den Forschungsprogrammen, welche seit einem Jahr neu organisiert sind.

Illustration de la couverture:

Vent nouveau... la mise en service de la ferme éolienne du Mont-Crosin (photo) a donné une forte impulsion à l’utilisation de l’énergie du vent en Suisse. (Photo: Corinne Voiro, OFEN)
Un vent nouveau souffle aussi sur les programmes de recherche depuis leur réorganisation, il y a un an.
Die Bedeutung der jährlichen Fort-Schritte in der For- 
schung ist in der Regel kaum abschätzbar. Erst Jahre 
ger oder gar Jahrzehnte später, wenn die neuen Erkennt-
nisse im Markt Eingang gefunden haben, kann ihr 
Wert richtig bemessen werden. So hat sich das Markt-
angebot im Energiesektor aufgrund der Forschungs-
ergebnisse der letzten 20 Jahre augenfällig verändert. 
Beispiele sind: energieeffiziente Bauten (dichte Fenster, 
wi rsame Wärmedämmung, Solararchitektur), ein 
breites Angebot von Heizungstechniken (Solarwärme, 
Wärmepumpen, Holzheizungen, saubere Öl- und 
Gasbrenner), sparsame Haushalt- und Bürogeräte, neue 
Techniken zur Stromerzeugung (Brennstoffzellen, 
Photovoltaik, Biogasanlagen, Wärmekraftkopplungsan-
lagen, Gaskombikraftwerke, effiziente Kleinkraft-
kraftwerke, Windkraftanlagen), neue Speichertechni-
ken (fortgeschrittene Batterietypen, Kurz- und Lang-
zeitzwecklade, chemische Energiespeicher (Wasser-
stoff, Methanol). Solche Markerfolge sind die Ergeb-
nisse einer kontinuierlichen Forschungs- und Entwicklung der öffentlichen Hand, in enger Kooperation mit der 
Industrie. Die Möglichkeiten sind jedoch bei weitem noch 
icht ausgeschöpft. Und es bleibt zu hoffen, dass trotz 
der in den letzten Jahren vorgenommenen Kürzungen 
von Forschungsmitteln der Einsatz der Forscher zur 
Erzielung weiterer Fortschritte anhält.

Die Energieforschung hat auch 1996 zu einer reichen 
Ausbeute geführt. Hier eine kleine Auswahl von Er-
gerbnissen:

- 10 Jahre nach der schweizerischen Entdeckung der 
  Hochtemperatur-Supraleitung werden in unserem 
  Land bereits erste Anwendungen erprobt: Ein 
  Strombegrenzer von 1,2 MW Leistung wird in einem 
  Kraftwerk getestet und ein Transformatorkern 
  (dreiphasig, 630 kVA) steht für den Netzanschluss 
  bereit.

- Die erfolgreiche Inbetriebnahme dreier Windkraft-
anlagen auf dem Mont-Crosin (zusammen 1,8 MW 
  Nettoleistung) demonstriert, dass neue 
  Windkraftanlagen auch in der Schweiz zu relativ günsti-
  gen Kosten beachtenswerte Beiträge an die Strom-
erzeugung liefern können.

- Moderne Fenstergläser bringen kolosse Energie-
  sparen: Wärmeschutzverglasungen schützen gegenüber 
  konventioneller 2-fach-Isolierverglasung doppelt so 
  stark vor Verlusten und belasten damit die Umwelt 
  entsprechend weniger. Demgegenüber fallen Verluste 
  bei der Herstellung und Entsorgung wenig 
  ins Gewicht.

- Es liegen jetzt zuverlässige Zahlen vor über die ent- 
  scheidenden Einflussmerkmale für die optimale 
  Tageslichtnutzung in Atten und angrenzenden 
  Räumen (geometrische Verhältnisse, Glaswerte und 
  -anteile, Reflexions-aspekte). Der Einfluss der Spei-
  chermasse ist allerdings modellabhängig noch zu 
  wenig gut erfasst. Im übrigen ist durch die schweizeri-
  schen Untersuchungen zur Tageslichtnutzung an 
  der ETI/Lausanne ein in Europa führendes For-
  schungszentrum in diesem Bereich entstanden.

- Nach intensiver Entwicklungsarbeiten sind nun ge-
  räumlich geordnete Wärmepumpenanlagen 
  erhältlich mit Jahresenergieleistungen von 2. Damit 
  lässt sich Ge- 
  genüber den Elektrospeicherosfären der Verbrauch an 
  elektrischem Strom halbieren.

- Für Blockheizkraftwerke wird intensiv an der Ent-
  wicklung des Swiss-Gasmotors gearbeitet. Er soll 
  die strengen Vorschriften der schweizerischen Luft-
  reinhalteverordnung erfüllen. Im Versuchs- und 
  Betrieb werden (für Wellenleistungen von 100 kW) bereits 
  Wirkungsgrade von 35 % erreicht.

- Der Wirkungsgrad der durch Licht hervorgerufenen 
  Spaltung von (Süss- und Meer-)Wasser könnte mit 
  einem neuartigen Verfahren (TiO₂/WO₃-Elektro-
  den) auf über 4,5 % erhöht und damit verdoppelt 
  werden. Ziel ist die direkte Speicherung von Son-
  nenenergie im Energieträger Wasserstoff.

- Die neueste Version der Planungsprogramms 
  POLYSUN kann quasi als Expertensystem für 
  Solaranlagen (thermisch) bezeichnet werden: die 
  besten schweizerischen Modell-Entwicklungen auf 
  diesem Gebiet – inklusive METEONORM '95 – 
  sind darin integriert.

- Ein 8-Familienhaus mit einem Wärmebedarf von 
  rund 35 MWh erreicht einen solaren Deckungs-
  grad von 65 %, was – in unserem Klima – für ein 
  derartiges Objekt eine Weltpremiere bedeutet. Ein 
  danebenstehendes gleiches Haus mit weit 
  optimierten Wärmeverhältnissen lässt noch einen we-
  sentlich höheren Deckungsgrad erwarten.

- Vielversprechende Weiterentwicklungen sind im 
  Bereich der Stromversorgung mittels Solar- 
  zellen zu 
  verzeichnen: Beim Konzept der "mikromorphen" 
  Zellen (Verbindung einer mikrokristallinen und ei-
  ner amorphen Siliziumzelle) wurde ein stabiler 
  Wirkungsgrad von 10,7 % erreicht. Und beim Kon-
  zept einer "kristallinen Siliziumzelle mit Antirefle-
  xionschicht" wurde sogar der hohe Wirkungsgrad 
  von 21 % gemessen.

Viel weiter entfernt vom Markt ist das Konzept des 
"Lichteanfangs - -transports in supramolekular 
organisierten Farbstoffen" im Inneren von Zeolithen. 
Bereits werden jedoch 150 mal schnellere Ener-
gieflüsse als z.B. im vergleichbaren System der grünen Pflanze nachgewiesen.

Das Konzept der "Farbstoffzellen (Grätzel)" andererseits wird bereits mit industriellen Lizenznehmern markttauglichen Lösungen zugeführt.

- Umfangreiche Abklärungen (über Anbau, Verbrennung, Versorgung, Veränderung, Stoffflüsse, Ökobilanzen, Logistik, etc) haben ergeben, dass heute die Verwendung von Gras und Feldholz für Energiezwecke noch nicht wirtschaftlich ist. Im Vergleich zur konventionellen Energie-Bereitstellung (Erdöl, Gas) führt die energetische Nutzung von Gras, Maischilf, Feldholz u.a. jedoch zu einer deutlich geringeren Umweltbelastung. Internalisiert man die externen Kosten, so liegt sowohl die Vergärung wie auch die die Verbrennung solcher Biomasse deutlich günstiger als die Erdölnutzung.


- Der Elektromobil-Flottenversuch in Mendrisio erfährt international große Beachtung. Das Ziel, bis zur Jahrtausendwende 8 % aller dortigen Fahrzeuge durch Leicht-Elektromobile (LEM) zu ersetzen dürfte erreicht werden [Seit Ende 1996 zirkulieren in Mendrisio bereits 67 LEM (1,5 %)]. 50 verschiedene Fördermassnahmen sind eingeführt, deren Wirksamkeit und Übertragbarkeit auf andere Standorte laufend ausgewertet werden.


- Die Brennstoffzellen haben sich näher zum Markt entwickelt: Bei den Polymer-Brennstoffzellen (Wasserstoff-Luft-System) wird für mehrere Membran-Dicken eine gute Langzeitbeständigkeit erreicht. An einem 12 Volt-Demonstrationsmodell konnte die Funktionstauglichkeit bewiesen werden. Bei den Keramik-Brennstoffzellen (Erdes-Luft-System) konnte bei einem neuartigen Zellenelement (physikalisch dampfbeschichtet) nach 100 Betriebsstunden eine Leistung von über 600 mW/cm² (bei 814 °C) erreicht werden, dreimal mehr als erwartet.


- 1996 sind gut fundierte Analysen über die Auswirkungen hängiger energiepolitischer Initiativen (Energie/Um welt- und Solar-Initiative) sowie anstehender politischer Entscheide (Energiegesetz und CO2-Abgabe) erarbeitet worden.


RATIONELLE ENERGIENUTZUNG IN GEBÄUDE

Überblicksbericht
zum Forschungsprogramm 1996

Markus Zimmermann

Messprojekt Personalhäuser Dielsdorf

GEBAUDEHUELLE


HAUSTECHNIK


Pilot-und Demonstrationsprojekte


Fünf Sanierungsprojekte wurden im Rahmen des Wettbewerbes vom Bund und vom Kanton Zürich als mustergültig oder energetisch und gestalterisch interessant ausgezeichnet. Vier davon werden voraussichtlich 1997 zur Ausführung gelangen.


Der Bereich ökologisch optimierter Bauten hat sich inzwischen recht gut etablieren können. Fast bei allen Demonstrationsbauten werden Umweltaaspekte bestmöglich berücksichtigt. Es scheint, dass die Bauherren schon heute diesbezüglich sensibilisiert sind und ökologisches Bauen voll im Trend liegt [20, 33].

Nationale Zusammenarbeit

Schwerpunktmaßig werden die Forschungsprojekte an den drei Forschungsinstituten ETH Zürich, ETH Lausanne und EMPA Dübendorf durchgeführt, welche sich mit der Energieneutung im Gebäudebereich intensiv befassen. Immer häufiger findet aber auch eine Zusammenarbeit mit den angehenden Fachhochschulen (inkl. Luzern, Winterthur, Basel) statt.

Heute wird kaum mehr ein Projekt nur an einem Institut durchgeführt. Die interdisziplinären Fragestellungen einerseits und die Anforderungen an die praktische Umsetzbarkeit der Ergebnisse erfordern immer häufiger die Zusammenarbeit von Forschungsstellen, Industrie und Anwender.

Vor allem die Industrie ist heute nicht nur vermehrt bereit sondern auch interessiert, mit externen Forschungsstellen zusammenzuarbeiten. Die Anzahl Industrieprojekte hat in letzter Zeit deshalb zugenommen.

Die Zusammenarbeit mit Ingenieurbüros findet vor allem dann statt, wenn es darum geht, praxisgerechte Planungsunterlagen zu erarbeiten.

Internationale Zusammenarbeit

Nebst vereinzelten Projekten, an denen sich internationa l tätige Firmen beteiligen, stehen vor allem die Programme der IEA (Energy Conservation in Buildings and Community Systems) und der EU (JOULE-THERMIE) bei der internationalen Zusammenarbeit im Vordergrund.

Im IEA-Programm ist die Schweiz an folgenden Projekten beteiligt:

- Air Infiltration and Ventilation Centre (AIVC), schweizerische Beteiligung 1996 abgeschlossen [12],
- Low Energy Cooling, laufend [2],

Im 4. EU Rahmenprogramm JOULE-THERMIE wurden folgende Projekteteingaben in Brüssel bewilligt (die Finanzierung erfolgt über das Bundesamt für Bildung und Wissenschaft):

- EPIQR: Kostenevaluation für Wohnbausanierungen,
- OFFICE: Sanierungsstrategien für Bürogebäude,
- NATVENT: Natürliche Lüftung von Bürobauten,
- Holzheizung mit hohem Wirkungsgrad und geringen Emissionen,
- SMARTIS: Regelungsstrategien für Lüftungsanlagen,
- Optimierte Anwendung moderner Verglasungen,
- SAVEHEAT: Solarunterstützte natürliche Lüftung mit Wärmegewinnung

Transfer in die Praxis


Die direkteste Umsetzung findet im Rahmen der Industrieprojekte statt. Die entsprechenden, geförderten Projekte sind:

- Korrosionsschutz an Ölheizzentrales im Feldtest,
- Sensorentechnik und Einsatzpotenziale für Mischgashalter [7],
- Punkteinbaubröxen [22, 34],
- Fehlererkennung in HLK-Anlagen [19],
- Hochwärmendämmendes Verbandmauerwerk [23],
- DELTA, Contrôle optimum des stores [12].

Wichtig für die praktische Anwendung von Forschungsergebnissen sind auch P&D-Projekte. Allerdings soll hier die Verbreitung der Ergebnisse in der Baubranche und für Bauherren noch verbessert werden.

Nach wie vor wichtig für die Verbreitung der Forschungsergebnisse sind nebst der Publikation von Be richtungen die Durchführung von Tagungen und Veranstaltungen.


Weitere wichtige Veranstaltungen waren:

- Schweiz. Schlussveranstaltung des IEA-Projekts: Heat, Air and Moisture Transfer in New and Retr fitted Insulated Envelope Parts, ETH Zürich, 24.4.1996
- VSHL/EMPA-Lüftungstagung zum Thema Wärmerückgewinnung, Technopark Zürich, 30.5.1996
Ausblick 1997


Das P&D-Programm, welches bis anhin eher ein reaktives Programm darstellte, soll über die gezielte Aus-}

schreibung von ausgewählten Demonstrationsthemen zu einem mehrheitlich aktiven Programm werden.

Sowohl im Forschungs-, aber vor allem im P&D-Bereich soll die Querinformation verbessert werden. Es ist geplant, dass bis Ende 1997 alle laufenden Projekte über Internet abgefragt werden können. Im P&D-Bereich will man so die Transparenz und Zugänglichkeit der Projekte verbessern.

Projektleiste


[23] H. Gubler, VSZ, Zürich: Hochwärmedämmendes Verbandmauerwerk. (JB)


(JB) Jahresbericht 1996 vorhanden

(SB) Schlussbericht(e) vorhanden
Referenzen

[34] Ch. Tanner, EMPA, Dübendorf: Wärmebrücken von hinterlüfteten Fassaden, September 1996
[38] M. Santamouris, A. Argiroul, UNI-Athens: Pascool Software CD-ROM
Gebäudesanierung mit transparent wärmegeämmnten Fassadenelementen.

Programmübersicht und anvisierte Ziele für 1996


Die Schwerpunkte im Berichtsjahr waren:
- Direkte Solarnutzung - Wärme;
- Direkte Solarnutzung - Tageslicht;
- Indirekte Solarnutzung - Konvektiv;
- Indirekte Solarnutzung - Passivsysteme;
- Systemintegration - Energie;
- Systemintegration - Ökologie

Es waren folgende Arbeiten vorgesehen:
Für die Aspekte Wärme, Passivsysteme und Systemintegration: Weiterführung schon laufender Messprojekte; nach Abschluss der Messungen Untersuchung der Gebäude auf Optimierungsmöglichkeiten bezüglich Energieeinsparnisse.


Zum Schwerpunkt Konvektive Nutzung: Fertigstellung der Nomogramme für die Planung von Hypokaustsystemen, Durchführung von Messprojekten an Solarluftsystemen.

1996 durchgeführte Arbeiten und erreichte Ergebnisse

FORSCHUNGSPROGRAMM 1996 BIS 1999

Ein ausführliches Forschungsprogramm für die Jahre 1996 bis 1999 wurde der CORE und der Begleitgruppe "Rationale Energiennutzung in Gebäuden" präsentiert und von diesen positiv beurteilt.

DIREKTE SOLARNUTZUNG - WÄRME


Im weiteren wurde ein Modul mit transparenter Wärmedämmung einem Prüfverfahren zur Bestimmung des Wärmedurchgangs, des Gesamtenergiedurchlassgrades, der thermischen Deformation und des Feuchtausgleichs unterzogen.
Fig. 1: Diagramm aus "Rechenmodelle, Mess- und Prüfverfahren für transparente Bauteile"

Ergebnis der Potentialstudie: Verbliebender Heizenergiebedarf verschiedener Sanierungsvarianten.

Als Altbau und Referenz wurde ein Mehrfamilienhaus gewählt, gut isolierend sind Dach (k=0.25 W/m²K), Kellerdecke (k=0.21 W/m²K) und moderne Fenster (k=1.5 W/m²K). Für den Altbau wurde mit einer 32 cm dicken Wand aus KS (k=1.05 W/m²K), als Aussendämmung mit einer 9 cm dicken Schicht Steinwolle (k=0.25 W/m²K) und im Fall TWD mit transparenter Wärmedämmung (k=0.25 W/m²K) auf der Hauptfassade gerechnet.

DIREKTE SOLARNUTZUNG - TAGESLICHT


INDIREKTE SOLARNUTZUNG - KONVEKTIV


Ein bereits abgeschlossenes P&D-Projekt hatte gezeigt, dass die damals untersuchte dachintegrierte Luftkollek-


**INDIREKTE SOLAR-NUTZUNG - PASSIVSYSTEME**


**SYSTEMINTEGRATION - ENERGIE**


Zur Elektrizitätsbilanz ist zu bemerken, dass der Bedarf des Gebäudes in den bisher erfassten 9 Monaten um 30% höher lag, als für diese Zeitspanne erwartet wurde. Für die gleiche Periode liegt der Ertrag der Photovoltaikanlage ca. 15% tiefer als erwartet. Dies ist auf Störungen am Wechselrichter zurückzuführen, die inzwischen behoben wurden.


Nationale Zusammenarbeit und internationale Zusammenarbeit

NATIONAL:
- Begleitgruppe des Œko-Bau Programmes von DIANE (BEW);
- Eidg. Kommission zur Förderung der Nutzung von Sonnenenergie (KNS);

INTERNATIONAL:
- Solar Frauen Schweiz der Schweizerischen Vereinigung für Sonnenenergie (SSES);
- Bundesvorstandsmie der SSES;
- Jurymitglied Solarpreis 96, Bern.
- 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.

transfer in die Praxis


In diesem Jahr wurde eine Seminarwoche im Herbst zum Thema "Glasträume" in Paris organisiert. Infolge grosser Nachfrage wurde die Reise mit 30 Studenten und zwei Begleitern durchgeführt.

Der Nachdiplomstudent aus der Romandie untersucht in seiner Arbeit die konstruktiven Massnahmen der passiven und aktiven Solaranwendung für den Bau einer grösseren Siedlung in der Umgebung von Freiburg. Der Student verwendet die Programme HELIOS, SUNREL und LESOSAI.

Um das international gut bewährte PC-Programm SUNCODE (für die dynamische Simulation von Gebäuden) für die Praxis zugänglich zu machen wurden die Arbeiten an einer einfachen "Windows" - Oberfläche in Koordination mit Colorado State University (USA) begonnen.


Im Rahmen des P&D-Programms Solararchitektur ließen folgende Aktivitäten:

An einem Einfamilienhaus in Hochdorf mit einer transparent-wärmegedämmten Lehnwand wurden während der Bauphase die für die nachfolgenden Erfolgsmessungen benötigten Messfühler eingebaut; in Reinach BL wurde ein Wohnhaus mit transparent-wärmegeämmter Südfassade und Photovoltaikpanelen mit P&D-Mitteln gefördert.

bewertung 1996, ausblick auf das Jahr 1997

Im abgelaufenen Jahr konnten sechs Projekte erfolgreich abgeschlossen werden.


Systemintegration ist wichtig bei einer Optimierung.
Dazu ist das Gebäude als Ganzes zu betrachten und die Berücksichtigung aller Endnutzungen wichtig. Im Rahmen des Forschungsprogramms Solararchitektur werden zwei Kriterien für die Optimierung berücksichtigt: Energie und Ökologie.

Bei den zu startenden Projekten wird das Schwerge wicht auf Zielsetzungen gelegt, die für Sanierungen und Umsetzung (z.B. Planungshilfsmittel) wichtig sind.

**Projektliste 1996**


(JB) Jahresbericht 1996 vorhanden

(SB) Schlussbericht vorhanden
Integraldrive

Durch die bis anhin unerreichte Integrationsdichte von Frequenzumrichter und Motor setzt der Integraldrive im Leistungsbereich von 3 kW neue Massstäbe und erweitert den Einsatz von energieeffizienten, variablen Antriebssystemen.
Programmübersicht und Schwerpunkte für die Jahre 1996 - 1999


- Durch rationale Elektrizitätsnutzung kann noch ein beachtliches Einsparpotenzial ausgeschöpft werden. Da die Elektrizität in den verschiedensten Bereichen eine dominante Rolle einnimmt, ist auch der diebezügliche Forschungsbereich entsprechend vielfältig. In differenzierter Art und Weise und unter Abstimmung mit andersseitigen Forschungsanstrengungen sind folgende Aktivitäten vorgesehen:
  - Förderung und Unterstützung von nationalen Demand Side Management Projekten sowie aktive Teilnahme an gleichnamigen IEA-Programm.


Im Anschluss an das Ende 1995 abgelaufene grundlagengestützte Nationale Forschungsprogramm 30 - Angewandte Hochtemperatur-Supraleitung - wird schliesslich eine kontinuierliche Weiterführung der dortigen energierelevanten Forschungsanstrengungen angestrebt.

Durchgeführte Arbeiten und erreichte Ergebnisse 1996

ERZEUGUNG/PRODUKTION


Im abgeschlossenen Projekt Neue Umrücktechnologien für erneuerbare Energiequellen am Beispiel von Kleinwasserkraftwerken [1] wurde mit den Stadtwerken Sion ein dreihzahlig variables Kleinwasserkraftwerk realisiert, welches die Funktion des Druckreduzierventils zwischen dem Reservoir und dem Versorgungsnetz übernimmt.


Das mehrstufige AusgangsfILTER gliedert das Eingangsnetz und eliminiert alle unerwünschten Frequenzanteile. Der ins Netz eingespeiste Strom ist perfekt sinusförmig.

Blockschema des Kleinwasserkraftwerks Sion

Die Elektrizitätswirtschaft stellt speziell im Bereich der grüneren Wasserkraftanlagen beträchtliche Mittel zur Verfügung. So werden knapp 30 % des verfügbaren Betrags des PSEL (Projekt- und Studienfonds der Elektrizitätswirtschaft) im Bereich Wasserkräft/erneuerbare Energien investiert. Als Beispiel sei die Entwicklung eines Analyseschirms durch die EPFL und die EDF erwähnt, welche die Messung und Quantifizierung der Kavitationserosion erlaubt.

SPEICHERUNG

In einem vom PSEL unterstützten Projekt wird angestrebt, die Energiedichte von Leistungskondensatoren zu verdoppeln. Zudem laufen verschiedene Aktivitäten an Hochschulen und in der Industrie bezüglich Schwinggradtechnologie. Das Programm Elektrizität unterstützt zur Zeit keine diesbezüglichen Projekte.

ÜBERTRAGUNG/VEREITLUNG


Mit der EPFL in Lausanne wird schliesslich seit längerem ein Projekt vorbereitet, in welchem ein Betriebssystem für Umschalungen im Verteilnetz für die Optimierung, Überlast- und Störschutzleistung in Realzeit entwickelt werden soll.


VERWENDUNG/RATIONELLE NUTZUNG

a) Kraft/elektrische Motoren


Im Rahmen einer ETH-Diplomarbeit wurden die Ergebnisse des Projekts Verstärkte Ausnutzung der Rekuperationsbrense der Lokomotive vom Typ Re 6/6 der SBB um die Funktion der Vielfachsteuerung erweitert. Damit werden der Re 6/6 und der Re 4/4 im Fall von Zwei-Zug-Lokomotiven eine optimale Laufzeit unter Einbezug der verstärkten Ausnutzung der
Rekuperationsbremse ermöglicht. Die Arbeiten sind erfolgreich verlaufen, und die Messungen zeigen zusätzliche Energierückgewinnungen von etwa 90 MWh pro Jahr und Lokomotiven-Paar auf. Wirtschaftlichkeitsbe-

b) Bürogeräte/EDV-Netzwerke

Die Bearbeitung des Forschungsschwerpunkts Energie-Management in EDV-Netzwerken stellt eine grosse Herausforderung dar. Die Einflussnahme seitens des Bundes ist aufgrund der rasanten Technologiefortschritts, der immer kürzeren Produktlebenszeiten, des Preis- und Margendrucks sowie der weitgehenden Internationalisierung bescheidener. Trotzdem wird in Diskussionen und in internationaler Koordination mit der einschlägi-
gen Industrie versucht, Einfluss auf die zukünftige Entwicklung zu nehmen und das Power Management zu thematisieren und zu forcieren. Dank intensiver Bemühungen konnten gute Kontakte zu internationalen PC-Produzenten etabliert werden.


Seitens des BEW wird nach wie vor angestrebt, die Problematik EDV-Netzwerk/Energie zu thematisieren und sowohl die Öffentlichkeit als auch einschlägige Institutionen dafür zu sensibilisieren. Zur Unterstüt-
ung wurde eine Informationsbroschüre in Deutsch und Englisch mit dem Titel Effizientes Energiemanagement in Computer- und Kommunikationsnetzwerken verfasst. Die Broschüre beschreibt das mutmassliche Einsparpoten-
tial in EDV-Netzen sowie als konkretes Projekt den Prototyp eines Energie-Managementsystems für ein Novell-Netzwerk. Der Bericht wurde sowohl national als auch international an ca. 600 Adressen versandt. Die gleichzeitig in mehreren anerkannten Fachzeit-
schriften (Computerworld, SIA-Magazin, Schweizer Industrie, englischsprachiges PC-Hefl Bytes etc.) pub-
blizierten Artikel fanden ein positives Echo. Es werden nun diverse Grundlagen erarbeitet, die den speziellen Problemen des Netzwerks bei den Zielwertvorgaben Rechnung tragen.

Seit längerem wird die Bearbeitung eines Forschungs-
projekts mit dem Titel Energiemanagement in EDV-
Netzwerken angestrebt, welches in grundsätzlicher Form die diversen Aktivitäten auf diesem Gebiet zu-
sammenfassen und konkrete Projektvorschläge auf-
grund identifizierter Erkenntnismöglichkeiten erarbeiten sollte. Ursprünglich war eine Auftragserteilung an eine Fachhochschule vorgesehen. Es haben sich auch mehrere Fachhochschulen dafür interessiert, leider konnten die-
se aber bis heute nicht die fachlichen personellen Res-
ourcen bereitstellen. Es zeichnen sich nun aber ne-
ne Möglichkeiten ab, sodass davon ausgegangen werden kann, dass das Projekt unter Berücksichtigung der neuesten Entwicklungen anfangs 1997 gestartet werden kann.

Die Zielsetzung der Fachstelle zur Förderung des rationalen Energieeinsatzes in der Informationstechnik und Unterhaltungsleistung [6] liegt unver-
ändert im Sammeln, Aufbereiten und Verbreiten von einschlägigem Wissen sowie der Unterstützung der Anwendungen in der Praxis. Im Zentrum der Aktivitä-
ten stand die Leitung des IEA-Projekts International koordinierte Beschaffung innovativer Kopierer. Zudem wurde an Veranstaltungen im In- und Ausland die Entwicklung des effizienten Energiemanagements in EDV-Netzwerken thematisiert.

c) Demand Side Management (DSM)

Im IEA-Programm Demand Side Management nimmt die Schweiz an zwei Projekten teil. Im Projekt Communications Technologies for Demand Side Manage-
ment [17], welches im Frühling 1997 abgeschlossen

wird, werden die verschiedenen Kommunikationstechnologien analysiert und darauf aufbauend ein Evaluati-

onsmodell erarbeitet, welches bei klarer Vorgaben (Kundenmix, geforderte Funktionen etc.) die effizien-
testen Kommunikationsmedien vorschlägt. Das Evalu-

ationsmodell wird nun noch in einem Softwarepaket weiterentwickelt. Auch das Projekt Development of Improved Methods for Integrating Demand-Side Opti-

ons into Resource Planning wird im Jahr 1997 abge-

schlossen. Das Executive Committee ist bestrebt, Vor-
bereitungsarbeiten für die verstärkte Umsetzung der erarbeiteten Ergebnisse im Jahr 1997 anzugehen.

Im Folgeprojekt Prioritäre Aktionsfelder im DSM: Anleitung zur erfolgreichen Marktbearbeitung soll die erarbeitete Methodik zur Suche von prioritären Aktionsfeldern für DSM-Massnahmen überprüft und weiterentwickelt werden. Durch die praktische Umset-
zung in mehreren beteiligten Elektrizitätswerken sollen weitere Erkenntnisse gewonnen und diese in einer An-
leitung zur erfolgreichen Marktbearbeitung integriert werden.
INTERDISZIPLINÄRE PROJEKTE

a) Supraleitung


b) Leistungselektronik


c) Niederfrequente, elektromagnetische Felder

Eine am PSI durchgeführte Arbeit untersuchte die Belastung der Schweizer Bevölkerung in den Jahren 1993/94 durch 50 Hz-Magnetfelder. Dabei wurde festgestellt, dass der vom BUWAL für die Bevölkerung empfohlene Grenzwert von 100 µT ausserhalb der Arbeitsplätze nicht überschritten wurde.

Nationale und internationale Zusammenarbeit


Neben den bereits anderesweit erwähnten Zusammenarbeiten stellt die aktive Teilnahme der Schweiz an den IEA-Programmen "Hochtemperatur-Supraleitung" und "Demand Side Management" unverändert eine ausgezeichnete Plattform für die internationale Zusammenarbeit dar. Wertvolle Impulse und Informationen sowie neue Kontakte konnten insbesondere durch den Besuch des Programmliefer anlässlich des Executive Committee Treffens des IEA-Hochtemperatur-Supraleiter-Programms im Argoonne National Laboratory nahe Chicago, USA gewonnen werden [15].

Zur Zeit laufen konkrete Abklärungen und Vorbereitungen für die aktive Teilnahme im Projekt Energy Efficient Motors and Drives, welches im Rahmen des EU-SAVE-II-Programms initiiert wurde.
Einzelraumwärmepumpe

Messungen an einer im Auftrag des BEW entwickelten "Heizkörperwärmepumpe" zum Ersatz von Einzelraum-Elektrospeicherofen mit einer Energieeinsparung von rund 50%.
Programmübersicht und Programmziele


- Verlässlichere Dimensionierung von Verdampfern, Kondensatoren, Erdregistern und Rotationsregeneratoren,
- Effizienzverdichtung und Kostenreduktion von Heizsystemen mit Wärmepumpen (WP), und Wärme-Kraft-Kopplung (WKK), Blockheizkraftwerk (BHKW),
- Entwickeln einer Kurztestmethode für WP,
- Validieren und Verbessern der Werkzeuge zur Auslegung und Optimierung von WP- und WKK-Systemen,
- Realisieren alternativer WP- und BHKW-Konzepte,
- Weiterentwickeln der Methoden zur Prozessintegration.

Leider konnte das Vorhaben einer dynamischen Messmethode zum Testen von Wärmepumpen noch nicht gestartet werden. Auch die geplante Entwicklung des Funktionsmusters eines Heizkessels mit integrierter Absorptionswärmepumpe AWP konnte noch nicht in Angriff genommen werden.

Durchgeführte Forschungsarbeiten und erreichte Ergebnisse

WÄRMEQUELLEN UND WÄRMEÜBERTRAGUNG


WÄRMEPUMPEN UND BLOCKHEIZKRAFTWERKE


In [9] wurden Messmethoden zum Bestimmen der spezifischen elektrischen Arbeit und des Liefergrads


AUSLEGUNG, SYSTEMOPTIMIERUNG UND DIVERSE


33


In der schweizerischen Chemie- und Lebensmitteldustry wird häufig in diskontinuierlichen Prozessen produziert. Deshalb wird versucht, ein systematisches Vorgehen zur optimalen energetischen Gestaltung diskontinuierlicher Prozesse zu entwickeln. In einer laufenden Studie [18] wird als erste Etappe eine vergleichende Literaturrecherche über die energetische Integration von Batch-Prozessen durchgeführt. Als energiesparende Möglichkeit zur Raumkühlung ist die Verdunstungskühlung allgemein bekannt. Ihr Effekt ist um so größer, je trockener die Luft vor dem Befeuchteter ist. Bei der Sorptions-Verdunstungskühlung wird die Luft vor der abadabierten Verdunstungskühlung durch geeignete Sorptionsmittel entfeuchtet. Deren Regeneration erfordert eine Wärmezufuhr im Temperaturbereich von 60 °C bis 300 °C. Falls zur Abwärme oder Solarwärme zur Verfügung steht, ist die Sorptions-Verdunstungskühlung für die Raumklimatisierung auch bei uns eine interessante Alternative [2].

Nationale und internationale Zusammenarbeit


Die internationale Zusammenarbeit fand im Wärmepumpenbereich aber auch dieses Jahr in erster Linie über die schweizerische Beteiligung am IEA Heat Pump Centre statt. Das Projekt Heat Pump Centre informiert über die Ergebnisse der HPP-Projekte, internationale Fortschritte der Wärmepumpentechnologie und Marktentwicklungen in den Mitgliedsländern. Näheres in [30].

Transfer in die Praxis


Ausblick auf 1997


Im Rahmen dieser Ziele und unserer beschränkten finanziellen Mittel wird die Priorität auf jene Forschungsarbeiten gelegt, die zu einer verbesserten Planung, einer besseren Systemoptimierung oder mit grosser Wahrscheinlichkeit zu vermarktbaren Produkten mit hohem Energiesparpotential führen. Dabei werden wir im Sinne guter Umsetzungsschancen weiterhin versuchen, Privatfirmen in einem möglichst frühen Stadium der Entwicklung zur Mitwirkung zu gewinnen.
Projets P+D

Fabrice Rognon, chef du programme P+D

PROJETS P+D DE CHALEUR AMBIANTE

Durant l’année écoulée, nous avons enregistré 12 demandes nouvelles, 10 ont été acceptées et 2 refusées. Le faible taux de rejet s’explique par la très bonne qualité des requêtes. Nous constatons une baisse sensible du nombre de projets d’une puissance thermique supérieure à 50kW, ce qui reflète l’état du marché.

Les rapports finaux suivant ont été approuvés et sont disponibles auprès d’ENET:
- Abwasser-Wärmpumpe im Tempelareal der Seiler-Hotels in Zermatt
- Bivalente Luft/Wasser-Wärmpumpe der Steiner-Schule
- Bivalente Luft/Wasser-Wärmpumpe der Heizzentrale Steinmatten in Rupperswil
- Gasmotor-Wärmpumpe mit Aarewasser in Hinterkappelen
- Pompes à chaleur sur eau de tunnel (Furka, Oberwald, Rapport intermédiaire)

Les 32 projets en cours se répartissent de la manière suivante:

<table>
<thead>
<tr>
<th>Sources de chaleur</th>
</tr>
</thead>
<tbody>
<tr>
<td>air</td>
</tr>
<tr>
<td>13</td>
</tr>
</tbody>
</table>

<table>
<thead>
<tr>
<th>Systèmes principaux</th>
</tr>
</thead>
<tbody>
<tr>
<td>Type</td>
</tr>
<tr>
<td>Nombre</td>
</tr>
<tr>
<td>dont CAD</td>
</tr>
</tbody>
</table>

Puissance thermique installée (PAC seule ou CCF + PAC)
Les données financières et énergétiques de 29 projets sont saisies dans la banque de données d’évaluation des programmes P+D.

Dans le tableau suivant, nous avons calculé les coûts spécifiques en fonction de la puissance thermique de la PAC ou de la combinaison CCF+PAC, sans tenir compte des subventions.

<table>
<thead>
<tr>
<th>Puissance en kW</th>
<th>&lt;30</th>
<th>30-100</th>
<th>100-500</th>
<th>&gt;500</th>
</tr>
</thead>
<tbody>
<tr>
<td>Nombre</td>
<td>12</td>
<td>6</td>
<td>7</td>
<td>4</td>
</tr>
<tr>
<td>Prix de revient moyen en ct/kWh</td>
<td>47</td>
<td>37</td>
<td>25</td>
<td>14</td>
</tr>
<tr>
<td>Prix minimum( ct/kWh)</td>
<td>14</td>
<td>27</td>
<td>16</td>
<td>3</td>
</tr>
</tbody>
</table>


PROJETS P+D COUPLAGE CHALEUR-FORCE

Les rapports finaux suivant ont été approuvés et sont disponibles auprès d’ENET:
- BHKW mit Deponiegas
- Messtechnische Betriebsauswertung BHKW-Verbund Siloah

Durant l’année écoulée, nous avons enregistré 2 demandes nouvelles qui ont été acceptées.

Les 9 projets en cours se répartissent de la manière suivante selon le combustible utilisé: 5 moteurs au gaz naturel, 1 au propane, 2 au gaz de décharges contrôlées, 1 au diesel (mazout e.1.), pas de Stirling, pas de pile à combustible. Dans un seul cas la chaleur n’est pas utilisée.

A l’avenir, l’accent sera porté sur les installations pilotes: priorité absolue est donnée aux technologies nouvelles et aux carburants renouvelables.
Liste der Projekte

[1] P. Krüsi, AMENA, Schlieren: Messprojekt "Im Bilander" Brugg. (SB, ENET-Nr. 9106660)
[20] P. Renaud et al., PLANAIR, La Sagne & ELEKTROWATT, Zürich: AWP-Kessel, Vorphase (SB, ENET-Nr. 9553731)
[22] D. Lenel, SULZER INNOTEC, Winterthur: Abwärmenutzung bei SOFC-Brennstoffzellsystemen für die Haustechnik. (SB, ENET-Nr. 9656382)

(JB) Jahresbericht 1996 vorhanden
(ZB) Zwischenbericht vorhanden
(SB) Schlussbericht vorhanden
Referenzen


SOLAIRE ACTIF • CHALEUR

Rapport de synthèse sur les activités 1996 du programme de recherche

Jean-Christophe Hadorn

Label de qualité du SPF pour capteurs solaires

Le microclimat intérieur d'un capteur pendant sa durée de vie est peu connu. Un banc d'essai a été mis au point au SPF Rapperswil pour tester en conditions accélérées l'effet mécanique à long terme du vent et l'influence des intempéries sur la qualité d'un capteur.
Introduction

Le programme de recherche en solaire thermique est marqué par la continuité des actions malgré la perte trop rapide de Pierre Bremer, le chef de programme de 1988 à 1995.

Suite à la réorganisation, le domaine de recherche "stockage de chaleur", autrefois rattaché au "solaire thermique", constitue désormais un programme autonome.

La définition détaillée des orientations du programme "solaire actif • chaleur" [34] pour la période 1996-1999 a été accomplie en concertation avec les experts suisses sur la base des principes directeurs de la CORE.

Le solaire thermique progresse en Suisse et la qualité de notre recherche appliquée, est dans l’ensemble bonne si on la compare aux travaux européens en la matière.

La recherche solaire thermique est volontairement proche du marché, afin de soutenir, en logistique, qualité et innovations, le développement des installations solaires en Suisse qui est un secteur privilégié du programme national Energie 2000.

La recherche de l’amélioration des absorbeurs solaires, en performance et abaissement des coûts, a été soutenue.


Les systèmes pour le chauffage et l’eau chaude de villas ou immeubles nécessitent dans l’ensemble encore une certaine standardisation, même si certains peuvent obtenir déjà de bons résultats à l’année. Le problème de l’investissement de départ important reste cependant un frein et l’innovation et la recherche sont nécessaires pour le lever.

Les grands systèmes (plus de 500 à 1 000 m²) qui permettent des économies d’échelle appréciables sont peu nombreux en Suisse, du fait de la méconnaissance des promoteurs et de la faiblesse du marché de la construction neuve.

Principaux axes du programme

1. L’augmentation de la performance énergétique des installations de toute taille, au moindre coût.

2. La qualité des composants permettant d’assurer la durabilité des installations (20 ans). Les composants d’une installation solaire sont les capteurs, le circuit primaire, le ou les échangeurs, le fluide caloporteur, la pompe, la ou les cuves de stockage, les armatures, le réglage et la régulation de l’ensemble, ainsi que la stratégie d’appoint.

3. Les solutions basées sur des absorbents non vitrés, dans la gamme des applications à 30-55 °C. Ces solutions pourraient apporter des réductions de coût et connaître moins de problèmes de durabilité en absence de surchauffe estivale.

Ces axes connexes supportent l’objectif central du programme : la diminution du coût du kWh solaire tout en garantissant la qualité et le bon fonctionnement des installations durant 15 à 20 ans.

Buts visés pour 1996

LOGISTIQUE

On cherche dans ce thème, à doter les professionnels du solaire thermique d’outil de planification à la pointe, permettant de faire rapidement de bons projets.

COMPOSANTS

On cherche ici à doter le marché solaire de composants très performants, adaptés à la technologie solaire, caractérisée par des faibles différences de température.

Le maintien et le développement de l’ensemble des procédures et installations de tests des capteurs solaires au SPF reste un des thèmes principaux du programme de recherche.

La participation suisse au groupe MSTC de l’AIE (Agence Internationale de l’Energie) concernant les matériaux utilisés dans les capteurs solaires, la caractérisation et la mesure du climat intérieur des capteurs solaires étaient à organiser.

En 1996, il s’agissait aussi d’améliorer encore les performances de l’absorbeur suisse d’ESSA, seul absorbent sélectif pouvant être utilisé sans couverture dans des applications extérieures, et de transférer à l’industrie la technologie d’absorbeur de nouvelle génération ABSORBEUR 2000, développée depuis 1990 dans une collaboration UNI Bâle - SPF.
SYSTÈMES

En matière de chauffe-eau solaires, on s'est intéressé aux tests court terme de systèmes au SPF, avec résultats extrapolés à l'année par simulation, et à mettre en place un projet sur les performances comparées de chauffe-eau compacts et les possibilités d'amélioration à l'école d'ingénieurs d'Yverdon. Les travaux à mener en matière de contrôle optimal d'installations solaires était également à repenser. La régulation intelligente est en effet un sujet de recherche à fort potentiel pour réduire la durée de mise en service d'une installation petite ou grande, améliorer son fonctionnement automatique, et permettre la détection de dysfonctionnements. Ces travaux pourraient débuter en 1997, en utilisant au mieux les résultats finaux du projet AIE Dynamic Collector System Testing (90-96).

Faisant suite aux travaux du projet CSIP [28], nous avons demandé au LENI de l'EPFL un projet détaillé de pilote de centrale électrothermosolaire susceptible d'être réalisé dès 1997, si le concept, à définir selon les résultats d'essai en laboratoire et en simulation, s'avérait prometteur.

En matière de stockage de chaleur solaire, la mise au point d'une sonde de température permettant de mesurer le contenu énergétique d'un stock stratifié à des fins de régulation et de bilan était visée, ainsi qu'une revue par un bureau spécialisé en Finlande sur les systèmes de stockage envisageables à l'avenir.

La conclusion du projet GEOSER était également à l'ordre du jour.

INSTALLATIONS INNOVANTES

L'analyse des deux premiers cycles de l'installation solaire de Saillon était attendue, tant pour le champ de l'000 m² d'absorbeurs que pour le stockage saisonnier en aquifère et l'ensemble du système.

Dans l'optique de l'évaluation des absorbeurs comme moyen de captage solaire pour les applications domestiques, étaient également attendus les résultats d'une installation de préchauffage d'eau sanitaires de 77m² à Genève et du plancher solaire direct de Boudry.

Les résultats comparés de deux immeubles solaires de huit familles à Sevelen étaient attendus, étant donné que l'un des immeubles mesurés en 1995/1996 a montré un taux de couverture solaire de 64%, pratiquement une première mondiale pour un tel objet.

Enfin l'analyse d'un nouveau concept de maison solaire passive+active préfabriquée proposée par un industriel du bâtiment était envisagé pour orienter la construction d'un groupe de villas identiques.

Travaux effectués et résultats obtenus

LOGISTIQUE


La situation juridique des données météorologiques suisses a été clarifiée entre l'OFEN, le SMA (propriétaire des données ANETZ de base) et l'EMPA (propriétaire des données remaniées DRY).

La version 2.1 est distribuée depuis novembre 1996 par NOVA Énergie à Aarau (Fax 062 / 834 03 23) à un prix modique.

Afin de favoriser à long terme les produits solaires suisses à l'étranger, une version METEONORM 3.0 internationale sera réalisée en 1997 sur CD-ROM avec une distribution mondiale.

Le logiciel de simulation des installations solaires POLYSUN 1.0 est doté d'une interface conviviale qui le rend d'un usage aisée et rapide, mais limité aux installations de préparation d'eau chaude sanitaire. Compte tenu des 150 exemplaires vendus, le produit a été amélioré avec la prise en compte du chauffage d'habitation et la refonte complète du logiciel [2]. Le logiciel HELIOS PC de l'EMPA a été intégré à POLYSUN 2.0 pour calculer la charge de chauffage de l'habitation (similation horaire dynamique). Pour ne pas alourdir les données, une typologie de bâtiments est proposée à l'utilisateur (inerte/peu inerte, isolée fortement/normalement, etc.). POLYSUN 2.0 est une réussite, qui utilise trois modules développés par la recherche suisse depuis près de 10 ans: METEONORM pour les données climatiques et les calculs d'irradiation sur plans quelconques, SIWW pour la simulation de l'installation solaire et HELIOS pour la demande en chauffage, ainsi que la base de données de tous les capteurs testés au SPF. Il s'agit d'un outil fédérateur qui peut évoluer selon notre vision à long terme, vers un véritable premier système-expert solaire. Le logiciel réécrit est plus rapide, plus sûr et fonctionne en réseau. Sa nouvelle structure interne le rend apte à servir de base à d'autres développements souhaitables et planifiés pour les années à venir, notamment dans la même optique stratégique que pour METEONORM, l'internatio-
nalisation. Des exercices de validation seront également entrepris.

Un cours d’introduction à POLYSUN 2.0 a été organisé au SPF le 6 septembre 1996 avec 40 participants.

COMPOSANTS

La phase 1 du projet ABSORBEUR 2000 est terminée. Il s’agissait de développer une nouvelle couche sélective, sur un nouvel absorbant, avec des contraintes de poids, de qualité et de coût. Le procédé de fabrication devait en outre être peu ou pas polluant et autoriser la production en bande pour envisager des volumes annuels adaptés au marché européen voire mondial. Ces objectifs ont été brillamment atteints. Un brevet européen déposé par l’OIFEN protège l’invention de l’UNI Bâle associée au SPF.

Le transfert de technologie du projet ABSORBEUR 2000 a été accompli par le SPF, précisant l’installation à plasma nécessaire, les coûts et un business plan [4]. Un test sur une chaîne de production semblable et louée chez un industriel suisse des couches minces a été positif : la couche est homogène sur échantillon représentatif d’un absorbant réel. Des améliorations sont envisagées, encore faut-il trouver un partenaire industriel et financier susceptible de reprendre le brevet, ce qui pourrait être possible en acceptant la sortie de Suisse du savoir-faire acquis.

Le projet Absorbeur AS+ d’ESSA – seul industriel suisse à fabriquer, depuis 15 ans, un absorbant sélectif en inox pouvant supporter d’être utilisé tel quel en extérieur – a débuté dans le but de tenter d’abaisser le coût du kWh solaire et d’éviter les surchauffes estivales. La recherche est ici en l’amélioration des caractéristiques optiques de la couche sélective par sélection de bains galvaniques et autres procédés liés (temps, température), sans utiliser de produits hautement toxiques, sans consommation d’énergie excessive et sans préjudice à une chaîne de production existante. La sélection du meilleur support de base possible est également discutée avec les fournisseurs mondiaux d’inox par l’industriel. Les résultats obtenus en 1996, après plus de 700 échantillons réalisés sont très bons : émissivité de 4,8% et absorption de 96% ont pu être obtenus. Le procédé d’ESSA est développé en laboratoire, les meilleurs échantillons obtenus sont envoyés pour tests de vieillissement accléré au SPF. Le procédé mis au point devrait être adapté à la production en série en 1997 sans perturber le flux moyen d’absorbants nécessaire à la clientèle de l’entreprise [6].

Le SPF reconnu nationalement depuis 10 ans et de plus en plus coté internationallement, a poursuivi sa recherche de l’amélioration des matériaux et des composants du solaire thermique [5].

Les principaux résultats de 1996 sont :
- les caloporteurs commerciaux à base de glycol sont analysés régulièrement. Les tests de 7 fluides caloporteurs nouveaux, capables de résister sans dégradation aux hautes températures (200 °C) ont été menés avec l’EMPA [23]. Un seul produit paraît adapté pour tenir dans les conditions extrêmes d’un capteur solaire vitré, sa compatibilité avec les matériaux non métalliques d’un circuit solaire étant encore à étudier,
- le nombre de tests de capteurs solaires réalisés dans l’année s’est stabilisé, après la forte croissance de 1994 et 1995. Plus de prototypes soumis par les fabricants sont testés qui ne peuvent faire l’objet de publications (50 tests en 1996, dont 16 publiables),
- la préparation de la publication des tests de capteurs sur CD-ROM a débuté,
- le SPF a été très sollicité par les fabricants nationaux et internationaux pour des conseils d’amélioration de capteurs,
- l’électronique des installations de mesures (bancs suiveurs entièrement automatisés) a été renouvelée,
- un banc d’essai d’absorbents nus avec effet de vent latéral a été monté, pour compléter les recherches faites sur les systèmes avec de tels capteurs (Sierre, Saillon, Servette, Boudry, Plan-les-Ouates). Un absorbant a été mesuré jusqu’à 8,2 m/s de vent. Dès 2 m/s environ, on observe une chute importante des performances,
- le SPF participe très activement à la définition des normes européennes en matière de tests de capteurs et systèmes complets, l’exposé de synthèse de l’état actuel demandée à U. Frei à EUROŠUN96 a été remarquée internationalement,
- les 4 installations de tests en parallèle de systèmes complets pour l’eau chaude sanitaire ont été renforcées et équipées d’un nouveau système d’acquisi-
- on des données plus rapide et plus précis, répondant à la norme européenne,
- la procédure complète de tests de 1 à 2 semaines d’un chauffe-eau solaire a été utilisée sur 10 systèmes commerciaux nouveaux dans le cadre d’un concours de chauffe-eau solaire réalisé en liaison avec Energie 2000. Les résultats sont extrapolés à l’année par simulation avec un modèle TRNSYS de chaque installation, dont les paramètres sont obtenus par dynamic fitting.

Ce dernier point est une belle réussite du SPF: le joint entre mesures à court terme et simulation dynamique pour extrapoler les résultats à l’année a été réalisé, et ce même pour les chauffe-eau low-flow à stratification, jamais encore simulés avec les modules TRNSYS. Une coopération de l’ITW de Stuttgart a été ici fructueuse. Le SPF a résumé des résultats TRNSYS pour les simulations
détails, en complément de POLYSUN. Le savoir-faire a été acquis en 1996,
- les résultats d'une campagne de mesures annuelles sur de nombreux SOLKIT seront prochainement disponibles [24]. Ils montrent le bon fonctionnement en général du chauffe-eau compact placé dans diverses configurations d'usage et d'appoint, avec des parts solaires allant de 60 à 100 %,
- la mise au point d'un test dynamique des stocks adaptés au solaire s'est révélée nécessaire. Elle reste à faire en liaison internationale,
- un label de qualité des capteurs solaires a été mis au point en conformité technique avec les normes européennes et juridiques suisses. Depuis fin 1996, le label a pu être attribué à 6 capteurs.
Les tests de systèmes ont en outre montré que des certificats de qualité des systèmes complets sont nécessaires pour éliminer des produits de médiocre facture ou peu durables, préjudiciables à toute l'industrie solaire à moyen terme.
Une certification européenne du laboratoire de tests des capteurs SPF est en cours.
Des travaux prospectifs sur un nouveau circulateur solaire ont en outre été menés.
La collaboration internationale dans le groupe de travail de l'AIE MSTC Materials for Solar Thermal Collectors a été définie. Le SPF dirige une activité consacrée à la durabilité des revêtements d'absorbeurs et au microclimat interne des capteurs. Un projet de norme sur les tests de vieillissement accéléré des capteurs a été réalisé. Un nouveau banc test des effets du vent et de la pluie sur les capteurs vitrés a été construit et mis en usage [3].

SYSTÈMES
Les travaux 1996 concernant le projet GEOSER consistent en un ouvrage final de synthèse des résultats obtenus les années précédentes. Le bilan des différentes stratégies de stockage d'excédents solaires captés par une serre agricole (économie d'énergie de 21% avec cuve à eau, de 12% avec stockage en terre) est établi. Le dépouillement des données de mesures a permis de valider le modèle de simulation des échanges thermiques tuyaux enterrés sol de la serre, analogue à un hypocauste, développé pour TRNSYS par le CUEPE. Le modèle est ensuite exploité pour l'analyse paramétrique et la recherche de stratégies optimales par SORANE. Deux colloques sur la gestion thermique des serres horticoles ont été organisés avec l'aide d'ENET à Conthey et à Wädenswil pour 100 personnes. Le rapport final comprenant des aspects scientifiques et économiques est attendu [7].

A l'INEV d'Yverdon, le banc de mesures permettant de comparer sur un an complet les performances de deux chauffe-eau solaires du marché dans des conditions identiques, et d'un prototype a été nouvellement mis en place durant l'été 1996. Il permettra aussi une recherche d'amélioration de systèmes et de réduction des coûts [29], d'optimisation du flux dans les absorbants à coussins et de régulation par contrôle optimal que nous débutterons dans un autre projet [8].

La méthode KTSA (Kurztest-Methode für Sonnenenergieanlagen) avait permis la définition de procédures d'identification de paramètres et le développement d'un logiciel de calage dynamique (DF) travaillant avec TRNSYS. Ces outils sont désormais utilisés quotidiennement par l'ITW Stuttgart et le SPF Rapperswil. Le potentiel des méthodes avancées de contrôle optimal ne nous paraît cependant pas totalement utilisé en matière de solaire thermique pour la supervision automatique des installations. Une expertise préliminaire confiée à l'Institut d'Automatique de l'EPFL en 1996 l'a confirmé et nous envisageons une suite sous la forme d'une collaboration EPFL-INEV-Industriel solaire pour rechercher un système de "réglage intelligent" dans un premier temps limité à un type de chauffe-eau solaire [9].

Dans le domaine du stockage de chaleur, deux projets débutés avant 1996 ont été achevés cette année.
Le projet de l'ETS Burgdorf a pour but de caractériser le contenu énergétique d'un stock stratifié avec une seule sonde de mesure capable de fournir une température moyenne sur la verticale d'un stock. Une première sonde de 4 points de mesure seulement, au lieu d'un continuum suite à une erreur du fabricant a été testée mais n'a pu remplir totalement le rôle prévu. Un démontage de la sonde a montré après coup l'erreur, de même pour une deuxième sonde non active sur toute la longueur voulue. Une nouvelle sonde de 110 cm de longueur a été réalisée conformément au cahier des charges durant l'automne 1996 et les essais ont été répétés en un temps record. La sonde correcte reproduit parfaitement la moyenne de 49 températures d'un stock de 300 l chargé et déchargé de diverses manières. La constante de réaction de la sonde est acceptable (50 s avec un remplissage de poudre de Mg). Charge par étage, charge stratifiée, charge par échangeur interne avec et sans re-circulation ont été étudiées. L'homogénéité des températures dans des plans horizontaux est toujours très bonne, de sorte que la position de la sonde unique dans le plan horizontal a peu d'importance. D'autres conclusions intéressantes sur le développement de la stratification sont proposées. Il est dès lors possible d'envisager une gestion optimale d'un stock même stratifié en n'utilisant qu'une seule sonde ou de connaître précisément le contenu énergétique d'un stock. Le projet a atteint son objectif. Une amélioration de la
qualité constructive de la sonde est possible, des contacts avec des industriels du stockage sont à élargir [12].

Une analyse de l’état de l’art en matière de systèmes de stockage thermique chimique pour le solaire appliqué au bâtiment a été réalisée par un groupe spécialisé en Finlande, sur 63 références choisies. Une approche systémique a été utilisée qui voit le stock comme une partie d’un tout “optimisable”. Elle confirme que le stockage thermique chimique n’est pas réaliste pour le stockage saisonnier. Seule la technique des matériaux organiques à changement de phase (PCM) en imprégnation de paroi ou de mur semble prometteuse, surtout pour les constructions peu inertes (gain de stockage de 10 à 20%), mais il n’y a pas encore de propositions industrielles. Les développements pour ces matériaux sont orientés par le marché plus porteur des pompes à chaleur à absorption. Elle confirme également que le stockage n’est pas la clé unique pour résoudre le problème d’intermittence du solaire : une combinaison de technologies est préférable, et en Europe tempérée, les bâtiments du futur peuvent résoudre le problème du chauffage avec pas ou peu de stockage, en réduisant la demande. On peut alors envisager un stockage renouvelable, non pas sous forme thermique chimique, cher et volumineux, mais sous la forme d’hectolitres de biocarburants ou de bois. L’étude recommande, un nouveau projet IEA sur le PCM [13].

En matière de production d’électricité par voie thermodynamique, une seule technologie est commerciale, et la Suisse pourrait proposer un nouveau capteur pour un projet d’envergure en Tunisie [29, 31, 33]. En outre, le cycle thermodynamique complet peut être sujet de recherche avancée et un pôle de compétence nous paraît nécessaire pour arriver à un certain niveau critique. C’est dans cet esprit qu’une nouvelle phase du projet CSIP a été réalisée en 1996 ; il s’agissait de préparer le design en allant jusqu’aux plans détaillés d’une unité pilote de production de 10 kWe, susceptible d’être réalisée en 1997 sur un site accessible aux besoins de la recherche. Dans ce sens, nous n’avons pas poursuivi l’idée d’installer un prototype CSIP en montagne sur des paravolcans. Les travaux 1996 réorientés ont connus des progrès notables grâce à l’équipe du LENI et de COGENER.

- stand d’essai de capteurs à haute température (300°C), avec huile thermique ou évaporation directe,
- nouvelle conception du capteur extra-plat (CEP), dans un sens plus économique, plus facile à monter, avec recours aux matières plastiques,
- abandon du CPC pour un capteur à lamelles, orienté nord-sud avec poursuite,
- recherche d’une alternative aux tubes collecteurs initialement retenus qui se révèlent non fiables,
- nouveau modèle de turbine scroll validé expérimentalement,
- stratégie de gestion des cycles superposés de Rankine confirmée expérimentalement avec des rendements isentropes dépassant 60% (puissance fournie 3 à 8 kWe) dans le cycle basse température,

Suite à divers imprévus par rapport à la planification, explicables par les nombreux essais nécessaires avant de fiabiliser le concept d’un premier prototype, les essais du cycle haute température (100-140°C) débordent sur 1997. Le prototype à construire comportera deux cycles superposés à turbine Scroll et capteur CEP à huile thermique. On renonce à l’évaporation directe dans un premier temps. Des retombées directes pour le projet tunisien et pour d’autres applications sont possibles à terme [10].

INSTALLATIONS INNOVANTES

Les résultats du projet Saillon 1 MW solaire (thermique) durant les cycles 1 et 2 sont mitigés :

- le stock saisonnier en aquifère ne fonctionne pas selon l’attente, les écoulements hydrauliques souterrains sont difficiles à cerner et variables,
- le système de by-pass hydraulique censé stabiliser la zone de stockage est délicat à régler du fait de la constante de temps du phénomène à gérer (1 à 6 mois par définition du stockage saisonnier) et des fluctuations naturelles de la nappe aquifère,
- l’effet du vent sur les absorbeurs solaires est plus important que dans le prototype de U-Sierrre, réduisant de près de 50% la puissance, l’énergie et les températures de charge par rapport au projet,
- par contre le stock absorbe sans problème les excédents de soleil, évitant toute surchauffe estivale de l’installation.

Les 1’000 m³ d’absorbeurs ont tout de même fourni 338 MWh en 1996, à un coût très bas pour le mètre d’ouvrage de 1,2 cts/kWh compte tenu des aides fédérales ! Mais la part utilisable de cette production, hors pertes du stock, n’a été que de 60 MWh (6,7 cts/kWh en direct, 9 cts/kWh déstocké), auxquels sont ajoutés 26 MWh grâce à la réduction des pertes en toiture du fait de la présence des absorbeurs à plat.

L’indice énergétique du complexe de 44 logements a été de 355 et 432 MJ/m² selon les années [14,1].

dispositif d'obstacle local au vent, sur la surface des capteurs, est également recherché [14,2].

Ce projet est une des pièces de l'évaluation de l'intérêt des absorbants solaires nus comme captage économi que. Par ailleurs, nous envisageons de favoriser une thèse d'hydrogéologie thermique sur le stock de Saillon, dans le cadre du programme de recherche "Stockage de chaleur" pour préciser le futur du stockage en aquifère de surface.

Une autre pièce est constituée par le projet de 77 m² d'absorbants sélectifs en préchauffage d'eau sanitaire de Genève Servette. L'installation a été suivie durant 2 ans par le bureau Keller, et avec le concours du Service de l'Energie de la Ville de Genève.

Après une année complète de mesures, les prédictions de POLYSUN 1.0 se sont révélées correctes et un modèle de simulation dynamique a été validé par BSI Lau sanne et utilisé pour les études paramétriques. Les conclusions montrent que pour un dimensionnement de la part solaire à 25 - 30% des besoins annuels en eau chaude, la solution avec absorbants nus n'est que légèrement plus économique (environ 10%) qu'une solution avec capteurs vitrés. Pour un taux de couverture solaire plus élevé et dans le cas d'un appoint au mazout ou au gaz, l'avantage des capteurs non vitrés, posés simplement sur le toit plat d'un immeuble, ne semble pas décisif si l'on tient compte des pertes de maintien en température de la chaudière en été, mais ceci reste à confirmer [15].

Au Centre d'Entretien de Boudry, 102.5 m² d'absorbants en façade sont directement reliés au chauffage de sol d'un atelier, méritant ainsi l'appellation "plancher solaire direct". Les résultats de la première année ont donné une contribution aux besoins de 3.5% en hiver (2/3 chauffage, 1/3 ecs) et de 71% hors période de chauffage. A l'année, la productivité de la façade est de 126 kWh/m². L'influence du vent est manifeste, mais de manière semblable-t-il moins accentuée qu'à Saillon. Un modèle de simulation captage + dalle a été développé et comparé aux mesures et sera utilisé pour analyse paramétrique et tables de dimensionnement en 1997 [16, 26].

Le rapport final des mesures de l'installation solaire de Aerni Fenster à Arisdorf a été accepté au début 1996. Il s'agit d'une installation avec 506 m² de sheds photovoltaïques refroidis à air, air chargeant un stock en terre de 6'000 m³ exploité par pompe à chaleur en hiver. Les mesures de 2 ans ont montré que le réglage des seuils de fonctionnement des ventilateurs (40/25°C) était bon, que le rendement de captage photovoltaïque était de 10% et celui de captage thermique de 35%, contre 20% attendu. Le taux de couverture chaleur-électricité par le solaire a été de 62% pour une charge financière annuelle supplémentaire de l'ordre de 1.1% des coûts d'exploitation de l'entreprise ! Le stock saisonnier (40 sondes de 20 m) a évolué entre 10 et 21 °C et fonctionné à satisfaction. Des recommandations pour la conception d'installations similaires sont fournies [17].

A Sevelen, deux petits immeubles collectifs pour huit familles ont été construits l'un en 1994, l'autre en 1995. Ils sont semblables et novateurs dans leur conception solaire (Ruesch-Jenni), mais l'un a 112 m² de capteurs pour 25.3 m³ de stock en cuve verticale placée à côté de la cage d'escalier (4.4 m²/m³), et l'autre, construit en bénéficiant de l'expérience du premier, a 109 m² de capteurs sélectifs pour 38.4 m³ de stock (2.8 m²/m³).

Sevelen 1 est mesuré dès janvier 95, la première année ayant été financée par le promoteur [35] et Sevelen 2 en parallèle depuis avril 96 par TNC. Suite à des problèmes électriques, les mesures n'ont pu débuter qu'en août 1996. Les résultats de chaque immeuble sont très intéressants: le taux de couverture solaire thermique est pour Sevelen 1 de 62% en 1995 et 65% pour les 11 premiers mois de 1996 (demande en chaleur totale 393 et 33 MWh). Ces performances sont remarquables pour un immeuble locatif ! Une comparaison Sevelen 1 et 2 pour octobre 96 révèle un taux de couverture de 59% pour l'un et 99% pour l'autre, du fait principalement de la taille plus importante du stock (température moyenne: 80 °C début septembre contre 65 °C pour Sevelen 1) et de la demande thermique plus faible pour Sevelen 2, équipé d'un renouvellement d'air contrôlé. L'observation de la stratification dans le stock est d'enseignement important pour les systèmes avec relativement grandes cuves verticales [18].

La possibilité nouvelle de combiner stockage solaire actif avec stockage solaire passif en utilisant la seule structure massive en béton d'une villa solaire a été proposée par PREFATECH spécialisée dans la préfabrication d'éléments de bâtiments. Une recherche préliminaire par le LASEN-EPFL, portant sur l'évaluation du concept a été co-financée avec l'industriel. L'analyse par simulation TRNSYS du comportement thermique dynamique de la maison solaire à stockage intégré, maison fortement vitrée au sud et dans laquelle les murs sont équipés de serpentinets de distribution, a montré que dans le meilleur des cas paramétrés, le taux de couverture solaire actif-passif peut atteindre 65% (avec 30 m² de capteurs sélectifs vitrés) dans le climat du Valais comme du Tessin. Cette parti peut que difficilement être augmentée du fait de la limite imposée par la capacité de stockage représentée par les murs entre 18 et 24°C. La maison passive fonctionnant comme un capteur-stocker, il apparaît quand même judicieux économiquement de mettre en oeuvre un stockage séparé pour l'actif. D'après l'étude, de simples absorbants non vitrés ne procéteraient pas un avantage sensible sur le coût du kWh final.

En outre, il n'est pas possible d'utiliser les fondations de la maison comme accumulateur de froid qui serait fourni par circulation de l'eau froide sanitaire, pour un refroidissement estival actif par les murs, la capacité d'accumulation étant en simulation trop faible. Une analyse plus poussée des conflits solaire-actif-solaire passif autour d'un même stockage mériterait cependant d'être poursuivie. PREFATECH envisage de construire 15 à 20 villas solaires standardisées pour abaisser les coûts [19].

45
Coordination et collaboration nationale

La coordination avec cinq autres programmes de recherche connexes, à savoir Architecture solaire, Bâtiments, Photovoltaïque, Chimie solaire et Chaleur de l'environnement est effectuée de manière fréquente pour rechercher les synergies d'idées et de moyens (par exemple: projets Neurobat, capteurs PV hybrides, Cité solaire de Plan-les-Ouates, ABSORBEUR 2000, activités PACES sur la concentration). La coordination avec le programme "stockage de chaleur" est totale.

Le SPF organise de nombreuses visites de ses installations aux cours de l'année, ainsi que des cours POLYSUN. Les travaux menés au SPF font l'objet de discussions tous les deux mois avec le directeur du SPF.

La collaboration entre différents groupes de recherche en Suisse est favorisée le plus possible. Notamment le développement d'un centre de compétences à l'école d'ingénieurs d'Yverdon a été amorcé.

La collaboration avec l'industrie se fait par le biais des tests et conseils procurés par le SPF. Dans les autres projets, nous recherchons le plus possible l'association avec un industriel ou un bureau proche du terrain.

Pour la production d'électricité thermosolaire, une coordination avec la Direction à la Coopération et au Développement est en préparation.

L'information réciproque de tous les participants au programme de recherche solaire actif a lieu de manière organisée tous les 2 ans à l'occasion de CISBAT à l'EPFL (1995, prévu en 1997).

Des contacts étroits sont maintenus avec le chef du programme P+D, M. Renaud. Des échanges de vue sont organisées avec M. Mercier du programme DIANE Construction écologique. Nous avons initié une première réunion de coordination entre responsables romands de recherche, P+D, E2000, DIANE et Délégués à l'énergie, dans le but de décloisonner les réflexions en matière de renouvelable et nourrir nos propres idées pour la recherche solaire avec des problèmes de terrain.

Coordination et collaboration internationale

Nous suivons de près les travaux internationaux en matière de solaire thermique par le biais des publications et de conférences, Conférence internationale EUROUSUN'96 à Freiburg en octobre 1996 et Symposium mondial sur la concentration solaire à Koln en novembre [29, 30, 31, 32]. Nous suivons particulièrement les travaux allemands, suédois, hollandais et américains.

En ce qui concerne l'Agence Internationale de l'Energie, le seul groupe actif en solaire thermique est celui qui traite des matériaux (MSTC). La collaboration est ici très bonne, entre laboratoires compétents, pour aboutir notamment à des normes de qualité. Le SPF y prend une part active. En outre, des contacts très fréquents ont lieu entre le SPF et l'ISEH d'Hanovre, le FSE de Stuttgart et l'ITW de Stuttgart. Le SPF, grâce à sa position acquise et que nous voulons maintenir, est sollicité quotidiennement du monde entier pour conseils, appréciation et collaboration. A moyen terme ce peut être un levier puissant pour des produits solaires suisses.

Une nouvelle tâche AIE en solaire actif serait cependant souhaitable (quelques pistes: nouvelle génération de capteurs, préchauffage solaire standardisé dans les grands immeubles, façade active).

Dans le cadre des projets européens Joule/Thermie, il n'y a malheureusement pratiquement pas d'activités portant l'étiquette "solaire actif" et c'est une situation à notre avis préjudiciable à une future Europe solaire.

Compte tenu de ces éléments, nous avons initié en 1996, lors d'EUROSUN'96 une coopération tripartite Danemark, Pays-Bas, Suisse sur un sujet très délimité, pour raison d'efficacité maximum à coût limité. La mise au point de procédures de tests dynamiques de cuves solaires est le sujet retenu en fin 1996. Le laboratoire d'énergie solaire du Danemark, longtemps pionnier du low flow et de la stratification et le SPF ont sur ce sujet des connaissances à échanger avec grand profit, sans que le cadre administratif ne soit lourd.

Transferts à la pratique, Projets P+D

Comme on l'a vu, la recherche en solaire thermique est pour plus de 75% appliquée. La liaison avec la pratique est donc bonne. Les forts liens du SPF avec les PME du solaire ont déjà été soulignés. L'avènement sur le marché des systèmes compacts pour la préparation d'eau chaude sanitaire, encore objets de laboaratoire en 1994 est un exemple de transfert recherche-marché réussi, grâce aussi à l'action du Groupe des Energies Renouvelables d'Énergie 2000.

Les logiciels METEONORM et POLYSUN sont demandés et utilisés dans la pratique solaire quotidienne.

La coordination avec le chef de programme P+D est fréquente. En ce qui concerne les projets P+D, le nombre de demandes et le nombre de projets acceptés sont en hausse en 1996 par rapport à 1995. Les projets sont avant tout orientés vers la production d'eau chaude sanitaire en milieu locatif. Ils représentent au total et pour 1996 470 m² de capteurs et une production estimée à 210 MWh. Les actions entreprises visent à favoriser
la production d'eau chaude solaire dans le bâtiment locatif, les complexes hôteliers, et les bâtiments médico-sociaux, ainsi que de promouvoir l'intégration des capteurs en façade [34]. On constate que certains de nos efforts de recherche vont bien, en amont, dans le sens d'améliorer ou de proposer les solutions techniques à ces préoccupations.

Evaluation 1996

Le programme s'est déroulé selon l'attente en 1996.
En matière de centrales solaires thermodynamiques, un regain d'intérêt est toutefois manifeste aux États-Unis depuis environ un an.

Perspectives 1997

L'évolution de la plupart des projets en cours a été tracée précédemment. Les idées nouvelles qui pourraient être mises en chantier concerne le contrôle optimal des installations, le projet pilote de mini-centrale électrique et le captage en façade avec isolation transparente si les moyens financiers le permettent.
Les résultats des divers projets intégrant des absorbeurs nus sont également attendus.

Liste des projets de recherche

[8] P. Dind, EINEV, Yverdon: Mesures long terme de chauffe-eau solaires et pré-étude de petites unités de production de froid solaire (RA)
[16] M. Kernen, P. Renaud, PLANAIR, La Sagne, R. Groux, BSI, Lausanne, C. Cornu, GEILINGER, Lausanne: Plancher solaire direct du Centre d'Entretien des routes nationales de Boudry NE (RA)
Rapport annuel 1996 disponible
Rapport final disponible

Références


[22] SPF/IT-Rapperswil: Die Energie der Sonne im Dienste des Menschen • L'énergie solaire au service de l'humanité • Solar Energy in the Service of Mankind – Brochures de présentation des activités.


Volume B: Solar Domestic Hot Water System Testing


Mikromorphe Solarzellen

Schichtaufbau der mikromorphen (amorph a-Si:H/mikrokristallin μc-Si:H) Solarzellen in einer Elektro nenmikroskopaufnahme mit Kurven der spektralen Empfindlichkeit und des Wirkungsgrades (Institut de Microtechnique, Université Neuchâtel)
Programmübersicht und anvisierte Zielpunkte für 1996


Systemtechnik: Obwohl die Systemtechnik bereits weit fortgeschritten ist, besteht auch hier ein Kostenreduktionspotential, welches sich durch den Einsatz erprobter und optimierter Komponenten weiter erschliessen lässt. Wechselrichter, Stecksysteme und Sicherheitsaspekte bilden dafür zusammen mit der Qualitätsicherung und entsprechenden Normen wesentliche Voraussetzungen.


1996 durchgeführte Arbeiten und erreichte Ergebnisse

ZELL-TECHNOLOGIE


Am Centre de Recherche en Physique des Plasmas der ETHL [2] wurde das Projekt der grossflächigen Abscheiding von dünnen Siliziumschichten weitgehend abgeschlossen. Im Berichtsjahr konzentrierten sich die Arbeiten auf die Abscheidung mit erhöhter Frequenz (VHF). Mit einer geeigneten Elektrodenkonfiguration konnte auf einer Fläche von 35 x 45 cm eine Homogenität von besser als ±10% erreicht werden, was innerhalb der Toleranzgrenze für Solarzellen liegt. Mit den mittlerweile vorhandenen optischen und elektrischen Diagnostikmethoden können an einem industriennahen Reaktor komplexe Depositionsprozesse analysiert werden.
Für das am PSI bereits im Vorjahr abgeschlossene Projekt [3] über dünne **Kristalline Silizium-Zellen** konnte für Solarzellen konventioneller Dickne ein hoher Wirkungsgrad von 21% durch unabhängige Messungen am Fraunhofer-Institut (Freiburg, D) bestätigt werden. Die Zelle ist vorderseitig mit einer speziellen Antireflexionschicht versehen, welche massgeblich zum ausgezeichneten Resultat beiträgt.


**Solarmodule und Gebäudeintegration**

Das Projekt zur Entwicklung eines **integrierten Flachdachsystems** (SOFREL®, Solar Flat Roof Element) [7] unter der Leitung von ENECOLO (vormals PMS Energie) wurde bereits im Vorjahr weitgehend abgeschlossen. Im Berichtsjahr wurden die Umsetzungsarbeiten zur Markteinführung weiter intensiviert, insbesondere hinsichtlich der kostengünstigen Austauschung mit Betonsteinen und Metallbügeln. Bis Ende 1995 wurden ca. 250 kW mit SOFREL-Steinen montiert. Dabei konnten die günstigen Kosten bestätigt werden: Ohne Planung betragen die Kosten für eine betriebsfähige Anlage rund 10. Fr./W. Im Schweizerischen Mittelland resultiert daraus ein Gesteinspreis von rund 0.90 Fr./KWh (5% Zins, Amortisation über 30 Jahre).


Im Rahmen des Projektes ALUCOSOL® für ein **integriertes Photovoltaik-Fassadensystem** [9] bei ALUSUISSE konnte das definitive Konzept noch nicht festgelegt werden, da die vorgesehenen Solarzellen von UNI-SOLAR nicht verfügbar waren und entsprechende Alternativen erwogen werden mussten.

Dabei werden auch kristalline Zellen berücksichtigt. Versuche mit Epoxy als vorderseitige Schutzschicht für kristalline Zellen mussten aufgrund negativer Resultate bei erhöhter Temperatur eingestellt werden. Parallel zu diesen Arbeiten wurden die technischen Spezifikationen bezüglich der Systemtechnik näher definiert und mit einer entsprechenden Kostenanalyse ergänzt.


Das LESO befasst sich weiterhin mit der Fortsetzung des Projektes **DEMSITE** [8], in welchem PV-Konstruktionselemente in kleinen, funktionsfähigen Anlagen nebeneinander betrieben werden. Nebst den 11 vorhandenen Beispielen konnten im Berichtsjahr zwei neue Varianten aufgebaut werden, je eine aus dem Fassaden- und dem Dachbereich.
SYSTEMTECHNIK


Im neuen EU-Projekt SCMIC (Single Cell Module Integrated Converter System) [13], bei welchem seitens der Schweiz ENECOLO, ALUSUISSE und die ETHZ beteiligt sind, werden die Grundlagen eines Einzelnenwechselrichters erarbeitet. Dieses Konzept, welches bei fullsichtzellen zur Anwendung kommen könnte, zeichnet sich durch sehr kleine Spannungen (1-2 V) und hohe Ströme (50-100 A) aus, was die Elektronik besondere Anforderungen stellt. Der Aufbau und die Kontaktdichte des Solarmoduls werden durch diese Anforderungen massgeblich beeinflusst. Die Spezifikationen wurden festgelegt und mögliche Lösungen für die Kontaktdichte aufgezeigt. Das Projekt steht im Zusammenhang mit dem Projekt ALUCOSOL.


DIVERSE PROJEKTE UND STUDIEN


für Inselanlagen sowie netzgekoppelte Systeme (AC und DC) und entsprechende Vergleiche mit gemessenen Anlagen. Teilabschätzungen können eingehend behandelt werden.


Am PSI wird mit Unterstützung des FOGA das Thema der Thermophotovoltaik [22] aufgegriffen. In einem ersten Schritt soll unter Verwendung verfügbarer Komponenten die Realisierung eines mit Erdgas betriebenen, wärmegeführten Klein-Blockheizkraftwerks mit ca. 10 kW thermischer Leistung und einigen 100 W elektrischer Leistung angestrebt werden. Mit den gewählten Projektaussicht nicht die optimierte Lösung des photovoltaischen Teils im Vordergrund sondern der grundsätzliche Nachweis der Machbarkeit und die Funktionstüchtigkeit eines derartigen Systems.


KOORDINATION


Nationale Zusammenarbeit


Internationale Zusammenarbeit

Die internationale Zusammenarbeit bildet im Programm "Photovoltaik" eine wichtige Komponente, welche im Berichtsjahr weiter intensiviert werden konnte. Das nun seit einigen Jahren laufende Programm der

Transfer in die Praxis


P&D-Projekte

Thomas Nordmann, Förderprogrammleiter


Bewertung 1996 und Ausblick für 1997


Im Gebiet der Modul- und Systemtechnik ist diese Umsetzung bereits weiter fortgeschritten. Das, was auch langsam zunehmende Interesse der Industrie belegt, trotz der gegenwärtigen stagnierenden Markt situation, die strategische Bedeutung dieser Technologie. Selbst bei ungünstiger Wirtschaftlichkeit lässt sich hier ein bestimmtes Marktpotential erschließen. Immer mehr Lösungen gelangen deshalb als konkrete Produkte auf den Markt und ermöglichen dadurch die angestrebte Vielfalt, die Kostenreduction und die professionellen Qualität, insbesondere für die Anwendung im bebauten Raum.

Nach den raschen Entwicklung des Photovoltaikmarktes anfangs der 90er Jahre fand in den letzten Jahren eine teilweise Marktschlagung statt. Im vergange- nen Jahr zeigten jedoch einzelne Elektrizitätswerke Initiativen, um auch bei einer ungünstigen Wirtschaftlichkeit eine entsprechende Nachfrage zu generieren, indem sich Kunden individuell und in kleinen Beiträgen an Investitionen oder zu erhöhten Energiepreisen

Die grossen internationalen PV-Konferenzen fanden 1996 in den USA und Japan statt. An diesen Konferenzen und aufgrund vieler persönlicher Kontakte entsteht der untrügliche Eindruck, dass sich die Photovoltaik weltweit stärker zu bewegen beginnt. Auch wenn bei weitem nicht alle Ankündigungen ihren konkreten Niederschlag finden und die kurzfristigen Erwartungen vielerorts immer noch zu hoch sind, bleiben genügend Fakten, um festzustellen, dass sich hier etwas tut.

Vor diesem Hintergrund und den eingangs erwähnten Entwicklungen in der Forschung bleibt die Feststellung, dass in der Schweiz mit sehr knappen finanziellen Mitteln ausserordentlich effizient gearbeitet wird. Es bedeutet aber auch, dass die erreichte Position und das damit verbundene Wissen und Können mittelfristig nur gehalten werden können, wenn der Anschluss an die weltweite Entwicklung sichergestellt ist. Die nächsten Jahre werden darüber entscheiden, inwiefern sich die Photovoltaik in der Schweiz in der ganzen Wertschöpfungskette einen Platz sichern kann.


**Liste der 1996 gelaufenen Projekte**


[16] C. Brielmann, EISI, St.-Imier: *Programme de recherche sur des cellules PV à haut rendement*. (JB) / ENET 9552187
[23] S. Nowak, POLYGON, UNI-Fribourg: Abschätzung des PV-Flächenpotentials im schweizerischen Gebäu depark. (JB)

(JB) Jahresbericht 1996 vorhanden
(SB) Schlussbericht vorhanden.

P&D-Projekte

[29] Direktion städtische Unternehmen Luzern: Luzern Solarbahnhof Gewerbeschule, 52.5 kWp, Anlage + Messung; Luzern.
[34] NOK: Megawatt-Solaranlage NOK, IEA konforme Datenauswertung; Auswertung.
[37] TNC: PV-Anlage am Lärmschutz Giebenach, 100 kWp, Giebenach, Anlage + Messung; PV-Anlage SBB Magadino, 100 kWp, Gordola, Messung; PV-Anlage N13 Chur; 100 kWp, Messung, Domat/Ems.

Referenzen

[39] Datenbank TISO, Katalogisierte PV Module, TISO, STS, 6952 Canobbio
[41] PV Power, Newsletter of the IEA PVPS Programme
**BIOMASSE**

Überblicksbericht 1996
zum Forschungsprogramm 1996

Daniel Binggeli / Martin Hinderling

*) Dieses Forschungsprogramm besteht aus 2 Teilen: Holz (Programmlöchter D. Binggeli) und Übrige Biomasse (Programmlöchter M. Hinderling).

---

**Stickoxidemissionen bei der Verbrennung von biogenen Brennstoffen**

Emissionen in Funktion des Stickstoffgehalts im Brennstoff. Vergleich zwischen konventioneller Verbrennung, Low NOx-Verbrennung mit Luftstufung und SNCR-Entstickung sowie Bereiche typischer Stickstoffgehalte von Holz, Miscanthus (Chinaschilf), Stroh und Gras.
Programmschwerpunkte


Anvisierte Zielpunkte für 1996

Die Zielpunkte 1996 lassen sich wie folgt zusammenfassen:
- Die Voraussetzungen für die Verbreitung von Holzheizungen weiter verbessern: energetischer Wirkungsgrad, Abgasemissionen, Abgaskondensation, Wirtschaftlichkeit (Holz, Altholz)
- Nachweis an 1 oder 2 Vergasern, dass diese in der Lage sind, ein Gas zu produzieren, das sich für motorische Nutzung eignet
- Vergären von Abfällen verschiedener Herkunft: Forschungs-Lücken schliessen; Vergärungsanlagen im ländlichen Raum: Entwicklung vorantreiben
- Interdisziplinäres Forschungsprojekt Energie-gras/Feldholz abschliessen
- Erfolgskontrolle SNCR-Verfahren (Selektive nichtkatalytische Reduktion) abschliessen.

Im Jahr 1996 durchgeführte Arbeiten und erreichte Ergebnisse

BIOMASSE BEREITSTELLEN


Aspects énergétiques des filières d’élimination et de valorisation des déchets animaux [2]: Im Zusammenhang mit dem Rinderwahn sind die Energiebilanzen verschiedener Wege zur Entsorgung problematischer Tierabfälle abgeklärt. Die Kenntnis dieser Bilanzen könnte dann wichtig werden, wenn plötzlich grosse tierische Abfallmengen entsorgt werden müssten.

BIOMASSE UMWANDELN

a) Biomasse verbrennen und vergasen


Energetische Nutzung von Biomasse (Hofdünger) [9]: Dieses Projekt untersucht, wie sich ein Teil der überschüssigen Hofdüngemengen aus der Landwirtschaft energetisch nutzen lässt (verbrennen, eventuell vergären) und wie durch teilweise Wiedergewinnung der Nährstoffe auch indirekt Energie eingespart werden kann.

UNIGAS [12]: Die positive Wirkung der Drehbewegung auf den Vergasungsprozess konnte nicht nachgewiesen werden. Die Wirkung des Drehbetriebs kann somit nicht abschliessend beurteilt werden.

Einfluss von Schwermetallen und Chlor auf die Vergasung von Altholz und ähnlichen Abfällen [10]: Ziel dieses Projektes ist, den Einfluss von Fremdstoffen auf die Produktzusammensetzung (Gase, Teere, Asche) von Wirbelschichtvergasern zu ermitteln.


Festbettvergaser für SGF (Standardised Gasifier Fuel) [14]: Das Ziel dieses EU-Projektes besteht darin, für standardisierten (brikettierten) Biomasse-Brennstoff einen kostengünstigen Vergaser für die Stromerzeugung mit Motoren zu finden. Hauptsziel des schweizerischen Beitrages ist, die für kleine Vergaser geeigneten Gasreinigungs-Systeme zu finden und im praktischen Einsatz auszutesten.

Das NEFF-Projekt Vergasung biogener Brennstoffe zur Strom- und Wärmeerzeugung ist im Berichtsjahr abgeschlossen worden. Gemäss den Messergebnissen eines Wochentests kann der Vergaser aus Altholz ein Gas produzieren, das für die motorische Nutzung verwendet werden kann. Der ausgewiesene Kaltgaswirkungsgrad ist allerdings relativ tief.

b) Biogene Abfälle vergären


Etude de la digestion de graisses végétales [2]: Die Batchversuche in Kleinfermentern haben gezeigt, dass die Fettverdauung stark behindert wird, wenn die Fettkonzentration im Substrat 10 Vol.% überschreitet.

Zweistufige Vergärung von festen biogenen Abfallstoffen [16]: Dieses Projekt wies nach, dass leicht abbaubare biogene Abfälle (Haushalts- und Gewerbeabfälle usw.) mittels einer 2-stufigen Vergärung in weniger als 5 Tagen zu 80% abgebaut werden können. Es zeichnet sich ab, dass in der Praxis die 2-stufige Vergärung von leicht abbaubaren Biomasse im Vergleich zur einstufigen deutlich kleinere Fermentervolumen benötigt.

Die vom Kanton Bern und vom NEFF finanzierte Studie Co-Vergärung von festen und flüssigen Substraten wies in einem 14-monatigen Versuchsbedien nach, dass sich organische Gewerbeabfälle mit Erfolg gemeinsam mit Klaranlage-Faulschlamm vergären lassen.

KOMPOGAS-Prozess [17]: Eine breite Palette von Untersuchungen gestattete es, verschiedene noch offene Detailfragen beim KOMPOGAS-Prozess zu beantworten: Bestätigung des "Pfropfstromverhaltens" des Grüngutes im Fermentor; Evaluation der verschiedenen Verfahren zur Abtrennung der Feststoffe aus dem Presswasser; Behandlung des von den Feststoffen bei freien Abwässern; Kompostuntersuchungen mit durchwegs positivem Resultat; Möglichkeit zur Nutzung des Presswassers.


c) Energiepflanzen

Projekt Energiegras/Feldholz [20]

Um die Überproduktion in der Landwirtschaft zu reduzieren, gilt es, Anbauflächen aus der Lebensmittel- und Futtermittelproduktion herauszunehmen. Werden diese Flächen anders bebaut, oder bleiben sie brach: Immer fällt Biomasse an, die energetisch genutzt werden kann, fossile Energien substituieren hofft, die CO₂-Fracht vermindert und damit einen Beitrag an die Ziele von Energie 2000 liefert. In diesem Umfeld will das Projekt Energiegras/Feldholz landwirtschaftspolitische mit energetispolitischen Zielen verbinden, unter Berücksichtigung der ökologischen Randbedingungen.

Das interdisziplinäre Projekt [20] wurde aufgeteilt in die Teilprojekte: Anbau von Energiegräsern, Chinashilf, Anbau von Feldholz; Verbrennung und Vergasung von Energiegras und Feldholz; Vergärung von Energiegras zur Biogasgewinnung; Stoffflüsse; Ökobilanz; Ökonomie; Logistik.

Ziel war abzuklären, ob die energetische Nutzung von Gras, Chinashilf und Feldholz technisch machbar ist und welches die Konsequenzen bezüglich Wirtschaftlichkeit und Ökologie sind. Im Vordergrund stand die energetische Nutzung von Grünland (d.h. von Naturwiesen und mehrjährigen Kunstwiesen), Chinashilf und Feldholz.

SYSTEME UND EINZELPROJEKTE

Im Projekt Energie aus Holz, Vergleich von Nutzungsvarianten [21] sollen die verschiedenen Arten der Nutzungsvarianten für Holzenergie auf ökologischer und ökonomischer Basis miteinander verglichen werden.

Entwicklung eines Verfahrens zur Herstellung von Ethanol aus Biomasse [22]: Es wurde experimentell gezeigt, dass die räumliche und zeitliche Integration von Fermentation und Pervaporation möglich ist und den angestrebten kontinuierlichen Produktaustausch aus der Fermenterbrühe erlaubt. Das up-scaling ist aber mindestens vorerst schwierig.


Nationale und internationale Zusammenarbeit


Als BEW-Partner und Akteure nationaler Zusammenarbeit wären etwa zu nennen - der Aufzählung ist nicht abschließend: BLW, BUWAL, praktisch alle landwirtschaftlichen Forschungsstellen, Fachhochschulen ETHZ, ETHL, Paul Scherrer Institut PSI, Universität Neuenburg, HTL Brugg-Windisch, diverse forstwirtschaftliche Dienste, Anlagebauer v.a. aus der Holzheizungs- und Fermenterbranche.


Umsetzung in die Praxis, P&D-Projekte


treffend Holz und Übrige Biomasse; zahlreiche Veranstaltungen im Rahmen der Beschleunigungsaktion "Energie aus Vergärung" (Tag der offenen Türe, Forum mit Vertretern der Vergärungsbranche usw.); Presseinformationen Logistik etc.

Im Projekt Innovationsimpuls Klein-Schnitzelfeuerung [25] wird mit einem Industriepartner eine Feuerungsanlage ausgearbeitet, bei welcher die Erkenntnisse aus einem DIANE-Messprojekt in vier Klein-Schnitzelfeuerungen einflessen konnten. Erste Messungen haben gezeigt, dass der Nutzungsgrad der Anlage über die Heizperiode 76% beträgt, was zu verglichen ist mit den Jahresnutzungsgraden von weniger als 40% bei den DIANE-Messprojekten.
b) Tier- und Pflanzenabfälle vergären
In der Regionalen Kompostier- und Vergärwanlage "Allmig" (Baar, [26]) laufen die Anlageteile Kompostierung und Vergärung zufriedenstellend. Allerdings muss noch der Wasserhaushalt der Rotteboxen optimiert werden.
In zwei Schritten (Kompo-Mobil I und Kompo-Mobil II, [15]) konnte die Verfahrenstechnik für die Umwandlung von Biogas zu Methan so weit vorangetrieben werden, dass nun praxiserprobte Gasaufbereitungsverfahren auf dem Markt erhältlich sind.
c) Energiepflanzen

Beurteilung 1996 und Perspektiven für 1997


Projektliste

F+E-PROJEKTE

[1] B. Bally, AMBIO, Zürich: Vergleich der Wertschöpfung der Mittelwaldbewirtschaftung und Niederwaldbewirtschaftung mit der Wertschöpfung aus Hochwaldbewirtschaftung, durchgeführt anhand ausgewählter Standorte (SB)

[2] Y. Membrez, EREP, Aclens: Aspects énergétiques des filières d'élimination et de valorisation des déchets animaux (SB) • Digestion en discontinu d'herbes énergétiques • Étude de critères permettant l'évaluation des systèmes de méthanisation de déchets organiques ménagers, industriels, et des vieux papiers, en Suisse (SB) • Étude de la digestion de graisses végétales (SB+JB, ENET 9653457)


62


[22] S. GRASS FERMENTATIONSSYSTEME, Zürich: Entwicklung eines Verfahrens zur Herstellung von Ethanol aus Biomasse (SB)

[23] J. Leuenberger u. S. Sticki, PSI-Villigen: Methanol aus Biomasse (Biometh) (SB)

P&D-PROJEKTE


[27] U.C. Knopf, AGROGEN, Freiburg: Bioenergie-Produktionsbank für pflanzliche technische Öle, Schmierstoffe, Treibstoffe (SB)

[28] P.A. Tardy, CH. VAUD. AGRICULTURE, Lausanne: Transformation de colza en carburant pour motoeurs diesel, à Etoy (JB)

(JB) Jahresbericht 1996 vorhanden

(SB) Schlussbericht vorhanden
Thermische Leistungsprüfung einer Erdwärmesonde

Programmschwerpunkte und Ziele für 1996


Ein erster Meilenstein wurde mit dem Erreichen der folgenden Ziele bis Ende 1996 gesetzt:
- Ausscheiden günstiger Regionen, die für eine Erstellung der ersten HDR-Anlage in der Schweiz in Frage kämen
- Erste Angaben über mögliche Anlagetypen und notwendige Rahmenbedingungen
- Erste Kontakte mit potentiellen Finanzierungsstellen; PR-Tätigkeiten
- Planung der "Machbarkeit"

Um möglichst viel am ausländischen Wissen über den *state of the art* in der HDR-Technologie teizuhaben, wurde und wird gezielt eine enge Mitarbeit mit ausgewählten HDR-Projekten der IEA (Internationale Energie Agentur) angestrebt.


Bei der tiefen, hydrothermalen Geothermie wurden mögliche, gegenseitige Beeinflussungen von Produktionsbohrungen an praktischen Beispielen untersucht bzw. mit Finite Elementen-Programmen simuliert.

1996 durchgeführte Arbeiten und erreichte Ergebnisse

*DEEP HEAT MINING (DHM), KONZEPTPHASE [1]*


---

[Tiefenlage und Temperaturverlauf]
In der Schweiz werden besonders günstige geothermische Verhältnisse entlang regionaler Grabenbrüche erwartet und gerade dort, wo die Kristallin-Sedimentgrenzfläche tektonisch und nicht stratigraphisch bedingt ist [1].

Bei der Standortwahl spielt die Einspeisung von produziertem Strom in das Netz eine eher untergeordnete Rolle. Eine reine Stromproduktion lässt sich aufgrund des geringen thermischen Wirkungsgrades (ca. 8 %) aus wirtschaftlichen Gründen allerdings nicht rechtfertigen. Für die anfallende Wärme ist deshalb bei der Standortwahl die Nähe eines Fernwärmennetzes Voraussetzung.

**HYDROTHERMALE GEOTHERMIE**

Für die Nutzung geothermischer Ressourcen mit tiefen Erdwärmesonden und saisonalen Speicheralagen werden detaillierte Kenntnisse der geothermischen Eigenschaften des Untergrundes zunehmend notwendig.

Zur Abschätzung der grundsätzlichen Rahmenbedingungen einer Aquifernutzung wurden
- die Relevanz von bestimmenden Parametern sowie
- der Zusammenhang zwischen hydraulischen bzw.
thermischen Eigenschaften des Untergrundes und maximal möglichen Förderraten bestimmt. Letztere
sind besonders in Hinblick auf mögliche Mehr-
fachnutzungen aus dem selben Aquifer durch be-
achbarte Förderbohrungen von grosser Wichtigkeit.

In der Schweiz werden zur Zeit aus der Oberen Meer-
resmolasse (in Augwil, Kloten und Bassersdorf) und
aus dem Oberen Mischelkalk (in Riehen) warme Tie-
fenwässer zu Heizzwecken gefördert. Mit Hilfe der
Finiten Elementen-Methode wurden die Langzeiteffek-
te dieser Nutzungen in Bezug auf ihre geothermischen
Leistungen untersucht.

Das Ziel des Forschungsprojektes "Geothermische
Eigenschaften des Molassebeckens (Pilotstudie -
Wärmeleitfähigkeit) " [2]:
- Demonstration des Einflusses dieser Parameter bei
Wärmemutzungsrechnungen,
- Inventarisation bereits vorhandener Wärmeleitfä-
higkeits-Daten der Schweizer Molasse, ergänzt
durch neue Labormessungen
- Berechnung der Leitfähigkeit aus geophysikalischen
Bohrlochaufnahmen.

UNTIEFE GEOTHERMIE

Das Projekt "Erhöhung der Wirtschaftlichkeit ge-
othermischer Bohrungen" [5] sollte im Lichte des
heutigen Preiszerfalles in der Bohrtechnik besser umti-
tuliert werden in: "Gibt es bohrotechnische Lösungen,
die beim jetzigen Preisniveau ein Bohrunternehmen
wieder wirtschaftlich arbeiten lassen? " Ein auf breite-
er Ebene durchgeführter Vergleich heutiger Bohr-
technologien hat ergeben, dass diesbezüglich tatsäch-
lieh Hoffnung besteht. Ein völlig neues Verfahren in
Form eines wassertreibenden Imholchers werden von
den USA ersichtlich für den Anwendungsbereich bei
mitteltiefen TWW (Erdfwärmenoden) wie auch bei tie-
fürer Geothermiebohrungen als sehr vielversprechend.
Dabei werden sehr hohe Wasserdrücke bis zu 180 bar
am Bohrwerkzeug verwendet. Praktische Bohrversuche
ergeben bis zu zweieinhalbmal höhere Fortschrittsraten
im Vergleich zu anderen modernen hydraulischen
Bohrhammer-Methoden. Somit kann eine EWS-
Bohrung wesentlich rascher und damit kostengünstiger
abgeteuft werden. Es ist geplant, diese neue Bohrtech-
nologie möglichst bald bei einem Schweizer Projekt
zum Einsatz zu bringen.

Mit etwas zeitlicher Verzögerung konnte nun endlich
die SIA-Dokumentation D 0136 "Grundlagen zur
Nutzung der untiefen Erdwärme für Heizsysteme"
verlässliches Arbeitshilfsmittel für Planer, Heizungs-
fachleute, Ingenieure, Geologen und Behörden dienen.
Das Erdreich ist bereits heute eine wichtige erneuerbare
Energiequelle. Ihr Stellenwert wird sich zukünftig noch
erhöhen.

- Untersuchung der Beziehung zwischen sedimentären
Architektur-Elementen und der thermischen Leitfä-
higkeit

Die Modellierung einer fiktiven 750 m tiefen Erdwär-
mesonde zeigte, dass der mögliche Wärmeentzug be-
reits bei Variation der thermischen Wärmeleitfähigkeit
von ± 0.5 W/ mK um bis zu 20 % ab- oder zunehmen
kann.

Der Einfluss der Wärmekapazität ist viel geringer, ge-
winnt jedoch an Bedeutung bei der Nutzung von untie-
en Erdwärmesonden (70 m - 100 m), oder bei der sai-
sonalen Wärmespeicherung.

Das geothermische Begleitprogramm im Rahmen der
"Gewinnung geotheimischer Energie aus Tunneln, Teil
B" [4] wurde konzipiert, um die im Bau befindlichen
Tunneln und Stollen (Vereina, Polmengo, Frutigen,
Dixanche, Mauvoisin, Transjuranne und Sedrun) en route
to bearbeiten. Dabei steht die Erfassung und Verarbei-
tung der beim Bau anfallenden, für eine eventuelle zu-
künftige Tunnelwärme-Nutzung relevanten Daten im
Vordergrund (Schüttung, Temperatur und Chemismus
des Bergwassers). Im Sonderstollen Polmengo konnte
mit Felstemperaturmessungen die Annäherung des
Tunnelvortriebes an die Piora-Mulde recht gut voraus-
gesagt werden. Dieses Projekt läuft noch bis Ende
1997.

Das Forschungsprojekt "Recherche des paramètres
permettant d'élever la température moyenne des fluides
cirulant dans des sondes en terre verticales" [7]
konnte mit theoretischen Berechnungen und prakti-
schen Feldversuchen zeigen, dass es mit einfachen
Mitteln möglich ist, die Wärmeleistung einer EWS
leicht zu steigern. Als Hilfswerkzeug für den planenden
Ingenieur wurde des Weiteren ein Satz von relativ ein-
fachen Nomogrammen zur Dimensionierung von EWS
ausgearbeitet.

Das Projekt "Etude pilote: prospection et catalogue des
sites pour sondes géothermiques dans le Jura
central, canton du Jura" [8] hatte zum Ziel, geeignete
Standorte zur Erstellung von EWS in Karstregionen
abzuklären. In diesen Regionen besteht zwar eine gro-
sse Nachfrage für diese geothermische Nutzungsme-
thode, allerdings dürften dabei weder lokale noch regio-
nale Karstwasser-Aquifere gefährdet werden (primäre
Grundwasserlieferanten). In Form einer EWS-Karte 1:
50'000 und eines Katasterplans 1: 5'000 wird das nun
abgeschlossene Projekt den kantonalen Entscheidungs-
trägern bei der Bewertung von EWS-Anlagen eine
wertvolle Unterstützung leisten.

Die Arbeit "Risques de contamination du sous-sol par
les sondes géothermiques" [9] hatte zur Aufgabe,
mögliche Risiken bei Erstellung und Betrieb von EWS
festzustellen. Grundsätzlich können hier zwei Arten
von Risiken definiert werden:
Direkte Risiken bestehen in einer möglichen Grundwasser-Kontaminierung durch das Austreten von Kältemittel (Glykolbasis) aus einer mechanisch beschädigten oder korrodierten EWS.

Als indirekte Risiken gelten mögliche, durch EWS-Bohrungen verursachte, hydraulische Kurzschlüsse zwischen einem oder mehreren Aquiferen.


Nationale und internationale Zusammenarbeit

1996 war insgesamt für die Geothermie ein sehr ereignisvolles und auch erfolgreiches Jahr:

KONGRESSE / FACHTAGUNGEN / WORKSHOPS

- Geothermie-Tagung in Wien (November 96), organisiert durch die Foralith (Gossau). Dies im Zusammenhang mit einer Projektvorstellung "Flächenentasung und Schneeschmelzung mittels Erdwärme" für die Pistenverlängerung des Flughafens Wien-Schwechat.
- Vertretung bei der Wärmepumpen Expo'96 in Bern
- Unter grosser Beteiligung (50 Teilnehmer aus Privatwirtschaft, Bund und Kantonen): Abhaltung eines geothermischen Workshops in Zürich (November 96).

ZUSAMMENARBEIT MIT DER INDUSTRIE / NATIONALE KONTAKTE

Hier ist wohl in erster Linie die enge Zusammenarbeit mit Bohrfirmen, EWS- und Energiepfeil-Anlage Herstellern und der Elektroindustrie zu erwähnen. Berührungspunkte bildeten:

- Die Entwicklung von neuen Sondentypen für grösse Tiefenbereiche (Druckfestigkeit, Injektionsmethodik).
- Die mögliche Verminderung der Mantelreibung bei "hängenden" Energiepfählen.
- Die Entwicklung eines handlichen Gerätes zur Mes sung der Wärmeleistung an Boden- und Felsproben (ETH-Zürich).
- Der Einsatz von Wärmepumpen bei innovativen Nutzungsmethoden (z.B. geothermische Tunnelwarmewarmernutzung; Installation von EWS in bestehende Bohrungen.
- Die Mitfinanzierung bei der geplanten Machbarkeitsstudie Deep Heat Mining.
Transfer in die Praxis

Als einige ausgewählte, typische Beispiele für den ge- 
lungenen Transfer der Forschung in die Praxis, seien 
hiere die folgenden, zur Zeit laufenden P&D-Projekte 
geführt:
- Demonstrationsprojekt Erdwärme-Tiefensonde 
  Weisssbad (AI).
- Beheizung von Wohn- und Geschäftshaus ohne 
  fossile Brennstoffe genauer (innovative Energie-
  pfahanlage).
- Wärmemutzung aus dem Ricketunnel.
- Geothermische Wärmemutzung in Riehen.
- Energiepfahanlage Photocolor in Kreuzlingen
- Energiepfahanlage Lidwil Gewerbe in Altendorf
- Energiepfahanlage PAGO in Grabs
- Geothermische Wärmemutzung durch das Bade- 
  und 
  Kurzentrum in Scoul.
  Alle diese Anlagen werden laufend messtechnisch 
  überwacht um schlussendlich schlüssige Aussagen über 
  deren Wirkungsgrad und Wirtschaftlichkeit anstellen 
  zu können.
- In Morschach wurde kürzlich der grösste Freizeit-
  park der Schweiz eröffnet. 70 % der, für den Betrieb 
  dieser relativ grossen Anlage benötigten Energie 
  (Heizung und Kühlung) wird aus umweltfreundli-
  cher Erdwärme gewonnen. Dies entspricht ungefähr 
  dem Heiz- und Warmwasserbedarf von ca. 100 Ein-
  familienhäusern. Als Erdwärmelieferanten dienen 
  10 m bis zu 500 m tiefe Erdwärmesonden.

Bewertung 1996 und Ausblick für 1997

Sowohl in der Forschung als auch bei den P&D-
Aktivitäten konnten die im Jahr 1995 definierten 
Schlüsselprojekte gestartet bzw. weiterverfolgt werden. 
Dies betrifft die Erhöhung der Wirtschaftlichkeit bei 
EWS-Anlagen, der Nutzung von warmen Tunnelwä-
serrn und der Konzeptidee Deep Heat Mining.

Für 1997 ist im Prinzip eine Intensivierung dieser ge-
nannten Tätigkeiten sowie die Teilnahme an IEA-Hot 
Dry Rock Forschungsprojekten geplant. Des weiteren 
sollen mehrere, im kleinen Rahmen durchgeführte 
Workshops betreffend Qualitäts-Management und ge-
zielter P&R-Tätigkeiten auf dem Gebiet der untiefen 
Geothermie durchgeführt werden.

Eine überaus interessante Anwendung der Geothermie 
zeichnet sich für die Flughafenerweiterung in Kloten 
ab. Aufgrund des schlechten Baugrundes muss breitflä-
chig gepflastert werden. Es besteht nun die Projektidee, 
die schon aus rein bodenmechanischen Gründen not-
wendigen Pfähle, als Energiepfähle zum Heizen und 
Kühlen von Flughafengebäuden bzw. zur Erschließung
von Flugzeugs-Parkierungsplätzen auszuführen. Wie 
bereits erwähnt, bestehen ähnliche Planungen für die 
Flugpistenverlängerung in Wien-Schwechat.

Liste der 1996 gelaufenen Projekte

[8] A. Pariaux, GEOLEP/EPF-Lausanne: Risques de contamination du sous-sol par les sondes géotherni-
ques. (SB)

(JB) Jahresbericht 1996 vorhanden
(SB) Schlussbericht vorhanden
MHyLab - Laboratoire de mini-hydraulique de Montcherand

Vue de la plateforme d'essais depuis le côté "haute pression" du circuit. Au premier plan: modèle réduit d'une turbine Francis.
Programmübersicht

Die Förderung der Kleinwasserkraftwerke beschränkt sich auf Anlagen unter 1000 Kilowatt installierter Leistung.

Sie muss eine schwierige Aufgabe erfüllen, nämlich einen Schrumpfungsprozess in das Gegenteil umzukehren: Stillegungen infolge steigender Kosten und Umweltauflagen bei den kleinen und insb. bei den kleinsten Wasserkraftwerken sollen gestoppt werden, und es soll wieder in Kleinwasserkraftwerke investiert werden.


Im Pilot- und Demonstrationsprogramm des Bundes wurden finanzielle Beiträge an Projekte ausgerichtet, insbesondere an solche, deren Umsetzung in das DIANE Projekt Klein-Wasserkraftwerke integriert war.

Um die einzelnen Bauherren wirkungsvoll zu unterstützen, wurden in den vergangenen Jahren Förderbeiträge an die nichtamortisierten Kosten von 64 Projekten ausgerichtet, zum grössten Teil an Vorstudien. Dabei erwiesen sich die Beiträge an Vorstudien als sehr wirkungsvolles Instrument zur Identifizierung von Projekten und zur Mobilisierung von Bauherren.

In Bezug auf diejenigen Kleinwasserkraftwerke, deren Wirtschaftlichkeit nur knapp ungenügend hat, hat sich die Verbesserung der Vergütungen für die ins öffentliche Elektrizitätsnetz zurückgespiegelte Energie gemäss ENB als die wirkungsvollste Förderung erwiesen. Dennoch bleiben etliche Projekte leicht unrentabel. Weitere Hemmnisse bestehen in neuen Umweltauflagen, welche die Wirtschaftlichkeit beeinträchtigen, und bei einigen Fällen in langwierigen Bewilligungsverfahren. Die ungenutzten Potentiale werden nur zögerlich und in vielen Fällen ineffizient erschlossen.

PACER, DIANE und direkte Projektunterstützungen haben die Investitionen zwar beschleunigt und den Schrumpfungsprozess aufgehalten, noch ist jedoch der jährliche Zuwachs gemessen an den Möglichkeiten klein.

Programmziele

Das Hauptziel lautet: Erhöhung der Energieproduktion aus Kleinwasserkraftwerken mit Reaktivierungen, Ertüchtigungen, Erweiterungen und Neubauten. Dadurch ergeben sich folgende Ziele für die verschiedenen Stufen:

ENTWICKLUNG

Angestrebt werden geringere Kosten für Herstellung und Unterhalt sowie eine höhere Energieausbeute einzelner Ausrüstungskomponenten. Ein Entwicklungsbedarf besteht bei den folgenden Aufgaben:

- Kostengünstige Picolanlagen (Kraftwerke mit installierter Leistung unter 50 kW) für Selbstinstallation und für Druck- u. Abwasser- und Drainagewasserkraftwerke.
- Kostengünstige Kleinsturbinen (bis 300 kW) mit guten Wirkungsgraden und Zuverlässigkeit.
- Sonderbauarten für spezielle Anwendungen mit grossen ungenutzten Potentialen, z.B. für Nie-
derdruck-Kraftwerke, für kostengünstige Kleinwasserkraftwerke in Wasserleitungsnetzen und Flüssigmedien der Verfahrenstechnik mit Druckregelaufgaben (siehe Forschungsprogramm Elektrizität), usw.
- Erprobung kostengünstiger Bauarten für Fischschutzhilfen mit geringem Unterhalts- und Wasserbedarf, sowie der zugehörigen Bedingungen für ein erfolgreiches Funktionieren.

Diese Ziele können vorderhand nur mittelfristig angegangen werden, indem Initiativen der Wirtschaft oder von Labors technischer Schulen unterstützt werden.
FORSCHUNG


P&D-ANLAGEN

Die Erprobung neuer wirtschaftlicherer Technologien gehört zu den passiven Förderzielen des Programmes (Holprinzip: Es können Beitragsgesuche eingereicht werden).


MARKT


Massnahmen für die Aus- und Weiterbildung sind keine notwendig, da es sich um eine Technologie handelt, welche der professionellen Branche genügend zugänglich ist – zudem ist das qualifizierte Angebot im Ingenieurbereich gegenüber dem kleinen Markt gross.

Durchgeführte Arbeiten und erreichte Ergebnisse im Jahr 1996


DIREKTE UND INDIREKTE FORDERUNGEN

Beiträge an Vorstudien und P&D-Projekte


Die Bilanz der Förderung der Kleinwasserkraftwerke liegt sich wie folgt: (Periode 1992 bis 1996, Stand 27.11.96):

Von 96 behandelten Gesuchen wurden 32 abgelehnt. Die 64 bewilligten Gesuchen betrafen 20 Beiträge an Ausführungen und 44 Beiträge an Vorstudien.
Alle bewilligten Projekte repräsentieren eine kumulierte installierbare Leistung von rund 12.3 MW, wovon 2.3 MW auf Ausführungen und 10 MW auf Vorstudien entfallen. Je ungefähr die Hälfte liegt im Bereich bis 300 kW (Kleinkraftwerke) und im Bereich 300 bis 1000 kW installierter Leistung. Die Beiträge an die Ausführung tragen zur Realisierung einer mittleren Jahresproduktion von 7.7 GWh bei, von den Vorstudienprojekten kann rund jährlich 11 GWh Produktion erwartet werden.

<table>
<thead>
<tr>
<th>Vorstudien</th>
<th>Kleinwasser-Kraftwerke</th>
<th>Abwasser-Kraftwerke</th>
<th>Trinkwasser-Kraftwerke</th>
<th>Bewässerungs-Kraftwerke</th>
</tr>
</thead>
<tbody>
<tr>
<td>Förderbeiträge</td>
<td>bisher total 44 Gesuche bewilligt, davon 1 im Jahr 1996</td>
<td>total 10 Gesuche bewilligt (Förderung 1995 eingestellt)</td>
<td>total 2 Gesuche bewilligt (1995 nur noch P&amp;D Gesuche)</td>
<td>total 4 Gesuche bewilligt (Förderung 1995 eingestellt)</td>
</tr>
<tr>
<td>P &amp; D</td>
<td>1 Vorstudie im laufenden Jahr unterstützt</td>
<td>3 Gesuche unterstützt, davon 2 im Jahr 1996</td>
<td>1 Gesuch im laufenden Jahr unterstützt</td>
<td></td>
</tr>
<tr>
<td>Markteinführung</td>
<td>DIANE Klein-Wasserkraftwerke</td>
<td></td>
<td></td>
<td></td>
</tr>
<tr>
<td>Aus- &amp; Weiterbildung</td>
<td>Letzte Kurse PACER-Kleinkraftwerke (Bundesamt für Konjunkturfragen)</td>
<td></td>
<td></td>
<td></td>
</tr>
</tbody>
</table>

Evaluation der Wirkungen der Bundesbeiträge an Vorstudien für Kleinkraftwerke

Mit Hilfe der Durchführung einer externen Wirkungsanalyse der Vorstudienbeiträge im Herbst 1996 wurde die Situation bezüglich der Vorstudien speziell analysiert. Es ergaben sich folgende wichtigste Resultate:

- Die Vorstudienbeiträge werden als wirkungsvolles Förderinstrument für den Bereich KWK eingestuft.
- Die Energiegestehungskosten und Realisierungsschancen der Vorstudienprojekte sind im Vergleich zu anderen erneuerbaren Energien sehr niedrig.
- Mängel werden eruiert bei der zuwenig aktiven Information potentieller Bauherren (Holprinzip), bei der Qualität einzelner Vorstudien und beim folgenden Follow-up der Projekte.

- Die Realisierungszeit von der Vorstudie bis zur Inbetriebnahme ist ausgesprochen lang und durch viele Hindernisse erschwert.
- Der Bericht enthält detaillierte Angaben zum Vorgehen und Stand der Realisierung sowie anderer Auswertungen über die Projekte und das Gesuchsverfahren für die Beiträge.

Die Studie kann ab Frühjahr unter dem Titel "Evaluation der Wirkungen der Bundesbeiträge an Vorstudien für Kleinkraftwerke" beim ENET bezogen werden.

ENTWICKLUNG

Der Bund unterstützt das Entwicklungsprogramm des Kleinturbinenlabor MBH LAB (Laboratoire Mont-cherant), welches eine den gesamten Einsatzbereich der Kleinturbinen abdeckende Modellreihe entwickelt. Das Know-how wird interessierten Turbinenherstellern sp. ihren Kunden im In- und Ausland gegen Tantiemen in Abhängigkeit von der installierten Leistung zur Verfügung gestellt. Da diese Tantiemen bei kleinen Leistungen sehr bescheiden sind, wird ein Entwicklungsimpuls auf kleine und mittlere Unternehmungen in der Schweiz erwartet. Das zur Verfügung gestellte Know-how versetzt Kleinfirmen in die Lage, zuverlässige Garantien abzugeben, was die Stellung des Bauherrn sowie das Preis-Leistungs-Verhältnisse von Kleinturbinen maßgeblich verbessert.

PUBLIKATIONSREIHEN DER FÖRDERPROGRAMME PACER UND DIANE


INTERESSENEMEINSCHAFT WASSERKRAFT SCHWEIZ (IG-WKC)

Mit dem Vorhaben des BEW und interessierter Kreise, 1997 eine Interessenemenschaft Wasserwerk Schweiz (IG-WKC) zu gründen, welche unter anderem auch Ressourcen der Wirtschaft zum Fördern der Kleinwasserkraftwerke mobilisieren soll, kam ein weiteres Element des Abwartens in die Strategie des Programmes Kleinwasserkraftwerke.

Im Jahr 1997 sollen die folgenden Ziele betreffend der direkten Projektbeiträge verfolgt werden:
- Massvolle Reaktivierung der Bundesbeiträge im Sinne einer mittelfristigen Kontinuität, damit sich Bauherren auf die angekündigte Hilfe verlassen können, wenn ihr unter Umständen vom Programm Kleinwasserkraftwerke oder vom DIANE initiiertem Projekt (manchmal erst nach Jahren) ausführungsreif ist.
- Besseres Erreichen der Sprachregionen.
- Optimaler Einsatz der beschränkten Mittel mittels Konzentration auf Förderung von Vorstudien und definierter Demonstrationsanlagen unter neun qualitativen Gesichtspunkten.


Betreffend der indirekten Projektbeiträge werden im Jahr 1997 die folgenden Ziele verfolgt:
  a) Das weitere Verbreiten der Publikationen
  b) Die Weiterführung der Information & Beratung und einer minimalen Medienarbeit
  c) Die Unterstützung von Informations- und Weiterbildungsveranstaltungen.

Das Programm Kleinwasserkraftwerke unterstützt Aktivitäten der Wirtschaft, der Kantone und anderer Träger, und es sorgt für den Informationsfluss und in Einzelfällen für eine Koordination zwischen verschiedenen Akteuren. Die wichtigsten bereits bekannten Aktivitäten für 1997 sind:

- Forschungsprojekte: Im Programm Kleinwasserkraftwerke besteht kein Budget für Forschungsaktivitäten. Vereinzelt eintreffende Unterstützungs werden an das Forschungsprogramm Elektrizität weitergegeben. Das Programm Kleinwasserkraftwerke und das DIANE Projekt Klein-Wasserkraftwerke haben bisher als Drehscheibe zwischen Interessenten für bestimmte Spezialanwendungen und Ingenieurschulen gewirkt, Kontakte vermittelt und z.B. die Resultate eines Forschungsprojektes anlässlich einer Tagung umgesetzt. Diese Zusammenarbeit wird fortge-

Liste der Projekte

Die Liste umfasst lediglich die bisher vom Bund unterstützten Demonstrationsanlagen, sowie die im Bericht erwähnte Kurzevaluation über die Auswirkungen der Bundesbeiträge an Vorstudien und das Projekt MHyLab. Eine Liste der rund 60 subventionierten Vorstudien und Ausführungsprojekte kann direkt bei der Programmleitung bezogen werden.

[1] GELEISE-, HOCH- UND TIEFBAU, Burgdorf: Kleinwasserkraftwerk Müllbach Tiergarten, Burgdorf
[5] IGS-Grenchen: Elektrifizierung der Mühle Bären, Bären an der Aare
[7] SAC Sektion Blumlisalp, Thun: Kleinwasserkraftwerk Baltschiederklause, Baltschieder
[8] BUAG IMMOBILIEN USTER, Zurich: Vorstudie Kleinwasserkraftwerk Baumwollspinnerei Uster
[9] BHP, Zürich: Vorstudien für Kleinwasserkraftwerke: Auswirkungen der Bundesbeiträge; Kurzevaluation
[10] M. Chenal, MHyLab-Montcherand: Laboratoire de mini-hydraulique de Montcherand MHyLab
Moderne Windkraft-Anlage auf der Jurahöhe

Drei Windturbinen mit insgesamt 1.8 Megawatt wurden auf dem Mont-Crosin durch die BKW-ENERGIE installiert.
Programmschwerpunkte


Der Schwerpunkt des Programms besteht in der Öffentlichkeitsarbeit zur Verbreitung des Wissens um die Windenergie und die Etablierung als ernstzunehmende Form von erneuerbarer Energieerzeugung. Des weiteren steht die Umsetzung von konkreten Projekten im Vordergrund, die einen echten Beitrag an die Elektrizitätsproduktion leisten, innovative Lösungen zeigen und mit deren Erfahrungen kommende Projekte kostengünstig und umweltverträglich umgesetzt werden können.

Zielsetzung 1996

P&�, FÖRDERUNG

- Vorfinanzierung von zwei Standortabklärungen (Partner: Investoren, Developer, EVU, Private)
- Informations-Infrastruktur für Mont-Crosin-Anlagen (Partner: Interessiertes Fachpublikum, lokale Informations-Führer, Schulen)

- "Cyber-Windenergie" (CD-ROM) (Partner: Interessierter Fachpublikum, lokale Informations-Führer, Schulen, etc.)
- Förderung einer Anlage auf dem Titlis (30 MWh/a)
- Aktives Förderprogramm evaluieren, mit klaren Förderstrategien bis ins Jahr 2000

MARKT

- Durchführung einer breit angelegten Fachtagung zur Nutzung der Windenergie in der Schweiz mit Medienorientierung (Partner: Deutsches Windenergieinstitut, Energieversorger, Medien, interessiertes Fachpublikum)
- Aufbau einer Informationsstelle Windenergie, Erarbeitung von Prospekten und Kurz-Infos (Partner: Ämter und Behörden, Medien, interessiertes Fachpublikum)

- Medienarbeit
- Beginn mit Aufbau einer Winddatenbank

1996 durchgeführte Arbeiten

PROGRAMMLEITUNG

- Ausarbeitung und Kommunikation des 4-Jahresplanes, des detaillierten Jahresplanes 1996 sowie der entsprechende Budget- und Terminpläne
- Ideen zur Entwicklung eines Beschleunigungsprogramms "Windenergie", Konzeptionelle Aktivitäten zum Aufbau einer "Gesellschaft zu Abklärung von Standorten für Windkraftanlagen"

MARKT


- "Die Nutzung der Windenergie" ersetzt das bestehende Blatt "Wind".

- "Windenergie als Option für die Zukunft" macht auf die INFOSTELLE WIND und das Dienstleistungsangebot aufmerksam [2].

Die Fachtagung "Windenergienutzung in der Schweiz" vom 29. November in Olten wurde gut besucht und erzeugte sowohl bei den Besuchern als auch in den Medien ein positives Echo.

- Ermittlung der Gesamtleistung der Windkraftanlagen, welche unter Berücksichtigung der einschränkenden Bedingungen wie Erschließbarkeit, Bebau-

barkeit und Landschaftsschutz an den, in oben erwähnter Studie ermittelten Standorten, errichtet werden können.

P&D FÖRDERUNG


anlagen, Monitor für den virtuellen Rundgang im Windpark.


Sowohl für die Standortabklärungen eines Windkraft-

parks auf dem Grenzenberg als auch auf dem Schaber (je-weils eine bestehende Anlage) werden die Arbeiten gerade aufgenommen. Auf dem Schaber werden seit 18.11.96 auf 10m über Grund Winddaten erfasst [3].

Nationale Zusammenarbeit

Die Windanlage auf dem Mont-Crosin wird umfassend vermarktet und ergibt dadurch fachübergreifende Zu-

sammenarbeit zwischen dem Energieversorger, Fach-

leuten aus der Windenergieplanung, Computerspezia-

listen sowie Fachleuten für Öffentlichkeitsarbeit (JUVENT, INTERWIND, ANDI HOWALD, METEO-

TEST).

- Die Zusammenarbeit mit schweizerischen institutio-

nen ist im Zusammenhang mit dem Besucherklassifikationssystem, im Bereich der Planung des Lehrpfades, besonders ausgeprägt:

- Office du Tourisme du Jura bernois (Touristen-

information)

- Association de protection de la nature du Jura bernois (Fauna/Flora)

- Centre de vulgarisation agricole (Landwirtschaft)

- Geographisches Institut der Universität Bern (Panorama, Geologie)

Die INFOSTELLE WIND [2] hat im Zusammenhang mit der Windtagung einen Presseversand durchgeführt. Des weiteren wird die Westschweiz einbezogen, da sich dort ja die wichtigsten Standorte der bestehenden Win-

danlagen befinden.

Internationale Zusammenarbeit


pa und Mitteln um die Vereisung von Windenergiean-

lagen zu bekämpfen und so die Produktionsverluste zu reduzieren.

Die INFOSTELLE WIND pflegt im Rahmen ihrer Medienarbeit Kontakte zu den Redaktionen der Fach-

zeitschriften "Wind Energie Aktuell" und "Wind Power Monthly".

79
Transfer in die Praxis

Wichtigste Erkenntnis beim Bau des Windparks auf dem MONT-CROSIN [8] sind:

- Grosse Windenergieanlagen können heute Elektrizität zu Preisen produzieren, die vergleichbar sind mit der Elektrizitätserzeugung aus neuen Wasserkraftwerken.
- Entscheidende Einsparungen werden erzielt, wenn der Bau in möglichst kurzer Zeit verwirklicht wird.
- Auflagen des Heimatschutzes (z.B. "schöne" Trafohäuser) verteuern die Anlagen nicht entscheidend.

Die Erfahrungen der ersten Kleinanlage auf dem SCHABER zeigen Mängel bei der Abstimmung zwischen Leistungsverhalten der Anlage und Dimensionierung der Netzeinspeisung [3]. Deshalb wird zur Zeit wegen Leistungsdrechnung nur ca. 5000 kWh pro Jahr anstatt der prognostizierten 12'000 kWh erzeugt. Um eine Netzverstärkung zu finanzieren wird nun der Bau einer grösseren Anlage geprüft.


Bewertung 1996

Durch die Inbetriebnahme des Windparks der JUVENT auf dem Mont-Crosin kann in der Entwicklung der Windenergie in der Schweiz von einem echten Quantensprung gesprochen werden:

- Zu den bisherigen relativ kleinen Anlagen (max. 150 kW) in der Schweiz gesehen sich drei grosse Windkraftanlagen (je 600kW).
- 6 mal mehr installierte Leistung: vorher 0.311 MW, heute 2.111 MW
- mehr Energieproduktion pro Jahr: vorher 212 MWh, heute 2012 MWh
- Stromgestehungskosten ca. 30 Rp./kWh.

Diese Entwicklung wurde breit kommuniziert und führte einerseits zu einem grossen Interesse an den Anlagen selbst (bis 1000 Besucher an schönen Herbsttagen!) und zu einem generell erhöhten Interesse an der Windenergienutzung:

- Gut besuchte Tagung in Olten

- Grosses Medieninteresse
- Aktive Infostelle

Mit der Ausarbeitung der Wind- und Landschaftsschutzkarte und den entsprechenden Potentialberechnungen konnte zudem kommuniziert werden, dass

- 3.5% des heutigen Stromverbrauchs mit Windkraft gedeckt werden könnte,
- der Grosteil davon zu Stromgestehungskosten von unter 30 Rp./kWh,
- 3 - 10% der Ziele von Energie-2000 für Elektrizität aus erneuerbaren Energien mit Windkraft erfüllt werden könnte.
- 3 % entsprechen 11 weiteren 500 kW-Anlagen.

Zum heutigen Zeitpunkt haben diese Voraussagen noch nicht zu einem Boom der Nachfrage nach Fördermittel zum Bau von Windkraftanlagen geführt, weitere Aktivitäten zur Förderung von Projektvorschlägen sind deshalb notwendig.

Ausblick 1997

P&D

- Aufbau und Führen der Informations-Infrastruktur Mont-Crosin, Eröffnung des Besucherpavillons im Mai 1997. (Partner: Interessiertes Fachpublikum, lokale Informations-Führer, Schulen)
- Produktion des Informationsmittel "Cyber-Windenergie" (CD-ROM) [7]. (Partner: Interessiertes Fachpublikum, lokale Informations-Führer, Schulen, etc.)

- Förderung einer Anlage auf dem Titlis (0.03 MW, 30 MWh/a)
- Förderung von detaillierten Standortabklärungen, z.B. Windpark auf dem Grenchenberg, weiterer Anlagen auf dem Mont-Crosin, Ausbau des Standortes Schaber, etc.
MARKT
- Aufbau eines Mess- und Dokumentationsprogramms aller installierten Windkraftanlagen in der Schweiz (analog ISET in Deutschland), (Partner: Anlagebetreiber).
- Etablierung eines Diskussionsforums Wind.

AGENCE ÉOLIENNE

PROGRAMMLEITUNG
- Entwicklung eines "Beschleunigungsprogramms Windenergie", Unterstützung in den Aktivitäten zum Aufbau einer "Gesellschaft zu Abklärung von Standorten für Windkraftanlagen".

F+E

Projekte 1996


(JB) Jahresbericht 1996 vorhanden
(SB) Schlussbericht vorhanden.

Referenzen

Solarkonzentrator-Anlagen am PSI

Durch einen der Sonne nachgeführten Heliostaten und einen festen Parabolspiegel (links) wird konzentriertes Sonnenlicht (10 kW) in den "Sonnofen" fokussiert. Im Brennpunkt eines sonnengerichteten Parabolspiegels (rechts, 50 kW) erlaubt ein spezieller Reaktor chemische Experimente.
Programm-Schwerpunkte


- Physikalischen Grundlagen der Umwandlung von Strahlung in nutzbare Energieformen
- Regenerative Prozesswärmeerzeugung
- Solarchimische Prozesse und Technische Photosynthese
- Wasserstofftechnologie
- Energierelevante Verfahrenstechnik und Materialwissenschaften

Anvisierte Zielpunkte für das Jahr 1996


Durchgeführte Arbeiten und erreichte Ergebnisse

THEORETISCHE STUDIEN


ERZEUGUNG VON PROZESSWÄRME


SOLARCHEMISCHE ERZEUGUNG VON ENERGIETRÄGERN, INSBS. WASSERSTOFF

Die direkte Umwandlung von konzentrierter Solarstrahlung in chemische Energieträger zählt zu den Hauptstoffrichtungen des Programms Solarchemie/ Wasserstoff [4]. Dabei werden drei grundsätzlich unterschiedliche Lösungswege verfolgt:

- Zwei- oder mehrstufige thermochemische Kreisprozesse, die über Redoxprozesse von Metall/Metalloxid-Systemen die Spaltung von Wasser bzw. die Erzeugung von Wasserstoff als zuwachsfähiger Energieträger erlauben.

- Direkte photochemische Synthese von Energieträgern oder nutzbaren Chemikalien (Upgrading) an Halbleiteroberflächen erhöhter Temperatur.

am PSI mit dem Pulverwolken-Durchflussreaktor aber nur Strahlungsdichten von 350 - 400 W/cm² erreicht werden, wurden Experimente an der Solaranlage des Weizmann Institute of Science durchgeführt. Dort sollten Konzentrationen von 8000 - 10'000 Sonnen erreichbar sein. Die Messungen mit dem am PSI entwickelten SunFlux II-System zeigten aber, dass nur Strahlungsdichten von 520 W/cm² (6000 Sonnen) erreicht wurden. Die angestrebte Reduktion von Eischiroxid konnte nicht verifiziert werden. Aufgrund dieser Befunde sowie weiterer Abklärungen wurde im Herbst '96 ein vorgesehenes Scale-Up des Pulverwolken-Durchflussreaktors gestorniert.


PHOTOELEKTROCHEMISCHE PROZESSE UND SPALTUNG VON WASSER

- Photocatetrochemische Spaltung von Wasser in Wasserstoff und Sauerstoff
- Zersetzung von Meerwasser in Wasserstoff und Chlor
- Oxidativer Abbau von organischen Schadstoffen zu Kohlendioxid und Wasser


SPEICHERUNG UND TRANSPORT VON WASSERSTOFF

Für eine zukünftige verstärkte Nutzung von Wasserstoff als Energieträger oder als Grundchemikalie werden geeignete Speicher- und Transportformen von entscheidender Bedeutung sein. Im Programm Solarche-

**NUTZUNG VON WASSERSTOFF**


**KATALYTISCHE UND ELEKTROCHEMISCHE REDUKTION VON KOHLENDIOXID**


**Nationale Zusammenarbeit**


Internationale Zusammenarbeit

Die internationale Zusammenarbeit wurde im Berichtsjahr weiter ausgebaut. Die Tatsache, dass der Programmleiter in einem EU-Land arbeitet, konnte hinsichtlich möglicher Beteiligungen an europäischen Forschungsprogrammen ausgenutzt werden.

Folgende IEA-Programme werden von der Schweiz geleitet:

- Solar Chemistry,
- Photoelectrochemical Hydrogen Production,

Die gegenwärtig gute Infrastruktur und die hohe Fachkompetenz der Projektpartner bilden die Grundlagen für weitgespannte und intensive internationale Zusammenarbeiten. Als wichtigste Partnerinstitutionen sind zu nennen:

- Universität Hamburg, Institut für Anorganische und Angewandte Chemie, Deutschland
- Deutsche Forschungsanstalt für Luft- und Raumfahrt (DLR), Köln, Deutschland
- Plataforma Solar de Almeria, Spanien
- Sandia National Laboratories, Albuquerque, New Mexico, USA
- Solar Energy Research Center, The Weizmann Institute of Science, Rehovot, Israel
- Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme, Freiburg, Deutschland
- Boreskov Institute of Catalysis, Novosibirsk, Russland
- Tokio Institute of Technology, Japan
- NREL, Golden, Colorado, USA

Transfer in die Praxis


Es wurden viele neuen Industriekontakte geknüpft, die als wichtige Grundlage für die Umsetzung der erzielten Forschungsergebnisse zu betrachten sind. Gerade durch die genannte Machbarkeitsstudie eines solaren Zementwerks oder durch Vorabverhandlungen mit der Firma Nestlé eröffnen sich neue und aussichtsreiche Umsetzungspotentiale.

Bewertung der Ergebnisse

Im Berichtsjahr konnten sehr wertvolle Ergebnisse erzielt sowie wichtige Weichenstellungen vorgenommen werden. Im Bereich der aktiven Solarenergienutzung musste der geplante Scale-Up des Pulververfahrenreaktors zwar zurückgestellt werden, aber durch die zielstrebigste Weiterentwicklung des ABSORBER 2000 sowie durch die neuen Prozesse zur Herstellung von Wasserstoff mittels Metalloxidcyclygen und die Reduktion von Metallerzen mit Wasserstoff wurde eine sehr gute Ausgangslage für technische Nutzung geschaffen. Dies gilt ebenfalls für die Fortschritte bei der photolektrochemischen Erzeugung von Wasserstoff und bei der Speicherung von Wasserstoff in Metallhydriden.

Durch gezielte geknüpfte Industriekontakte konnten die für eine Umsetzung der Resultate unabdingbaren Voraussetzungen geschaffen werden.

Insgesamt wurde das Programm Solarchemie/Wasserstoff weiter unstrukturiert und auf Schwerpunktkonzepten konzentriert. Die angestrebte Verbesserung der materialwissenschaftlichen Grundlagen erbrachte nennenswerte Erfolge, so bei der vielfältigen Entwicklung von Elektrodenelementen für die photolektrochemische Spaltung von Wasser oder bei der Verbesserung effizienten Absorber-Schichten. Insgesamt konnte der internationale Stellenwert der Forschungsaktivitäten klar verstärkt werden.

Ausblick für das Jahr 1997

Die grundlagen- und materialwissenschaftlichen Arbeiten sollen zielgerichtet vertieft werden. Dadurch soll nicht nur die Basis für die gegenwärtig laufenden Projekte gesichert bleiben, sondern vor allem auch die Ausgangslage für neue, technisch realisierbare Prozesse und Produkte verbessert werden. Die Industriekontakte müssen intensiviert werden, um baldmöglichst P & D Projekte realisieren zu können. Es zeichnet sich klar ab, dass programmübergreifende Projekte immer bedeutungsvoller werden, da die in die Praxis umsetzbaren Resultate in der Regel vielfältige Kriterien erfüllen müssen, deshalb sehr unterschiedliche Fachkompetenz erfordern.

Ein Meilenstein in der Geschichte der schweizerischen Solarenergieforschung wird die Errichtung des aus Ei-


**Liste der Projekte**


(SB) Schlussbericht vorhanden

89
Laseroptische Messungen

Programmübersicht und anvisierte Ziele für 1996


1996 durchgeführte Arbeiten und erreichte Ergebnisse

GRUNDLAGEN DER VERBRENNUNG


In Zusammenarbeit des Laboratoriums für Verbrennungsmotoren und Verbrennungstechnik (LVV) der ETHZ und des PSI wurde in den letzten beiden Jahren eine Konstantvolumen-Hochtemperatur und Hochdruckzelle (HDTZ, siehe Titelbild) entwickelt. Sie ermöglicht die Untersuchung von dieselmotorischen Vorgängen wie der Einspritzung, Tröpchenbildung/ Zerschlagung des Einspritzstrahls, der Zündung des Gemisches und dessen Verbrennung sowie der Schad-


Weitere Grundlagen der Verbrennung werden insbesondere mit dem verschiedensten, zum Teil recht innovativen optischen Messmethoden erarbeitet, die in den folgenden Projekten samt Anwendungsbereichen beschrieben sind.

OPTISCHE MESSMETHODEN


Durch die Aufnahme zweier Hologramme mit Licht, das für eine der Spezies resonant ist, und simultan dazu mit Licht neben einer Resonanz, konnten durch diese Spezies verursachte Brechungsindexänderungen unab-
nungsprozesses konnte damit eindeutig bestimmt werden.


**NUMERISCHE SIMULATION VON VERBRENNUNGsvORGÄNGEN**


**SCHADSTOFFREDUKTION UND SCHADSTOFFASPEKTE**


Mit dem Ziel, den zuständigen Fahrzeugzulassungsbehörden Entscheidungsgrundlagen für die Bewertung von Abgasemissionen von Erdgasfahrzeugen zur Verfügung zu stellen, wurde das Vorhaben Wirkungsorientierte Bewertung von Automobilausgasen [15] gestartet. Die EMPa setzt dabei ihre modernsten chemi-
schen Methoden zur Abgasanalytik ein. Vertreter aus der Automobil- und Gasindustrie sowie den schweizeri-
schen Zulassungs- und Umweltschutzbehörden werden als Experten beigezogen.

**Nationale und internationale Aktivitäten und Zusammenarbeit**

Infolge des Rücktritts des Direktors wurde das **Laboratorium für Energiesysteme (LES)** der ETHZ aufgelöst und das **Laboratorium für Thermodynamik in neuen Technologien (LNTN)** ins Leben gerufen. Die Aktivitäten der LES-Gruppe, die sich vor allem mit der numerischen Simulation von stationären Feuerungen befasst, werden weitergeführt. Somit ist die Kontinuität dieser Forschungsrichtung für die nächsten Jahre gesichert.


Folgende Ereignisse prägten 1996 den nationalen und internationalen Erfahrungsaustausch und dienten gleichzeitig als Kontaktbörse für Zusammenarbeitprojekte zwischen Forschern von Hochschulen und der Privatwirtschaft:


gung stehen und mithelfen, Doppelspurigkeiten in der internationalen Forschung zu vermeiden.


**P & D-Projekte und Transfer in die Praxis**

Die starke Grundlagenorientierung des Programms hatte zur Folge, dass in den ersten Jahren des Programms Projekte mit Industriebeteiligung eher die Ausnahme als die Regel waren. Dies hat sich nun dank dem akkumulierten Fachwissen, das die ETHZ und das PSI für die Privatwirtschaft interessant macht, geändert. In zunehmendem Maße werden Projekte mit Pilotcharakter ins Programm integriert. Die Erfahrung hat jedoch gezeigt, dass die Wünsche der Hochschul- und Industriepartner gut aufeinander abgestimmt sein müssen und mit klar strukturierten und koordinierten Teiltapen gearbeitet werden muss, damit solche Projekte zur beidseitigen Zufriedenheit abgeschlossen werden können.

Die numerische Simulation von Strömungs-, Einspritz- und Verbrennungsvorgängen im Brennraum zweier Dieselmotoren der Firma NEW SULZER DIESEL sind Gegenstand des Umsetzungsprojekts *Einsatz der rechnergestützten Simulation für die turbulente Verbrennung in der industriellen Produktentwicklung* [16]. Die Strömungsuntersuchungen beinhalten Kompressions- und Expansionszyklen ohne Brennstoffeinspritzung (geschleppter Betrieb) sowie mit Einspritzung, jedoch ohne Verbrennung. Der Einbau eines


Bewertung 1996 und Ausblick 1997


Die langwierigen Vertragsverhandlungen konnten im Berichtsjahr abgeschlossen werden.


**Liste der Forschungsprojekte**

[2] B. Steiner et al., LVV/ETH-Zürich: *Flammenfront- und Schadstoffvisualisierung.* (JB)
[14] Ph. R. Von Rohr et al., IVUK/LVV/ETH-Zürich: *Stickoxidminderung bei stationären Dieselmotoren.* (SB)
(SB) Schlussbericht vorhanden (via ENET)

**Liste der P+D - Projekte**

[16] K. Boulouchos et al., LVV/ETH-Zürich: *Einsatz der rechnergestützten Simulation für die turbulente Verbrennung in der industriellen Produktentwicklung (CRFD).* (JB)

97
Referenzen


[27] B. Spiess et al. LTNT/ETH-Zürich: Russbildung und Flammensstrahlung bei hohem Druck, (NEFF-SB).


Stock souterrain diffusif du Collège de Peseux à Neuchâtel

29'000 m$^3$ de sous-sol sont sollicités par 30 sondes en forme de long double-U de 60 m de profondeur. Le forage est rempli de sable de quartz relativement bon conducteur de chaleur (projet BMIC-Montezillon).
Introduction

Le programme de recherche en matière de stockage de chaleur faisait partie jusqu’en 1995 du programme "solaire thermique", mais est désormais autonome.

Bien entendu, le stockage joue un rôle absolument déterminant en Suisse pour l’énergie solaire au caractère intermittent. Nous savons l’alternance du jour et de la nuit, la suite de périodes ensoleillées et de périodes brumeuses, le retour après un hiver aux besoins en chauffage et faibles apports solaires directs, d’une saison estivale durant laquelle plus de 60% de l’énergie solaire annuelle nous touche. Ainsi, le stockage saisonnier de chaleur solaire revêt une importance particulière pour le développement à large échelle du solaire dans un pays comme la Suisse.

Mais le stockage de "chaleur" ou de "froid", si l’on place une limite artificielle à la température de 20 °C, celle qui nous est agréable, a d’autres applications que le solaire, par exemple, pour la régularisation d’une production de chaleur ou l’écrétage de pointes tarifaires. Il intéresse donc plusieurs domaines énergétiques.

Le stockage de chaleur à court terme, pour quelques heures ou quelques jours est relativement bien maîtrisé par la technique de la cuve à eau isolée. Des progrès sont cependant possibles dans trois axes:

- le renforcement et le maintien de la stratification, favorable au captage solaire du point de vue exergétique,
- la gestion du stock,
- la caractérisation des paramètres d’un stock.

Le stockage de chaleur à moyen et long terme nécessite des volumes importants pour ne pas devoir isoler artificiellement de manière très importante le milieu stockeur. Depuis 20 ans, le stockage saisonnier de chaleur en sous-sol fait l’objet de recherches. Le sol est en effet un milieu qui peut se prêter au stockage de chaleur en grands volumes. Les connaissances ont beaucoup avancées tant pour le stockage diffusif que pour le stockage en aquifère.

Le stockage diffusif à basse température (5 à 25 °C) dispose de réalisations pilotes en Suisse en cours de suivi. Les pompes à chaleur pour des installations de taille importante nécessitent souvent un stockage de chaleur de l’hiver pour obtenir une source froide de qualité. A plus haute température (30 à 60 °C), peu d’expériences ont encore été réalisées, malgré les espoirs qui découlent des simulations numériques. Le coût d’investissement d’une grande installation solaire est encore un facteur limitant.

Le stockage de chaleur de 25 à 60 °C en aquifère est plus difficile à maîtriser. La Suisse a été pionnière dans le domaine en 1975-1985, mais les projets d’envergure ont ensuite fait défaut pour développer une technique qui nécessite beaucoup d’expériences de terrain.

A plus haute température (plus de 100 °C), les applications de stockage de chaleur sont pour le moment à court terme (quelques heures) et limitées aux processus industriels. Elles sont satisfaites par des procédés traditionnels dans lesquels des améliorations sont possibles mais souvent peu rentables. Les centrales chaleur-force pourraient cependant à l’avenir nécessiter en été un stockage de chaleur de taille conséquente pour absorber la part produite en chaleur.

Le stockage latent a également fait l’objet de quelques recherches en Suisse. Le problème du prix des matériaux et de leur conditionnement reste le principal obstacle.

Le stockage de froid pour des procédés industriels ou l’écrétage de pointe tarifaire est actuellement résolu industriellement, mais pénètre peu en pratique.

Enfin, le stockage saisonnier de "froid" à 5 ou 10 °C, d’hiver en été, pour des besoins de climatisation ou simplement de refroidissement estival, est en plein essor dans les pays nordiques, par exemple en combinaison avec un groupe de froid utilisé en pompe à chaleur en hiver.

Principaux axes du programme

a) Stockage à court terme:

- améliorer la connaissance de la stratification thermique et de sa gestion optimale dans les cuves à eau de toute taille,
- évaluer l’intérêt de nouveaux dispositifs pour le recours à des matériaux à changement de phase.

b) Stockage à long terme:

- réduire le coût d’investissement des stocks souterrains diffusifs par la recherche de nouveaux types d’échangeurs de chaleur, par l’optimisation de l’échange fluide-sol et par l’optimisation de l’ensemble du système, en liaison avec le type de sous-sol rencontré.

- évaluer la faisabilité d’installations de stockage en aquifère de 1’000 à 10’000 m³, soit une taille réduite par rapport aux volumes visés initialement lors du développement de ce mode de stockage (plus de 50’000 m³). Ceci est motivé par le fait que dans un pays comme la Suisse sans forte implantation de réseau de chaleur à distance, la demande potentielle actuelle pour des stocks saisonniers de chaleur concerne surtout la gamme des constructions neuves de 50 à 500 équivalent-habitants. Deux problèmes se posent pour les aquifères de petite taille: les pertes thermiques sont importantes et le balayage par écoulement naturel peut détruire totalement le stock. Pour lutter contre ce dernier effet, deux procédés sont testés en Suisse: la stabilisation de
la nappe par pompage (cas de U-Sierre et de Saillon) et l'écran hydraulique réalisé par boues de lavage de carrière, qui constituent en outre des déchets à valoriser.

Dans le cadre du programme de recherche "Solaire actif + Chaleur", des systèmes réels comportant divers types de stocks de chaleur sont suivis. Les conclusions de ces travaux sont, en ce qui concerne le stockage de chaleur, également observées pour orienter le présent programme. Dans l'ensemble, les technologies de stockage mises en œuvre en Suisse sont développées en Suisse. Dans le domaine du stockage latent, des importations de matériaux ou de conditionnement (boules) sont cependant nécessaires.

De nouveaux axes de recherche concernant des matériaux tels la zéolithite sont dépendants d'applications pratiques et de budget à disposition.

Buts visés pour 1996

STOCKAGE LATENT
La mise au point finale d'un modèle simple et validé expérimentalement pour les effets thermiques de courants de convection dans un accumulateur à boule latente.

STOCKAGE EN CUVE À EAU
La caractérisation de la stratification et de la quantité d'énergie dans une cuve au moyen d'une sonde de températures unique (École Technique de Burgdorf).

L'analyse des résultats de deux mesures sur une installation solaire familiale avec stockage saisonnier en cuve à plus de 100 °C et la meilleure stratégie de réglage.

STOCKAGE DIFFUSIF
La mise sur pied d'un projet regroupant plusieurs partenaires à l'École Technique de Winterthur.

STOCKAGE EN AQUIFERÈ
Rechercher la possibilité de conserver la chaleur d'été dans un aquifère de 4'000 m³ protégé par un mur de confinement hydraulique par simulation au moyen d'un nouveau modèle 3D.

La mise en route du programme de recherche, avec sa présentation critique à la CORE.

Travaux effectués et résultats obtenus

STOCKAGE LATENT
Afin d'étudier expérimentalement les effets thermiques de courants de convection autour de petites sphères contenant un matériau à changement de phase, un accumulateur expérimental a été réalisé à l'ETS d'Horw. D'un volume parallélépipédique de 150 litres, il comprend 241 boules de marque commerciale Cristopia STL 27 contenant un hexahydrate de calcium-chlorure stable, à température de changement de phase à 27 °C [3].

Un modèle de calcul simplifié, basé sur le seul nombre de Grashof, et adaptable à la simulation d'installation solaire car peu coûteux en temps calcul, a été développé par l'EMPA sur la base des résultats expérimentaux obtenus pour divers débits de charge, hauteur d'empi lement et température d'entrée de l'eau. Les deux cas de stratification stable et instable peuvent être traités par le modèle, avec la hauteur d'empi lement pour longueur caractéristique. Il est supposé qu'une géométrie de stock cylindrique ne modifiera pas les conclusions.

Ce projet est financé en complément du projet NEFF 515 qui comprend la mise au point d'un module de simulation pour TRNSYS. Une optimisation d'installations solaires avec ce type de stockage peut désormais être étudiée avec un modèle pour ce type de stock latent.

STOCKAGE EN CUVE
La maison familiale Tagmann, à Niedergösgen, de 1'850 m² SIA, et très fortement isolée, est équipée de 62 m² de capteurs solaires chauffant un stock hebdomadaire de 5 m³ lui-même connecté à un stock saisonnier de 38 m³ pouvant atteindre 120 °C. L'appoint est constitué par un poêle central à bois. L'installation a été instrumentée par le SPF Rapperswil durant deux cycles annuels et l'analyse détaillée a été faite en 1996 [2]. Le but du suivi était de déterminer la meilleure stratégie de réglage de l'installation à deux stocks pour capter le plus d'énergie solaire incidente, sans tenir compte dans un premier temps de la consommation électrique des circulateurs auxiliaires. Cette stratégie a été déterminée progressivement, selon les expériences acquises, et se compose en fin de compte de 30 règles simples. Pour une demande annuelle de 12'770 kWh, la fraction solaire a atteint 83% durant l'année 94/95. Le stock saisonnier, entouré de 50 cm d'isolation, a atteint 116 °C à mi-août 94 sans problème particulier, pour redescendre à 40 °C à fin février 95. En hiver des conflits de stratégie sont apparus si l'on laisse l'utilisateur décider seul du moment de l'appoint au bois. Le rapport final donne de précieuses indications pour la conception d'installations solaires familiales avec stockage long
terme, un sujet d'actualité sur le marché du solaire thermique, pour lequel on essaie de réduire le plus possible le volume de stockage.

Un projet de réhabilitation thermique d'une maison familiale à Chambésy a été fait par son propriétaire depuis 1990. Le projet RENOV'A a permis de doubler la surface habitable en réduisant de moitié la consommation totale, par isolation poussée et serre passive. La dernière phase du projet, à savoir le solaire actif avec stockage saisonnier a été réalisée en 1996 grâce à l'appui du Canton, de l'OFEN et de la commune. Le projet de recherche débuté en fin 1996 vise à mesurer l'installation qui comprend 30 m² de capteurs intégrés en toiture, 10 m³ de stock en cuve à eau et un dispositif d'injection de chaleur excédentaire d'été dans le sous-sol [5]. L'installation de mesure a été posée par le CUEPE, la mise en service partielle du solaire a eu lieu en fin 1996. La recherche devra préciser l'intérêt de l'utilisation du sous-sol situé sous la maison pour absorber les excédents estivaux et pour fournir éventuellement une contribution au chauffage de la villa.

A Neuchâtel, la cuve de stockage saisonnier de l'installation solaire du futur bâtiment de l'Office fédéral de la Statistique a été installée en 1995 et restera hors exploitation jusqu'à mi 97. En profitant de cette période, un procédé de mesure des pertes thermiques en régime permanent de la cuve de 2'500 m² a été défini par SORANE [1]. La mesure du coefficient K global sera précise pour l'analyse complète ultérieure de l'installation solaire, dans la mesure où les exemples d'installations similaires mesurées en Europe (Ingelstadt, Växjö, Rotweil) ont toujours conduit à une incertitude sur les causes réelles des pertes thermiques du stock saisonnier.

STOCKAGE DIFFUSIF

Le nouveau bâtiment de THALI, à Hitzkirch est chauffé par une installation de pompe à chaleur utilisant un stockage souterrain de 1'000 m² de sondes coaxiales, rechargé par le dégagement de chaleur de la salle informatique en été. Des mesures de l'installation ont débuté en 1996 dans le but de trouver le fonctionnement optimal de l'installation. Les premiers résultats montrent un sous-dimensionnement des échangeurs de récupération de chaleur, la température de sortie des sondes ayant passé de 14.1 à 15.5 °C seulement après 3 mois de recharge. Le comportement décharge/charge sera analysé dans le détail durant le cycle 96/97 [4].

A l'École d'Ingénieurs de Winterthur (TWI), un projet de recherche sur la possibilité de réduire le coût du stockage souterrain diffusif avec ou sans pompe à chaleur a débuté en 1996 [6]. Deux pistes sont suivies: l'amélioration de l'échangeur (la sonde) et/ou de la méthode de mise en place (battage, forage, vibration, ...), ainsi que l'optimisation de l'ensemble du système. Dans le domaine, des résultats théoriques récents, que nous avons suivis et orientés, obtenus par M. Pahud lors d'un travail de deux ans à Lund, sont en partie disponibles. Ils montrent que le coût de capteurs reste le principal obstacle dans le cas d'une solution solaire [9, 10]. Il a donc été demandé que les travaux du TW1 se basent sur des cas concrets d'immeubles ou de quartiers neufs ou à rénover. On tient compte ainsi de contraintes et de conditions d'architecture et de sous-sol réalisistes. Du fait du budget du programme, ce projet constituera l'axe principal du programme dans les deux ans à venir.

STOCKAGE EN AQUIFÈRE

Le Laboratoire de Géologie de l'EPFL (GEOлеп) a proposé de réaliser une barrière hydraulique à l'écoulement naturel dans les aquifères de surface, sous forme de paroi en boues de lavage de gravier. Après avoir montré en 1994 et 1995 que le matériau s'y prêtait et que la mise en œuvre jusqu'à 10 m de profon-
ges de charge/décharge ont été étudiées par simulation, de même que l’effet d’isolation thermique artificielle renforcée sur surface. Les résultats montrent que le stock projeté de 4 000 m³ n’est pas possible, la chaleur utile injectée en été par l’équivalent de 1 000 m² d’absorbeurs solaires étant totalement dissipée à fin octobre. Ceci est principalement dû à la convection naturelle dans le stock, entraînant un brassage préjudiciable à l’exergie du stock [7]. Les sites à perméabilité verticale faible seraient ainsi plus favorables pour le stockage en aquifère, la barrière hydraulique jouant quant à elle parfaitement son rôle anti advectif horizontalement. La recherche des limites inférieures de taille du stockage en aquifère, que l’on sais possible en grand volume, est encore à faire, car le coût de réalisation de tel stock est attractif.

Coordination et collaboration nationale

La coordination avec d’autres programmes de recherche connexes tels que Géothermie et Chaleur de l’environnement est effectuée de manière fréquente pour rechercher les synergies entre moyens et travaux principalement dans le domaine des stocks diffusifs [14].

Nous avons en outre présenté dans divers séminaires les activités en matière de recherche et P&D en stockage souterrain [15].

La coordination entre les programmes "stockage de chaleur" et "solaire actif" est excellente.

La collaboration entre différents chercheurs en Suisse est favorisée le plus possible: un chercheur de l’EPFL participe à un projet du TWI, Winterthur pour ce qui est de l’optimisation de système avec stockage diffusif.

La collaboration avec une industrie est difficile: en matière de stockage latent, il n’y a plus à notre connaissance d’entreprises spécialisées sur le marché en Suisse. En matière de stockage en cuve à eau, nous recherchons une collaboration. En matière de stockage diffusif ou en aquifère, il n’y a pas d’industrie spécialisée, mais plutôt des savoir-faire d’entreprises, encore parcellaire et peu synthétique.

Coordination et collaboration internationale

Nous suivons les travaux internationaux (allemands, suédois, finlandais et hollandais, etc) en matière de stockage de chaleur par le biais des publications et de conférences (Séminaire Eurotherm no 49 "Physical models for thermal energy stores", mars 1996, Conférence internationale EUROSun 96, octobre 1996) et faisons rapport à l’OFEN ou dans ENET News en tirant les tendances et implications pratiques [11, 12, 13].

Nous avons été sollicité comme membre du comité scientifique du prochain symposium Megasstock ’97.

Dans le cadre des projets européens JOULE/HERMIE, il n’y a pratiquement pas d’activités portant l’étiquette stockage pour le moment.


Transferts à la pratique, Projets P&D

La recherche 1996 en matière de stockage a été très appliquée et a souvent eu pour objet l’amélioration ou la caractérisation de réalisations pratiques ou commerciales. La liaison avec la pratique est donc bonne.

Nous dirigeons aussi le programme P&D en matière de stockage de chaleur. Les synergies avec le programme de recherche sont ainsi facilitées.

Les projets P&D sont orientés principalement sur le stockage diffusif, avec pompe à chaleur et recharge estivale, pour des bâtiments d’une certaine taille (collège, université, industrie). Donc en bonne liaison avec le projet de recherche lancé en 1996 au Technikum Winterthur.

Compte tenu de la taille des objets qui nécessitent un cycle projet-décision-réalisation de plus de trois ans et de la difficulté observée de mise au point d’installations techniques qui paraissent pointues notamment pour ce qui est de la régulation, les résultats mesurés en P&D ne sont pas encore disponibles.

Le stockage en aquifère de Saillon (7 500 m³), projet solaire pilote, montre des résultats mitigés qui confirment la très grande difficulté du stockage en aquifère de petite taille et justifie le projet de recherche du GEOLEP visant à évaluer la faisabilité générale du concept.

Pour l’habitat individuel, trois projets pilotes sont visés, l’un de stockage solaire en fûts de récupération de 200 l (Les Brenêts), les deux autres en cuve centrale avec injection des excédents de chaleur dans le sol environnant (Soleri) ou le sous-sol de la maison (Renova).

Nous aimerions cependant voir plus de projets de stockage de chaleur dans les processus industriels, permettant de déboucher sur de nouveaux produits ou concepts industrialisables, et pouvoir co-financer, avec l’industrie suisse des cuves de stockage qui pour le moment n’est pas demandeuse, des projets novateurs.

La recherche de nouveaux matériaux stockeurs de chaleur pour les futurs véhicules solaires, ou pour le confort vestimentaire ou autres usages domestiques de ni-
che pour lancer une production nous semblerait égale-
ment indiquée. Le budget du programme de recherche
est cependant limité à court terme et nous nous con-
centrons sur le bâtiment.

Evaluation 1996

Différents projets ont été terminés positivement. La
definition de l'orientation 1996-1999 a été effectuée et
discutée avec la CORE en décembre 1996 [16]. L'im-
pulsion initiale du programme a été donnée.

Perspectives 1997

Les travaux seront centrés sur la recherche de stocks
diffusifs plus économiques à Winterthur et l'évaluation
du stockage en aquifère à l'EPFL via sans doute une
thèse de doctorat en géologie appliquée.

Liste des projets de recherche

[1] P. Jaboyedoff, SORANE: Solare Wärmespeicherung / Stockage saisonnier (IEA CHSPSS
Working group). • Mesures des pertes de chaleur de la cave de stockage de l'installation solaire de l'Off-
Fice Fédéral de la Statistique à Neuchâtel.
aus dem Betrieb. (RF)
tentwärmespeichern mit kugelförmigen Elementen. (RF)
Firma THALI in Hitzkirch. Messkampagne der EWS Speicher Anlage. (RA)
(RA)
von grösseren Überbauungen. (RA)
confinement avec des bouses de lavage de gravier. Phase II. (RF)

(RA) Rapport annuel 1996 disponible
(RF) Rapport final disponible

Références

[8] C. Hilgenberg, Ingenieurschule Burgdorf. Mittlere Temperatur in Behältern; (RF)
Department of Mathematical Physics, Lund University, Sweden, July 1996; under Swiss NSF grant
chaleur par sondes verticales; Note technique, Commune de Peseux, 7 février 1995
1996
sun'96 10 internationales Sonnenforum
[14] J.-C. Hadorn: Proposition d'idées pour assurer la qualité des installations avec sondes – Séminaire na-
nionale du programme de recherche "Géothermie", 14 novembre 1996, EWI, Zürich
l'OCEEN Genève, "Utilisation de la chaleur du sous-sol et application pour le chauffage ou le rafraîchisse-
ment des locaux", 21 novembre 1996, Genève
ENET
Liste des projets P&D


SIMS - Sekundärionen-Massenspektrometer des PSI

Das SIMS dient der oberflächenanalytischen Untersuchung von Materialproben. Es erlaubt sehr präzise, hochauflösende Information über die isotopische Zusammensetzung der Materialoberfläche zu erhalten. Das PSI verfügt über eines der wenigen abgeschirmten SIMS in der Welt, das erlaubt – mit Fernbedienung – radioaktive Proben zu analysieren.
Programmziele

Forschung auf dem Gebiet sicherer Kerntechnik in der Schweiz dient heute primär
- der ständigen Angleichung der Kompetenz an den internationalen Stand von Wissenschaft und Technik,
- 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 abzeichnender Anforderungen bis hin zur Nachhaltigkeit an zukünftige Kernanlagen, Brennstoffkonfigurationen und -zyklen und der Evaluation diesbezüglicher technischer Lösungen.

Schwerpunktmäßig findet diese Forschung im Bereich "Nukleare Energie, Sicherheit" (F4) des Paul Scherrer Instituts (PSI) statt. Die Beiträge der Hochschulen konzentrieren sich auf die Lehre, Diplomierende und Doktorierende führen allerdings ihre Forschungsarbeiten meist ebenfalls am PSI durch. Im Jahr 1996 wurden am PSI insgesamt ca. 190 Personen-Jahre (davon ca. 38 für Infrastruktur) und Sachmittel von ca. 5.1 Mio. Fr. in diese Forschung investiert. Etwa 45% der Saläre und Sachmittel wurden durch die Elektrizitätswirtschaft (UAK) und NAGRA, die HSK sowie den ehmaligen NEFF finanziert. Die HSK steuerte ca. 11.5% der Drittmittel bei; darauf geht der nachfolgende Jahresüberblick "Regulatorische Sicherheitsforschung der HSK" nochmals gesondert ein.

Arbeiten und Ergebnisse 1996

Die Forschungsarbeiten am PSI, die hier kurz dargestellt werden, gliedern sich in
- Sicherheit und sicherheitsbezogene Betriebsprobleme schweizerischer Kernkraftwerke,

FORSCHUNG ZU SCHWEREN UNFÄLLEN

Auf dem Gebiet der vom Unterausschuss Kernenergie der Elektrizitätswirtschaft (UAK) mitfinanzierten quellernbezogenen Studien liehen mehrere Aktivitäten parallel:
- Experimentelle Daten aus dem internationalen Projekt ACE wurden zur Validierung der Codes IMPAIR3 (Jodverhalten), WECHSL (Wechselwirkung Kern-Beton) und VANESA (Aerosolfreisetzung aus der Reaktion Beton-Corium) eingesetzt; die Validierung wurde abgeschlossen und die Resultate dokumentiert.
- Ein OECD-Workshop zur "Jodchemie in der Reaktorsicherheit" wurde am PSI organisiert, um Information auszutauschen, offene Fragen zu diskutieren und notwendige Entwicklungen zu besprechen. Etwa 70 Fachleute haben teilgenommen und 34 Arbeiten präsentiert. Schliesslich wurde empfohlen, das PSI in das bereits laufende EU-Projekt "Jodchemie" zu integrieren; entsprechende Verträge mit der EU und dem BBW wurden zwischenzeitlich unterschrieben.

Das Forschungsprojekt CORVIS [3] dient der Untersuchung eines potentiellen Versagens der unteren RDB-Kalotte unter Wirkung von geschmolzenem Corium während eines Kernschmelzunfalls. Bis Juni 1996 war CORVIS durch die HSK mitsponsort; seit 1996 trägt das PSI zusammen mit 5 EU-Partnern mit CORVIS zu einem EU-Projekt bei. Es wurden drei Schmelzexperi-
mente durchgeführt. Ein Test zur Beobachtung thermisch isolierender Oxydkrusten sowie ein Test mit oxidischer Schmelze am Modell einer SWR-Entwässerungsleitung und an DWR-Instrumentierungsrohren. Folgende Schlüsse können gezogen werden:


- Oxidische Schmelze in der unteren RDB-Kalotte gefährdet dagegen bei niedrigem Systemdruck die Integrität der Entwässerungsleitung wahrscheinlich nicht. Die Schmelze kann in die 40 mm breite Leitung mindestens so weit eindringen, wie kein Restwasser vorhanden ist. Sollte ein Leitungbruch doch stattfinden, so würde ein wesentlicher Anteil der Kernschmelze mit eher hoher Freisetzungsrate ausgetreten.

- Einmal gebildete oxidische Krusten verzögern durch thermische Isolierung das Schmelzen metallischer Strukturen wesentlich.

- Nur eine kleine Menge oxidischer Schmelze kann in die engen Instrumentierungsrohre eines DWR eindringen; ein Rohrbruch wegen der Schmelzepenetration allein ist daher unwahrscheinlich.


**KOMPONENTENSICHERHEIT**

Das Berichtsjahr markiert den Anfang eines neuen Forschungsprogrammes, das primär der Unterstützung des sicheren Betriebes der schweizerischen KKW durch eine verbesserte Voraussage der Restlebensdauer von Komponenten bzw. die Identifizierung, Charakterisierung und Voraussage von Alterungs- und Schadensmechanismen, wie Spannungsrissskorrosion, Materialversprödung (unter Neutronenstrahlung) und duktiler Bruch, dient [4]:

- Im von der HSK mitfinanzierten Projekt **Spannungsrissskorrosion** [5] wird das umgebungsbedingte unterkritische Risswachstum in ferritischen Stählen untersucht. Derzeit finden Experimente in Reinstwasser (Leitfähigkeit 0.25-0.60 μS/cm, O₂-Gehalt 0.30-0.55 ppm) unter hohem Systemdruck (bis 9 Mpa) und bei 288°C statt. Die Messdaten sollen die Basis für eine rechnerische Lebensvoraussage unter betriebsnahen Bedingungen bilden.


- Im Auftrag von BERNEX wurden die Untersuchungen zum Thema der thermisch bedingten Rissbildung in Rohrleitungen weitergeführt. Mit Hilfe von Thermographie-Temperaturmessungen konnten die Annahmen über die Wärmeübergänge verbessert und damit das Rechenprogramm verfeinert werden. Dies ergibt eine gute Basis für das Verständnis und die Beherrschung dieses Wärmebehandlungsprozesses.


Die von den Kernkraftwerken und dem UAK mitfinanzierte Arbeit im Rahmen des Projektes **EDEN** [6] (Entwicklung, Demonstration und Evaluation von Nachbestrahlungsuntersuchungen) befasste sich mit folgenden Themen:

- Im Rahmen der NFIR-Gruppe (Nuclear Fuel Industry Research) hat das PSI an einem Round-Robin-Test zur Messung der Ausscheidungen in Zircaloy-4 teilgenommen, um die grössten bestimmenden Variablen zu untersuchen und die Messvorgänge zwecks Erhöhung der statistischen Ergebnisgenauigkeit zu optimieren. Resultate aus 14 Labors zeigten einen grossen Einfluss der Analysetechnik (SEM vs. TEM). Für TEM-Analysen war der Variationskoeffizient des Mittelwertes ca. 25 %. Resultate des PSI stimmen mit jenen der anderen Laboratorien gut überein. Ferner wurde eine TEM-Präparationstechnik für unbestrahlte Metall-Oxid-Proben
entwickelt, womit man hochauflösende Bilder der Schnitstelle Metall-Oxyd aufnehmen und Details der kristallographischen Korrelation zwischen den zwei Phasen zeigen konnte.

Der Einfluss von Bestrahlung und Temperatur auf die intermetallische Ausscheidungen in Zircaloy wurde für drei Legierungstypen mit unterschiedlichen Ausscheidungsgürosen analysiert. Für alle drei hat die Bestrahlung (Fluenz 8 - 11,4×10^{20} n/m²) die Form der Größenverteilungskurven nicht wesentlich beeinflusst. Die Abnahme der numerischen Dichte der Partikel (um ca. einen Faktor 8 bei ca. 650K bzw. um ca. 2,5 bei 600K) deutet jedoch in beiden Fällen auf eine Auflösung der Ausscheidungen hin. Die Verteilungsänderung unter Bestrahlung könnte mit einer konstanten Abnahme des Durchmessers der Ausscheidungen (unabhängig ihrer Grösse) erklärt werden. Um den Einfluss der Größevertei- lung auf den Korrosionsvorgang in einer Zircaloy-Modelllegierung zu untersuchen, wurde eine Doktorarbeit in Angriff genommen.

In der Phase III des NFIR-Projektes wird für Hochabbrand-Brennstäbe die Korrelation zwischen H₂-Gehalt und mechanischem Verhalten unter Zugs- und Berstbedingungen berechnet. In einer ersten Testserie mit hydrierten unbestrahlten Proben wurde den Einfluss von Wasserstoffgehalt und Temperatur auf das Zugverhalten nachgewiesen. Während bei Raumtemperatur und ab einem gewissen H₂-Gehalt die einheitliche Dehnung des Rohres scharf abfällt, stellt man bei 300°C und bis zum doppelten H₂-Gehalt nur eine langsame Abnahme fest:

- Strahlungsinduzierte Änderungen in B₃C-basierenden Materialien mit unterschiedlichem Her- stellungsprozess, Borgerhalt und Hüllmaterial wur- den hinsichtlich Gasfreisetzung, Schwellung und Li-Reaktion mit Feuchtigkeit untersucht. Cermets und stahluñnahme Proben zeigten das beste Verhalten; bei Alumöhlünnen Proben fanden schwere metallurgi- sche Reaktionen wegen des niedrigschmelzenden Eutektiks Al-Li statt.


**COMPUTERUNTERSTÜTZTE TRANSIENTEN-ANALYSEN (STARS)**


Im Rahmen der sog. On Call-Analysen wurden drei Studien mit folgenden Ergebnissen durchgeführt:

- Die Analyse des Anlagenverhaltens während einer MSIV-ATWS für das KKL fokussierte auf dem Vergleich enddimensionaler und punktakinetischer Kerndarstellung. Sie zeigte, dass für diesen Typ von SWR-Transienten eine punktkinetische Analyse nicht konservativ ist.

- Eine kritische Überprüfung der Herstellercodes, die für die Sicherheitsanalyse des KKG verwendet wur- den, mündete in eine Expertise über die Zulänglich- keit solcher Codes für Sicherheitsanalysen.


Des weiteren hat man stärker forschungsorientierte Arbeiten durchgeführt:

- Der Beitrag thermischer Neutronen zur Brennstoff- temperatur-Reaktivitätsrückkopplung wurde in Funktion des Abbrandes untersucht. Es zeigte sich, dass dessen Vernachlässigung (eine übliche Vereinfachung in vielen heutigen Kerndynamik-Codes) zu einer optimistischen Abschätzung dieses Effektes und damit sicherheitsrelevanter Brennstoffparameter (z.B. Temperatur, Spitzentemperatur) führt.

- Die Anwendbarkeit der Cheval-Cellouche-Korrelation, die die Basis für die meisten in RETRAN-3D verfügbaren Voidmodellen bildet, wurde mittels experimenteller Messresultate aus ver- schiedenen Quellen, die in den Validierungsprozess von RETRAN-3D bisher nicht eingesetzt waren, überprüft. Die Studie zeigte, dass die Cheval-Cellouche-Korrelation im allgemeinen gute Voidvoraussagen liefert.
LWR - KONTAMINATIONSKONTROLLE [8]

Im Rahmen des Projektes LWR-Kontamination erlaubt der erneuerte Vertrag mit der HSK die Forschung auf dem Gebiet des Aktivitätstransportes im Reaktorwasser von SWR fortzusetzen. Korrosionssstudien im Hochtemperaturloop zeigten, dass der Oxydaufbau auf rostfreien Stählen im Bereich zwischen 1 und 9 m/s stark von der Wassergeschwindigkeit abhängt. Die Arbeiten zur Voroxidation von rostfreien Stählen haben zum Ziel, die Aktivitätsaufnahme zu minimieren.

ENTSORGUNG RADIOAKTIVER ABFÄLLE [9]


LÖSICHKEITSGRENZEN FÜR DIE AUFLösUNG VON ABGEBRANNTEM BRENNSTOFF UND ZEMENTIERTEN LANGELEBIGEN MITTELAKTIVEN ABFÄLLEN WURDEN AUF DER BASIS VON CHEMISCHER Gleichgewichtsthermodynamik berechnet. DA Für viele Elemente die Anwendbarkeit dieses Ansatzes zweifelhaft ist, hat man angefangen, Mithilfe empirisch zu modellieren. Eine starke Korrelation wurde zwischen den Verteilungskonstanten von Spurenelementen in Kalzit und der Löslichkeit ihrer Karbonatsalze gezeigt.


Anlage wurden im Rahmen eines QA-Programmes analysiert und dokumentiert; zudem hat das PSI ein Audit der amerikanischen Sicherheitsbehörde erfolgreich bestanden. Die Tests wiesen ein gutes Gesamterhalten solcher neuartiger Systeme ("Robustheit") nach; sie konnten ihre Funktion unter allen untersuchten Bedingungen erfüllen. Ebenfalls abgeschlossen
wurden die Nachrechnungen mit dem Code TRACG und die QA-Arbeiten zur Codevalidierung.

Anfang 1996 trat ALPHAA in seine zweite Phase. Diese besteht aus drei Teilprojekten, die im 4. EU-Rahmenprogramm integriert sind. Verschiedene passive Containmentkühltechniken innovativer LWR-Konzepte werden in den als einzigartig erachteten Testanlagen PANDA und LINX experimentell untersucht:

- Im Projekt "European BWR R&D Cluster for Innovative Passive Safety Systems" führt das PSI stationäre und transiente Tests zur Untersuchung des Verhaltens passiver NWA-Systeme mit verschiedenen Kondensatortypen durch (PANDA).
- Im Projekt "Innovative Containment Cooling for Double Concrete Containment (INCON)" baut und modelliert das PSI einen Gebäudekondensator im Rahmen des Machbarkeitsnachweises einer Alternative zum einfachen metallischen Containment für den Reaktor AP600.

Die Arbeiten zu diesen Projekten konzentrierten sich auf die erforderlichen Anlagenmodifikationen und die Definition der Testmatrizen; hinzu kamen aufwendige Berechnungen des Systemverhaltens (mit RELAP5) und spezieller Phänomene (mit GOTHIC und FLOW3D).

**PROTEUS [11]**


**SICHERHEIT SCHNELLER REAKTOREN [12]**


**FORTGESCHRITTENE BRENNSTOFFZYKLEN [13]**

Reaktorphysikalische und materialtechnische F&E-Arbeiten im Rahmen des vom UAK unterstützten Projektes Fortgeschrittene Brennstoffzyklen sprechen zwei breite Themen an: (a) erhöhte Plutoniumnutzung in LWRs, und (b) Plutoniumverbrennung und Transmutation höherer Actiniden in fortgeschrittenen Systemen.

Reaktorphysikalische Studien zielen im ersten Fall primär auf die Entwicklung eines uranfreien Pu-Brennstoffes für LWR. Man hat betriebliche und sicherheitsbezogene Merkmale von DWR-Kernen mit konventionellen Brennstoffladungen und solchen mit einem Pu-Oxydbrennstoff in einer iterierten Matrix verglichen, wobei neben Reaktor- auch Waffen-Pu be-
trachtet wurde. Die Resultate bestätigen zwar die in uranfreien Kernen erreichbaren, gegenüber 100 % MOX-Beladungen viel höheren Pu-Verbrauchsrationen, zeigen aber Bedarf für detaillierte Transientenanalysen, um die Sicherheit solcher Kerne verlässlicher beurtei-
len zu können. Parallel dazu wurden Arbeiten zur Da-
ten- und Methodenvalidierung lanciert. Diese umfassen die Teilnahme an zwei internationalen Benchmarks sowie eine Reihe von Reaktivitätsmessungen an der CROCUS-Anlage der EPFL, mit dem Ziel, Wirkungs-
querschnittssätze für verschiedene abbrennbare Gifte zu 

validieren.

Auf der materialtechnischen Seite bestätigten Deta-
luntersuchungen an Hochabbrand-MOX das erwartete gute Verhalten von Brennstoff und Brennstoffstäben. Insbesondere hat man im beinahe unrestrukturierten Brennstoff niedrige Hüllrohr-Korrosionsraten und Spaltgasfreisetzung festgestellt. Die genaue Bestim-
mung der Aktiniden und ausgewählter Spaltprodukte sowie deren radiale Verteilung sind im Gange. Ähli-
che Studien für zwei MOX-Brennstofftypen, die in ei-
 nem SWR drei unterschiedliche Abbrandniveaus erfahren haben, wurden abgeschlossen und dokumentiert. Der Stand der Arbeit zu den inerten Matrizen zur Ver-
hemmung von Pu in LWR wurde an einem PSI-
Workshop mit Experten aus Europa, Japan und USA 

besprochen. Man hat Multikomponent-Keramiken (Zr-
Y-Öxid, mit Ce als Ersatzmaterial für Pu) herge-
stellte und erste Messungen der Wärmeleitfähigkeit an 

einem präparierten Pellet vorgenommen. Die TEM-
Untersuchungen im JAERI und ANL von strahlungsindu-
zierten mikrostrukturellen Änderungen in kleinen 

Proben bestätigten die erwartete sehr gute Stabilität der 
zirkonbasierten Matrix.

Aktivitäten zu fortgeschrittenen Systemen, meist in 
Kollaboration mit dem CEA, bezogen sich auf Pu-
verbrennende schnelle Reaktoren und beschleunigerge-
triebene (hybride) Konzepte zur Aktindentransmutation. 
Einerseits hat man deterministische und Monte-
Carlo-Rechnungen für Referenzkonfigurationen stabil-
reflektierter schneller Kerne aus den CIRANO-
Experimenen des CEA durchgeführt, um das Europäi-
sche Codesystem ECCO/ERANOS numerisch zu vali-
dieren. Zur Aktindentransmutation andererseits liefen 
die ATHENA-Experimente sowie Systemstudien zur 
Entwicklung geeigneter Beurteilungskriterien für Hy-
bridsysteme. Letztere umfassten die detaillierte Unter-
suchung "superthermischer" und schneller Systeme mit 
Schmelzsalzen, wie von LANL bzw. JAERI vorge-

schlagen.

Die Machbarkeit der MOX-Fabrikation bei hohem Pu-
Gehalt mit einem vereinfachten Verfahren (reduzierte 
Anzahl der Prozessschritte) und das Bestrahlungs-
halten dieses Brennstofftyps in einem schnellen Ne-
tronenspektro ist Gegenstand vertraglich vereinbar-
ter Untersuchungen des PSI für PNC. Diese Forschung 

ist Teil der langfristigen Japanischen Strategie zur De-

finition eines vereinfachten und kostengünstigen 

Wiederaufarbeitungs- und -fabrikationschemas für 

Brennstoff mit Actiniden (Pu, Np und eventuell Am). 

Die ersten Schritte am PSI zu dieser vielversprech-
enden Arbeit waren die Strukturierung der Experimente 

und des Arbeitsumfangs sowie die Reaktivierung von 

Geräten und Rechencodes.

GANZHEITLICHE BETRACHTUNG VON ENERGIESYSTEMEN (GABE)

Für GaBE [14] leisten auch der Bereich "Allg. Ener-
gieforschung" des PSI (F5) sowie Gruppen der ETHZ 

Beiträge.

Mit der Methode der Lebenszyklusanalyse (LCA) wur-
den bei finanzieller Unterstützung des BEW neue, auf-
datierte und erweiterte Ökoinventare für derzeit genutz-
te Energiesysteme erzeugt. Frühere Vergleiche strom-
erzeugender Systeme wurden erweitert und umfassen nun auch Windenergie. In Beantwortung einer Frage des BUWAL wurden Treibhausgas-Emissionen aus den 

vollständigen Energieketten von ol- und gasgefeuerten 

Heizungssystemen verglichen; dabei hat sich die Sensi-
tivität gegenüber angenommenen Methanleckagen als 

dominierend ergeben.

Basierend auf der bestehenden Datenbasis des PSI und, 
soweit erforderlich, auf Resultaten probabilistischer 

Sicherheitsanalysen wurden vergleichende Evaluationen 

des Risikos schwerer Unfälle durchgeführt. Der 

im Vergleich zu anderen verfügbaren Datenbasen 
nachweislich höhere Deckungsgrad der PSI-Datenbasis 

ist für die Vollständigkeit dieser Analysen von grosser 

Bedeutung. Die Vergleiche beziehen sich primär auf 

die technischen Risiken jedes Energiesystems. Daneben 

wurden auch sozio-politische Aspekte, wie verzögerte 

Auswirkungen, das Potential für eine hohe Anzahl Be-

troffener, andere Kategorien von Unfallauswirkungen 
nach Todesfällen und die Bewertungssicherheit 

beleuchtet. Die Arbeit wurde vom BEW unterstützt.

Schliesslich sei noch auf die im Auftrag des BEW ent-
standene Studie über "Fortgeschrittene nukleare Syste-
me im Vergleich" hingewiesen, die verschiedene Reaktor-
- und Brennstoffzusammenkonzepete der nächsten und 

übernächsten Generation, einschliesslich des "Energy 

Amplifiers" von C. Rubbia, unter Einbezug verschiede-
nner Kriterien analysiert und schliesslich in einer Matrix 
zum bewerten versucht.
Internationale Zusammenarbeit

- **CORVIS**: Task-Force mit 20 Institutionen aus 10 Ländern, 4. EU-Rahmenprogramm (→EU).
- **Aerosol-Rückhaltung, POSEIDON**: EPRI (USA), Framatome (F), AEA Technology (UK), GRS (D), EU.
- **Komponentensicherheit**: FZK (D), Siemens/KWU (D), IAEA, MPA Stuttgart (D), VTT (FIN), EU.
- **EDEN, Materialien des inneren Kernbereichs**: ABB (S), EPRI/NFIR (USA), COGEMA (F), CEA (F).
- **Entsorgung radioaktiver Abfälle**: FZK (D), CEA (F), PNC (JPN), EU.
- **PROTEUS-Experimente**: (a) HTR: IAEA-CRP; (b) LWR: ABB (S).
- **ALPHA**: GE (USA), Siemens /KWU (D), KEMA (NL), IEE (MEX), ENEL (I), EU.
- **Fortg. Brennstoffzyklen**: CEA (F), PNC (JPN), OECD-Halden (N), Brennstoffprogramme (FIGARO, ARIANE).
- **GaBE**: IAEA-Programm, OECD/NEA-Programm, COGEMA (F)

Perspektiven für 1997


Publikationen

Im Rahmen der beschriebenen Projekte wurden 1996 rund 100 Arbeiten in Fachzeitschriften und Tagungsbändern publiziert; hinzu kommen ca. 75 Arbeiten zu Kolloquien und Seminaren. Diese sind im PSI Jahresbericht-Forschungsbereich F4 aufgeführt.

Liste der Projekte

Alle nachfolgend aufgeführten Programm- und Projektleiter gehören zum PSI.

[1] S. Güntay, POSEIDON-II - Experiment
[2] P. Hosemann, Quelltermanalysen
[7] M. Zimmermann, STARS
[8] E. Schenker, Kontamination LWR
Wärmeschock-Prüfung

Das Verhalten von Rissen im Reaktor-Druckbehälter unter schockartiger Abkühlung wird im Rahmen des Forschungsprogrammes Network for Evaluating Steel Components untersucht.
Einleitung

Um den Auftrag der Aufsichtsbehörde HSK, die Sicherheit der schweizerischen Kernanlagen nach dem aktuellen Stand der Wissenschaft und Technik auszurichten bzw. erfüllen zu können, unterstützt und fördert die HSK verschiedene Vorhaben auf wichtigen und aktuellen Gebieten der regulatorischen Sicherheitsforschung.

Im folgenden werden die Vorhaben aus der Sicht des Programmleiters schwerpunktmässig kommentiert.

Forschungsvorhaben am PSI und an den Hochschulen

LWR-KONTAMINATIONSKONTROLLE [1]

Der Ende 1995 ausgelaufene Forschungsvertrag wurde mit modifizierten Forschungszielen Mitte 1996 erneuert. Gemäss den Zielsetzungen für das vergangene Forschungsjaehr wurden gleichzeitig verschiedene Teilprojekte bearbeitet:


- Mitarbeit in internationalen Forschungsprojekten: VGB Deutschland und WACOL-IAEA, insbesondere aber auch Kontakte mit JAERI Japan und VTT Finnland. Das internationale Interesse an den Forschungsarbeiten zeigt, dass die Projektziele einem aktuellen Bedürfnis entsprechen.


SPANNUNGSRISSKORROSION VON STÄHLEN FÜR REAKTOR-KOMPONENTEN [2]

Das Forschungsprojekt hat zum Ziel, das Langzeitverhalten von druckbelasteten Reaktorkomponenten bezüglich Spannungsrißkorrosion unter Reaktorbedingungen zu untersuchen. Das Projekt wurde im vergangenen Forschungsjahr reorganisiert und erweitert. Folgende Tätigkeiten standen im Vordergrund:

- Umrüst- und Verbesserungsmaßnahmen an den Heisswasserkreisläufen, der Probenherstellung und Einführung verfeinerter Messtechniken

- Durchführung einer internationalen Vergleichsstudie (Round Robin Experimente) neben dem Basismessprogramm

- Aufbau eines hinlänglichen Qualitätssicherungs-Programmes für das experimentelle Vorgehen und die Ergebnisauswertung.

- Modellierung des Spannungsrißwachstums unter Einbezug Finite-Elemente-Methoden


IRRADIATION INDUCED STRESS CORROSION CRACKING [3]

In diesem Vorprojekt soll der aktuelle Kenntnisstand auf dem Gebiet der strahleninduzierten Spannungsrisskorrosion weltweit abgeklärt und offene Fragen im Hinblick auf die Bedürfnisse der schweizerischen Kernkraftwerke formuliert werden. Das Phänomen der strahleninduzierten Spannungsrisskorrosion im Reaktorkernbereich ist insbesondere beim KKW Mühleberg ein aktuelles Thema.

Im vergangenen Forschungsjahr wurde eine intensive Literaturstudie mit Bewertung innerhalb einer Exper-

tengruppe durchgeführt. Ein Fragenkatalog ist erarbei-
tet worden. Gleichzeitig sind auch Kontakte zu ver-
schiedenen internationalen Forschungsprogrammen mit
ähnlichen Zielsetzungen geknüpft worden.

Nach Abschluss des Vorprojektes soll geprüft werden, ob eine neue Forschungstätigkeit auf dem Gebiet der strahleninduzierten Spannungsrisskorrosion aufge-

nommen werden soll.

SIMULATIONSMODELLE ZUR TRANSIENTENANALYSE IN DER SCHWEIZ (STARS II) [4]

Im Projekt STARS (Phase II) werden für alle schwei-
zerischen Kernkraftwerke Eingabedatensätze für Simu-
lationsmodelle bereitgestellt, um jederzeit anlagenspezi-
fische Störfallanalysen durchführen zu können.

Im Berichtsjahr sind für die Kernkraftwerke Gösgen, Leibstadt und Bezau die Modelle verbessert und ver-
schiedene Analysen und Validierungen von Teilmodell-
en durchgeführt worden.

Hervorzuheben sind auch die zusätzlich ausgeführten On-Call-Analysen, die es der HSK erlauben, dringende sicherheitstechnische Abklärungen vorzunehmen. Fol-
gende On-Call-Analysen sind abgeschlossen worden:

- Untersuchungen zum Anlageverhalten bei einem
  ATWS-Störfall im KKW Leibstadt

EXPERIMENTE ZUM RDB-VERSAGENSMODUS BEIM KERNSCHMELZEN: CORVIS [5]

Das Projekt CORVIS untersucht das Durchschmelzen des Druckbehälters von Leichtwasserreaktoren während eines schweren Kernschmelzunfalls. Dazu wurden grostechnische Experimente an Druckbehältermodell-
en mit einer Eisen- und Aluminiumoxid-Schmelze als Substitut für die Kernschmelze durchgeführt. Diese

Experimente sollten vor allem zur Verbesserung und Validierung von Berechnungsmodellen dienen. Der

Versuchsstand wurde in den ersten Monaten des ver-
gangenen Forschungsjahres umgerüstet und danach

wurden 3 Versuche vorgenommen:

- Versuch 1: Test für die Beheizung der Oxidschmelze
- Versuch 2: Wiederholung des Versuches mit einer
  Drainageleitung im Reaktorbehälter mit reiner Oxid-
  schmelze anstatt metallischer Schmelze (analogg Sie-
  dewasser-Reaktorgeometrie).

RADIOÖKOLOGIE [6]

Der Mitte Jahr abgeschlossene Forschungsvertrag wurde
um eine weitere Periode von 3 Jahren verlängert. In der

vergangenen Berichtsperiode standen folgende Aktivi-

täten im Vordergrund.

- Die Arbeiten im Rahmen des EU-Projektes
  SEMINAT (Langzeit-Dynamik von Radionukliden
de halbnatürlicher Umgebung) wurden mit Feldver-

suchen bei der Eidgen. Forschungsanstalt für Wald,
  Schnee und Landschaft gestartet. Gleichzeitig wird

in Form einer Dissertation die Wechselwirkung des

Systems Bodenmineralien-Pflanze (Pilz) untersucht.

- In einer Arbeitsgruppe wurde die Anpassung der
  Datenbank des in der NAZ eingesetzten Berech-
  nungsmodells CHECOSYS an andere, in der
  Schweiz verwendeten Daten in Angriff genommen.

- Die Messungen von Chernobyl-Bodenproben wurde
  vervollständigt und mit Vergleichsmessungen der
  russischen Projektpartner verglichen. Die Auswer-
  tung und Interpretation ist in Bearbeitung.
- Die bisher gewonnenen Resultate aus Laborversuchen betreffend Blattaufnahme und Translokation von Radionukliden im Winterweizen wurden an einer Tagung vorgestellt. Die Arbeiten konnten 1996 man- 
gels eines geeigneten Praktikanten nicht fortgesetzt werden. 
Für die HSK ist es wichtig, dass sie sich in der Schweiz 
auf eine Fachstelle auf dem wichtigen Gebiet der Radionuk- lologie abstützen kann.

**RADIOANALYTIK** [7]

Im vergangenen Forschungsjahr konnten mehrere Vor- haben bearbeitet und zum Teil abgeschlossen werden. Die Tätigkeiten konzentrierten sich vor allem auf:
- Isotopen-Bestimmungen von Uran und Thorium im Fels und im Sedimentgestein
- Entwicklung einer Analysemethode zur Bestimmung von Plutonium und Americium in der Nahrung (und Kot)

**WINDBANK UNTERES AARETAL** [8]

Das Projekt wurde vertragsgemäss Mitte des Berichts- jahres abgeschlossen. In diesem Vorhaben wurden die lokalen Windverhältnisse im Raum der KKW's Leibstadt und Beznau sowie des PSI gemessen.

Alle vorliegenden Messdaten konnten eindeutig zu 13 charakteristischen Windlagen zusammengefasst wer- den, wofür 3-dimensionale Windfelder erstellt wurden.

**ZUSAMMENARBEIT HSK-PSI IN DER DOSIMETRIE** [9]

Die Personen-Dosimetrie durch äussere und innere Bestrahlung ist eine wichtige Aufgabe des Strahlenschutzes. Durch die Verschärfung der Strahlenschutz- verordnung im Hinblick auf Dosisgrenzwerte sind die Anforderungen an die Strahlenhygiene erhöht worden.

Im vergangenen Projektjahr sind mehrere Teilprojekte bearbeitet und teilweise auch abgeschlossen worden. Die Schwerpunkte konzentrierten sich auf folgende Tätigkeiten:
- Evaluation von Geräten zur Personenkontaminationsmessung nach Nuklearunfällen.
- Test elektronischer Dosimeter.

**MOLEKULARBIOLOGISCHE UNTERSUCHUNGEN ZUR ZELLLUAREN RADIOSENSITIVITÄT** [10]


Die HSK sieht bei diesen Arbeiten ein großes Poten-
tial, der Frage der biologischen Wirkung kleiner Dosen
nachzugehen und einen molekularbiologischer Beitrag
zur Beantwortung geben zu können.

REVENT [11]

Bei einer kontrollierten Druckentlastung des Sicher-
heitsbehälters während eines schweren Kernschmelzun-
falles stellt sich die Frage, inwieweit radioaktive Stoffe
aus dem Sumpf in die Unfallatmosphäre freigesetzt
werden und welcher Anteil davon in das Filtersystem
gelangt und dort zurückgehalten wird. An einer Pilot-
anlage sind dazu realistische Versuche mit löslichen
und unlöslichen Modellsubstanzen durchgeführt wor-
den. Zugleich wurden Modelle entwickelt, die ein scali-
ning up (Übertragung) auf KKW-Dimensionen ermög-
lichen.

VERHALTEN VON RADIONUKLIDEN AUS KERNKRAFTWERKEN IN AARE UND RHEIN [12]

In einer ersten Phase konnte gezeigt werden, dass etwa
60% des vom KKW Mühlberg und 10% des vom
KKW Beznau abgegebenen Co-60 in Aare und Rhein
bis zur Schweizer Grenze zur Sedimentation gelangen.

Um diesen Transfer besser zu verstehen wurden in ei-
ner weiteren Forschungsphase folgende Schwerpunkte
bearbeitet:
- Wasser- und Sedimentdynamik im Bielersee wäh-
rend eines Jahres
- Ermittlung von Transfer- und Depositionsfaktoren
  mit zusätzlichem Färbeversuch und Modellrechnun-
  gen im Bielersee

- Stichproben-Kampagne unterhalb aller KKW's

Konkrete Ergebnisse werden erst 1998 vorliegen. Sie
werden für die Optimierungen der Flusswasser-
Überwachungsprogramme direkt umgesetzt. Zugleich
dienen die Ergebnisse auch als Basis für ra-
dioökologische Betrachtungen. Neben der Vervoll-
ständigung und Vertiefung der bereits gewonnenen
Erkenntnisse ist eine gemeinsame Feldaktion mit EdF
unterhalb eines französischen Kernkraftwerkes geplant.
Dies ermöglicht insbesondere den Vergleich der in den
beiden Ländern angewandten Techniken und Erfah-
rungen.

DOSIS-WIRKUNGS-BEZIEHUNG BEI STRAHLENSCHÄDEN [13]

In diesem 1996 abgeschlossenen Forschungsprojekt
standen vor allem die Frage nach der Wirkung von
kleinen Strahlendosen im Vordergrund. Die heute vor-
herrschende lineare Extrapolation des Strahlenrisikos
in den Bereich kleiner Dosen (Krebsrisiko) sollte mitt-
els Literaturrecherchen und Tagungs-Auswertungen
besser abgeklärt werden.

Dieses Thema wird nach wie vor sehr kontrovers be-
handelt. Einige namhafte Autoren stellen die lineare
Extrapolation ernsthaft in Frage. Es wird die Meinung
vertreten, dass das lineare Modell wissenschaftlich
nicht gestützt werden kann und darauf basierende Ris-
koabschätzungen zu ungläubwürdigen Werten führen.
Betrachtet man die möglichen Auswirkungen von Ka-
tastrophie, z.B. diejenigen vom Reaktorfall in
Tschernobyl, so können verschiedene Risikomodelle
sehr grosse ökonomische und sozialpolitische Auswir-
kungen haben. Die HSK hat daher im Rahmen der
Notfallschutzplanung ein großes Interesse an der Klä-
rung dieser Fragen.

Weitere Themen, denen im Rahmen des Vertrages
nachgegangen wurde, waren die adaptive Antwort ge-
genüber Strahlung von Zellen und Organismen sowie
die durch den Zerfall von Radon entstehende Strahlen-
dosis und ihre Beeinflussung durch magnetische Fel-
der.

Die Auseinandersetzung mit diesen Fragen fanden zum
Teil im Rahmen der Expertengruppe Dosis-Wirkung
der Eidg. Kommission für Strahlenschutz (EKS) statt.

UNTERSUCHUNG DER KREBSSTERBLICHKEIT IN DER UMGEBUNGEN DER SCHWEIZER
KERNANLAGEN [14]

Es gibt ausländische Kernanlagen, in denen Nahumge-
bung vermehrt Leukämieerkrankungen bei jugendli-
chen Personen festgestellt worden sind. Es handelt sich
dabei aber nicht um einen generellen Befund, sondern
um sogenannte "Cluster", und die Frage nach ihrer
Ursache ist noch nicht beantwortet.

Das Kantonal-Zürcherische Krebsregister untersucht
im Auftrag der HSK die Krebssterblichkeit jugend-
lcher Personen im Nahbereich der Schweizer Kernanla-
gen. Diese Arbeit hat keine erhöhten Fallzahlen in den
umgebenden Gemeinden aufgezeigt. Eine detaillierte
Studie im unteren Aaretal mit seinen drei Kernanlagen
ergab weniger Krebs- und Leukämiedesfälle bei ju-
gendlichen Personen, als gemäss Schweizer Statistik zu
erwarten wären. Analog Studien sollen auch an den
übriigen Standorten erfolgen

Zudem beteiligt sich die HSK auch an Untersuchungen,
welche Auskunft über die Aussagekraft der gewählten

119
statistischen Analyse erlauben. Wichtig ist dabei, dass eine gute Methode entwickelt wird, die zur Erkennung von Häufungen von Sterbefällen auch bei kleinen Todesfallzahlen verwendet werden kann.

**FORSCHUNGSARBEITEN AUF DEM GEBIET DES SCHNELLEN BRUTREAKTORS [15]**

Das Forschungsprojekt hatte die Zielsetzung, das Verständnis für die verschiedenen Sicherheitsprobleme des französischen Kernkraftwerkes Superphenix zu vertiefen. Die in der Schweiz ausgeführten Arbeiten wurden mit anderen europäischen Partnern abgestimmt und stützen sich auf die Einsicht in die französischen Sicherheitsbegutachtungen. Im vergangenen Forschungsjahr wurden folgende 2 Teilbereiche bearbeitet:

- Reaktorphysikalische Studien zu fortperschrittenen Brennstoffzyklen und Validierungsergebnisse für das Code-System ECCO-ERANOS
- Experimentelle Untersuchungen von thermisch stratifizierten Mischschichten mit Wasser und flüssigem Natrium. Der geplante Natriumkreislauf konnte im Betrieb genommen und sein Verhalten getestet werden.

Im Rahmen der thermodynamischen Arbeiten wurde auch eine Dissertation über numerische Simulationen von Mischschichten abgeschlossen.


**Einzelprojekte bei in- und ausländischen Ingenieur-Unternehmungen**

**SEISMIC CAPACITY OF SHEAR WALLS IN NUCLEAR POWER PLANTS [16]**

Die Schweiz beteiligt sich am OECD Forschungsprojekt zur Validierung der Berechnungen von Erdbeben- und Schubwänden in Kernkraftwerken. Die in Japan durchgeführten Schütteltorsversuche an Modellwänden bieten dazu die Grunddaten.

Die im Berichtsjahr erfolgten Vergleichsrechnungen mit verschiedenen Verfahren zeigten, dass mit den Bemessungsnormen und der bisherigen Praxis ein eher konservativer Tragwiderstand resultiert.

Mit verfeinerten Annahmen und einer dynamischen Berechnungsmethode ist eine zuverlässige und praxisnahe Berechnung möglich. Für Bemessungszwecke wären jedoch angemessene Sicherheitsfaktoren festzulegen.

**SIMULATION UND ANALYSE EINES DRUCKBELASTETEN THERMOSCHOCKS: NESC1-PROJEKT [17]**


Im vergangenen Forschungsjahr wurde die Methode für die bruchmechanische Berechnung erarbeitet und in einem Bericht festgelegt. Schwierigkeiten bei der Versuchsordnung verzögerten die Experimente, sodass die weiteren Berechnungen erst Ende 1996 wieder aufgenommen werden konnten.

**PISC III OECD-FORSCHUNGSPROGRAMM [18]**

Das Ziel dieses Forschungsprojektes war vor allem die Ermittlung des derzeitigen Standes der Prüftechnik bei der Ultraschallprüfung von Mischverbindungen und Schweissnähten in austenitischen Werkstoffen in Form eines internationalen Ringversuches.

Sulzer Innotec beteiligte sich an den Ringversuchen, die an Referenzwerkstücken ausgeführt wurden und konnte zeigen, dass die von ihr eingesetzte Messtechnik dem heutigen Stand der Technik entspricht, insbesondere eignet sich ihr Verfahren für austenitischen Guss. Die gewonnen Erfahrungen werden im Bereich Wiederholungsprüfungen in Schweizer KKW's umgehend in die Praxis umgesetzt.

Das Projekt wurde Ende 1996 abgeschlossen, die Schlussberichte sind z.T. noch in Bearbeitung.
Beteiligung an internationalen Forschungsprojekten

OECO HALDEN REACTOR PROJECT [19]

Die Schweiz ist Mitglied des OECD Halden Projektes, wobei innerhalb der Schweiz eine Interessengruppe mit der HSK, dem PSI und den KKW-Betreibern gebildet wurde.

Das Halden Projekt ist in die 2 Fachbereiche: Brennstoff und Werkstoffe +M sowie Mensch-Maschinen-Wechselwirkung (MMI) gegliedert.


Im Fachbereich F+M interessiert vor allem, mögliche Schadensmechanismen von nuklearen Brennstäben bei hohem Abbrand aufzuklären um so die Einsatzdauer der Brennelemente zu verlängern.

Im Fachbereich MMI können die Ergebnisse als Grundlage für die Nachrüstung der Leittechnik (Prozessleit-Software, Kommandoraum-Installationen, Operator-Hilfsmittel) in bestehenden KKW's eingesetzt werden.

Es ist vorgesehen, dass sich die Schweiz auch in der neuen Forschungsperiode 1997-1999 am Halden Projekt beteiligt. Während der Konzeptphase für die neuen Projekte konnte die Schweizer Interessengruppe ihren Standpunkt einbringen und die Forschungsschwerpunkte mitgestalten.

MELT-STRUCTURE-WATER INTRATIONS DURING SEVERE ACCIDENTS IN LWR'S [20]

Die Forschungstätigkeiten am Royal Institute of Technology, Stockholm werden in 3 Vorhaben aufgeteilt:
- Modellierung der thermischen Belastung des Reaktorbehälters während einer Kernschmelze
- Ausfluss einer Schmelze aus einer Öffnung und Ablation
- Wechselwirkung zwischen heisser Schmelze und Wasser


Dieses internationale Forschungsprojekt ist teilweise eine Ergänzung des abgeschlossenen Projektes CORVIS und soll das Verständnis über den Vorgangesmodus beim Durchschmelzen des Reaktordruckbehälters und die daraus entstehenden Folgen vertiefen.

INTERNATIONAL COOPERATIVE SEVERE ACCIDENT RESEARCH PROGRAM (CSARP) [21]


Das Pilotexperiment REVENT an der ETH Zürich wurde im CSARP als Schweizer Forschungsbeitrag akzeptiert, wodurch der finanzielle Beitrag der Schweiz an das Forschungsprogramm reduziert werden konnte.

In allen massgebenden Bereichen der schweren Unfallforschung sind im vergangenen Forschungsjahr Arbeiten durchgeführt worden. Der aktuelle Stand dieser Tätigkeiten wurde an einem Meeting von den verschiedenen Forschungsgruppen vorgestellt und diskutiert. Die Ergebnisse sind dem CSARP-Mitgliedern zur Verfügung gestellt worden und werden weiter ausgewertet.

Liste der Projekte

[10] PSI-Villigen: Molekularbiologische Untersuchungen zur zellulären Radiosensitivität (JB)
[12] EAWAG-Dübendorf: Verhalten von Radionukliden aus Kernkraftwerken in Aare und Rhein
[14] Inst. für Sozial- und Präventionsmedizin, UNI-Zürich: Untersuchung der Krebssterblichkeit in der Umgebung der Schweizer Kernanlagen
[16] BASLER & HOFMANN, Zürich: Seismic Capacity of Shear Walls in Nuclear Power Plants
[17] BASLER & HOFMANN, Zürich: Simulation und Analyse eines druckbelasteten Thermoschocks: NESCI-Projekt
[18] SULZER-INNOTEC, Winterthur: PISC III OECD-Forschungsprogramm
[19] INST. FÜR ENERGIETECHNIK, Halden: OECD Halden Reactor Project

(JB) Jahresbericht 1996 vorhanden
Configuration à deux plasmas

Doublet formé par l’amalgame de plasmas avec deux axes magnétiques obtenues en 1996 sur le Tokamak TCV de l’EPFL.
Centre de gravité du programme Fusion

L’ensemble des activités suisses dans le domaine de la fusion (physique et technologie) sont coordonnées par le CRPP (Centre de Recherche en Physique des Plasmas) de l’EPFL et intégrées au programme européen via l’Association Suisse-EURATOM. Au sein du réseau d’Associations européennes, élément fondamental du programme Fusion, les travaux suisses concernent :

- l’exploitation du Tokamak à configuration variable, TCV. Cette installation expérimentale, la plus grande de l’EPFL, est unique au monde par ses possibilités de varier la forme des plasmas et par la puissance de son système de chauffage par micro-ondes;

- des travaux théoriques et de simulation numérique (équilibre et stabilité du confinement de certaines machines, méthodes de chauffage), cela grâce au centre de calcul parallèle de l’EPFL et du centre de calcul scientifique de Manno;

- la technologie de la fusion, dans le domaine des matériaux et des aimants supraconducteurs, activités à l’Institut Paul Scherrer, mais sous la responsabilité du CRPP;

- les couches superficielles des parois internes des réacteurs à fusion, activité de l’Université de Bâle.

Une caractéristique majeure de la recherche dans le domaine de la fusion est le rôle joué par la coopération internationale au niveau notamment des ressources humaines et financières requises et de la variété des aspects à prendre en compte (environnement, économique, social, etc.).

En Europe, le programme Fusion (EURATOM) couvre toutes les activités de la fusion magnétique dans les États-membres (Suisse inclus). Il se présente comme une seule entité vis-à-vis des autres programmes Fusion dans le monde. Bien que les travaux dans le domaine de la fusion soient étroitement liés à la recherche fondamentale, ils sont, conformément à un usage international, assimilés néanmoins à la recherche énergétique.

Vue d’ensemble du programme FUSION au niveau international

La Corée du Sud va construire un tokamak supraconducteur avancé. Elle souhaite devenir un leader dans le domaine de la science et des technologies de la fusion et ainsi acquérir l’expertise industrielle et scientifique pour se joindre au projet ITER. En Inde, un tokamak supraconducteur de taille moyenne, est en phase de design et sera construit à Ahmadabad.

ITER (International Thermonuclear Experimental Reactor), qui focalise dans ce domaine de la fusion les efforts de l’Europe, du Japon, des États-Unis et de la Russie, constitue une étape dans les activités à long terme engagées pour parvenir à la production commerciale d’énergie par fusion nucléaire. Sa construction devrait débuter fin 1998. Plusieurs nations étaient initialement dans la course pour l’obtention de la machine. Mais outre le prestige, le pays d’accueil devra aussi endosser une grande part du coût de construction estimé à 6.3 MIA. ECU sur dix ans. Dans cette phase les coûts du High Tech Core (HTC), les activités scientifiques et technologiques clés, sont estimés entre 40% et 70% du coût total. Ces coûts partagés équitablement entre les 4 partenaires impliquerait pour le pays hôte une charge financière allant de 47.5% à 70%. La Russie, avec sa réduction chronique de ses moyens financiers, et les USA, avec les diminutions drastiques de leur programme, ont déjà réduit leur participation à la phase de design et montré qu’ils ne comptaient pas jouer un rôle majeur dans la phase de construction et d’opération du réacteur test. En juillet 1996, l’annonce franco-allemande de retirer leur candidature comme pays hôte d’ITER a créé une surprise dans les milieux scientifiques de la Fusion et les administrateurs du projet. Les ministres allemand et français de la recherche ont toutefois souligné qu’ils maintenaient le rôle de leur pays dans la phase de design et poursuivraient leur programme national. En octobre 1996, le ministre itali-
Par conséquent, le FEB considère qu'ITER doit être construit et si possible en Europe, afin de maintenir la position de leader mondial qu'elle occupe actuellement. Si cela ne devait pas être possible pour des raisons financières, le FEB recommande de maintenir une forte participation à ce projet. En matière de sécurité, le FEB a aussi approuvé les conclusions du rapport "Safety and Environment Assessment of Fusion Power (SEAFP)" de la Commission Européenne qui confirme le caractère attractif de l'aspect environnement et sécurité de la fusion. Le FEB recommande également d'apporter un effort tout particulier à l'aspect socio-économique de la fusion.

Ce sont donc des conclusions très encourageantes et positives qui donnent un appui total au programme Fusion et à sa planification à long terme. D'autre part, ces conclusions seront prises en considération par la Commission dans la préparation du 5ème Programme Cadre.

À JET (Joint European Torus), l'événement principal de 1996, fut la décision par le Conseil des Ministres européens d'étendre l'exploitation de JET jusqu'en 1999. JET doit fournir des données essentielles dans le développement et la démonstration d'un déflecteur fiable pour ITER et conduire des expériences utilisant des plasmas Deutérium-Tritium (50%/50%) dans des configurations similaires à celles d'ITER. Cela donnera une base solide pour les opérations D-T d'ITER. L'objectif essentiel de JET est d'obtenir et d'étudier un plasma dans des conditions et des dimensions proches de celles nécessaires pour le fonctionnement d'une centrale électrique. Ces études conduisent à définir les paramètres adéquats, la taille et les conditions de travail d'une telle centrale électrique. Le Next Step européen, qui devrait être en principe ITER, devra démontrer la faisabilité scientifique et surtout technologique de la production d'énergie utilisable. Actuellement, JET a atteint des températures (T), des densités (n) et des temps de confinement (τE) requis dans un réacteur de fusion. Cependant il n'a pas la capacité, pour des questions de taille, d'atteindre ces performances de manière simultanée comme cela serait souhaité. Mais le résultat global, mesuré par le triple produit de ces paramètres (τE n T) est à un facteur 6 de la valeur requise pour l'allumage de réactions de fusion. Notons qu'au début des opérations de JET (1983) nous nous trouvions à un facteur 100 de cette limite.

La plupart des expériences à JET ont utilisé seulement du deutérium comme combustible. Une première période d'opération D-T (DTE1) est en préparation et devrait démarrer en janvier 1997 pour environ 3 à 4 mois. Une production de 2x10^{25} neutrons est attendue. Cette expérience, avec 50% de deutérium et 50% de tritium, devrait libérer une puissance de quelques dizaines de MW, soit pratiquement l'énergie nécessaire pour chauffer le plasma. L'activation de l'intérieur du tore de JET par les neutrons (problème sur lequel se penche le groupe Matériaux du CRPP), empêchera toute intervention humaine dans cette enceinte pendant 1 an. Cependant, il sera possible de modifier le système de déflecteur (→ Mark II B) grâce aux techniques de télémanipulation développées à JET. Cela sera ainsi l'occasion de démontrer pour la première fois l'une des technologies-clés nécessaires pour ITER et tout autre réacteur de fusion.

Les hautes performances réalisées sont momentanées et limitées par le flux d'impuretés résultant des interactions entre le plasma et la surface des matériaux environnant qui font l'objet des recherches du groupe de l'Université de Bâle. Les impuretés du plasma ont toujours constitué un obstacle majeur pour des opérations stables. Pour le contrôle des impuretés, la géométrie du déflecteur est un élément important. Le dernier shutdown de la machine a permis d'installer une seconde configuration de déflecteur (Mark IIA) permettant un meilleur contrôle des impuretés et de s'approcher de conditions de fonctionnement prévues pour ITER.

### Développement en Suisse

Cette année, le CRPP a inauguré officiellement son TCV et célèbre ces 35 ans de recherche en physique des plasmas, science de base sur laquelle s'appuient toutes les recherches sur la fusion. Depuis son origine, le CRPP a su trouver des thèmes de recherches originaux visant à étudier les phénomènes fondamentaux qui gouvernent le comportement des plasmas dans les installations de fusion. Le TCV en est une concrétisation.

Parmi les faits marquants du TCV, en 1996, on peut citer notamment:

- les améliorations apportées à six des diagnostics utilisés régulièrement avec le TCV: FIR interferometer, X ray tomography cameras, Thomson scattering, Infrared Bremsstrahlung, Bolometry et Tangential video camera;

---

1 L'allumage signifie que la puissance provenant des particules α (noyau d'hélium engendrés par la fusion du deutérium et du tritium) est suffisante pour maintenir le plasma à la température voulue. L'auto-entretien de la réaction de fusion est alors réalisé (ignition ou allumage). Pour qu'un plasma au cœur d'un réacteur de fusion soit auto-entretenu, il faut atteindre les valeurs minimales suivantes: Température (T): 100 à 200 millions de °C, temps de confinement de l'énergie (τE): 1 à 2 secondes et densité centrale du plasma (n): 2 à 3x10^{25} particules/m³ (1 millième de g/m³) soit un produit de fusion (τE n T) de 6x10^{25} m³ s million °C.
- la création de plasma ayant des sections poloidales fortement façonnées:
  - création de doublet, voir l’en-tête, (plasma de type tokamak avec deux axes magnétiques);
  - la réalisation du système de contrôle rapide du plasma, comprenant des bobines magnétiques à l’intérieur de la chambre vide et une alimentation "rapide". Ce système est destiné à fournir une rétroaction sur les déplacements instables du plasma. Au fur et à mesure que le plasma devient allongé, son taux d’instabilité augmente et ne peut plus être contrôlé par les bobines externes et leurs alimentations;
- étude de la forme du plasma sur le temps de confinement d'énergie;
- étude des modes H (temps de confinement long);
- chauffage cyclotron-électronique de TCV:
  - la construction de l’infrastructure permettant de lancer 1.5 MW à 82.7 GHz dans le plasma est terminé. Un gyrotron est testé aux performances nominales (0.5 MW - 2s), les deux autres sont en cours de test;
  - première expérience de chauffage à 0.5 MW de puissance. La température électronique augmente à 2 KeV (＞DTe ~ 1 KeV);
  - le gyrotron 118 GHz a atteint les performances requises pour le projet de chauffage du TCV (0.5 MW - 2s).

Dans le domaine de la technologie, les groupes (CRPP-Technologie de la fusion localisée au PSI) Supraconducteur et Matériaux ont toujours une place importante dans le programme européen avec leurs installations respectives SULTAN (Supraleitung Test Anlage - installation unique focalisée sur le test de conducteurs pour ITER) et PIREX (Proton Irradiation Experiment). Quant au groupe de l’Université de Bâle, il poursuit ces travaux sur le conditionnement des parois de réacteur de fusion.

Notre programme national étant pleinement intégré dans le programme européen, il va s’en dire que les conclusions du FEB sur le programme Fusion européen va tout naturellement conditionner notre activité dans ce domaine. Ainsi, la commission fédérale pour la recherche énergétique (CORE) a prévu d’entreprendre une analyse des travaux suisses afin d’en examiner la pertinence dans le cadre de l’approvisionnement futur en électricité. Cela constituera une base pour les décisions futures concernant la participation de la Suisse aux prochains projets internationaux. Pour l’instant, il faut savoir que la coopération entre la Suisse et EURATOM est réalisée en vertu d’un accord, illimité dans le temps, fixant d’une manière générale les conditions attachées à cette coopération. Quant aux modalités de la participation suisse au programme Fusion de l’Union Européenne (1994-1998), elles sont réglées sous la forme d’un contrat d’Association. Cet accord, valable jusqu’au 31 décembre 1998, est pour l’instant le seul qui permette à notre pays de participer à un programme technologique communautaire sur pied d’égalité avec les partenaires européens. La contribution à ce programme est basée sur le produit intérieur brut des États-membres.

Grâce à ses différents axes de recherche, le programme de fusion suisse est devenu à long terme un maillon du programme européen FUSION, concentré sur les aspects particuliers auxquels il apporte une contribution importante et dans certains cas prépondérante. Ce programme permet, plus que des programmes à court terme, la formation d’ingénieurs et de chercheurs qui abordent des problèmes extrêmement variés, utilisant et développant des techniques et des instruments de pointe. Il contribue donc à l’aménagement de conditions-cadre de premier plan en garantissant la présence d’un personnel scientifique hautement qualifié et en favorisant toutes les possibilités d’ouverture en direction de la recherche internationale et surtout européenne, qui sont des éléments cruciaux pour assurer la compétitivité de notre pays et son maintien comme lieu de production et d’emplois.

La science est un élément de premier plan dans la politique de l’intégration. Et en ce sens, l’attrait du programme de l’Association Suisse-EURATOM, est déterminé dans une large mesure par notre appartenance au programme européen FUSION. Il nous ouvre l’accès aux grandes installations expérimentales européennes tel que JET, dont le directeur du CRPP est le président du Conseil et il favorise des collaborations bi- ou multilatérales avec différents partenaires internationaux.

**Buts et résultats**

La participation subsidiaire de l’OFEN aux activités de fusion, s’est concentrée, en 1996, sur les recherches sur les matériaux (nouvelle activité - CRPP) et le conditionnement des parois de réacteur de fusion (poursuite des activités – Université de Bâle).

*Herstellung und Charakterisierung dünner Schichten und anderer Materialien für Fusionsreaktoren [I]*

Ce projet s’est terminé début 1996. Dans les réacteurs à fusion, la paroi de la chambre de 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 dépérisance du rayonnement. Cette opération influence grandement les propriétés du plasma car les matériaux présentant la double caractéristique d’un faible nombre atomique et d’un grand pouvoir d’absorption d’impuretés, notamment d’oxygène, per-
mettent de diminuer drastiquement la contamination du plasma. Une technique bien établie et largement utilisée dans les tokamaks est la boruration des parois, c'est-à-dire la déposition de couches minces de bore pur ou de bore-carbone. Ces dernières années, l'emploi de revêtements de bore-carbone a permis d'obtenir un plasma d'une qualité nettement supérieure. Dans le cadre de ce projet, une étude d'échantillons qui avaient été exposés à des décharges de plasma dans le tokamak TVC du CRPP a été conduite sur les problèmes d'érosion, de déposition et de rédéposition de la couche borurée afin de mieux connaître ces processus intervenant pendant et après la boruration. Pour poursuivre cette amélioration, des propriétés du plasma le groupe bâlois a poussé ces recherches en remplaçant le bore par un élément plus léger et réactif comme le lithium. Dans ce projet, différentes méthodes de déposition de couches de lithium-carbone (a-C:H/Li) ont été testées et examinées dans un modèle expérimental par rapport à leurs propriétés en tant que matériau pour le conditionnement des parois de réacteurs à fusion. Les interactions d’ions énergétiques d’oxygène avec des couches minces de lithium-carbone (a-C:H/Li), de même que les mécanismes de capture d’oxygène et d’érosion des couches n’avaient jusqu’alors fait l’objet d’aucune recherche. Dans ce projet ces interactions ont été étudiées par spectroscopie photoélectronique à rayons X et spectrométrie de masse. Les analyses ont montré que dans le cas de couche contenant du Li la période de temps transitoire pendant laquelle la couche retient l’oxygène est, de manière significative, plus longue et le taux d’érosion de la surface après saturation en oxygène plus bas comparé à une couche de carbone pur. La facilité de capture de l’oxygène est donc principalement déterminée par le contenu en Li de la couche de surface.

En conclusion, les réactions chimiques qui vont dominer l’interaction entre les couches a-C:H/Li et les ions d’oxygène, dépendront d’une part du contenu en Li et de la structure chimique de la couche, et d’autre part des conditions thermiques de l’interaction.

Finalement, avec ce projet, le groupe de l’Université de Bâle a aussi acquis une maîtrise de divers procédés de fabrication de tels revêtements à petite échelle (par déposition de plasma ou de rayonnement ionique).

Collaboration avec: CRPP, Institut für Plasmaphysik des FZ Jülich (D), Max-Planck-Institut für Plasmaphysik (D) et Université Freiburg (D).

Surface Studies related to Fusion Reactor Material [2]

Avec ce projet, l’Université de Bâle poursuit ses activités sur conditionnement des parois de réacteur de fusion. Plusieurs échantillons (Si (100)) ont été exposés à des décharges de plasma dans le tokamak TVC lors de la boruration des parois. Les couches fines déposées ont été ensuite analysées par spectroscopie photoélectronique à rayons X. La concentration en bore excède généralement 90% et les 10% restant contiennent de l’oxygène et du carbone tandis que aucune impureté métallique peut être détectée. Une analyse récente a montré que de mauvaises conditions de déposition, par exemple vide imparfait, conduisent à augmenter la concentration des impuretés dans la couche mince de surface. Ce changement de composition de la couche mince de surface peut à son tour réduire la capacité de ce revêtement à retenir des impuretés pendant les opérations avec plasma. D’autres expériences sont planifiées pour examiner plus en détail ce problème important. Un autre aspect de ce projet est l’étude de la réactivité de couches minces libres d’hydrogène (a-C/Li) par rapport à celles riches en hydrogène (a-C:H/Li) qui ont fait l’objet du projet précédent. Cela permettra d’identifier le type de réaction déterminé par la présence du Li sans l’influence de produits issus de réactions avec l’hydrogène et ainsi de mieux comprendre l’interaction des matériaux contenant du Li avec l’oxygène.

Collaboration avec: CRPP, Institut für Plasmaphysik des FZ Jülich (D).

An investigation of the microstructural stability and mechanical properties of low activation martensic steels and Ti-alloys [3]

Une des caractéristiques souhaitables des réacteur de fusion magnétique est la faible radioactivité résiduelle de composants tels que les matériaux qui constituent la chambre de confinement du plasma. Ces matériaux sont activés par les neutrons issus des réactions de fusion. Pour atteindre cette objectif des matériaux à moyenne et faible radioactivité ont été développées.

Ce projet, qui a démarré en novembre 1996, a pour but d’étudier deux familles de ce type de matériaux: les aciers martensiques à faible activation (9CrWVT - acier connu sous le nom d’OPTIMAX) et les alliages de titane.

Dans le cas des aciers martensiques à faible activation (LAS), le contenu de W dans l’acier OPTIMAX et le traitement à la chaleur seront optimisés en fonctions des propriétés mécanique et microstructurale. En particulier, il sera cherché les conditions pour obtenir la meilleure relation entre une basse température de transition ductile-cassant et la résistance de ce type d’acier.

Des calculs de radioactivité résiduelle montrent que le Ti a, après le V et Cr, le taux de désintégration le plus rapide. Due à une combinaison intéressante des propriétés mécanique et thermophysique, les alliages de Ti ont une faible contrainte thermique, une grande résistance à la fatigue et une bonne ductilité vis-à-vis de la fracture. Cependant, le Ti et les alliages de Ti ont une affinité avec l’hydrogène qui, dans le domaine de la fusion conduit à deux problèmes: 1. une perte de ductilité et 2. la rétention de l’hydrogène induit une modification de la proportion de tritium dans le réacteur. Donc différents type de "barrières à hydrogène" sont étudiées (TiC, TiN+TiC et Al2O3).
Pour ces deux familles de matériaux, il s’agit d’obtenir des alliages stables utilisables pour les structures de réacteurs de fusion et ayant des propriétés mécaniques et de microstructure bien établies. Collaboration avec: VACUMET, ancienne division de SULZER Innotec.

Projet pour 1997

Poursuite des activités en cours à l'Université de Bâle (projet 2) et à Lausanne (projet 3) groupe des Matériaux (CRPP-Technologie de la fusion, localisée au PSI).

Liste des projets


(RF) Rapport final disponible

(RA) Rapport annuel 1996 disponible
PILE À COMBUSTIBLE & ACCUMULATEURS

Rapport de synthèse
sur les activités 1996 du programme de recherche

Léo Dubal

Pile à combustible $\text{H}_2 / \text{O}_2$

Introduction

Un générateur électrochimique convertit directement en électricité, l’énergie libérée lors d’une réaction chimique. Dans le type "piles à combustible", l’anode est approvisionnée en combustible (gaz naturel reformé) au gré de la puissance appelée, alors que pour le type "accumulateur", elle est rechargée, en inversant la réaction, c’est-à-dire, le sens du courant.

Le programme de recherche "Piles à combustible et accumulateurs" vise à coordonner l’ensemble des activités en matière de générateurs électrochimiques autour d’une stratégie cohérente, intégrée dans la collaboration internationale. La 1ère journée suisse sur les applications des piles à combustible - où l’installation portable présentée sur la page d’en-tête a été inaugurée - permit de conclure que la tension minimum de 12 VDC est un impératif économique incontournable pour un module attractif de générateur électrochimique.

Le soutien subsidiaire de l’OFEN aux activités de recherche en matière de générateurs électrochimiques se limite, compte tenu du cadre financier décidé par le Parlement, aux types de générateurs les plus prometteurs pour la politique énergétique suisse. Les travaux de recherche incluent le développement de modèles fonctionnels de générateurs 12 V DC, dont la puissance peut s’élanger jusqu’à 1 kW-é. Les modules de puissance plus élevée sont traités comme des installations P+D (Pilote et Démonstration). Les soutiens financiers par les fondations pour la recherche énergétique PSEL (Fonds pour projet et études de l’économie électrique), FOGA (Fonds de recherche de l’industrie gazière suisse), et FRUP (Fonds de recherche de l’Union Pétrolière) ainsi que par les programmes européens sont vivement souhaités.

Centres de gravité du programme de recherche

Les piles au gaz naturel, à électrolyte d’acide phosphorique, dites "PAFC", ont leurs rejets thermiques à une température de plus de 100°C et une très bonne longévité. Leur marché est celui des installations stationnaires de couplage chaleur-force de taille moyenne, entre 200 et 1000 kW-é, pour des consommateurs de type hôtel ou hôpital. Ces piles à combustible sont commercialisées sous la forme d’un module de 200 kW-é, avec un système de contrôle capable de gérer jusqu’à cinq modules. Une réduction de prix - au moins d’un facteur deux - est attendue afin que cette technologie sophistiquée devienne compétitive.

Les piles àhydrogène, à électrolyte polymère, dites "PEFC", ont des rejets thermiques de basse qualité (moins de 80°C) et sont donc inappropriées au couplage chaleur-force. Malgré leur courte durée de vie, leur puissance massique élevée devrait cependant les rendre acceptables dans le marché des installations portables ou mobiles. La première application envisagée pour la Suisse, qui soit réalisée et démonstrative, est la navette lacustre à propulsion électrique. Le problème du remplacement d’un combustible liquide n’est pas encore résolu, pas plus que celui du prix, d’où l’importance de la collaboration internationale.

Les piles au gaz naturel, à électrolyte céramique, dites "SOFC", ont des rejets thermiques bien supérieur à 100°C. L’application idéale est le module stationnaire chaleur-force HEXIS (Heat Exchanger Integrated System) de SULZER-Innotec, de la taille d’une chaudière pour le chauffage individuel des logements, permettant de produire localement l’électricité à la demande. Les défis technologiques sont l’appréciation du gaz naturel à petite échelle et la mise au point d’un procédé de fabrication économique pour un électrolyte céramique opérant à une température inférieure à 820°C. Les procédés candidats sont : la projection sous vide au chalumeau à plasma, "VPS", le Physical Vapour Deposition, "PVD", et l’Aerosol Electrostatic Deposition, "AED" [17].

Les accumulateurs au plomb sont les plus économiques de tous les accumulateurs actuels. Le marché visé est la voiture hybride électro-diesel, après une réduction importante de la masse des électrodes.

Les accumulateurs "Ni-MH" (hydrures métalliques) sont favorisés par des arguments écologiques par rapport aux accumulateurs nickel-cadmium. La collaboration internationale cherche à conforter cet avantage face à l’impitoyable critère économique.

Pour les accumulateurs "zinc-air", il s’agit de développer un module de base de 30 Ah et 12 V pour la traction électrique.

Pour les accumulateurs "ions-lithium", les intérêts économiques sont tels que la collaboration internationale s’avère difficile. L’option pour la Suisse, telle qu’elle a été identifiée fin 1996, est celle du développement d’un module de base de 12 V pour la traction électrique. Ce module pourrait devenir un sérieux concurrent du "plomb allégé" et du "zinc-air". Les atouts suisses à valoriser sont : la sécurité, les électrodes bifonctionnelles et les matériaux d’électrodes nanocristallins.

Pour les supercondensateurs "haute fréquence", le marché visé est la locomotive. Le premier défi technologique est le choix et la caractérisation des matériaux appropriés. L’intérêt de recherches sur un type "basse fréquence", adapté au système d’alimentation pour la voiture électrique, est un thème controversé.

Pour les chargeurs intelligents, l’objectif principal est le module universel à intégrer à la voiture électrique. Considérant les énormes gaspillages d’énergie qui ont lieu lors de la charge des accumulateurs de tous types et de toutes tailles, le marché pour des modules plus universels et plus performants est considérable.
Buts visés pour 1996

PILES À COMBUSTIBLE

PAFC (Phosphoric Acid Fuel Cells):
Étudier la composition du biogaz d'une installation de méthanisation des déchets et l'appareillage du biogaz pour son utilisation dans une installation de 200 kWc, de type ONSI PC25C. En effet, dans la conjoncture actuelle, le tarif promotionnel de 0,16 Fr/kWh pour la production d'électricité à partir d'une source d'énergie renouvelable incite à l'utilisation du biogaz, à la place du gaz naturel.

PEFC (Polymer Electrolyte Fuel Cells):
1. Développer le système de gestion de l'eau dans le cadre d'un projet européen du programme JOULE.
2. Optimiser le procédé de fabrication des membranes, construire et caractériser un stack de 200 W.
3. Rendre les membranes PSI "eurocomparables", avec comme première étape leur intégration dans un module de démonstration "étranger".

ACCUMULATEURS
Pour chaque projet: tentative d'intégration dans un des programmes européens.

Accumulateurs "ions-Li" & "Zn/air": recherche de partenaires industriels et lancement de projets.

Accumulateurs "Ni-MH": étude de la non-stochiométrie dans les alliages type AB_2, en vue d'atteindre des charges massiques, supérieures à 400 mAh/g, avec moins de 10% de perte sur 100 cycles, et modèle thermodynamique pour l'électrode Ni-MH.

Chargeurs intelligents: développement d'un chargeur universel en vue d'un projet P+D d'intégration sur voiture électrique.

Travaux effectués et résultats obtenus

PILES À COMBUSTIBLE

PAFC:

PEFC:
Le PSI [7] a optimisé son procédé de fabrication des membranes par grefichage radiatif à l'aide d'une électroirradiation chez STUDER, Däniken. Des éléments de 200 cm², avec plaque bipolaire en acier, ont été testés. Dès 1997, des modules P+D d'une centaine de watts pourront être mis à disposition d'un premier cercle d'utilisateurs. Dans le cadre d'un projet JOULE avec SIEMENS, à Erlangen (D), le PSI, à Villigen a développé avec succès un premier système pour la gestion de l'eau dans les piles polymères hydrogène - air.

Dans son effort pour rendre ses membranes "eurocomparables", le PSI, dans une première étape, est parvenu à intégrer ses membranes dans le module présenté en couverture.

SOFC (Solid Oxide Fuel Cells):
1. Optimiser la porosité du diffuseur-fuel à base de nickel et sa membrane-couvercle, les conditions d'activation électrocatalytique initiale et le procédé VPS, pour atteindre la performance de 250 mW/cm², à 850°C, avec une dégradation inférieure à 15 µvolt/heure.
2. Développer un diffuseur-air en fibres de céramique extrudées et une barrière de diffusion anti-chrome, et quantifier l'effet de privation de fuel et d'oxygène.
3. Rationaliser la production d'éléments VPS de 12cm², tester un stack HEXIS équipé d'éléments VPS et d'un reformeur de gaz naturel, établir le bilan énergétique détaillé, et préparer un projet P+D de 50kW.
4. Optimiser le procédé PVD pour atteindre la performance de 200 mW/cm² à 850°C avec un électrolyte zircone ultra-mince.


Le développement du procédé VPS, a été encadré par une Task-force associant à MEDICOAT, à Mägenwil [3], l'EMPA à Dübendorf et Thun [6], et SULZER-Innotec, Oberwinterthur [2]. Des éléments avec un trou central, ont pu être fabriqués, offrant ainsi une meilleure compatibilité avec le système HEXIS de SULZER-Innotec. Après le test d'un stack de 5 éléments de 12cm², testé dans le système HEXIS [2], la construction d'un stack de 40 éléments a démontré la simplicité, pour le montage, que représente les éléments VPS. La tension à circuit ouvert des éléments le long du stack variaient, à 870°C entre 0,82 V et 0,92 V.
Suite à une trop grande rigidité thermomécanique du système d’alimentation en air, l’essai a dû être interrompu.


À l’aide du procédé PVD, chez SULZER-Innotec [2], des électrolytes en zirccone, ultra-minces, de 4 μm d’épaisseur et de 35 mm² ont été déposés sur un support à base de nickel, constitué d’un diffuseur combustible et d’un couvercle-anode préalablement fritté. Après oxydation du dépôt PVD "noir", la couche transparente présentait, optiquement, une adhésion parfaite. Monté en élément PVD, après 100 heures d’opération, la puissance de plus 600 mW/cm² à 814°C dépassait largement l’objectif fixé.

**ACCUMULATEURS**

Les travaux, chez GLUR, à Münsingen [13], sur un chargeur universel intelligent pour accumulateurs dédié à la traction électrique ont commencé en fin d’année seulement. Des résultats préliminaires seront présentés au premier workshop suisse sur les chargeurs intelligents, qui se tiendra le 10 avril 1997.

Les travaux sur les d’accumulateurs Ni-MH à l’Uni-Fribourg et chez LECLANCHÉ, à Yverdon sont maintenant intégrés à un projet du programme européen BRITE-EURAM. Dans la dernière phase avec financement subsidiaire de l’OFEN, l’Uni-Fribourg [12] a atteint, avec des alliages de type AB₂ (ZrV₅Ni₁₂₀), des capacités supérieures à 400 mAh/g, mais avec plus de 10% de perte après 100 cycles.

Les travaux sur les accumulateurs Zn-air au PSI [8] sont maintenant intégrés à un projet PSEL-OFEN. Les électrodes de 100cm², fabriquées avec une pâte hydrique de zinc, mélangée à de longues fibres de cellulose, présentent une capacité surfacique de 150 mAh/cm², ce qui est 50% de plus que ce qui étaient les électrodes de 25 cm². Le filtrage de l’air à l’aide d’une membrane en polypropylène a permis de réduire le contenu en CO₂ à moins de 50 ppm.

Le projet sur les accumulateurs ions-lithium au PSI [9] a permis de mesurer une valeur de 9×10⁻⁸ cm²/s pour le coefficient de diffusion des ions Li⁺ dans une électrode porée de graphite TIMCAL, et une charge massique réversible de 340 Ah/kg ainsi qu’une perte de charge au cours du premier cycle, inférieure à 20%. Suite à une réunion des experts suisses concernés, un projet de recherche en collaboration entre le PSI, les EPF, deux Universités et quatre industries a pu être esquisse. Les mots-clés en sont: traction électrique - sécurité - matériaux nanocristallins - structure bipolaire.

Le projet de modélisation numérique de l’Université de Fribourg et du PSI [10], basée sur la chimie quantique, a permis de calculer la "carte" de la barrière de potentiel électrostatique dans l’oxyde de manganèse lithié. La hauteur de cette barrière influence directement la constante de diffusion des ions Li⁺ dans l’électrode.


**Transfert à la pratique**

**PILES À COMBUSTIBLE**

L’installation PAFC "GAZEL" des SI-Genève [1] termine l’année en affichant le total impressionnant de 30 140 heures d’opération avec un taux de disponibilité de 90%. Le total de l’électricité produite est de 4,8 millions de kWh.

Le 4 décembre s’est tenu à l’IGS-Grenchen la première journée suisse sur le potentiel d’application des piles à combustible basse-température [15]. En contrepartie prononcé avec les symposiums classiques vantant les mérites des générateurs, c’est l’aspect de l’utilisation qui était au centre des débats, telle la présentation de l’étude de marché de l’équipement DC, de l’Institut Fraunhofer, à Fribourg-en-Brisgau[16].

Cette manifestation, couronnée par l’inauguration du module P+D d’une PEFC de 40 W autoradio, portable (voir en-tête), marque d’une pierre blanche l’entrée des piles à combustible dans le domaine des Écoles Techniques Supérieures: le PSI a lancé une fructueuse collaboration avec l’ETS de Granges qui est en train de s’étendre à d’autres ETS.

Les contacts avec DeNORA, à Milano (I) ont été renouvelés et un premier échange de vue avec DuPONT, à Wilmington (DE, USA) a eu lieu dans la perspective d’amener le développement des membranes PSI en un produit commercial.
ACCUMULATEURS

La fiche signalétique préparée l’an dernier par l’Institut für Elektronik de l’ETH-Zürich, a été adaptée par l’OFEN en français. Un livret grand public, illustré, format "CD", intitulé "Mobile elektrische Energie" a été élaboré sur la même base.

Coordination & collaboration

Le chef du programme représente la Suisse dans les organismes de gestion des programmes de collaboration internationale. Pour évaluer les priorités immédiates et les progrès accomplis dans son programme, il est secondé par des experts suisses et étrangers.

Pour la promotion des piles à combustible, un groupe s’est constitué, fin 1996, sous la direction d’un représentant de l’industrie du gaz.

La fructueuse collaboration dans la recherche sous l’égide de l’Agence Internationale de l’Énergie se poursuit dans les domaines SOFC et PEFC, dans le cadre de deux nouveaux projets auquels le Conseil fédéral a décidé de participer le 18 décembre 1996.

Dans le cadre European Fuel Cell Users Club, qui réunit les opérateurs des 10 PAFC en opération en Europe, le titre de la meilleure installation pilote a été décerné à GAZEL des SI-Genève. Un score supplémentaire au palmarès du programme P+D de l’OFEN.

Dans le cadre JOULE, le PSI collabore, entre autres avec SIEMENS, à un projet PEFC, alors que SULZER collabore, parmi d’autres partenaires, avec l’IMPERIAL COLLEGE de Londres, à un projet sur les SOFC à température intermédiaire.

La collaboration d’un partenaire industriel important ayant été assurée, la proposition du PSI de projet JOULE “zinc-air” va être soumise à nouveau fin janvier 1997.

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, alors que l’Uni-Fribourg et LECLANCHE participent à un projet sur les hydrazines métalliques.

Dans le domaine des accumulateurs zinc-air, une collaboration avec le PSEL a permis de lancer un projet de recherche commun PSI et industrie.

Évaluation 1996

L’intérêt des ETS pour les piles polymères PEFC a finalement pu être éveillé grâce à la journée du 4 décembre. Le groupe pour la promotion des piles à combustible qui s’est constitué en décembre, témoigne, lui, d’une ouverture vers le marché.

Pour les piles céramiques SOFC, les succès importants remportés dans la maîtrise de la technologie VPS pour la fabrication d’éléments "HEXIS-compatibles", laissent augurer, pour 1997, la réalisation d’un modèle fonctionnel, 100% suisse, donnant pleinement satisfaction.

Pour les accumulateurs zinc-air, le lancement d’un projet intégrant l’industrie constitue une métamorphose très prometteuse.

Pour les accumulateurs au lithium, la formation d’un groupe d’intérêt regroupant Écoles et industries va permettre à la Suisse de s’engager enfin, de manière cohérente, dans ce domaine porteur.

Perspectives 1997

Piles à acide phosphorique: évaluer l’intérêt de l’opération avec du biogaz.


Piles céramiques: comparer les avantages et inconvénients respectifs des procédés VPS, PVD et AED pour le dépôt d’un électrolyte zirconie mince et dense; optimiser le support anodique en vue d’un facteur d’utilisation du combustible élevé; tester des stacks VPS de 50 éléments.

Accumulateurs ions-Li: Lancer un projet de collaboration nationale autour d’un concept de module pour la traction électrique "haute-sécurité / électrode bipolaire / matériaux nanocréatifs".

Accumulateurs Zn-air: Poursuivre le développement d’un modèle fonctionnel pour la traction électrique et s’engager dans le projet européen JOULE.


133
Liste des projets

[2] R. Diethelm, SULZER HEXIS-Winterthur: **HEXIS: Demo 1kW-VPS und PVD-PEN • Vorstudie für HEXIS 50 kWe WKK Systemmodul.** (RA)
[3] H. Gruner, MEDICOAT-Mägenwil: **1000 W - "VPS" for 1000 h.** (RA)
[6] K. Berroth, EMPA-Dübendorf & Thun: **Besondere Untersuchungen für die Herstellungsprozesse von SOFC PEN-Elementen.** (RA)
[7] G. Scherer, PSI-Villigen: **Material- und Strukturspekte von Membran-Brennstoffzellen • Démonstration d’une pile polymère commerciale équipée avec des composants PSI pour les applications basse tension (12 volts).** (RA)
[8] S. Müller, PSI-Villigen: **Alkalische wiederaufladbare Zink/Luft-Batterie.** (RA)
[9] P. Novák, PSI-Villigen: **Komponenten für Ionentransfer-Batterie.** (RA)
[10] C. Daul, UNI-Fribourg & E. Deiss, PSI-Villigen: **Modélisation de cellules électrochimiques au Lithium d’intercalation.** (RA)
[12] L. Schlapbach, UNI-Fribourg: **Metalloidride als Elektroden in reversiblen Batterien.** (RF)

(FS) Fiche signalétique 1996 disponible
(RA) Rapport annuel 1996 disponible
(RF) Rapport final disponible

Références

[14] **Notice sur les piles et les accumulateurs**, IIE / ETH-Zürich, adaptation française: OFEN.
[15] **I. Schweizerische Tagung über das Anwendungspotential von Niedertemperatur-Brennstoffzellen, 4. Dez. 1996, IGS-Grenchen, Zusammenfassung der Referate, I. Popelis (e-mail: ivan.popelis@igs.ch).**
[16] Jérôme Kuhmann (e-mail: jerry@ise.fhg.de), "Europaweite Marktübersicht und Test von Gleichspannungsverbrauchern; Handbuch für Anlagenplaner und Nutzer von Gleichspannungssystemen".
Grossversuch mit Leicht-Elektromobilen

Kontinuierliche Forschungsarbeiten, verbunden mit nachfolgenden Pilot- und Demonstrationsprojekten, verbessern die Energieeffizienz, senken die Emissionen und schaffen auch neue Arbeitsplätze: Das neue Fabrikationsgebäude (16'000 m²) der Industria Micromotori Elettrici - Svizzera (MES) in Stabio, Tessin.
Programmübersicht und Programmziele

Das Forschungsprogramm "Rationelle Energienutzung im Verkehr" befasst sich mit den beiden Schwerpunkten motorisierter Individualverkehr und Gütertransport. Die generellen Ziele für dieses Programm lauten:
- Verbesserung der Energieeffizienz,
- Reduktion der Umweltbelastung,
- umsetzbare Problemlösungen.

Im motorisierten Individualverkehr weisen folgende Parameter ein grosses Energiesparpotential auf, das mit dem Forschungsprogramm und den nachfolgenden P&D-Programmen erschlossen werden soll:
- Die Fahrzeugmasse beeinflusst sowohl bei den Beschleunigungsvorgängen als auch während der gesamten Fahrt durch die Rollreibung den Energieverbrauch negativ. Mit modernen Verbundwerkstoffen und Konstruktionstechnologien lässt sich die Fahrzeugmasse gegenüber dem heute verbreiteten Technologien beträchtlich reduzieren und dadurch wesentlich Energie sparen. Selbstverständlich stellt dabei die Sicherheit einen sehr wichtigen Aspekt dar, der im Rahmen von Demonstrationsprojekten dem Publikum auch dargestellt werden muss.
- Der Wirkungsgrad des gesamten Antriebsstranges beträgt bei heute erhältlichen, thermisch ange triebenen Fahrzeugen im Mittel nur ca. 15 - 20 %. Mit dem Forschungsprogramm soll deshalb der Zuwachs zu optimierten Antriebsaggregaten und -ketten (Otto-, Diesel- und Elektromotoren oder hybriden Systemen) erschlossen werden, die insbesondere im Teillastbereich wesentlich effizienter arbeiten. In Zwischenspeichern kann zusätzlich über schüssige kinetische Energie gespeichert und für das System nutzbar gemacht werden.

Beim Gütertransport steht nach wie vor die Optimierung der Transportketten mit Hilfe des kombinierten Güterverkehrs im Vordergrund. Arbeiten zu neuartigen Technologien und Systemen sowie Technologiefolge-Absättigungen bilden wichtige Ergänzungen zu den zwei Programmschwerpunkten.


1996 durchgeführte Arbeiten und erzielte Ergebnisse

MOTORISIERTER INDIVIDUALVERKEHR

a) Antriebe, Antriebskette

Verbrennungsmotoren weisen sowohl bezüglich Schadstoffemissionen als auch bezüglich Treibstoffverbrauch ein beträchtliches Verbesserungspotential auf. Besonders Ottomotoren haben im Teillastbereich, gegen der Drosselverluste, einen gegenüber ihrem Bestpunkt spürbar kleineren Wirkungsgrad. Neben der Vermeidung dieser Verluste lassen sich weitere Verbrauchsinsparungen dadurch erzielen, dass der An triebsstrang um zusätzliche Elemente erweitert wird (Leerlaufabschaltung, Rekuperation der Fahrzeugenergie, etc.).


Das zweite Teilprojekt optimierte das Abgasreinigungssystem durch die verschiedene Anordnung, Struktur und Beschichtung des Katalysators. Diese Arbeiten reduzieren die Emissionen insbesondere beim Kaltstart sowie im tiefen Teillastbereich.


**b) Massenreduktion**


![Modultec: Massenreduktion und einfachste, rasche Montage](image)


c) Gesamtsysteme


GÜTERVERKEHR


NEUARTIGE TECHNOLGIEN, SYSTEME UND GRUNDLAGEN


Die Studie Umweltindikatoren im Verkehr [12] der INFRAS, vergleicht, basierend auf dem Ökoinventar Transporte [12], den Energieverbrauch und die Um- weltbelastung der verschiedenen Verkehrsmittel und träger des motorisierten Individualverkehrs und des
Güterverkehrs. Bezogen auf den Personenkilometer
schneiden, in Bezug auf die Energie, leichte und / oder
Verkehrsträger mit einem guten Besetzunggrad am
den besten ab. Gleichwohl überrascht, dass ein Personenki-
ometer bei einem Langstreckenflug im Durchschnitt
weniger Energie benötigt als einer in einem Personen-
swagen. Beim Güterverkehr schneiden von den in der
Schweiz anwendbaren Systemen erwartungsgemäss der
Wagenladungsverkehr, der Kombiverkehr und die
"rollende Autobahn" am besten ab.

Nationale Zusammenarbeit

Mit den angrenzenden Programmen E2000 - Ressort
Treibstoffe, "DIANE 6 - Energiesparender und umwelt-
schonender Güterverkehr" und dem nationalen Forschungsprogramm NFP41 "Verkehr und Umwelt" hat sich eine konstruktive und enge Zusammenarbeit eta-

briert. Auch die Zusammenarbeit von verschiedenen
Projekteams und Instituten hat sich weiter verstärkt.
Durch diese Kooperationen ergeben sich wertvolle
Synergien und weitere Möglichkeiten und Chancen,
sowohl in der Forschung als auch bei der Umsetzung.

Internationale Zusammenarbeit

Die Aktivitäten des Bereiches Verkehr sind internatio-

al breit abgestützt:

- Aktive Mitarbeit in den Annexen Informations, Imp-

acts und Lightweight Materials des Implementing

Agreement Electric Vehicle der IEA.

- Aktive Mitarbeit in verschiedenen Arbeitsgruppen

und in der Projektleitung des Programme for Col-

laboration between CEC and National Programmes on

Electric Vehicles in Europe, einem JOULE II-

Forschungsprogramm der EU.

- Aktive Mitarbeit bei der Erarbeitung des IEA-

Programmes Advanced Road Vehicle Technology.

- Die Schweiz beeinflusst massgeblich die zurzeit

laufenden Normierungsarbeiten im Bereich der

Ladeinfrastrukturen.

Mit dem Programm Car of Tomorrow und weiteren
EU-Programmen hat 1996 ein enger Erfahrungsaus-
tausch stattgefunden. An diversen Tagungen im In-
und Ausland wurde über die Aktivitäten in der Schweiz
berichtet. Viele ausländische Experten pflegen einen
regen Kontakt mit den Forschungsstätten. Mehrere
Projektpartner konnten auch mit ausländischen Part-

nern zusammen gemeinsame Vorhaben starten.

Transfer in die Praxis

Die Umsetzung der Forschungsresultate wird durch die
beiden nachfolgenden P&D-Programme stark unter-
stützt. Die in diesen Programmen laufenden Flottenver-
suche sowie parallele Messprojekte, stellen der For-

schung ein praxisnahes Testfeld zur Verfügung. Die
dabei erworbenen Resultate flossen direkt wieder in
die Forschung zurück, respektive werden zur Verbesserung
der Produktqualität angewendet. So gelang es einzel-
nen Projektnachmern bereits, ihr Know-how oder ihre
Resultate der Forschungsarbeiten im In- und Ausland
zu vermarkten. Die Firma BRUSA, Gams, z.B. ver-

kauft wesentliche Komponenten für Elektromobile an
die führenden Autohersteller. Die Firma HORLA-

cher, Mühlin, entwarf im Auftrag eines thailändi-
schen Investors den Prototypen eines energieeffizienten
Elektromobil-Coupés, einem Fahrzeug der gehobenen
Mittelklasse. Dieses Coupé war am Autosalon in Genf
eine der wesentlichen Novitäten und soll nun in einer
Serie von 100 Stück gefertigt werden. Ein Lizenzneh-

mer der gleichen Firma betrieb an der Leipziger Auto-

messe mit einer vielbeachteten und rege genutzen
Flotte von 6 Leicht-Elektromobilen S7X einen Pendel-
Taxidienst [2]. Auch dieses, für fünf Passagiare ausge-

legte, Elektrotaxi ist das direkte Resultat der Forschung
und eines weiteren P&D-Projektes.

P&D - Programm "Leichtmobile"

Urs Muntwyler, Programmliefer P&D

Das seit 1992 laufende P&D-Programm "Leichtmobile"
hat entsprechend dem Aktionsplan 1993-1997 zwei
Schwerpunkte:

- Flottenversuche mit Schwergewicht auf dem

"Grossversuch mit Leicht-Elektromobilen in Men-
drisio"

- Entwicklung hocheffizienter Komponenten und

Technologien für Leicht-Elektromobile sowie ener-
gieeffiziente Nischenfahrzeuge

Mit über 2'500 eingelösten Elektrofahrzeugen ist die
Schweiz eine der weltweit führenden Nationen. Die
fünfjährige Stagnation der Verkaufszahlen im Bereich
Elektrofahrzeuge konnte 1996 überwunden werden.
Zur Steigerung der Zulassungen haben neben dem
Grossversuch mit Leicht-Elektromobilen in Mendrisio
sowie den 8 Partnergemeinden neue attraktive Model-
le der Fahrzeuganbieter geführt. Den Markt belebt ha-
ben vor allem die zwei in der Schweiz entwickelten
Nischenprodukte, das dreirädrige High-Tech-Elektro-
fahrzeug *TWIKE* und das Hochgeschwindigkeits-
Elektrofahrarrad *FLYER* [18, 20, 21]. Für die Entwick-
lung des Flyer wurde die Firma BKtech, Burgdorf, mit
dem Preis für Jungunternehmer der DE VIGIER-
Stiftung ausgezeichnet. Beide Fahrzeuge wurden bzw.

werden noch im Rahmen von P&D-Projekten unter-
stützt. Dabei interessieren nicht nur die technischen
Aspekte, sondern auch die Benutzer, die Art der Benut-
zung und das Energiesparpotential.

**GROSSVERSUCH MIT LEICHT-ELEKTROMOBILEN IN MENDRISO**

Der vom BEW initiierte "Grossversuch mit Leicht-
Elektromobilen (LEM) in Mendrisio" ist zur Zeit der
weltweit grösste Flottenversuch mit Elektrofahrzeugen.
Dabei soll der sinnvolle Einsatz von LEM im Alltag
und ihr Integration in zukünftige Mobilitätskonzepte
demonstriert und evaluiert werden. Mit dem Versuch
sollen auch Fördermassnahmen für den Einsatz dieser
energieeffizienten und umweltfreundlichen Fahrzeuge
deckel und getestet werden. Seit dem Start im Juni
1995 wurden über 100 Gesuche gestellt und bis Ende
1996 wurden 67 Leicht-Elektromobile eingelöst. Inner-
halb dieses Projektes wurden ca. 50 verschiedene För-
dermassnahmen eingeführt, damit eine Kundschaft das
Produkt LEM aufnimmt beziehungsweise zuerst über-
haupt kennenlernen. Die Wirksamkeit dieser Massnah-
men und deren Zusammenspiel werden durch ein sepa-
rates Forschungsprojekt evaluiert [14-17]. Wichtigste
Massnahme ist natürlich die Subvention der zur Zeit
noch sehr teuren Fahrzeuge. Andere sehr wichtige
Massnahmen zielen darauf ab, die Berührungsgüste
zum LEM abzubauen. Einen wesentlichen Aspekt stellt
auch die Kundenbetreuung dar. So wird verständlich,
deshalb in den einzelnen Versuchsgebieten verschiede-
dene Fahrzeugtypen die Verkaufslisten anführen.

Damit ein LEM-Fahrzeugtyp subventionsberechtigt ist,
muss er bei der Energieverbrauchsmessung auf dem
Prüfstand der HTL-Biel bestimmte Verbrauchswerte
erfüllen [19]. Diese Prüfstandmessungen werden mit
den Praxiswerten in Mendrisio verglichen. Dabei zeig-
ten sich noch überraschend viele Verbesserungsmög-
lichkeiten in technischer Hinsicht, aber auch für den
Betrieb dieser Fahrzeuge.

In acht Gemeinden der Schweiz werden parallel zum
Versuch in Mendrisio kleinere Projekte durchgeführt.
Dadurch soll die Umsetzbarkeit der Resultate von
Mendrisio auf die Deutschland- und Westschweiz überprüft
und die Resultate breiter abgestützt werden. Jedes Pro-
ject hat dabei, neben den beschränkten LEM-
Subventionen, einen eigenen Versuchsschwerpunkt:

- Ittigen (BE): Mobilitätsberatung und Vermietung
  von Leicht-Elektromobilen in der Agglomeration
  Bern
- Wohlen (BE): Agglomerations- und Pendlerverkehr
  in einer Streusiedlung mit einer schlechten Er
  schliessung durch öffentliche Verkehrsmittel
- Riehen (BS): Leicht-Elektromobile als Ersatz für ein
  herkömmliches Fahrzeug
- Muttenz (BL): Agglomerations- und Regionalver-
  kehr mit Leicht-Elektromobilen
- Wil (SG): Elektrobussen im Einsatz in der Regional-
  buslinie und Ansprechstelle für LEM-Benutzer
- Monthey (VS): Einführung des neuen Mobilitätssy-
  stems Véhicule Individuel Public (VIP) ab Mitte
  1997 im Rahmen eines P&D-Projektes
- Sion (VS): Integration von Leicht-Elektromobilen in
  der Stadt Sion

**ENTWICKLUNG HOCHEFFIZIENTER KOMPONENTEN UND TECHNOLOGIEN FÜR LEICHT-
ELEKTROMOBILE SOWIE ENERGIEEFFIZIENTE NISCHENFAHRZEUGE**

Die weltweiten Aktivitäten im Bereich Elektrofahrzeu-
ge haben zu einer Zunahme von Projekten im Kompo-
nenten-Bereich und im Bereich der effizienten Nischenfahrzeuge geführt. Die Schweizer Projektneh-
mer haben im internationalen Vergleich eine gute Po-

tion.

In enger Abstimmung mit dem Forschungsprogramm
"Rationelle Energienutzung im Verkehr" wurden für
1997 weitere Projekte bewilligt. Ein neues Thema sind
schnelle power assisted (PAS)-Elektrofahrzeuge wie
*Velocity, Flyer, ULM* und *TWIKE*. In diesem Bereich
sind Schweizer Konstrukteure und Hersteller führend.
Weiter erfolgt nun im Bereich Komponenten die
Transformation von Prototypenstern zu Zulieferern
ähnlicher Industrie. Dabei kommt den Aspekten
Qualität, Fertigungskosten, Lieferfähigkeit und Ter-
minfreue noch vermehrt Beachtung zu.

Ein spezieller Schwerpunkt der Schweizerischen P&D-
Aktivitäten ist der "Sicherheit von Leichtmobilen" ge-
widmet. Die international renommierte Arbeitsgruppe
für Unfallmechanik, bestehend aus Forschern der Uni-
vität und ETH Zürich, der Ingenieurschulen Biel
und Winterthur und der Privatwirtschaft, hat dieses
Jahr mehrere P&D-Projekte mit Erfolg abgeschlossen.
Die öffentlich stringentere Resonanz hatte der Offset-Crash
von Renault Laguna. Mehrere hundert Autobildfach-
leute aus der ganzen Welt verfolgten diese spektakuläre
Demonstration im neuen Dynamic Test Center (DTC)
der Ingenieurschule Biel. Die Erkenntnisse der Ar-
beitsgemeinschaft, wie leicht Fahrzeuge auch sicher
gebaut werden können, werden von der Industrie mit
großem Interesse verfolgt und in Serienprodukten um-
gesetzt.

140
INFORMATION


BEWERTUNG UND AUSBlick P&D


Fazit und Ausblick


Liste der Projekte

[14] U. Schweger, Fischingen: Grossversuch mit Leicht-Elektromobilen in Mendrisio (JB) ENET 9653783
[16] U. Haefeli, IKÖ, UNI-Bern: Begleituntersuchung LEM Ittigen (JB) ENET 9655205
[17] E. Meier, ABAY & MEIER, Zurich / M. Simon, POLYQUEST, Bern: Erfolgskontrolle der Fördermassnahmen (SB) • Zwischenbericht erste Versuchsphase (JB)
[26] Ch. Häuselmann, BK TECH: Elektrobike "NEW Flyer" • Elektrobike Flyer
[27] A. Fuchs, HTL-Bern: Mechanische Muskellkraft-Elektro-Hybridisierung
[29] A. Mathoy, BRUSA, Gams: Verfolgung Normen für Elektrofahrzeuge
[31] W. Blum, MOBILE: Regionale E-Mobil-Kontaktveranstaltungen • Basisinformation über Elektromobile
[32] INFEL: Elektromobile erfolgreich verkauften

(JB) Jahresbericht 1996 vorhanden
(SB) Schlussbericht vorhanden
VERBRAUCH DER E N D E N E R G I E N A C H V E R S C H E I D E N S Z E N A R I E N

Szenario II:  a) Trendentwicklung inklusive Energiegesetz
Schwerpunkte


Das Projekt "Vergleichende Untersuchung von Grossunfällen im Energiebereich" wurde vorläufig abgeschlossen.


Anvisierte Ziele 1996


Durchgeführte Arbeiten und erreichte Ergebnisse

DATEN


Voraussetzung für die praktische Nutzung dieser umfängreichen Arbeiten.

144


[12] W. Baumgartner, BASICS, Zürich: Perspektiven des Energieverbrauchs für die Industrie. (SB)
[22] G. Pillet, ECOSYS, Genève: Tarification dynamique des utilisateurs industriels, première phase. (SB)

(JB) Jahresbericht 1996 vorhanden
(SB) Schlussbericht vorhanden
<table>
<thead>
<tr>
<th>Bereiche</th>
<th>Bereichsleiter</th>
<th>Programmlleiter</th>
</tr>
</thead>
<tbody>
<tr>
<td></td>
<td>Domaines</td>
<td>Forschung/Recherche</td>
</tr>
<tr>
<td></td>
<td>Responsables de domaine</td>
<td></td>
</tr>
<tr>
<td>Gebäudesysteme &amp; Halle</td>
<td>Hans-Peter Nützi</td>
<td>Markus Zimmermann</td>
</tr>
<tr>
<td>Systèmes techniques et enveloppe du bâtiment</td>
<td>Martin Stettler</td>
<td></td>
</tr>
<tr>
<td>Haustechnik, H.L.K.</td>
<td>Walter Luginbühl</td>
<td>Robert Hastings</td>
</tr>
<tr>
<td>Installations CVC</td>
<td>Rolf Schmitt</td>
<td>Roland Brüminger</td>
</tr>
<tr>
<td>Solararchitektur &amp; Tageslichtnutzung</td>
<td>Fabrice Rognon</td>
<td>Martin Zogg</td>
</tr>
<tr>
<td>Architecture solaire et éclairage naturel</td>
<td></td>
<td></td>
</tr>
<tr>
<td></td>
<td>Solarwärme</td>
<td>Jean-Cristophe Hadorn</td>
</tr>
<tr>
<td></td>
<td>Solaire actif</td>
<td>Stefan Nowak</td>
</tr>
<tr>
<td></td>
<td>Photovoltaik</td>
<td></td>
</tr>
<tr>
<td></td>
<td>Photovoltaïque</td>
<td></td>
</tr>
<tr>
<td>Holz</td>
<td>Holz</td>
<td>Daniel Binggeli</td>
</tr>
<tr>
<td>Energie du bois</td>
<td></td>
<td></td>
</tr>
<tr>
<td>Übrige Biomasse</td>
<td>Martin Hinderling</td>
<td>Martin Hinderling</td>
</tr>
<tr>
<td>Autres biomasses</td>
<td></td>
<td></td>
</tr>
<tr>
<td>Geothermie</td>
<td>Martin Brunner</td>
<td>Harald L. Gorhan</td>
</tr>
<tr>
<td>Geothermie</td>
<td></td>
<td></td>
</tr>
<tr>
<td>Kleinwasserkraftwerke</td>
<td>Martin Brunner</td>
<td>Martin Brunner</td>
</tr>
<tr>
<td>Petits aménagements hydrauliques</td>
<td></td>
<td></td>
</tr>
<tr>
<td>Abfälle</td>
<td>Martin Zogg</td>
<td>Martin Brunner</td>
</tr>
<tr>
<td>Récupération de chaleur</td>
<td></td>
<td></td>
</tr>
<tr>
<td>Wind</td>
<td>Martin Brunner</td>
<td>Robert Horbicy</td>
</tr>
<tr>
<td>Vent</td>
<td></td>
<td></td>
</tr>
<tr>
<td>Solarchemie &amp; Wasserstoff</td>
<td>Armin Reller</td>
<td>Armin Reller</td>
</tr>
<tr>
<td>Chaiue solaire &amp; hydrogéne</td>
<td></td>
<td></td>
</tr>
<tr>
<td>Feuerung &amp; Verbrennung</td>
<td>Alphons Hintermann</td>
<td>Alphons Hintermann</td>
</tr>
<tr>
<td>Combustion</td>
<td></td>
<td></td>
</tr>
<tr>
<td>Wärmespeicherung</td>
<td>Jean-Cristophe Hadorn</td>
<td></td>
</tr>
<tr>
<td>Stockage de chaleur</td>
<td></td>
<td></td>
</tr>
<tr>
<td>Kerntechnik &amp; nucléaire Sicherheit</td>
<td>Wolfgang Kröger</td>
<td></td>
</tr>
<tr>
<td>Technologie et sécurité nucléaires</td>
<td></td>
<td></td>
</tr>
<tr>
<td>Regulatorische Sicherheitsforschung</td>
<td>Christophe de Reyff</td>
<td>Sabyasachi Chakraborty</td>
</tr>
<tr>
<td>Recherche réglementaire</td>
<td></td>
<td></td>
</tr>
<tr>
<td>Kernfusion</td>
<td>Stéphane Berthet</td>
<td></td>
</tr>
<tr>
<td>Fusion nucléaire</td>
<td></td>
<td></td>
</tr>
<tr>
<td>Akkumulator &amp; Brennstoffzelten</td>
<td>Léo Dubal</td>
<td>Léo Dubal</td>
</tr>
<tr>
<td>Piles à combustible &amp; accumulateurs</td>
<td></td>
<td></td>
</tr>
<tr>
<td>Verkehr</td>
<td>Martin Pulfer</td>
<td>Martin Pulfer</td>
</tr>
<tr>
<td>Transports</td>
<td></td>
<td></td>
</tr>
<tr>
<td>Leichtmobile</td>
<td>Martin Pulfer</td>
<td>Martin Pulfer</td>
</tr>
<tr>
<td>Véhicules légers</td>
<td></td>
<td></td>
</tr>
<tr>
<td>Energiewirtschaftliche Grundlagen</td>
<td>Stefan Hammer</td>
<td>Ruedi Meier</td>
</tr>
<tr>
<td>Economie énergétique</td>
<td></td>
<td></td>
</tr>
</tbody>
</table>
ADRESSES IMPORTANTES / WICHTIGE ADRESSEN

Chefs de Domaine et programme / Bereichs- & Programmleiter:

Daniel Binggeli, Tel: 031 / 322 68 23
Martin Brunner, Tel: 031 / 322 56 10
Christophe de Reyff, Tel: 031 / 322 56 66
Léo Dubal, Tel: 031 / 322 56 44
Stefan Hammer, Tel: 031 / 322 56 24
Martin Hinderling, Tel: 031 / 322 56 42
Alphons Hintermann, Tel: 031 / 322 56 54

Walter Luginbühl, Tel: 031 / 322 56 41
Martin Pulfer, Tel: 031 / 322 49 06
Hans-Peter Nütsi, Tel: 031 / 322 56 49
Fabrice Rognon, Tel: 031 / 322 47 56
Rolf Schmitz, Tel: 031 / 322 54 61
Martin Stettler, Tel: 031 / 322 55 53
Urs Wolfer, Tel: 031 / 322 56 39

Die folgende Adresse ist für alle Obenannten gültig: BEW, 3003 Bern – Fax: 031 / 382 44 03
E-mail: vorname.name@bew.admin.ch
L’adresse suivante est valable pour les personnes ci-dessus: OFEN, 3003 Berne – Fax: 031 / 382 44 03
E-mail: prénom.nom@bew.admin.ch

Chefs de programme / Programmleiter

Stéphane Berthet
OFES, 3003 Berne
Tel: 031 / 322 99 67 – Fax: 031 / 322 78 54
E-mail: stephane.berthet@bbw.admin.ch

Roland Brüninger
Isenbergstr. 30, 8913 Ottenbach
Tel: 01 / 760 00 66 – Fax: 01 / 760 00 68
E-mail: roland.brueninger@r-brueninger-ag.ch

Sahyasachi Chakraborty
HSK, 5232 Villigen
Tel: 056 / 310 39 36 – Fax: 056 / 310 39 95
E-mail: chakraborty@hsk.psi.ch

Harald L. Gorhan
EWI, Bellcrivestr. 36, 8034 Zürich
Tel: 01 / 385 27 33 – Fax: 01 / 385 26 54
E-mail: harald.gorhan@ewi.ch

Jean-Christophe Hadorn
Ch. des Fleurettes 5, 1007 Lausanne
Tel: 021 / 616 28 31 – Fax: 021 / 616 28 31
E-mail: jchadorn@swissonline.ch

Robert Hastings
ETH-Hönggerberg, 8093 Zürich
Tel: 01 / 633 29 88 – Fax: 01 / 633 10 75
E-mail: hastings@orl.arch.ethz.ch

Robert Horbay
ENCO, Oristalstr. 85, 4410 Liestal
Tel: 061 / 922 08 04 – Fax: 061 / 922 08 31
E-mail: 101322.3361@compuserve.com

Wolfgang Krüger
PSI, 5232 Villigen
Tel: 056 / 310 27 42 – Fax: 056 / 310 44 11
E-mail: krüger@psi.ch

Hanspeter Leutwiler
ITECO, Postfach, 8910 Affoltern am Albis
Tel: 01 / 762 18 33 – Fax: 01 / 762 18 15
E-mail: iteco@iteco.ch

Ruedi Meier
Bolligenstr. 14, 3006 Bern
Tel: 031 / 633 36 22 – Fax: 031 / 333 24 69

Urs Muntwyler
Postfach 512, 3052 Zollikofen
Tel: 031 / 911 50 63 – Fax: 031 / 911 51 27

Thomas Nordmann
TNC-Consulting, 8708 Männedorf
Tel: 01 / 921 13 14 – Fax: 01 / 921 13 77
E-mail: nordmann@tnc.ch

Stefan Nowak
Waldweg 8, 1717 St. Ursen
Tel: 026 / 494 00 30 – Fax: 026 / 494 00 34
E-mail: stefan.nowak.net@bluewin.ch

Pierre Renaud
PLANAIR, Crét 108 A, 2314 La Sagne
Tel: 032 / 931 88 28 – Fax: 032 / 931 18 68
E-mail: info@planair.ch

Armin Reller
BTW, Schlachthofstr. 1, 8406 Wintertthur
Tel: 052 / 20 09 90 – Fax: 052 / 20 09 91
E-mail: btwag@dia2.eunet.ch

Christoph-Walter Rutschmann
VHE, Falkenstr. 26, 8008 Zürich
Tel: 01 / 252 30 70 – Fax: 01 / 251 41 26
E-mail: lignum@access.ch

Markus Zimmermann
EMPA-KWH, 8600 Dubendorf
Tel: 01 / 823 41 78 – Fax: 01 / 821 62 44
E-mail: mark.zimmermann@empa.ch

Martin Zogog
Kirchstutz 3, 3414 Oberburg
Tel: 034 / 422 07 85 – Fax: 034 / 422 69 10
E-mail: martin.zogog@bluewin.ch

151
Renseignements généraux sur la recherche énergétique
Allgemeine Auskünfte über die Energieforschung
Gerhard SCHRIBER, Dr., Phys., BEW, 3003 Bern
Tel: 031 / 322 56 58 Fax: 031 / 382 44 03

Centres de distribution pour les rapports annuels et finaux de recherche énergétique
Bezugsorte für Jahres- und Schlussberichte aus der Energieforschung
ENET, Postfach 130, 3000 Bern 16
Tel: 031 / 352 77 56 Fax: 031 / 350 00 05

Éditeur / Redaktor: Corinne Voirol et Léo Dubat, OFEN, 3003 Berne
Distribution / Bezugsquelle: ENET, NovaEnergie

14.03.1997 / 1200.

152