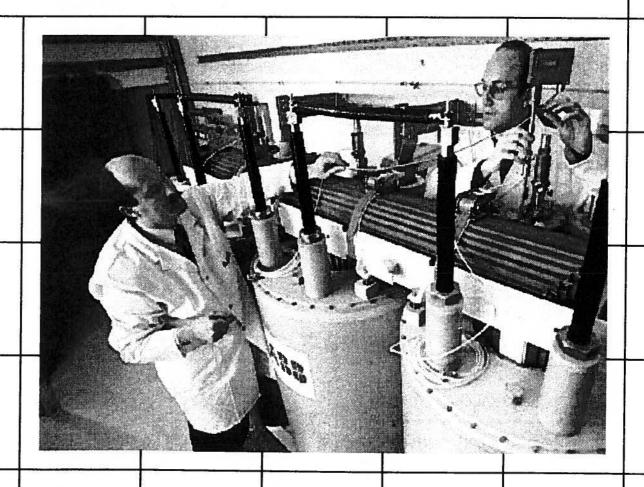


Recherche énergétique

Energie-Forschung

1997

Rapports de synthèse des chefs de programme Überblicksberichte der Programmleiter



Supraconducteurs... le courant passe

RECHERCHE ÉNERGÉTIQUE ENERGIEFORSCHUNG

1997

Rapports de synthèse des chefs de programme Überblicksberichte der Programmleiter

Vorwort / Avant-propos	3
Fortschritte der Energieforschung 1997	4
Programmes de recherche – Forschungsprogramme	
Rationelle Energienutzung in Gebäuden	7
Solararchitektur	15
Elektrizität	23
Umgebungs- und Abwärme, Wärme-Kraft-Kopplung	31
Solaire actif & Chaleur	39
Photovoltaik	49
Biomasse	57
Geothermie	65
Kleinwasserkraftwerke	71
Windenergienutzung	77
Solarchemie & Wasserstoff	83
Feuerung & Verbrennung	91
Stockage de chaleur	101
Kerntechnik und nukleare Sicherheit	109
Regulatorische Sicherheitsforschung der HSK	119
Fusion thermonucléaire contrôlée	127
Piles à combustible & Accumulateurs	135
Verkehr	143
Energiewirtschaftliche Grundlagen	151
Annexe – Anhang	
Organisation de la Recherche et P+D / Forschungs- und P+D-Organisation	158
Adresses importantes / Wichtige Adressen	159

Excerpt from ,,ENERGY RESEARCH 1997", Editor: L. Dubal Swiss Federal Office of Energy http://www.admin.ch/bfe/

VORWORT

Die Energieforschung der öffentlichen Hand der Schweiz richtet sich nach dem Konzept der Energieforschung des Bundes. Koordination, Begleitung, Umsetzung und internationale Einbettung der Forschungsarbeiten gehören zum Aufgabengebiet des Bundesamtes für Energie (BFE). Es setzt seine dafür vorhandenen Mittel subsidiär zu den Anstrengungen der privaten und öffentlichen Forschungsstellen ein. Das BFE hat die Arbeiten zur Förderung neuer Technologien in 15 Bereiche eingeteilt. Die Betreuung der dazugehörenden Forschungs-, Pilot- und Demonstrationsprogramme obliegt internen und externen Programmleitern. Eine Übersicht über die Organisation mit den entsprechenden Kontaktadressen findet sich im Anhang.

1997 betrugen die gesamten Aufwendungen der mit öffentlichen Mitteln finanzierten Energieforschung 197 Mio. Franken, wovon rund 31 Mio. Franken für Pilot- und Demonstrationsanlagen eingesetzt wurden. Der Anteil des BFE belief sich auf 38 Mio. Franken, wovon 11 Mio. Franken für Beiträge und Messungen an Pilotanlagen. Eine detaillierte Zusammenstellung aller Geldflüsse ist aus der *Liste der Energieforschungsprojekte der Schweiz 1996 / 1997* ersichtlich.

Der vorliegende Band enthält die Jahres-Überblicksberichte der BFE-Programmleiter und ist für die breite Öffentlichkeit bestimmt. Beschrieben sind vorwiegend diejenigen Vorhaben, welche ganz oder teilweise durch das BFE finanziert wurden. Es wird aber auch auf andere mit öffentlichen und privaten Mitteln durchgeführte Forschungsarbeiten hingewiesen, über welche ausführlicher in den Jahresberichten der entsprechenden Forschungsstätten informiert wird.

Die Übersichtsberichte der Programmleiter dürfen – unter Angabe der Quelle – reproduziert werden. Die einzelnen Jahresberichte (JB) oder Schlussberichte (SB) der in den Übersichten erwähnten Projekte sind bei ENET (Fax: 031/352 77 56) bzw. bei der ENERGIE 2000 P+D-Infostelle (Fax: 062/834 03 23) erhältlich.

März 1998 BUNDESAMT FÜR ENERGIE

Zur Illustration auf dem Umschlag:

Supraleitung...der Strom fliesst: Im Netz der Stadtwerke Genf ist als Weltpremiere ein Hochtemperatur-Supraleiter-Transformator (630 kVA, Stickstoffkühlung) in Betrieb genommen worden. Die Wirtschaftlichkeit dieser Technologie wird ab Einheiten von 100 MVA erwartet. Siehe auch Programm "Elektrizität". (Photo: ABB-Sécheron)

AVANT-PROPOS

Le Plan directeur de la recherche énergétique de la Confédération est le fil conducteur de la recherche soutenue par les pouvoirs publics dans le domaine de l'énergie en Suisse. La coordination, l'accompagnement, le transfert et l'intégration au niveau international sont du ressort de l'Office fédéral de l'énergie (OFEN). Ses propres moyens sont engagés de façon subsidiaires à ceux des institutions de recherche tant privées que réparti publiques. L'OFEN a les d'encouragement des technologies nouvelles en 15 domaines. La gestion des divers programmes propres de "recherche, développement et démonstration" (RD&D) relève des responsables internes ou externes à l'OFEN. On trouvera en annexe un survol de l'organisation ainsi que les adresses de contact correspondantes.

En 1997, l'ensemble des moyens attribués par les pouvoirs publics à la recherche énergétique se sont élevés à 197 MCHF, dont 31 MCHF pour les projets et installations P+D. La part provenant de l'OFEN s'est élevée à 38 MCHF, dont 11 MCHF pour les projets P+D (contributions aux installations elles-mêmes et aux mesures sur des installations pilotes). Une revue détaillée des flux financiers peut être faite en consultant la *Liste 1996 / 1997 des projets de RD&D dans le domaine de l'énergie en Suisse*.

Le présent volume comprend les rapports de synthèse annuels des chefs de programme de l'OFEN. Il est destiné à un large public. On y trouvera les projets financés totalement ou partiellement par l'OFEN. Il y est fait également mention des travaux de RD&D réalisés avec d'autres moyens publics et/ ou privés. Pour obtenir plus de détails sur ces derniers, on consultera les rapports annuels des institutions de recherche concernées.

Il est loisible de reproduire des extraits du présent volume, en en indiquant la source. Les rapports annuels (RA) spécifiques aux divers projets ainsi que les rapports finals (RF) sont à demander à ENET (Fax: 031/352 77 56) et, pour ce qui est des projets P+D, à ENERGIE 2000 P+D Infostelle (Fax:062/834 03 23).

Mars 1998 OFFICE FÉDÉRAL DE L'ÉNERGIE

Illustration de la couverture:

Supraconducteurs...le courant passe: Les SI-Genève sont les premiers à utiliser sur leur réseau un transformateur supraconducteur haute température de 630 kVA, refroidi à l'azote liquide. Cette technologie sera compétitive à partir de 100 MVA. Ce projet dépend du programme "Électricité". (Photo: ABB-Sécheron)

FORTSCHRITTE DER ENERGIEFORSCHUNG 1997

Gerhard Schriber

Forschungskoordination, BFE gerhard.schriber@bfe.admin.ch

Der jährliche Aufwand der öffentlichen Hand für die Energieforschung hat in den letzten 5 Jahren um rund 40 Mio. Franken abgenommen. Er fiel 1997 unter 200 Mio. Franken, was etwa dem Stand von 1988 entspricht. Trotz dieses Rückgangs konnte das Know- How in den wichtigsten Gebieten gesteigert werden

Und die Anstrengungen der Forscher und Entwickler führten auch im vergangenen Jahr zu einer Reihe bemerkenswerter Ergebnisse. Hier – als persönliche Auswahl – einige Resultate aus der Laborforschung und den Aktivitäten im Pilot- & Demonstrationsanlagenbau:

- Die Forschungsarbeiten für die Herstellung eines umweltverträglichen hochselektiven Absorbers für nichtabgedeckte Solarkollektoren haben zu einer optisch sehr guten Schicht geführt (Absorptionskoeffizient 0,963; Emissionskoeffizient 0,05). Die Schicht hat die strengen Alterungstests erfolgreich bestanden. Ein Unternehmen prüft nun die Möglichkeiten der industriellen Fertigung.
- Mit den Solar-Reaktoren am PSI können aus Metalloxiden und Erdgas Metalle sowie Synthesegas gewonnen werden, d.h. wichtige neue Grundmaterialien bzw. chemische Energieträger. Erfolgreich verlief u.a. die Reaktion mit Ilmenit (Eisentitanoxid) und Erdgas: Es lassen sich daraus Eisen, Titanoxid (wichtigstes Weisspigment) sowie Synthesegas (Wasserstoff und Kohlenmonoxid, zur Methanolproduktion nutzbar) gewinnen. Das Verfahren wurde patentiert. Verhandlungen mit der Industrie sind aufgenommen worden.
- Die Charakteristiken der mikromorphen Solarzelle (Tandem von mikrokristalliner mit amorpher Zelle, UNI-Neuenburg) konnten weiter verbessert werden. Es wird inzwischen ein stabiler Wirkungsgrad von 12% erreicht. Weitere Optimierungen sind noch möglich.
- Einen ähnlich hohen Wirkungsgrad erreicht auch die Farbstoff-Solarzelle (Grätzel, ETH-Lausanne). Bei dieser bedürfen Fragen der Stabilität noch weiterer Forschung.
- Erste Abklärungen zeigen, dass die alleinige Speicherung der Wärme aus Sonnenkollektoren in einer mit Rohren durchzogenen Betonmauer eines Gebäudes zu einfachen und wirtschftlichen Lösungen für die Heizung führen kann. Die Steuerung hat aber mittels vorausschauender Intelligenz (neuronale Netzwerke) zu erfolgen. Dieses neuartige Konzept bedarf noch weitergehender Forschung.
- Erstmals konnte experimental gezeigt werden, dass bei Inbetriebnahme des Druckentlastungssystems in Kernkraftwerken nicht mit einer erhöhten Freisetzung radioaktiver Aerosole zu rechnen ist, sondern im Gegenteil die Aerosole verstärkt ausgewaschen werden. Dies ist für eventuelle Unfallkonsequenzen günstig.
- Im **Fusionsreaktor** Joint European Torus (JET) –

- bei dessen Forschungsarbeiten auch Schweizer beteiligt sind – ist ein neuer Leistungs-Weltrekord von 16,1 MW erreicht worden. Und mit dem neuen Schweizer Versuchs-Fusionsreaktor TCV ist man bereits nahe an die im Konzept vorgesehenen maximalen Werte für Strom und Plasmaauslenkung herangekommen: 1,05 MA (max. Planwert 1,20 MA), Plasmaauslenkung 2,58 (Design 3).
- Die Anwendung von neuen **Heizungs-Regelstra- tegien**, welche an die Stelle von physikalischen
 Zusammenhängen neuronale Netzwerke und *Fuzzy- Logic* setzt, kann gegenüber herkömmlichen
 Methoden bis zu 30% Energieeinsparungen führen.
- Die Dieselmotoren erfahren z.Zt. einen starken Entwicklungsschub. Dies dank verbesserter Einspritz-Technik, der sog. Common Rail-Technik. Die höhere Leistungsausbeute führt zu geringerem Verbrauch und zu massiv tieferem Schadstoffausstoss (NO_x, Kohlenmonoxid, Kohlenwasserstoffe, Partikel). Von der ETH-Zürich ausgehende Entwicklungen sind von Pumpen- und Motorenherstellern bereits aufgenommen worden. Weitere Optimierungen sind Gegenstand künftiger P+D-Projekte.
- Aus der vor 10 Jahren durch die Initiative des BFE entstandenen schweizerischen METEONORM ist 1997 eine globale meteorologische Datenbasis für die Solarenergienutzung geworden. Dies nachdem es sich erwiesen hat, dass die in der Schweiz entwickelten Interpolationsmethoden mit genügender Genauigkeit für die Solarplanung weltweit verwendet werden können. Mit der Version METEONORM 3.0 können nun für jeden beliebigen Punkt der Erde Solarstrahlung, Temperatur, Luftfeuchtigkeit bestimmt werden, Daten die u.a. auch für die Hydrologie, die Landwirtschaft und den Tourismus wichtig sind. Der internationale Vertrieb ist gut angelaufen.
- Das Energie-Sparpotential in verfahrenstechnischen Prozessen in unserem Land beträgt mindestens 20%. Die Schweiz hat hier einen grossen Aufholbedarf. 1997 konnte für die energetische Optimierung verfahrenstechnischer Prozesse ein erster Set von Planungsmitteln fertiggestellt werden.

- Um Machbarkeitsabklärungen für den Bau von Biogasanlagen effizient durchführen zu können, ist ein benutzerfreundliches PC-Programm (Bezeichnung: BIOGAS!) erarbeitet worden, welches auf internationales Interesse stösst.
- Auf dem Titlis konnte die höchstegelegene (3000 m) Windkraftanlage in Europa in Betrieb genommen werden. Sie hat eine Leistung von 30 kW_{el}. Ihr Verhalten wird analysiert.
- Die mit 100% Schweizer Technologie entwicklelte Brennstoffzelle HEXIS ist soweit gereift, dass bei den Stadtwerken Winterthur eine erste Pilotanlage installiert werden konnte. Mit 0,4 kW_{el} ist die Leistung dieser Festoxid-Brennstoffzelle allerdings bescheiden.
- Bei der ETH-Lausanne konnte die Anzahl der Demonstrations-Pavillons, welche verschiedene Lösungen zur Gebäudeintegration von Photovoltaik-Modulen zeigen, um vier erweitert werden. Weltweit einzigartig werden damit nun 17 Einbauvarianten im Massstab 1:1 vorgeführt.
- In Etoy (VD) konnte erfolgreich eine erste schweizerische Raps-Verarbeitungsanlage zur Treibstofferzeugung in Betrieb genommen werden. Ihre Jahresproduktion beträgt 1,8 Mio. Liter Biodiesel.
- Der in Zusammenarbeit der UNI-Basel und der BFE-Solarforschungsstelle Rapperswil entwickelte Sonnenkollektor-ABSORBER 2000 geht in die industrielle Fertigung. In Deutschland ist dafür eine neue Fabrik entstanden, nachdem innert nützlicher Frist (Konkurrenzdruck) in der Schweiz kein geeigneter Industriepartner gefunden werden konnte.
- Integraldrive: Nach mehrjähriger Forschungs

Generell lässt sich feststellen – auch obige Beispiele deuten darauf hin - dass die Energieforschung der öffentlichen Hand marktnah und in enger Zusammenarbeit mit der Industrie bzw. den Planungsbüros durchgeführt wird. Dies ist einerseits so gewollt; andererseits darf aber nicht ausser Acht gelassen werden, dass gerade die Forschung der öffentlichen Hand auch längerfristige Perspektiven verfolgen muss. Die 1997 - nach einer Evaluation - neu erfolgte Empfehlung der CORE (Eidg. Energieforschungskommission), die langfristig angelegte Forschung im Bereich der Kernfusion weiterhin angemessen zu unterstützen, muss auch unter diesem Gesichtspunkt gesehen werden. Abgesehen davon, dass die Forschung in diesem Bereich auch wichtige Beiträge für andere energierelevante Gebiete wie Solarenergie, Brennstoffzellen, Wärmetauscher, Informatik, Optik, usw. liefert.

Noch kaum in einem Jahr zuvor waren die Informationstätigkeiten über (und damit auch die Umsetzungsbemühungen für) die Forschungsarbeiten durch das BFE so intensiv wie 1997. Nebst dem

- arbeit konnte 1997 die Prototyp-Entwicklung dieses integrierten Frequenzumrichter-Antriebs für Pumpen, Lüftung usw. abgeschlossen und zusammen mit rund 12 Industrien erfolgreich getestet werden. Die erreichbaren Energieeinsparungen betragen mindestens 10 %. Das Produkt hat zu Firmengründungen in der Schweiz, in den USA und in Deutschland geführt.
- Durch statistische Angaben und geeignete Modellierung ist ein Lastbestimmungsmodell für Verteiltransformatoren entstanden, welches auf einfache Weise eine effiziente Planung und einen verlustarmen Betrieb ermöglicht. Das Modell wurde durch die Elektrizitätswirtschaft getestet und sein Vermarktung in die Wege geleitet.
- An SBB-Reisewagen konnte nachgewiesen werden, dass deren Energie-Verbrauch um mehr als die Hälfte gesenkt werden kann. Die SBB will anlässlich der nächsten Wagenrevisionen die entsprechenden Massnahmen umsetzen.
- Pfahlsysteme können neben der Fundation von Gebäuden gleichzeitig zur Energiegewinnung aus Erdwärme genutzt werden. Dank Erfahrungen aus anfangs der neunziger Jahre errichteten Pilotanlagen solcher Energiepfahlsysteme erhalten Schweizer Firmen inzwischen auch Aufträge aus dem Ausland.
- Analysen zu Daten, Kosten und Wirtschaftlichkeit sowie zu verschiedenen Massnahmen im sozioökonomischen Bereich bilden wichtige Bestandteile der Energiepolitik. Beispiele für neue Arbeiten im Berichtsjahr sind das Energieperspektiven-Szenario für eine verschärfte, auf Nachhaltigkeit ausgerichtete CO₂-Reduktion oder die Studien über die Auswirkungen der Marktöffnung im Elektrizitätsbereich.

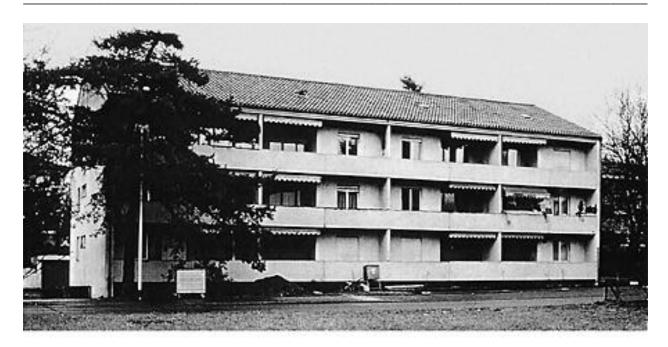
umfangreichen Berichtswesen durch die Informationsstellen ENET und ENERGIE 2000 P+D fanden über 20 grössere, gut besuchte Veranstaltungen (Seminare, Tagungen, Kurse, Workshops) mit jeweils direkt interessierten Kreisen statt. Dazu kommen die persönlichen "Transfer-Einsätze" der Programm- und Bereichsleiter. Auch stieg der Internetzugang zu Energieforschungsprojekten sehr stark an (Eine diesbezügliche Übersicht wird vom BFE bis Sommer 1998 erarbeitet.).

Für eine gewisse Unruhe sorgten die Arbeiten zur Verwaltungsreform des Bundes. Die an und für sich begrüssbare Zusammenfassung der gesamten Forschungsförderung des Bundes (wirksam ab 2000) könnte sich nämlich für die Energieforschung als hemmend erweisen. Dies dann, wenn die heute vom BFE zentral wahrgenommenen Aufgaben zur Forschungspolitik, Forschungskoordination und Begleitung, deren internationale Einbettung und Umsetzung, sowie die entsprechende Marktvorbereitung und -sicherung auseinander gerissen würden.

RATIONELLE ENERGIENUTZUNG IN GEBÄUDEN

Überblicksbericht zum Forschungsprogramm 1997

Markus Zimmermann mark.zimmermann@empa.ch





Mehrfamilienhaus-Sanierung BATIMO

Mit dem Wettbewerb für mustergültige Mehrfamilienhaussanierungen wurden Projekte unterstützt, die nicht mehr Energie benötigen als gute Neubauten. Der Heizenergieverbrauch wurde hier um ²/₃ reduziert; zudem liessen sich der Nutzwert und die Architektur verbessern.

Einleitung

Gebäude sind massgebend am Energie- und Ressourcenverbrauch in der Schweiz beteiligt. Rund 50 % des Energieverbrauchs setzen wir für den Betrieb von Wohn- und Dienstleistungsgebäuden und gewerblichen Bauten ein. Dadurch hängt auch ein grosser Teil der Umweltbelastung mit dem Betrieb von Gebäuden zusammen. Aber auch die Erstellung und der Unterhalt der Gebäude trägt wesentlich dazu bei. Diese Situation wird sich nicht so schnell ändern, obwohl noch ein grosses Spar- und Reduktionpotential im Gebäudebereich, vor allem bei bestehenden, älteren Bauten ausgeschöpft werden könnte. Gebäudesanierungen sind kostspielig und werden in der gegenwärtig wirtschaftlich schwierigen Situation nur zögernd an die Hand genommen. Um eine nachhaltige Verbesserung des Gebäudebestandes erreichen zu können, müssen vor allem sanierungsspezifische Massnahmen weiter verbessert, besser erprobt und damit insgesamt effizienter und wirtschaftlicher gemacht werden.

Das Forschungs-, Pilot- und Demonstrationsprogramm "Rationelle Energienutzung in Gebäuden" fördert die Weiterentwicklung von Energienutzungstechniken im Hochbau. In Ergänzung zu den Projekten der Privatwirtschaft und der öffentlichen Forschungsstellen will das Programm gezielt Wissenslücken schliessen, die Weiterentwicklung vielversprechender Technologien fördern und den Stand der Technik für eine verbreitete Anwendung demonstrieren. Energetische Massnahmen sollen vor allem für die Gebäudesanierung durch Kostensenkungen und Effizienzsteigerungen attraktiver werden.

Nebst der Energieeffizienz steht heute immer mehr die Umweltverträglichkeit im Vordergrund. Nachhaltiges Bauen bedeutet nicht nur Schonung der nicht erneuerbaren Energien, sondern auch Schonung der Ressourcen und der Umwelt allgemein. Die Sorge um die langfristige Schädigung der Umwelt ist eng verknüpft mit dem nicht mehr rückgängig zu machenden Abbau fossiler Energien. Parallel zu den energetischen Aspekten werden deshalb immer stärker auch die Umweltaspekte der Energienutzung untersucht.

Die dem Forschungsprogramm 1996 bis 1999 zugrunde gelegten Schwerpunkte sind:

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

Im **Pilot- und Demonstrationsprogramm** stehen folgende Schwerpunkte im Vordergrund:

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

Anvisierte Zielpunkte für 1997

Die Ziele des Forschungs-, Pilot- und Demonstrationsprogramms "Rationelle Energienutzung in Gebäuden" sind abgestimmt auf das **Bereichsprogramm Gebäude**, welches auch das Forschungsprogramm Solararchitektur, sowie die Programme des BFE zur Markteinführung (ENERGIE 2000) enthält.

Als allgemeines Ziel wird die **verstärkte Umsetzung** der Forschungsergebnisse in die praktische Anwendung angestrebt. Im Vordergrund stehen dabei die Zusammenarbeit mit der Industrie und die gezielte

Realisierung von Pilot und Demonstrationsprojekten, welche nun zusammen mit den geplanten Umsetzungsveranstaltungen und Medienauftritten bereits bei der Projektdefinition fest eingeplant werden.

Bei den Pilot und Demonstrationsprojekten wird eine aktivere Programmgestaltung angestrebt. Eine Liste der zu fördernden Technologien ist festgelegt worden.

Die technologischen Zielsetzungen konzentrieren sich auf die Schwerpunkte Gebäudesysteme/ Gebäudehülle sowie Haustechnik.

Für den ersten Schwerpunkt werden drei neue Themen anvisiert:

- HochleistungsWärmedämmsysteme, vor allem für Gebäudesanierungen und Komponenten mit beschränkten Platzverhältnissen.
- Einfachere und thermisch bessere Montagetechniken für gut wärmegedämmte, hinterlüftete Fassaden.
- Sanierungssysteme für Fenster unter Berücksichtigung neuester Verglasungstechnologien.

In der Haustechnik stehen vor allem Planungshilfen im Vordergrund:

- Grundlagen für den Einsatz thermoaktiver Bau-

- **teilsysteme**, sowohl bei Sanierung wie beim Neubau.
- Grundlagen für die Anwendung kostengünstiger Einzelraumlüftungen.
- EDV-Werkzeuge für die Klima- und Lüftungsbedarfsermittlung.
- Grundlagen zur ökologischen Beurteilung von Haustechniksystemen.

Im Berichtsjahr wurden Projekte in diesen Gebieten vorbereitet, Ergebnisse liegen mehrheitlich noch nicht vor. Parallel dazu wurden die laufenden Projekte weiter vorangetrieben. Die Fortschritte werden nachfolgend zusammengefasst.

1997 durchgeführte Arbeiten und erreichte Ergebnisse

GEBÄUDESYSTEME / GEBÄUDEHÜLLE

Hier steht immer mehr die ökologische Optimierung des Gebäudes im Vordergrund. Der Einfluss der grauen Energie der Baustoffe und die Umweltbelastung durch die Gebäudeerstellung werden bei sinkendem Energiebedarf der Gebäude wichtiger.

Das Projekt *Energy Related Environmental Impact of Buildings* [1] welches mit der Internationalen Energieagentur durchgeführt wird, befasst sich methodisch mit den Umweltproblemen des Bauens. Mit ihm werden international vorhandene Umweltdaten für Baustoffe und Prozesse evaluiert und Hilfsmittel zur ökologischen Beurteilung von Bauten erarbeitet Ein Leitfaden für die Ökobilanzierung und Fallbeispiele, welche den Einsatz verschiedener Beurteilungsinstrumente dokumentieren, liegen im Entwurf vor. Der Abschluss des Projektes ist für Ende 1999 vorgesehen.

Das Ökoinventar für Energiesysteme wurde völlig überarbeitet und neu auf CD-ROM herausgegeben. Damit steht in der Schweiz einer der weltweit umfangreichsten Umweltdatensätze für Ökobilanzierungen in aktueller Form zur Verfügung [24].

Ein weiteres wichtiges Element für ökologische Beurteilungen entsteht aus dem 1996 abgeschlossenen Projekt OGIP, welches die gesamtheitliche Optimierung von Energieverbrauch, Umweltbelastung und Baukosten zum Ziele hatte. Auf der Grundlage dieses Forschungsprojektes konnte zusammen mit dem CRB und dem Amt für Bundesbauten ein Projekt zur Markteinführung eines entsprechenden, benutzerfreundlichen Softwarepaketes gestartet werden [13]. Die Software wird es den Planungsbüros erlauben, nebst der Baukostenberechnung praktisch ohne Mehraufwand auch eine Analyse der Umweltbelastung durchzuführen. Erste Referenzobjekte werden dem Anwender zeigen, wie sein Projekt umweltmässig liegt. Die Software wird Ende 98 zur Verfügung stehen.

Eine interessante Arbeit zum Thema "nachhaltiges Bauen" wurde an der Ingenieurschule beider Basel durchgeführt [25]. Zum ersten Mal wurde versucht, streng nachhaltiges Bauen, das heisst Beschränkung auf erneuerbare Ressourcen für Erstellung und Betrieb eines Wohngebäudes, zu quantifizieren und in ein Sanierungsprojekt umzusetzen. Die Analyse zeigt, dass nachhaltiges Bauen durchaus möglich wäre, dass aber Abbruch und Neubau unter gewissen Voraussetzungen ökologisch interessanter sein könnten als Sanieren. Sicherlich interessante Perspektiven für die Bauwirtschaft!

Die weiteren Arbeiten befassen sich mit der Optimierung resp. Verbesserung der Gebäudehülle.

Die Optimierungsmöglichkeiten für Backsteinmauerwerke wurden zusammen mit dem Verband der Schweiz. Ziegelindustrie im Projekt **Hochwärmedämmendes Verbandmauerwerk** untersucht [14]. Die detaillierten Analysen haben gezeigt, dass k-Werte von 0.3 W/m²K und tiefer ohne zusätzliche Isolationsschichten kaum machbar sind. Isolierende Ziegelsteine stossen heute an ihre technischen Grenzen. Eine weitere Optimierung ist kaum mehr möglich.

Ein weiteres, bis heute wenig untersuchtes Element, stellen die Unterkonstruktionen hinterlüfteter Fassadenverkleidungen dar. Vor allem die Metallunterkonstruktionen verursachen oft unzulässige Wärmebrücken, welche die Wärmedämmung massiv verschlechtern. Im Projekt Punktuelle Wärmebrücken hinterlüfteter Fassaden [4] wurde deshalb die Wirkung thermischer Trennelemente untersucht und eine Richtlinie zur rechnerischen Berücksichtigung der Wärmebrücken erarbeitet. Letztere wird als Richtlinie anfangs 98 erscheinen.

Ein Schritt in die Zukunft soll das Projekt **Hocheffiziente Wärmedämmsysteme** [5] ermöglichen. Es untersucht neuartige Wärmedämmstoffe (u.a. mikro-

poröse, teilvakuumierte Schäume), welche bis zu 5 mal besser dämmen als konventionelle Dämmstoffe. Solche Materialien werden zwar verhältnismässig teuer sein, wo sich jedoch kostspielige Anschlussarbeiten (z.B. bei Sanierungen) vermeiden lassen, dürften sie wieder wirtschaftlich sein. Eine Voruntersuchung hat gezeigt, dass vielversprechende, schon weit fortgeschrittene Ansätze vorliegen und dass diverse Anwendungsmöglichkeiten, vor allem auch in der Haustechnik, interessant sein könnten. Das eigentliche Entwicklungs- und Demonstrationsprojekt kann 1998 gestartet werden.

Im Fensterbereich sind vor allem Arbeiten zu genaueren Bestimmung der Wirkung von Beschattungssystemen im Gange. Im Projekt Sommerliche Wärmelasten transparenter Bauteile und Sonnenschutzsysteme [6] werden an der EMPA mit Unterstützung des Amt für Bundesbauten raumgrosse Testzellen erstellt. Die Vorbereitungsarbeiten dazu sind abgeschlossen. Die Testzellen können in der ersten Hälfte 98 in Betrieb genommen und danach in Zusammenarbeit mit der Industrie für das Ausmessen von Beschattungssystemen eingesetzt werden.

HAUSTECHNIK

In Bearbeitung sind eine Reihe von Planungsinstrumenten. Die schon länger in Angriff genommenen Untersuchungen zur passiven und hybriden Kühlung von Gebäuden sind nun weitgehend abgeschlossen:

- Im Rahmen des IEA-Projektes Low Energy Cooling [7] wurden Planungsinstrumente für energiesparendes Kühlen erarbeitet. Die Schweiz hat sich dabei vor allem auf Simulationsprogramme und Planungsrichtlinien für Luftansaug-Erdregister konzentriert. Parallel dazu wurde eine Reihe von gut dokumentierten Fallbeispielen aufgearbeitet. Die Ergebnisse werden Mitte 98 publiziert.
- Parallel zu diesem IEA-Projekt laufen noch ergänzende Messungen an einem Erdregister der PTT im Tessin [15] sowie die Schaffung und Validierung eines TRNSYS-Simulationsmodules für Erdregister [16].
- Für die Kühllastermittlung wurde mit dem Zentralschweizerischen Technikum Luzern (ZTL) ein Programm für den Standard-Kühllastnachweis nach SIA 382/3 erstellt [17]. Das Programm basiert auf der dynamischen Gebäudesimulation mit dem Programm DOE-2 und ist in die Rechenumgebung IDEA-Haustechnik des ZTL integriert [28].
- Im Projekt thermoaktive Bauteilkühlung werden Unterlagen geschaffen, die aufzeigen, wie die Betondecken oder andere massive Bauteile von Gebäuden als thermische Speichermasse für die Kühlung eingesetzt werden können. Mit dem Neubau der Messe Zürich konnte 1997 ein interessantes Demonstrationsgebäude in Betrieb genommen werden. Die Messergebnisse dieses und anderer Objekte (DOW Horgen, FRANKE Aarburg [23]) werden nun für die Entwicklung geeigneter Planungshilfsmittel eingesetzt.

Im Lüftungsbereich konnte vor allem das IEA-Projekt *Energy Efficient Ventilation of Large Enclosures* [2], welches von der Schweiz aus geleitet wurde, erfolgreich abgeschlossen und die Ergebnisse an einer Tagung präsentiert werden. Die eigens für schweizerische Bedürfnisse erstellte Dokumentation – Lüftung von grossen Räumen – Handbuch für

Planer – wurde mit dem Verband CLIMASUISSE herausgegeben und stösst auf reges Interesse [26]. Die internationalen Publikationen – Grundlagen und Fallbeispiele – werden demnächst erscheinen.

Anders ausgerichtet ist das Projekt, welches sich mit den **Einsatzmöglichkeiten von Einzelraumlüftungsgeräten** befasst [10]. Diese Geräte sollen vor allem bei Gebäudesanierungen die kostengünstige Belüftung einzelner kleinerer Räume ermöglichen. Das Projekt untersucht Energieeffizienz, Lüftungswirksamkeit und Lärmentwicklung solcher Geräte und will Richtlinien für deren Einsatz liefern. Zwei typische Geräte wurden auf dem Prüfstand ein erstes Mal untersucht und aufgrund der gemachten Erfahrungen bereits verbessert.

Ebenfalls mit der Lüftung befassen sich zwei Projekte [3], welche mit sogenannten *Passive Tracern* kostengünstige und aussagekräftige **Diagnoseinstrumente für Luftwechsel und Leckagen** ermöglichen sollen. *Passiv Tracer* bestehen aus Proben, die ein in den Raum gegebenes Testgas absorbieren. Aufgrund der Konzentration des aufgenommenen Testgases können Aussagen über den Luftwechsel gemacht werden. Die Vorarbeiten sind abgeschlossen, die Hauptprojektbearbeitung findet jedoch erst 1998 statt.

Ein anderes vielversprechendes Projekt befasst sich mit der Anwendung von Mischgasfühlern zur Beurteilung der Raumluftqualität [11]. Zusammen mit LANDIS&STÄFA untersucht die EMPA die Fühlereigenschaften um ihre Eignung als "künstliche Nase" zur bedarfsabhängigen Regelung von Lüftungsanlagen gezielt einsetzen zu können.

Ebenfalls mit LANDIS&STÄFA wurden im Rahmen eines IEA Projektes **Methoden zur automatischen Fehlerdetektion in Haustechnikanlagen** untersucht und evaluiert [27]. In einem Folgeprojekt werden nun – im Rahmen der IEA – die erfolgversprechendsten Methoden unter realen Bedingungen mit einem VISONIK-Gebäudeleitsystem in der Praxis ausgetestet [19]. Dabei geht es vor allem auch darum, Fehlermeldungen auf das minimal notwendige Mass zu reduzieren und die Wissensbasis für die Diagnose zu erweitern. Ziel ist die Markteinführung solcher

Diagnosesysteme nach dem Projektabschluss Ende 1999.

Mit dem Projekt *NEUROBAT* [18] untersuchen das CSEM zusammen mit der EPFL alternative Regelstrategien. Die Regelung basiert dabei nicht mehr auf physikalischen Zusammenhängen, sondern sie verwendet **neuronale Netzwerke und** *Fuzzy-Logic*. Die Ergebnisse sind ermutigend. Einsparungen von 10 bis 15 % gegenüber den herkömmlichen Heizungsreglern scheinen möglich, während der Übergangszeit liegen sie sogar wesentlich höher (ca. 30 %). Die in der Projektbegleitung vertretene Industrie ist interessiert, diese Technik weiterzuentwickeln.

Zwei weitere Projekte befassen sich mit der Wärmeerzeugung selbst:

Mit Unterstützung des Forschungsfonds der Erdöl-Vereinigung werden **neuartige Kesselbeschich-** tungen, welche im Rahmen eines BFE-Projektes entwickelt wurden, in einem ausgedehnten Feldversuch mit Industriepartnern getestet. Die korrosionsbeständigen Kunstharzbeschichtungen sollen eine wesentlich längere Lebensdauer der Ölheizkessel ermöglichen, selbst bei voll gleitendem oder sogar kondensierendem Kesselbetrieb. Die Erfahrungen der ersten Heizperiode sind gut [22]. Die endgültige Auswertung durch die EMPA findet nach zwei Betriebsjahren im Sommer 1998 statt.

Das andere Heizkesselprojekt befasst sich mit dem Jahres- resp. Normnutzungsgrad für gleitende und kondensierende atmosphärische Gasheizkessel [12]. Wie bereits früher für Heizkessel mit Gebläsebrenner sollen damit nun auch bessere energiebezogene Planungswerte für die weit verbreiteten Gasheizkessel erarbeitet und mit den Richtlinien der EU koordiniert werden

Pilot- und Demonstrationsprojekte

Im Jahr 1997 war die Rezession im Baugewerbe deutlich spürbar. Die Risikobereitschaft der Bauherren, Pilot- oder Demonstrationsanlagen zu bauen, ist weiterhin sehr klein. Erfreulich ist daher, dass trotzdem einige gute Projekte realisiert werden konnten.

1997 wurden drei von fünf Projekten des Wettbewerbs für mustergültige Mehrfamilienhaussanierung ausgeführt und erfolgreich abgeschlossen. Ein Projekt erlitt wegen Einsprachen Verzögerung, konnte jedoch auch im laufenden Jahr gestartet werden.

Mit dem Schulungs- und Informationszentrum der FRANKE in Aarburg konnte ein Projekt im Dienstleistungsbereich erfolgreich beendet werden [23]. Das Gebäude ist mit **einer innovativen Haustechnik** ausgestattet. Inbesondere das in die Decke integrierte Kühl- und Heizsystem kann als nachahmenswert auf weitere Gebäude übertragen werden. Bemerkenswert ist, dass das Grundwasser zur Sommerkühlung ausreicht (<13 W/m²). Die vorhandene Kältemaschine kommt praktisch nicht zum Einsatz. Das Gebäude wird als Ausstellungs- und Demonstrationsgebäude genutzt und hat sich bisher sehr gut bewährt.

Im Wohnungsbau wurden zwei Projekte realisiert, welche in der Presse bereits mehrfach erwähnt wurden:

Beim Mehrfamilienhaus "Focus" in Uster (ZH) wurde die **kontrollierte Wohnungslüftung mit einer Luftheizung** ergänzt. Diese Kombination wird erst möglich, wenn der Wärmeleistungsbedarf sehr tief ist. Erfahrungen mit Luftheizungen in Mehrfamilienhäusern fehlen in der Schweiz. Das Projekt wurde wegen seiner ökologischen Bauweise zudem als Musterobjekt von *DIANE* Öko-Bau aufgenommen und vorgestellt.

Bei der Wohnsiedlung "Oberseen" in Winterthur mit 35 Wohneinheiten erfolgt die Wärmebedarfsdeckung für die Heizung mit Wärmepumpen und Erdsonden. Eine kontrollierte Wohnungslüftung und Sonnenkollektoren für das Warmwasser sind optimal in das Konzept eingebunden, so dass die Systemtemperaturen tief gehalten werden konnten, was sich vorteilhaft auf die Regelung auswirkte. Die Messungen sind angelaufen.

1997 konnten neun Projekte abgeschlossen werden. Die bei P+D-Projekten vorgeschriebenen Erfolgskontrollen liefern in der Regel die Bestätigung für die hohe Qualität der Projekte.

Eine wichtige Erkenntnis ist, dass bei Umsetzungen nicht nur die positiven Schlussresultate publik gemacht werden, sondern dass auch der oft mühsame Weg bis zur erfolgreichen Realisierung aufgezeigt wird.

Nationale Zusammenarbeit

Die auffälligste Veränderung betrifft die Zusammenarbeit mit den zukünftigen Fachhochschulen. Diese haben sich in den vergangenen Jahren labormässig und personell aufgerüstet, um ihre Aufgaben als For-

schungsstellen wahrnehmen zu können. Sie stellen eine echte Bereicherung der Forschungsszene dar, indem sie sehr praxisnah forschen und im Rahmen von Diplomarbeiten viele neue Themen aufgreifen können. Vor allem der Bereich Pilot- und Demonstrationsbauten kann davon profitieren, wenn angehende Architekten und Ingenieure die neuen Lösungen genauer als sonst möglich, unter die Lupe nehmen.

Daneben wird weiterhin eine enge Zusammenarbeit von Forschungsstellen, Industrie, Planern und Anwendern angestrebt, damit die praktische Umsetzung der Forschungsergebnisse bestmöglich garantiert ist. Von den 1997 laufenden 23 Forschungsprojekten werden mehr als $^2/_3$ als Gemeinschaftsprojekte mehrerer Institute und Projektpartner durchgeführt. An 10 Projekten ist die Industrie direkt beteiligt, in 9 Projekten wird mit planenden Ingenieurbüros und in 6 Projekten direkt mit Verbänden zusammengearbeitet.

Verhältnismässig bescheiden ist die Zusammenarbeit mit andern schweizerischen Forschungsfonds. Diese werden heute vor allem durch die Energielieferanten (Strom, Öl, Gas) gespiesen und konzentrieren sich deshalb stark auf Themen, die direkt mit diesen Energieträgern zusammenhängen. Die Feldtests mit neuartig beschichteten Ölheizkesseln werden deshalb auch von der schweizerischen Erdölvereinigung unterstützt.

Eine gute Zusammenarbeit mit anderen Bundesämtern findet im Umweltbereich statt. Die Aktivitäten werden im Rahmen der Koordinationsgruppe des Bundes für Energie- und Ökobilanzen, in welcher nebst dem BFE das BUWAL, das AFB und das BFS vertreten sind, abgesprochen und teilweise gemeinsam finanziert.

Internationale Zusammenarbeit

Die internationale Zusammenarbeit konzentriert sich mit wenigen Ausnahmen auf die Programme der *Internationalen Energieagentur (IEA)* und der **Europäischen Union** (*EU*). Beide Organisationen stellen einen langjährig etablierten Rahmen für die Energieforschung.

Im IEA-Programm *Energy Conservation in Buildings and Community Systems* war die Schweiz 1997 an drei Projekten beteiligt:

- Low Energy Cooling, Mitte 1998 abgeschlossen [7]
- Energy Related Environmental Impact of Buildings, laufend [1]
- Computer-aided Evaluation of HVAC Performance, 1997 gestartet [19]

Im JOULE-THERMIE Programm der EU wurden sieben schweizerische Projekteingaben neu bewilligt (die Finanzierung erfolgt über das Bundesamt für Bildung und Wissenschaft):

- ECOCOOL: Umweltfreundliche Gebäudekühlung (mit Kühltürmen)
- AIRLESS: Planung, Betrieb und Unterhalt von Lüftungsanlagen

- Optimal Design of Multi-functional and Ventilated Facades
- TRIPLE-SAVE: Intergrierte Systeme für Tageslicht, Lüftung und Solarheizung
- DESICAIR COOLING: Sorptionsgestützte Kühlung
- TIP-VENT: Optimierung mechanischer Lüftung
- EDIFICIO: Konzepte f
 ür bessere Regelung und Integration

Darüber hinaus beteiligt sich das Forschungsprogramm zusammen mit *DIANE* Öko-Bau an der *GREEN BUILDING CHALLENGE '98* [21], welche von Kanada initiiert wurde. Dieses Projekt stellt energie- und umweltschonende Bauten aus der ganzen Welt zusammen, bewertet und vergleicht sie. Die Ergebnisse werden an der *Green Building Conference* im Herbst 98 vorgestellt und anschliessend publiziert. Die Schweiz, welche im Energie- und Umweltbereich den internationalen Vergleich nicht zu scheuen braucht, wird mit zwei bis drei gelungenen Beispielen aus dem P+D-Bereich vertreten sein.

Transfer in die Praxis

Die Umsetzung von Forschungsergebnissen in die praktische Anwendung stellt vor allem im Gebäudebereich einen äusserst schwierig überschau- und lenkbaren Prozess dar. Zu viele Beteiligte haben Einfluss darauf. Nicht selten ist es die Trägheit des Marktes, welche neue Lösungen verhindert. Aber wenn ein Konkurrent mit Neuem im Markt auftritt, wird es oft unbesehen übernommen.

Es ist beispielsweise nicht einleuchtend, wieso Isolierverglasungen nicht mit einem Chromstahlsteg

sondern immer noch mit einem rund 30 mal besser leitenden Aluminiumsteg ausgeführt werden. An der Technik liegt es nicht – sie ist dieselbe. Auch nicht wirklich am Preis – das Fenster würde kaum teurer. Aber niemand wagt die Umstellung, solange es der Markt nicht fordert.

Umso mehr muss die Umsetzung der Forschungsergebnisse gezielt angegangen werden. Dieser Prozess beginnt heute schon bei der Projektplanung, indem die potentiellen Anwender – seien es Hersteller oder Planer – in das Projekt einbezogen werden. Neu wird auch schon vor Projektbeginn ein konkreter Umsetzungsplan mit Ziel, Mittel, Träger, Budget und Terminen definiert. Mind. 10 % der Projektmittel werden für diese Aufgaben reserviert.

Problematisch ist jedoch, dass Forschungsprojekte oft abgeschlossen werden müssen, bevor das Umset

zungspotential ausgeschöpft ist. Hier müssen die Programme von ENERGIE 2000 einsetzen, indem sie frühere Forschungsergebnisse in ihre Aktionen einbeziehen. Aber auch der Programmleiter, welcher eine gewisse Kontinuität aufweist und die Übersicht besitzt, muss laufend nach Umsetzungsmöglichkeiten und Synergien mit andern Vorhaben suchen.

AUSBLICK 1998

Eine Reihe neuer Projekte aus praktisch allen Programmbereichen sollen gestartet werden. Die Projekte richten sich stark auf die Programmschwerpunkte 1996 - 1999 aus. Sie sind vor allem auf die Anwender und die Industrie ausgerichtet, welche ihrerseits die Zusammenarbeit mit den Forschungsinstituten suchen soll. Wichtige Aktivitäten sind:

- Realisierung eines Softwarepaketes mit dem CRB zur gesamtheitlichen Optimierung von Bauten bezüglich Energie, Umwelt und Kosten.
- Erarbeiten von Entscheidungsgrundlagen für die gesamtheitliche, ökologische Beurteilung von Haustechniksystemen.
- Erarbeiten von Entscheidungskriterien für die nachhaltige Bauerneuerung: Sanierung oder Abbruch.
- Entwicklung und Demonstration von Hochisolationstechniken für Gebäude, Haustechnik und Geräte.

- Erprobung neuer Sanierungslösungen für bestehende Fenster.
- Umsetzen und Verbreiten der Planungshilfsmittel für passive und hybride Kühlung.
- Empfehlungen bereitstellen zur Reduktion der elektrischen Hilfsenergie bei Wärmeerzeugern und Lüftungsanlagen.
- Ermitteln der Bedürfnisse und der Probleme der Planer im Bereich der thermischen Gebäudesimulation.
- Ausschreiben und aktiv Fördern der Demonstration ausgewählter Technologien.

Ein wichtiger Anlass zu Präsentation und Umsetzung von Forschungsarbeiten wird das **10. Schweizerische Status-Seminar "Energieforschung im Hochbau"** sein, welches am 10. September 1998 als Jubiläumsveranstaltung an der ETH Zürich durchgeführt wird.

Projektliste

- [1] A. Lalive, R. Frischknecht, ETH-Zürich: IEA/BCS Annex 31: Energy Related Environmental Impact of Buildings (JB)
- [2] A. Moser, ETH-Zürich: IEA/BCS Annex 26: Energy Efficient Ventilation of Large Enclosures (SB)
- [3] C. Roulet, EPF-Lausanne: Programme LESOKAI 2.0. (JB) ATEMAC, Application des traceurs passifs pour l'étude des mouvements d'air et de contaminats (Etude préliminaire). (JB) MÉDITA, Méthode de diagnostique des installations de traitement d'air (JB)
- [4] J. Schaufelberger, SVDW, Uzwil: Punktuelle Wärmebrücken / Hinterlüftete Fassaden (JB)
- [5] H.-P. Eicher, EICHER & PAULI, Liestal: Hochleistungs-Wärmedämmsysteme (Vorphase) (SB)
- [6] H. Simmler, EMPA, Dübendorf: Wärmelasten transparenter Bauteile und Sonnenschutzsysteme (JB)
- [7] M. Zimmermann, EMPA, Dübendorf: IEA/BCS Annex 28: Low Energy Cooling (JB)
- [8] M. Koschenz, EMPA, Dübendorf: Planungshilfsmittel für thermoaktive Bauteilsysteme (JB)
- [9] V. Dorer, EMPA, Dübendorf: Energierechenunterstützung für Gebäude- und Haustechniksimulationen (JB)
- [10] H. Manz, EMPA, Dübendorf: Einzelraumlüftungsgeräte mit Wärmerückgewinnung (JB)
- [11] R. Gehrig, EMPA, Dübendorf: Verhalten und Einsatzpotentiale von Mischgasfühlern für oxidierbare organische Gase (JB)
- [12] J. Brenn, EMPA, Dübendorf: Rechenmodell zur Bestimmung des Nutzungsgrades atmosphärischer Gasheizkessel (JB)
- [13] H.-P. Goeggel, CRB, Zürich: OGIP '98: Optimierung von Gesamtanforderungen für Energieverbrauch, Umweltbelastung und Baukosten (JB)

- [14] H. Gubler, Verband Schweiz. Ziegelindustrie, Zürich: Hochwärmedämmendes Verbandmauerwerk (JB)
- [15] R. Sigg, INTEP, Zürich: Messprojekt Luftansaug-Erdregister Centro Tecnico Giubiasco (JB)
- [16] B. Lachal, CUEPE, Genève: Model tube enterrés adapté à l'environnement TRNSYS (SB)
- [17] G. Zweifel, ZTL-Horw: Programm zur Bedarfsermittlung für Raumkühlung nach SIA 382/3.
- [18] M. El-Khoury, CSEM, Neuchâtel: NEUROBAT, Système biomimétique de gestion énergétique du bâtiment (SB)
- [19] P. Gruber, LANDIS&STÄFA, Zug: IEA/BCS Annex 34: Fehlerdetektion- und Diagnosemetoden
- [20] R. LÜTHI, Regensberg: Messprojekt Niedrigenergiehäuser Dielsdorf (JB)
- [21] W. Hässig, BASLER&HOFMANN, Zürich: Schweizer Beteiligung an Green Building Challenge (JB) Jahresbericht 1997 vorhanden
 - (SB) Schlussbericht

Referenzen

- [22] P. Richner, EMPA, Dübendorf: Organische Beschichtungen als Korrosionsschutz in Niedertemperatur-Heizkesseln (Zwischenbericht), Dezember 1997
- [23] R. Kröni, AMSTEIN+WALTHERT, Zürich: Messprojekt Informationszentrum FRANKE, Aarburg, November 1997
- [24] P. Suter, R. Frischknecht, ETH-Zürich: Ökoinventare von Energiesystemen, CD-ROM für MacOS und Windows, ENET 1996
- [25] M. Erb, M. Fahner, G. Lehmann, A. Regennass, IBB NDSE, *Muttenz: Nachhaltiger Wohnungsbau*, September 1997
- [26] Th. BAUMGARTNER et al, *Dübendorf: Lüftung von grossen Räumen Handbuch für Planer*, Clima-Suisse/BFE, Juni 1997
- [27] J. Tödtli et al, LANDIS&GYR, Zug: Methoden zur Fehlererkennung in Haustechnikanlagen, Januar 1997
- [28] G. Zweifel, B. Schütz et al, ZTL-Horw: *IDEA Haustechnik SIA 382/3 Bedarfsnachweis Kühlung*, Beta-Version, September 1997
- [29] B. Flückiger, H.-U. Wanner, P. Lüthy, ETH-Zürich: *Mikrobielle Untersuchung von Luftansaug-Erd*registern, Februar 1997

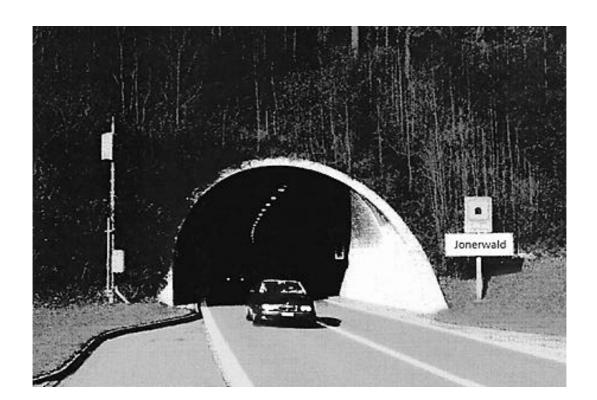
Excerpt from "ENERGY RESEARCH 1997", Editor: L. Dubal Swiss Federal Office of Energy http://www.admin.ch/bfe/

SOLARARCHITEKTUR

Überblicksbericht zum Forschungsprogramm 1997

S. Robert Hastings

hastings@orl.arch.ethz.ch



Nutzung von Tageslicht zur Beleuchtung von Tunneleinfahrten

Die Nutzung von Tageslicht in Gebäuden ist ein wichtiges Gebiet der Solararchitektur. Tunneleinfahrten sind als weiteres Einsatzgebiet geradezu ideal. Die erforderliche Beleuchtungsstärke im Einfahrtsbereich hängt ab von der Helligkeit aussen.

Programmübersicht und anvisierte Ziele für 1997

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

Leitfaden für das abgelaufene Jahr war das Forschungskonzept 1996 bis 1999. Die Aktivitäten sind nach drei Gesichtspunkten geordnet: direkte Solarnutzung, indirekte Solarnutzung und Systemintegration.

Die **Direkte** Solarnutzung verwendet die durch Fenster einfallende Sonnenstrahlung als Wärme oder Licht. Diese Methode ist einfach, effizient und preiswert. Der technische Fortschritt bei Gläsern und Fenstersystemen hat ihr neue Möglichkeiten erschlossen und ist auch bei Sanierungen anwendbar. Intensive **Tageslichtnutzung** verlangt nach Vorrichtungen für Lichtlenkung, Blend- bzw. Überhitzungsschutz und Regelsystemen für Kunstbeleuchtung.

Die indirekte Solarnutzung fängt die Energie der auf den opaken Teil der Gebäudehülle fallenden Sonnenstrahlung ein und transportiert sie ins Gebäudeinnere. Sie bildet eine Ergänzung zur Direktnutzung. Die Wärme kann gezielt zu Räumen mit Wärmebedarf geleitet oder verzögert über einen Speicher abgegeben werden. Möglichkeiten der indirekten, passiven Solarnutzung bieten die transparente Wärmedämmung (TWD), Atrien, Wintergärten, verglaste Loggien und Doppelfassaden. Diese Techniken lassen sich auch bei Sanierungen einsetzen.

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

Bei den neuen Projekten wird das Schwergewicht auf Zielsetzungen gelegt, die für Sanierungen und Umsetzung (z.B. Planungshilfsmittel) wichtig sind.

1997 durchgeführte Arbeiten und erreichte Ergebnisse

DIREKTE SOLARNUTZUNG - WÄRME

Praxisnahe Validierung von Gebäude- und Haustechniksimulationsprogrammen [4]. Die in der Schweiz im Bereich Gebäude- und Haustechnik gebräuchlichen Simulationsprogramme sollen mit Messdaten aus genutzten Gebäuden validiert werden. Bei bisher durchgeführten Validierungen wurden Daten aus Messkabinen verwendet, was nicht von allen Benutzern als vollwertig angesehen wird. Diese Arbeiten sollen im internationalen Rahmen der IEA durchgeführt werden. Als erstes ging es darum, Gebäude aufzuspüren, das sich als Fallbeispiele eignen und von neu bereits die nötigen Messdaten vorhanden sind. Solche konnten aber bis jetzt erst im Ausland gefunden werden. Die Abklärungen in der Schweiz gehen weiter.

Praktische Anwendungen der Methode "Klimaflächen" und der dynamischen Speicherberechnung [6]. Zwei an der Professur für Bauphysik an der ETHZ streng wissenschaftlich hergeleitete Methoden zur Analyse des thermischen Verhaltens von Bauten sollen dem Praktiker zugänglich gemacht werden.

Die "Methode zur dynamischen Analyse der Speichermasse" arbeitet hauptsächlich mit Nomogrammen, welche einfach zu gebrauchen sind. Diese wurden am Haus "Trin" angewandt, von welchem ausführliche Messdaten vorhanden sind. Ebenfalls verwendet wurden die Formeln zur Berechnung des thermischen Verhaltens eines Innenraumes. Diese Methode ist in der Praxis schwer anwendbar.

Die "Methode der Klimaflächen nach Burmeister/ Keller" ist ein gutes Hilfsmittel, um ein Niedrigenergiegebäude zu beurteilen und verbrauchssenkende Massnahmen aufzuzeigen. Es war abzuklären, ob sich ein auf dieser Methode basierendes PC-Programm im frühen Entwurfsstadium als Planungshilfsmittel einsetzen lässt. Ergebnis: dieses Programm kann als guter Ansatz betrachtet werden, bedarf aber für die praktische Anwendung noch einiger Verbesserungen.

Outil d'optimisation du Bilan thermique en temps réel [10]. Es wird ein PC-gestütztes Programm erarbeitet, welches im Dialogverfahren berechnet, wie sich Änderungen einzelner Parameter auf den Energiehaushalt auswirken und dies anschaulich darstellt. Seit dem Start in der Jahresmitte wurden die Programmstruktur festgelegt und Eingabemasken erstellt.

LESOSHADE und LESOCONF [9]. Mit diesen zwei Programmen sollen einerseits Beschattungsfaktoren, andererseits der thermische Komfort während einer wählbaren Zeitspanne berechnet werden können. Beide Programme müssen sowohl als Ergänzung zu LESOSAI4 als auch selbständig eingesetzt werden können. Gearbeitet wurde an der anspruchsvollen Benutzeroberfläche von LESOSHADE, mit der die schattenwerfenden Gebilde eingegeben werden und am Block zur Berechnung der Beschattungsfaktoren. Für LESOCONF wurde eine erste lauffähige Version erarbeitet. Beide Programme sollten bis Ende 1998 fertiggestellt sein.

Incidence de la typologie des façades double-peau

sur leurs performances énergetique et en physique du bâtiment [8]. Ziel ist es, die wesentlichen Zusammenhänge zwischen Nutzen (Dämmwirkung, solare Gewinne, Tageslicht, Schallschutz) und den charakteristischen Merkmalen einer double-peau (Breite des Zwischenraumes, Transparenz, usw.) herzuleiten. Die Messungen wurden abgeschlossen und mit dem Schlussbericht begonnen. Die ersten vier Kapitel des Berichtes enthalten praktische Ratschläge für Architekten und Ingenieure, im zweiten Teil sind die Grundlagen zusammengestellt, auf welchen die Richtlinien basieren. Der Bericht wird anfangs 1998 zur Verfügung stehen.

Nutzung der Sonnenenergie bei Sanierungen [11]. Dieses Projekt will die Möglichkeiten zur Nutzung der Sonnenenergie bei Renovationen aufzuzeigen. Dank Beteiligung an einem entsprechenden IEA-Vorhaben, kann von ausländischen Erfahrungen profitiert werden. Der Hauptteil der Arbeiten ist abgeschlossen und das Informationsmaterial zur Verbreitung der Erkenntnisse ist bereit. Im Herbst fand in der Schweiz eine Tagung statt, an welcher mit internationaler Beteiligung die Ergebnisse vorgestellt wurden. Die wesentlichsten Möglichkeiten sind Sanierung der Fenster, Balkonverglasung, TWD-Anwendungen und Warmwasserkollektoren auf (Flach-) Dächern.

DIREKTE SOLARNUTZUNG - TAGESLICHT

Rechenmodelle, Mess- und Prüfverfahren für transparente Bauteile [2]. In diesem IEA-Projekt werden rechnerische und messtechnische Verfahren zur Charakterisierung der energetischen Eigenschaften transparenter Materialien erarbeitet.

Schon früher abgeschlossen wurden eine Studie über den Einsatz von TWD-Fassaden und Fensterflächen als Direktgewinnelemente sowie die Prüfung von TWD-Fassadenelementen, Fensterrahmen und Fensterkonstruktionen. Im vergangenen Jahr wurden Bewitterungsprüfungen (Bestrahlung, Beregnung und Temperatursprung)an TWD-Elementen durchgeführt. Dabei ging es hauptsächlich darum, geeignete Methoden zu erkunden. Die Übertragung der Testresultate auf das Verhalten im Einsatz ist noch nicht eindeutig möglich. Die praktischen Arbeiten an diesem Projekt sind abgeschlossen, die Veröffentlichung der national wie international gewonnen Resultate erfolgt 1998.

DIAL - *Outil d'aide à la décision en éclairage naturel, IEA "Daylighting in Buildings"* [7]. DIAL ist ein computergestütztes Entwurfshilfsmittel für die Erarbeitung von Tageslichtsystemen, das schon im frühen Planungsstadium verwendbar ist und kein spezielles Wissen über Tageslicht erfordert.

Entsprechend wird die Aufgabenstellung in allgemein gebräuchliche Begriffen beschrieben. Im vergangenen Jahr wurde eine erste Version des Programmes von Architekturstudenten intensiv geprüft. Ihre Anregungen wurden in einem Fragebogen festgehalten und anschliessend ausgewertet und eingearbeitet. Im weiteren wurden die Berechnungsformeln validiert. Bis Ende 1998 soll eine überarbeitete Version des Programmes fertiggestellt sein, welche gezielt an potentielle Anwender abgegeben wird, um weitere Erfahrungen zu sammeln.

Chaîne de mesures de lumière naturelle - Analyse de Bâtiment [13]. Für Tageslichtmessungen in Gebäuden soll eine automatische, ferngesteuerte Messkette bereitgestellt werden. Anschliessend werden in zwei Gebäuden Tageslichtmessungen durchgeführt.

Die Messvorrichtung ist bereit. Als Messobjekte wurden eine Fabrik und ein Schulgebäude ausgewählt. Mit den Messungen wurde begonnen. Im Fabrikgebäude kostete es einige Mühe, geeignete Stellen für die Plazierung der Helligkeitssonden zu finden, da die Halle dicht belegt ist und ständig etwas in Bewegung ist. Die Resultate dieser Arbeit werden in ein Projekt der IEA eingebracht. Dies gibt die Möglichkeit, die Messmethoden im internationalen Rahmen zu diskutieren.

Tageslichtnutzung in an Atrien grenzenden Räumen [1]. Es wurde untersucht, wie sich verschiedene Atriumparameter (Höhe, Reflexionsvermögen der Wände, Anteil der Fensterfläche an der Atriumswand, Transmissionsgrad) auf den Energieverbrauch für Beleuchtung, Heizung und Kühlung in einem an ein Atrium grenzenden Büroraum auswirken.

Die Ergebnisse sind in einem einfach anwendbaren Planungshilfsmittel in Diagrammform dargestellt. Zusammenfassend muss festgestellt werden, dass bei den meisten Auslegungsvarianten für Beleuchtung und Heizung zusammen mehr Energie nötig ist als ohne Atrium, dass hingegen die Kühllast reduziert werden kann.

Tageslichtnutzung in Tunneln (Daylighting of

tunnels) [1]. Es geht um die Möglichkeit zur Beleuchtung von Tunneleingängen durch Umlenkung von Tageslicht mit fortschrittlichen Systemen.

Nach intensiven Literaturrecherchen steht vorerst fest, dass Tageslicht in der Tunnelbeleuchtung nur dann eine Chance hat, wenn es als Gegenlicht eingesetzt wird oder in Tunnels, die nur schwer mit Elektrizität versorgt werden können.

INDIREKTE SOLARNUTZUNG - KONVEKTIV

IEA-Projekt: Solar Air Systems for Buildings [5]. Nach umfangreichen Untersuchungen wurde im vergangenen Jahr ein vollständiger Entwurf eines Buches mit Fallbeispielen fertiggestellt. Ebenfalls wurde an einem Leitfaden für Planer von Systemen gearbeitet, wobei die Hauptarbeit bei der Entwicklung von Nomogrammen lag, mittels derer eine erste Auslegung möglich ist.

Messprojekt WASAG, Photovoltaik und Luftabsaugfassade [14]. Es interessiert hauptsächlich der Warmluftertrag der SOLARWALL (Fassadenkollektor) und dessen Verwertbarkeit sowie der Ertrag der Photovoltaikanlage auf der Südwand eines Hochregallagers. Die Messphase wurde abgeschlossen, die Auswertung der Resultate ist im Gang.

Messung Fenster-Luftkollektorsystem [15]. Die Messungen erfolgen an einem Wohnhaus in Oppligen (BE) mit Fensterkollektorsystem und Wärmespeicherung im Fussboden.

Die Arbeiten sind abgeschlossen und der Schlussbericht ist fertiggestellt. Mit einer Heizenergiekennzahl EH $\approx 190~\text{MJ/m}^2$ a handelt es sich um ein Niedrigenergiehaus. Im Vergleich zu andern Luftkollektorsystemen ist bei diesem Beispiel die Auskühlung des Speichers durch rückströmende Luft sehr gering.

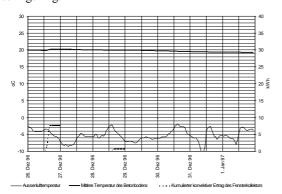


Abb.: Trotz tiefer Aussentemperatur und geringem Ertrag des Fensterkollektors sinkt die Temperatur der Hypokausten nur geringfügig

Noch verbessert werden kann die Ventilatorsteuerung. Der Ventilator soll eingeschaltet werden, wenn die Kollektoraustrittstemperatur hinreichend über der Speichertemperatur liegt. Weil der Luftaustritt am unteren Ende des Kollektors liegt, ist dort auch der entsprechende Temperaturfühler angebracht. Weil die warme Luft steigt, wird die Einschalttemperatur unten erst ein bis zwei Stunden später erreicht, obwohl die Sonneneinstrahlung nutzbare Wärme liefert.

Auslegung von Hypokaustenspeichern sowie Studie Luftsysteme zu Heizen und Kühlen [16]. Für die Grobauslegung eines Systems wurden Nomogramme erarbeitet. Zusätzlich sind für den Sommer folgende Fälle auf die Kühlungsmöglichkeiten untersucht worden: Wärmeabfuhr an die Aussenluft während der Nacht bei genügend tiefen Aussentemperaturen und durch Vorkühlung der Aussenluft in einem Erdregister. Es wurde ein Rechenmodul für TRNSYS erstellt, womit Erdregister berechnet werden können. Mit diesem Modell ist ein bestehendes Erdregister von welchem Messwerte vorlagen nachgerechnet worden. Die Übereinstimmung Rechenergebnisse / Messwerte ist gut.

Wirtschaftliche und gesamtökologische Optimierung eines konvektiven Luftsystems [17]. Ein im Vorderrheintal stehendes Einfamilienhaus war Gegenstand dieser Untersuchung. Die Südfassade aus dunkelbraunem Holz ist mit einem einfachen Glas abgedeckt und wird als Luftkollektor genutzt. Mit der gewonnen Warmluft wird ein Hypokaustenboden erwärmt. Messungen haben gezeigt, dieses einfache Luftsystem die Hälfte des Heizenergiebedarfs deckt und dies, obwohl die Fassade von November bis Januar durch die umliegenden Berge beschattet wird. Trotz der billigen Konstruktion weist das System einen guten Wirkungsgrad auf. Ein Nachfolgeobjekt ist im Bau. Es erlaubt eine aufgrund der Messerfahrungen verbesserte Luftführung in der Speicherdecke auf. Zwei weitere Häuser vom selben Typ sind geplant.

Modellentwicklung für grosse Atrien [18]. Ziel ist es, für die Planung Modelle zu entwickeln, mit denen die Verteilung der einfallenden Sonnenstrahlen, natürliche Lüftung, Schichtbildung und Komfort in grossen Atrien berechnet werden können. Diese Modelle sollen in einer Fallstudie benutzt werden, um den Einfluss der wichtigsten Parameter auf Energiebilanz und Komfort verschiedener Atrientypen aufzuzeigen. Auf dem Weg dazu wurden im Berichtsjahr die Modelle PC-tauglich gemacht. Das Projekt

profitierte von der Zusammenarbeit im IEA-Projekt "Building Energy Analysis and Design Tools".

Solare Luftvorwärmung in Atrien. [17]. Die Effizienz der solaren Luftvorwärmung und der Pufferwirkung von Atrien an einem Bürohaus in Zug waren zu überprüfen. Messungen und Auswertung sind abgeschlossen. Die Resultate zeigen, dass bei einer Wärme Energiekennzahl von 170 MJ/(m²a) etwa 13% des Wärmebedarfs durch die solare Luftvorwärmung in den Atrien gedeckt wird. Weiter zeigte sich, dass das gewählte Konzept in zwei Punkten verbesserungsfähig ist: Zum einen liesse sich mit einem Mischluftsystem die Wärme aus dem Atrium besser nutzen, zum andern wäre es vorteilhafter, die Atriumsluft erst hinter der Wärmerückgewinnungs-

anlage beizumischen und nicht, wie jetzt der Fall

Solarluftsysteme mit geschlossenem Kreislauf für die Sanierung von Wohnbauten [16]. Ein in Skandinavien stark verbreitetes Konzept für die Sanierung von Mehrfamilienhäusern mit einer solaren Doppelfassade soll auf seine Einsatzmöglichkeit in der Schweiz hin überprüft und soweit nötig an hiesige Verhältnisse angepasst werden. Zwischen der bestehenden Fassade und der neuen Aussenisolation wird ein Luftspalt belassen, durch welchen solar erwärmte Luft zirkulieren kann. Für konkrete Gebäude, die mögliche Pilotprojekte abgeben können, werden zur Zeit Energieertrag und Wirtschaftlichkeit vorabgeklärt.

INDIREKTE SOLARNUTZUNG - PASSIV

Erweiterte Erfolgskontrolle einer energetischen Gebäudesanierung mit TWD Fassadenelementen [11]. Durch den Einsatz von TWD-Fassadenelementen hofft man, Kosten senken zu können. Dies ist vor allem bei Renovationen wichtig. Um Erfahrungen zu sammeln, wurde die Südfassade Mehrfamilienhauses in Hedingen mit solchen Elementen ausgestattet und gemessen. Hauptergebnis des Projektes ist eine Liste von Problemen, die bei der Planung einer solchen Sanierung unbedingt zu berücksichtigen sind. Da an diesem Beispiel nicht alle Voraussetzungen optimal waren, blieb der ermittelte Energieertrag der TWD-Fassade unter den Erwartungen.

Hinterlüftete, transparent wärmegedämmte Vorhangfassadenelemente [12]. Ein Hauptproblem bei TWD-Fassaden sind die im Verhältnis zum Energieertrag hohen Kosten. Ein wesentliche Kostenfaktor ist der sommerliche Überhitzungsschutz.

Dieses Projekt untersucht eine kostengünstige Lösung: Mittels Klappen soll im Sommer die Warmluft hinter der TWD nach aussen weggelüftet werden. Grundsätzliche Analysen einer ersten Generation von Prototypen und Untersuchungen von Optimierungsmöglichkeiten wurden durchgeführt. Es geht darum, den Wärmeübertrag vom Absorber über den Luftkanal auf die Speicherwand zu maximieren, dabei aber den Strahlungsanteil gering zu halten. Für zwei Prototypen wurden Gesamtenergiedurchlassgrad der TWD sowie die Emissivität des Absorbers auf

TWD- und Wandseite festgelegt. Messungen sind für das zweite Halbjahr 1998 vorgesehen.

Mechanisch schaltender Überhitzungsschutz für transparent wärmegedämmte Aussenwände [3]. Einfache mechanisch schaltbare Vorrichtungen werden auf ihre Wirksamkeit als Überhitzungsschutz für TWD-Heizwände untersucht. Zwei Ausführungen sind zu prüfen: Hochreflektierende, drehbare Lamellen, welch zwischen Glasscheibe und Kapillarmaterial eingebracht werden sowie ineinander verschiebbare Lamellen mit stark absorbierender und reflektierender Oberfläche vor dem Absorber. Für die Lamellen wurde ein Modell erarbeitet, welches die Berechnung des Energiedurchlassgrades in den Positionen "reflektieren" und "offen" in Abhängigkeit verschiedener Geometrie- und Materialparametern ermöglicht. Eine Lamellenstruktur bestehend aus einseitig mit Aluminium bedampften Polyesterfolien wurde ausgemessen.

Optimierung der Steuerung von TWD-Fassaden mit gleichzeitiger Schaltung des Wärmedurchgangskoeffizienten und des Gesamtenergiedurchlassgrades [20]. An einem in Domat-Ems stehenden Solarhaus mit hinterlüfteter TWD soll eine optimierte Klappensteuerung entwickelt werden, mittels welcher der Luftstrom derart kontrolliert werden kann, dass er als verlustfreier Überhitzungsschutz wirkt. Das Projekt ist erst gegen Jahresende gestartet, es liegen noch keine Resultate vor.

SYSTEMINTEGRATION - ÖKOLOGIE

Energie- und Stoffflüsse von Solar- Niedrigenergiebauten im Vergleich mit Standardbauweise nach SIA. [21]. Anhand von fünf bekannten Niedrigenergie-Häusern wird untersucht, ob, wie immer wieder behauptet, der energetische Aufwand für den Bau solcher Häuser wirklich höher ist als die während der Lebensdauer des Hauses eingesparte Energie. Im abgelaufenen Jahr wurden fünf geeignete Objekte ausgewählt und das Vorgehen zur Ermittlung des Energiebedarfs und der Ökobilanzen festgelegt und die dazu notwendigen Daten zusammengestellt.

Nationale und internationale Zusammenarbeit

Die nationalen und internationalen Arbeiten auf dem Gebiet werden nicht nur intensiv verfolgt, es besteht auch eine enge Koordination mit und teilweise Einbettung der Vorhaben in diese Aktivitäten. Speziell erwähnt seien hier zusätzlich der Einsitz in Organisationen bzw. intensive direkte Kontakte im verflossenen Jahr.

NATIONAL

Durch Programmleitung:

- Begleitgruppe des Öko-Bau Programmes von DIANE (BFE);
- Eidg. Fachkommission zur Nutzung der Sonnenenergie (KNS);
- "Solar Frauen Schweiz" der Schweizerischen Ver-
- einigung für Sonnenenergie (SSES); Bundesvorstandsmitglied der SSES;
- Solarpreis 97, Bern: Jurymitglied

Einbezug von Firmen über Projektnehmer:

- ETERNIT, Niederurnen
- FELITEC, Busigny-prés-Lausanne

INTERNATIONAL

Beteiligung an IEA-Programmen:

- Solar Heating & Cooling: Building Energy Analysis Tools, Advanced Solar Low Energy Buildings, Advanced Glazing Materials, Solar Air Systems, Solar Energy in Building Retrofit
- Buildings and Community Systems: Energy efficient ventilation of large enclosures.

Weitere Kontakte:

 AG Solar des Landes Nordrhein-Westfalen (D): Mitglied des Wissenschaftlichen Beirats u. Kuratoriums;

- Ost-Bayrisches Technologie Transfer Institut (OTTI): Tagungsbeirat der Thermie-Tagung, Leitung von Sessionen und Referat;
- Archiv-Fachzeitschrift "Energy and Buildings": Mitglied des Editorial Review Board;
- Foundation for Research, Science and Technology
 (NZ): Begutachter für neue Forschungsanträge
- Solar-Holzpresse Voralberg Chair der Jury
- Solarschule Donau Universität: eine Kurswoche "Passive Solarenergienutzung".

Transfer in die Praxis

Die im Rahmen des Forschungsprogrammes erarbeiteten Erkenntnisse sind anwendungsorientiert. Es ist deshalb wichtig, dass sie rasch in Praxis und Ausbildung von Architekten und Ingenieuren einfliessen.

Die Verknüpfung Forschung/Praxis wird gefördert mit der vertraglichen Auflage an die Projektnehmer, die Ergebnisse in der Fachpresse in kurzen, gut lesbaren Beträgen zu veröffentlichen und die Konsequenzen für die Praxis speziell hervorzuheben (wichtiger als wissenschaftliche Schlussberichte) und die Veranstaltung von speziellen Workshops.

Im Berichtsjahr wurden mit Erfolg folgenden drei Veranstaltungen durchgeführt:

- 1) "Niedrigenergie-Solarhäuser" (6. März 97),
- "Transparente Wärmedämmung (TWD) in der Praxis" (7. März 97),
- 3) "Nutzung der Sonnenenergie bei Gebäudesanierungen" (25. Sept. 97), Co-Organisation mit der Firma E. SCHWEIZER, Hedingen.

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

Das Buch "Niedrigenergie Solarhäuser" ist fertig verfasst worden und erscheint im Frühling 1998 im Birkhäuserverlag,

Auch durch die Überprüfung des Kerns des dynamischen Gebäudesimulationsprogrammes (SUN-REL) und die Programmierung der neuen Oberfläche in C++ wurden Erkenntnisse an Planer weitergegeben.

Die Verknüpfung Forschung/Ausbildung geschieht auf direkterem Weg durch die Beteiligung von Hochschulen und Fachhochschulen an Forschungsprojekten. Im Jahr 1997 betraf dies das Institut Ted Huw, die EPFL und die ETHZ.

An der ETHZ geschieht dies durch:

 die wöchentlich je einstündige Vorlesung "Bauen und Sonnenergienutzung" welche im Jahr 1997 durchschnittlich von ca. 60 StudentInnen und einzelnen in der Praxis tätigen Architekten besucht wurde.

- eine Seminarwoche zum Thema "Solar Power, Faszination der Solararchitektur" in der Schweiz.
 Die Reise wurde mit 20 StudentInnen und zwei Begleitern durchgeführt.
- Diplomwahlfacharbeiten: Insgesamt haben 36 StudentInnen eine Diplomwahlfacharbeit abgegeben und die Abschluss-Prüfung bestanden.
- Nachdiplomstudium: Ein Nachdiplomstudent aus der Romandie schloss seine Arbeit "Die konstruktiven Massnahmen der passiven und aktiven Solarnutzung für den Bau einer grösseren Siedlung in der Umgebung von Freiburg" ab. Zur Zeit sind drei NachdiplomstudentInnen bei der Solararchitektur folgenden Themen beschäftigt: Wiederaufbau einer Tessiner Bergdorfruine als energieautarkes Klausurzentrum, ein Hotel mit solaraktiver Warmwasser- und Strom- Erzeugung sowie passiv-solarer Kühlung als Projekt in Südbrasilien, die gesamtenergetische und

Wirksamkeit von luftgekühlten PV-Panelen, simuliert mit TRNSYS basierend auf bestehenden Messdaten.

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

- An einem Einfamilienhaus in Hochdorf mit einer transparentwärmegedämmten Lehmwand wurden Erfolgsmessungen durchgeführt;
- In Hosenruck wurde ein Niedrigenergiehaus mit Kartondämmung gefördert.
- In Zollikofen bei Bern wurde für die Niedrigenergiesiedlung Wydacker eine Messkampagne unterstützt;
- An zwei Stahllagern in Winterthur mit Luftkollektoren wurde eine zusammenfassende Studie über Wirkungsgrad und Energieertrag solcher Anlage gestartet,
- In Domat-Ems wurde eine notwendige Sanierung von Klappen an hinterlüfteten TWD-Fassaden unterstützt.

Bewertung 1997, Ausblick auf das Jahr 1998

Im abgelaufenen Jahr konnten drei Forschungsprojekte erfolgreich abgeschlossen und sechs neue gestartet werden. Die erhaltenen Forschungsresultate vertiefen das Verständnis und die Bedeutung von Detailfragen, wegen deren Vernachlässigung in der Vergangenheit manch gute Idee zum Fiasko wurde. Da diese Erkenntnisse eingebaut werden in einfach handhabbare Planungshilfsmittel, sollte doch in absehbarer Zeit auch für Anfänger die Hemmschwelle so tief zu liegen kommen, dass sie vor der Planung von

Solarbauten nicht mehr zurückschrecken. Auch über das P+D-Programm konnten mit den vier unterstützten Projekten Impulse hinausgetragen werden.

Im Jahr 1998 wird das von der CORE und vom BFE genehmigte Forschungskonzept 1996 bis 1999 Richtlinie bleiben, die bisher gültigen Schwergewichte werden damit beibehalten. Allerdings dürften im kommenden Jahr wichtige Weichen im Organisationsbereich gestellt werden.

Projektliste 1997

- [1] N. Hopkirk, EMPA, Dübendorf: Tageslichtnutzung in an Atrien grenzenden Räumen. (JB) Tageslichtnutzung in Tunnels (Daylighting of tunnels) (JB)
- [2] Th. Frank, EMPA, Dübendorf: Rechenmodelle, Mess- und Prüfverfahren für transparente Bauteile (IEA Task 18) (JB)
- [3] H. Manz, EMPA, Dübendorf: Mechanisch schaltender Überhitzungsschutz für transparent wärmegedämmte Aussenwände (JB)
- [4] G. Zweifel, ZTL-Horw: Praxisnahe Validierung von Gebäude- und Haustechniksimulationsprogrammen (JB)
- [5] Ch. Filleux, BASLER & HOFMANN, Zürich: IEA-Task 19: Solar Air Systems for Buildings (JB)
- [6] W. Hässig, BASLER & HOFMANN, Zürich: Praktische Anwendung der Methode "Klimaflächen" und der dynamischen Speicherberechnung (JB)
- [7] J-L. Scartezzini, LESO / EPF-Lausanne: DIAL- Outil d'aide à la décision en éclairage naturel, (IEA Task 21) "Daylighting in Buildings" (JB)
- [8] A. Faist, EPF-Lausanne: Incidence de la typologie des façades double-peau sur leurs performances énergetique et en physique du bâtiment (JB)
- [9] N. Morel, EPF-Lausanne: LESOSHADE und LESOCONF (JB)
- [10] W. Weber, CUEPE, Genève: Outil d'optimisation du Bilan thermique en temps réel (JB)

- [11] P. Schneiter, ERNST SCHWEIZER, Hedingen: Erweiterte Erfolgskontrolle einer energetischen Gebäudesanierung mit TWD Fassadenelementen (SB)
- [12] A. Haller, ERNST SCHWEIZER, Hedingen: Nutzung der Sonnenenergie bei Sanierungen, (IEA Task 20) (JB) Hinterlüftete, transparent wärmegedämmte Vorhangfassadenelemente (JB)
- [13] S. SIMOS, Carouge: Chaîne de mesure de lumière naturelle Analyse de bâtiment (JB)
- [14] P. BERCHTOLD, Sarnen: Messprojekt WASAG, Photovoltaik und Luftabsaugfassade (JB)
- [15] M. BLATTER-SPALINGER, Reinach: Messung Fenster Kollektor (SB)
- [16] K. FORT, Volketswil: Auslegung von Hypokaustenspeichern mit Zusatzstudie Luftsysteme zu Heizen und Kühlen (JB) Solarluftsysteme mit geschlossenem Kreislauf für die Sanierung von Wohnbauten (JB)
- [17] A. Gütermann, AMENA, Winterthur: Wirtschaftlich und gesamtökologische Optimierung eines konvektiven Luftsystems (JB)
- [18] D. Aiulfi, SORANE, Lausanne: Modellentwicklung für grosse Atrien (JB)
- [19] H.-P. Eicher, Dr. EICHER + PAULI, Liestal: Solare Luftvorwärmung in Atrien (SB)
- [20] D. SCHWARZ, Domat-Ems: Optimierung der Steuerung von TWD-Fassaden mit gleichzeitiger Schaltung des Wärmedurchgangskoeffizienten und des Gesamtenergiedurchlassgrades
- [21] D. Gerber, METRO RAUMPLANUNG, Brugg: Energie- und Stoffflüsse von Solar-Niedrigenergiebauten im Vergleich mit Standardbauweise nach SIA (JB)
 - (JB) Jahresbericht 1997 vorhanden
 - (SB) Schlussbericht vorhanden

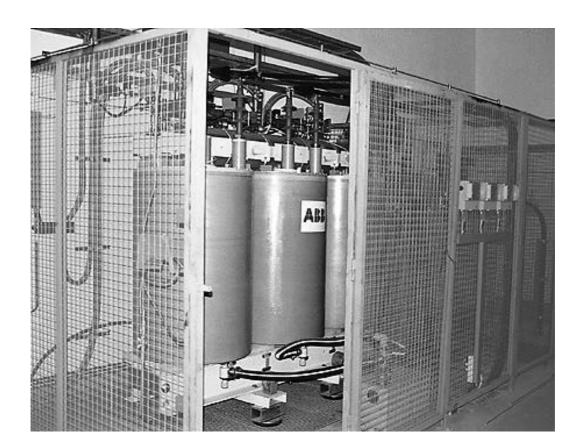
Excerpt from "ENERGY RESEARCH 1997", Editor: L. Dubal Swiss Federal Office of Energy http://www.admin.ch/bfe/

ELEKTRIZITÄT

Überblicksbericht zum Forschungsprogramm 1997

Roland Brüniger

roland.brueniger@r-brueniger-ag.ch



Hochtemperatur-Supraleiter-Transformator

Anfangs 1997 wurde der weltweit erste dreiphasige Hochtemperatur-Supraleiter-Transformator von 630 KVA-Leistung an das Netz der SI Genf angeschlossen.

Programm-Schwerpunkte und anvisierte Ziele 1997

Das Forschungsprogramm **Elektrizität** hat das grundsätzliche Ziel, zu einer optimierten Handhabung der elektrischen Energie von der Erzeugung über die Verteilung bis zum rationellen Einsatz, beizutragen.

Die Stossrichtung bei der Rationellen Elektrizitätsnutzung musste aufgrund der rasch fortschreitenden Marktliberalisierung und -deregulierung angepasst werden, da der als relevant eingestufte Bereich des Demand Side Managements (DSM) markant an Stellenwert eingebüsst hat, resp. verstärkt durch marktwirtschaftliche Mechanismen (z.B. Energy-Contracting) abgelöst wird. Dies verdeutlicht sich u.a. auch dadurch, dass die Elektrizitätswirtschaft ihre Arbeitsgruppe DSM aufgelöst hat. Die entsprechenden Aktivitäten des BFE wurden deshalb sukzessive abgeschlossen. Die Konzentration verlegte sich auf die Gebiete Energie und Informationstechnik sowie Antriebe/Motoren.

In der **Energie- und Informationstechnik** wurden die folgenden Ziele festgelegt: Etablierung einer breit abgestützten Begleitgruppe, Schaffung eines anerkannten Kompetenzzentrums sowie Aufgleisen neuer Projekte.

Im Schwerpunkt **Antriebe/Motoren** stand neben der Weiterführung der laufenden Aktivitäten die Durchführung eines Technologiefortschritt-Seminars zur Umsetzung und Verbreitung der bisher erreichten Ergebnisse im Vordergrund.

Im Gebiet Hochtemperatur-Supraleitung für die Energietechnik fehlte ein zweckmässiges Diskussionsforum zwischen Industrie, Hochschule und Geldgeber für einen effizienten Informationsaustausch sowie zur Konzentration der Geldmittel auf erfolgversprechende Projekte. Die Schaffung einer geeigneten Informationsdrehscheibe war deshalb 1997 eine wesentliche Zielsetzung.

Das Ziel der Forschungsanstrengungen im Schwerpunkt Übertragung und Verteilung lag unverändert darin, Projekte mit angemessenem Aufwand zur Erzielung einer hohen Netzverfügbarkeit sowie einer Minimierung der Übertragungsverluste zu unterstützen.

Durchgeführte Arbeiten und erreichte Ergebnisse

ERZEUGUNG / PRODUKTION

Bei der Nutzung von Wasserkraft stehen kaum technische Probleme an, die einem Ausbau hinderlich wären. Neben den bereits bekannten ökologischen, genehmigungstechnischen und wirtschaftlichen Aspekten wirkt die fortschreitende Liberalisierung eher investitionshemmend. Die anstehende Marktver-

schärfung veranlasst zudem die Elektrizitätswirtschaft, verschiedene Projekte im Bereich Wasserkraft zurückzustellen, oder sogar abzubrechen. Die vom Bund unterstützten Projekte, welche sich auf die Kleinwasserkraftwerke konzentrieren, werden in einem eigenen Kapitel beschrieben.

SPEICHERUNG

Der Speicherung von Energie in verschiedenen Formen kommt innerhalb der gesamten Energiethematik eine zentrale Bedeutung zu. Das Programm Elektrizität konzentriert sich auf die mechanische sowie elektromagnetische/elektrostatische Speicherungstechnologie, unterstützt aber momentan keine diesbezüglichen Projekte.

Im Bereich der **Schwungradtechnologie** laufen sowohl national als auch international verschiedene Aktivitäten. Als Beispiel für eine nationale Anwendung ist die Ausrüstung von Trolleybussen der Basler Verkehrsbetriebe mit Schwungradspeicher zu erwähnen, mit der jährlich etwa 300'000 kWh eingespart werden. International sei auf das **FlyWiP**

(Flywheel Energy Storage for Wind Power Generation) hingewiesen, welches kürzlich im Rahmen des europäischen JOULE-Programms mit substantieller Beteiligung der Schweizer Industrie gestartet wurde und im Rahmen eines Pilotsystems Netzregulierfunktionen für dezentrale Erzeuger (Wind) mit einem Schwungradspeicher übernimmt.

Schliesslich muss auch auf das IEA-Programm Energy Conservation through Energy Storage hingewiesen werden, bei dem unter anderem das Thema Electrical Energy Storage Technology for Utility Network Optimization behandelt wird. Zur Zeit wird mit der Elektrizitätswirtschaft abgeklärt, ob die Schweiz daran teilnehmen soll.

ÜBERTRAGUNG / VERTEILUNG

Motiviert durch die veränderten Randbedingungen im Bereich der Energieversorgung und ermöglicht durch die Verfügbarkeit von starken leistungselektronischen Komponenten ist das Konzept der schnell anpassungsfähigen Energieübertragungssysteme eingeführt worden, welches auch als *Flexible AC Transmission*

System (FACTS) bezeichnet wird. Damit kann die Steuerbarkeit sowie die Ausnutzung der bestehenden Uebertragungskapazitäten vergrössert werden. Mit dem Projekt Entwicklung neuer systemorientierter FACTS-Elemente [1] werden neben der Entwicklung und Optimierung von FACTS-Elementen und Anlagekonzepten entsprechende Netzuntersuchungen mit Simulationen unter Berücksichtigung der Wirtschaftlichkeit vorgenommen.

Durch geeignete Modellierung kann - dank dem entwickelten Lastbestimmungsmodell für Verteiltransformatoren [2] – mit wenigen punktuellen Messungen ein ziemlich genaues Abbild der Last im Verteilnetz ermittelt werden. Ausgenutzt wird dabei das statistische Wissen über jahreszeitliche Veränderungen verschiedener Lastkomponenten. Diese konnten durch diverse Untersuchungen auf die zeitlich invariante Haushaltsgrundkurve, die Boiler- und Heizlast sowie die saisonal stark schwankende Lichtlast aufgeteilt werden. Als Mustererkennungsalgorithmus wurde die Methode des neuronalen Netzwerks implementiert. Es steht nun ein durch die Elektrizitätswirtschaft getestetes Programm, welches auf dem PC eine benutzerfreundliche, graphische Oberfläche bietet, zur Verfügung. Mit dieser Applikation kann die Last im Verteilnetz präziser bestimmt werden, womit der Betrieb und die Planung erheblich erleichtert und Überdimensionierungen mit schlechtem Wirkungsgrad vermieden werden können. Während der Projektabschlussphase konnte eine spezialisierte Unternehmung, die in diesem Marktsegment über eine einschlägige Produktepalette und ausgewiesene Erfahrungen verfügt, für die Vermarktung und Markteinführung gewonnen werden.

Im Sinne einer Vorabklärung wurde im Projekt Verminderung der Verluste von Netztransformatoren [3] überblicksmässig eine systematische Auflistung der verschiedenen Transformatoren (2VA bis 1000 MVA) erarbeitet und deren geschätzte Verluste (etwa 1,5%) ermittelt. Gleichermassen wurde aufgrund vorläufiger Schätzungen und Berücksichtigung von Technologietrends ein Verlustverminderungspotential von etwa 1/3 als durchaus realistisch identifiziert. Neben den Kleintransformatoren, bei einer Vielzahl von Anwendungen eingesetzt, sind namhafte Verlusteinsparungen im industriellen und gewerblichen Sektor sowie in der Energieverteilung möglich und werden dort nach Massgabe der Wirtschaftlichkeit auch realisiert. In Ergänzung wurde in der Machbarkeitstudie Elektronischer Verteiltransformator [4] nachgewiesen, dass die Entwicklung eines elektronischen Verteiltransformators mit Wirkungsgraden von 98,5% bis 99% möglich ist. In weiteren Abklärungen soll die Situation bei den Verteiltransformatoren genauer und unter Einbezug verschiedener technologischer und wirtschaftlicher Aspekte untersucht werden.

Die Leistungen von dezentralen Erzeugern waren gesamthaft gesehen bis anhin gering, und führten deshalb zu keinen speziellen Netzwerkproblemen. Dies dürfte sich zukünftig mit der Erhöhung von Anzahl und Leistung dezentraler Erzeuger ändern. Im Projekt **Zuverlässigkeit von Sicherheitsschaltungen gegen Inselbildung** [5] sollen die sich dem Netz dadurch stellenden Probleme untersucht werden.

VERWENDUNG / RATIONELLE NUTZUNG

a) Kraft/elektrische Motoren

Im Projekt Integraldrive 0.55 kW - 22 kW mit regenerativer Energierückspeisung [4] wurde die Prototypen-Entwicklung einer ganzen Baureihe eines integrierten Frequenzumrichterantriebs für Pumpen, Lüfter und Konstantmomentanwendungen von 0.55 - 22 kW abgeschlossen. Die verschiedenen Integraldrives wurden in etwa 300 Feldinstallationen in enger Zusammenarbeit mit diversen Industrien erprobt und getestet. Neben der eigentlichen Effizienzsteigerung durch die Integration von Umrichter und Motor wird auch die Akzeptanz des Einsatzes drehzahlvariabler Antriebe erhöht. Dies dürfte zu einer zusätzlichen Verbreitung dieser energieeffizienten Anwendung führen.

Mit der Erweiterung des Programmsystems OPAL mit Frequenzumrichtern [6] sollen Projektierende im Antriebsbereich in die Lage versetzt werden, eine energieoptimale und herstellerübergreifende Motorenauswahl für drehzahlvariable Antriebe treffen zu können. Die Projektarbeit bestand 1997 in der Implementierung eines Prototypen, der Erstellung

eines Testplans sowie der Durchführung von ersten Messungen an verschiedenen Motoren zum späteren Vergleich mit den Resultaten des Programms.

Ein an der ETH-Lausanne entwickeltes *Schnell-diagnose-System* ermöglicht auf elegante Art, die effektiv benötigte Leistung eines Motors in Lüftungsund anderen Anlagen sowie den passenden Ersatzmotor vor Ort zu bestimmen. Die Arbeit wurde mit dem *Prix eta 1997* der Schweizer Elektrizitätswirtschaft ausgezeichnet.

Kleinventilatoren (< ca. 2'000 m³/h) werden in verschiedenen Bauformen für sehr unterschiedliche Anwendungen eingesetzt. In der Schweiz wird der diesbezügliche Elektrizitätsverbrauch auf ca. 1% des Landesverbrauchs geschätzt. In einer Vorstudie sollen die Grundlagen für Forschungs- und Entwicklungsschwerpunkte für Kleinventilatoren mit hohem Wirkungsgrad [3] identifiziert und damit verbunden, erfolgversprechende Projekte in diesem Bereich formuliert werden. In einer ersten Phase wurden die Anwendungen und Einbausituationen von Kleinventilatoren analysiert und quantifiziert.

b) Energie und Informationstechnik

Die zunehmende Vernetzung und die Benutzung von mobilen Computern bewirken ein allmähliches Verschwinden einer strikten Trennung von Computer und Kommunikation, von Arbeitsplatz und Wohnort oder gar von Arbeit und Freizeit. Aufgrund der verstärkten Verbreitung der Kommunikations- und Informationstechnik stellt die Thematik *Energie und Informationstechnik* weiterhin einen Schwerpunkt des Forschungsprogramms dar.

Im Projekt Energiemanagement in vernetzten elektronischen Systemen [7] werden Handlungsalternativen aufgezeigt, den Stromverbrauch durch Sensibilisierung des Marktes, dem Einsatz von effizienten Technologien, entsprechender Planung und dem konsequenten Anwenden eines Energiemanagements zu beeinflussen. Mehrere Projekte und Aktivitäten konnten identifiziert und deren Umsetzung initiiert werden.

So wurde im Projekt Energieverbrauch von Netzwerkkomponenten [8] erstmalig in zwei modernen Netzen mit 82 und 1200 Benutzern Energiemessungen an Netzwerkkomponenten (Router, Switch, Multiplexer etc.) durchgeführt. Einerseits hat sich dabei gezeigt, dass die aufgenommene Leistung zeitlich konstant und nicht vom Datenfluss oder der Netzwerktopologie abhängig ist; anderseits musste aber auch zur Kenntnis genommen werden, dass die gemessenen Leistungen teilweise weniger als 30% der Produkteangaben betragen. Dies kann zu Überdimensionierung von Infrastrukturanlagen wie z.B. Klimatisierung und USV-Anlagen führen. Zwei weltführende Hersteller aus den USA wurden daraufhin mit dieser Tatsache konfrontiert, wobei sich einer konstruktiv und interessiert gezeigt hat.

Um aktuelle Werte zur Verfügung zu haben, wird im Projekt Bestimmung des Energieverbrauchs von Unterhaltungselektronikgeräten, Bürogeräten und Automaten in der Schweiz entsprechendes Datenmaterial erhoben. Gleichermassen wird im Projekt Grundlagen für Forschungsaktivitäten im Bereich TVA/PABX (Telefonzentralen) verfügbares Datenmaterial aufgearbeitet, um notwendige Forschungsarbeiten im.

Die Zielsetzung der Fachstelle zur Förderung des rationellen Energieeinsatzes in der Informationstechnik und Unterhaltungselektronik [9] liegt unverändert im Sammeln, Aufbereiten und Verbreiten

von einschlägigem Wissen. Im laufenden Jahr konzentrierten sich die Arbeiten hauptsächlich auf die Leitung des IEA-Projekts International koordinierte Beschaffung innovativer Kopierer [9]. Per Oktober 1997 wurde die Projektleitung an die amerikanische Umweltbehörde EPA abgegeben. Ferner erfolgte die Konzeption und Vorbereitung des Projekts Energieverbrauch und Energiesparmöglichkeiten von Automaten [9]. In einer ersten Phase wurden die verschiedenen zu untersuchenden Automaten identifiziert und systematisiert. Gleichermassen wurde das bisher bekannte Wissen zusammengetragen und in einer Vorstudie dargestellt. Als nächstes wird ein grober Ueberblick über den Energieverbrauch der Automaten erstellt. Gleichzeitig sollen wichtige Automatentypen vertieft analysiert werden, wobei sich die Arbeiten voraussichtlich auf Verkaufsautomaten konzentrieren werden.

Aufgrund der Konzentrierung der Fachstelle Richtung Energie in EDV-Netzwerken wird die Stelle auf Anfang 1998 in *Kompetenzzentrum Energie und Informationstechnik* umbenannt.

c) Demand Side Management (DSM)

Die Schweiz hat im Rahmen des IEA-Programms Demand Side Management an zwei Projekten aktiv teilgenommen. Aufgrund der rasch fortschreitenden Marktliberalisierung und -deregulierung hat sich die Bedeutung von DSM aber substantiell verringert und wird verstärkt durch marktwirtschaftliche Mechanismen abgelöst. Da sich zudem die im Programm vorgesehenen zukünftigen Arbeiten für die Schweiz nur noch bedingt als nützlich erwiesen, ist die Schweiz aus dem Programm ausgetreten.

Das Folgeprojekt **Prioritäre Aktionsfelder im DSM:** Anleitung zur erfolgreichen Marktbearbeitung [10] hatte ursprünglich zum Ziel, die Aktivitäten aus dem DSM zu systematisieren und erfolgversprechende Felder zu identifizieren. Durch die Marktöffnung und die daraus resultierenden Veränderungen hat sich aber die Rolle der marktbezogenen Massnahmen gewandelt. Sie sind nicht mehr freiwillige Aktionen sondern Marketingmassnahmen. So sollen z.B. rationelle Anwendungen die Wettbewerbsfähigkeit des Energieträgers erhöhen und damit zur Gewinnung und Haltung des eigenen Marktanteils beitragen. Das Projekt hat diese Entwicklung berücksichtigt und konzentrierte sich auf die Erstellung eines entsprechenden Marketinghandbuches für die Elektrizitätswirtschaft.

INTERDISZIPLINÄRE PROJEKTE

a) Supraleitung

Das Ziel des Projekts **Hochtemperatur-Supraleiter- Transformator** [11] bestand in der Erprobung der Technologie anhand eines Transformators. Mit der Inbetriebsetzung des weltweit ersten dreiphasigen Hochtemperatur – Supraleitung - Transformators (630)

kVA, 18.7 kV) im Netz der SI Genf konnte dieser Beweis im Frühling 1997 überzeugend erbracht werden.

Bei der Entwicklung eines Hochtemperatur-Supraleiterkabels für die Energietechnik [12] konnten die anstehenden Konzeptentscheide (Kabelaufbau) auf der Basis der erfolgten Studienarbeiten gefällt werden. Ebenfalls wurden Isolationssysteme und Modellkühlkreislauf experimentell untersucht und Sicherheitsaspekte wurden studiert. Schliesslich wurden Kabelherstellungsmethoden erprobt.

Im IEA-Programm Assessing the Impacts of High Temperature Superconductivity on the Electric Power Sector [12] wurde im Frühling ein internationaler Kongress über Hochtemperatur-Supraleitungs-Energiekabel organisiert [19]. Auch wurden verschiedene Berichte erarbeitet und dem interessierten Fachkreis zur Verfügung gestellt.

b) Leistungselektronik

Die Ausarbeitung von energierelevanten Umsetzungsprojekten der LESIT-Ergebnisse [13] führte zum Beschrieb mehrerer Projekte. Eines davon ist das bereits beschriebene FACTS-Projekt. Zwei weitere Projekte Vergleich von Bauelementkonzepten für MOS-kontrollierte Hochspannungs-Leistungshalbleiterschalter mit Trench-IGBT [14] und Analyse und Optimierung von IGBT-Modul Packages [14] befassen sich mit der energetischen Optimierung von Leistungsbauelementen.

Unterbruchsfreie Stromversorgungs-Anlagen (USV) dienen zur Erhöhung der Versorgungssicherheit empfindlicher und kritischer elektrischer Verbraucher. Je nach Technologie unterscheiden sich die USV-Anlagen bezüglich Qualität und Wirkungsgrad beträchtlich und verursachen damit höhere oder

geringere Energieverluste. Mit dem Projekt **Parameteridentifikation und Messverfahren für USV-Anlagen** [15] ist in einer sogenannten Q/E-Matrix die Parameteridentifikation und die Gegenüberstellung der qualitäts- und energierelevanten Kenngrössen erarbeitet worden. Gleichermassen liegt ein Messverfahren im Entwurf vor. Dieses wird 1998 überprüft.

c) Niederfrequente, elektromagnetische Felder

Gemäss neusten US-Forschungsergebnissen lassen sich keine statistischen Hinweise finden, dass die durch Hochspannungsleitungen hervorgerufenen Magnetfelder bei Kindern zu Leukämie führen. Damit dürfte eine kontroverse Diskussion bezüglich des Einflusses von Magnetfeldern auf die Entwicklung von Leukämie im Kindesalter vorerst beendet sein.

An der ETH Zürich wurde eine Tagung mit dem Titel *Elektrosensibilität: Standortbestimmung eines Phänomens* durchgeführt [20]. Im Rahmen des ETH-Forschungsprojekts NEMESIS wird zudem untersucht, inwiefern eine gesonderte Risikogruppe elektrosensibler Menschen existiert.

d) Neue, innovative Projektideen

Im Projekt *Compresseur hydraulique-isothermique* [16], in welchem ein neuartiger Kompressortyp erforscht wird, wurden nach einem krankheitsbedingten Projektunterbruch verschiedene Optimierungsarbeiten am Prototypen vorgenommen.

Nationale und internationale Zusammenarbeit

Sowohl aus Kostengründen als auch zur Erhöhung der Umsetzungschancen werden praktisch nur Projekte unterstützt, die sich durch ein substantielles Engagement der Industrie auszeichnen. Damit wird auch die nationale Zusammenarbeit zwischen Hoch- und Fachhochschulen und der Industrie gewährleistet.

Die aktive Teilnahme der Schweiz am IEA-Programm Hochtemperatur-Supraleitung stellt unverändert eine ausgezeichnete Plattform für die internationale Zusammenarbeit dar. Wertvolle Impulse und Informationen sowie neue Kontakte konnten insbesondere durch den Besuch des Programmleiters anlässlich des Executive Committee-Treffens des IEA-Hochtemperatur-Supraleiter-Programms in Milano gewonnen werden.

Wie erwähnt hat die Schweiz ihre Teilnahme am IEA-Programm *Demand Side Management* aufgehoben. Etablierte Kontakte werden aber weitergepflegt.

Aufgrund der unattraktiven Bedingungen sowie der nicht sehr erfolgsversprechenden Arbeiten EU-Projekt Energy Efficient Motors and Drives (SAFE II) verzichtet das BFE vorerst auf eine Teilnahme. Die Aktivitäten werden jedoch verfolgt.

Zur Zeit wird die Teilnahme der Schweiz am IEA Programm Energy Storage im Bereich Electrical Energy Storage Technologies for Utility Network Optimization unter Einbezug der Elektrizitätswirtschaft geprüft.

Umsetzung in die Praxis, P+D-Projekte

KRAFT/ELEKTRISCHE MOTOREN

Aufgrund der bisherigen Forschungsergebnisse auf dem Gebiet der elektrischen Motoren und Antriebe wurde Ende Oktober 1997 unter Einbezug der ETH Zürich und der einschlägigen Industrie der BFE- Workshop **Technologietrends bei Antrieben/ Motoren** im Technopark Zürich durchgeführt. Über 60
Teilnehmer konnten zum Anlass begrüsst werden.
Durch hochkarätige Referenten wurden neue und

aktuelle Trends präsentiert. Die ausgearbeiteten Tagungsunterlagen geben einen breiten Ueberblick über die einschlägigen, nationalen und internationalen Aktivitäten [21].

Obwohl im P+D-Projekt **Felderprobung einer Stromspar-Kleinumwälzpumpe** grössere zeitliche Verzögerungen aufgetreten sind, besteht nun Zuversicht, dass die Feldversuche mit den 20 verfügbaren Prototypen an mehreren Örtlichkeiten durchgeführt werden können.

Die Umsetzung des Projekts *Integraldrives* ist erfreulich: infolge der erfolgreichen Entwicklung sowie des grossen Interesses seitens der Industrie konnten im Rahmen einer Firmenneugründung in der Schweiz 8 Arbeitsplätze geschaffen werden. Zur weltweiten Vermarktung wurden neben der Teilnahme an mehreren

Messen (z.B. Hannover Messe 1997) zwei neue Unternehmungen in Deutschland und den USA gegründet. Mit ca. 12 Firmen unterschiedlichster Industriebereiche entwickelte sich eine intensive Zusammenarbeit für die Umsetzung in industrielle Anwendungen. Druck- und Textilmaschinen, Lüfter, Fahrstuhlantriebe, Pumpen und Verdichter sind nur einige Beispiele des breiten Anwendungsgebiets für den Integraldrive.

Im Rahmen des IEA-Demand Side Management-Programms wird als Pilotprojekt eine High Efficient Motor Ausschreibung im Leistungsbereich von 0.18 -110 kW vorgenommen. Damit will man die Industrie zur Herstellung von effizienten Antrieben motivieren sowie entsprechende Vermarktungsunterstützung bieten.

BÜROGERÄTE / EDV-NETZWERKE

In Fortführung der bisherigen Informationsarbeiten wurde ein Merkblatt mit dem Titel *Energiesparen in Netzwerken – leicht gemacht* verfasst. Die Broschüre beschreibt anhand von zwei unterschiedlichen Pilotprojekten, dass sich Server nachts und über das Wochenende herunterfahren lassen, ferngesteuert und ohne nennenswerte Einschränkungen für den Benutzer.

Im Projekt Energiemanager Typ 96.010 [17] wurde das als Funktionsmuster vorhandene Energiemanagement-System für EDV-Netzwerke als Prototyp weiterentwickelt und im Einsatz in mehreren EDV-Netzwerken auf seine Zuverlässigkeit und Benutzerfreundlichkeit hin untersucht. Zwar konnten positive Resultate bezüglich Systemzuverlässigkeit verzeichnet werden. Die Untersuchung hat aber auch aufgezeigt, dass seitens der Betreiber eine grosse Zurückhaltung besteht. Die Angst von dadurch verursachten Systemunterbrüchen ist gross. Aufgrund solcher Erfahrungen werden nun neue Vermarktungsstrategien untersucht.

In enger Zusammenarbeit mit der produzierenden und

betreibenden Industrie sind Vorbereitungen für Abklärungen im Zusammenhang mit *energieeffizienten Geldausgabeautomaten* durchgeführt worden. Die Spezifikationen sind verfügbar und entsprechende Pilotprojekte werden im Frühling 1998 ausgearbeitet.

1997 wurde eine Begleitgruppe Energiemanagement in vernetzten Systemen aufgebaut. Sie setzt sich aus Vertretern der Benutzer, der forschenden Hochschule, der liefernden Informatikindustrie sowie des Bundes zusammen. Sitzungen im Halbjahresrhythmus sollen einen engen Informationsaustausch mit Bezug zur Praxis sicherstellen.

Im neuen BFE-Gebäude wurde als Pilotinstallation ein AC-Netzwerkmanager in Betrieb genommen, der zeitund bedarfsgesteuert zentrale Komponenten des Netzwerkes kontrolliert ein- und ausschaltet. Durch die
Kopplung des AC-Managers mit dem Personenausweis werden am Wochenende und abends bedarfsgerecht nur diejenigen Server/Komponenten aufgestartet, auf die der Betreffende Zugriffsrechte hat.

DIVERSE

Mit dem Projekt **Energiesparen bei Reisezügen** [18] wurde am Beispiel eines Reisewagens nachgewiesen, dass deren Energieverbrauch um mehr als die Hälfte gesenkt werden könnte. Es ist vorgesehen, dass die SBB anlässlich der nächsten Wagenrevisionen die

vorgeschlagenen Massnahmen umsetzt.

Im Projekt Öko-Kühlschrank sind nun 10 Prototypen produziert worden. Tests, Optimierungen und Marktaktivitäten sind für 1998 geplant.

Bewertung 1997 und Ausblick 1998

Im Schwerpunktsbereich Energie und Informationstechnik konnten breit angelegte Aktivitäten gestartet werden. Sowohl das Echo der Industrie als auch der grossen Netzwerkbetreiber sind ermutigend und zeigen, dass ein Handlungsbedarf vorhanden ist. Das Etablieren einer Benutzergruppe hat sich als äusserst griffiges Informationsforum entwickelt.

Berücksichtigt werden muss aber die nach wie vor latent vorhandene Angst der Betreiber vor Systemunterbrüchen. Diesem Aspekt ist auch zukünftig grösste Aufmerksamkeit zu schenken.

Die Arbeiten im Schwerpunkt *Antriebe/Motoren* sind sowohl qualitativ als auch quantitativ zufrieden-

stellend verlaufen. Auch die Umsetzung der erarbeiteten Forschungsergebnisse in Form des durchgeführten Workshops und durch Kommerzialisierungen des *Integraldrives* ist positiv zu werten. 1998 ist beabsichtigt, diesen Schwerpunkt durch zusätzliche, systemorientierte Antriebsprojekte auszuweiten.

Um die im Bereich Übertragung/Verteilung durchgeführten Forschungsaktivitäten besser bekannt zu

machen ist vorgesehen, 1998 durch ein BFE-Seminar einen konzentrierten Wissenstransfer vorzunehmen.

Nachdem 1996 der *Current Limiter* in der Schweiz als weltweit erstes Hochtemperatur-Supraleiter-Gerät ans Netz ging, hat die Schweiz mit dem dreiphasigen Hochtemperatur-Supraleitungs-Trafo am Netz auf diesem Gebiet erneut eine Spitzenposition inne. Diese Position gilt es auch längerfristig aufrecht zu erhalten.

Liste der Projekte

- [1] D. Westermann, ABB HOCHSPANNUNGSTECHNIK, Zürich: Entwicklung neuer systemorientierter FACTS-Elemente (JB)
- [2] L. Maiocchi, ETH-Zürich und Th. Arpagaus, AMSTEIN + WALTHERT, Zürich: Lastbestimmungsmodell für Verteiltransformatoren (SB)
- [3] J. Nipkow, ARENA, Zürich: Verminderung der Verluste von Netztransformatoren (SB) Grundlagen für Forschungs- und Entwicklungsschwerpunkte für Kleinventilatoren mit hohem Wirkungsgrad (JB)
- [4] A. Stoev, IDS, Zürich: Integraldrive 0.55 kW 22 kW mit regenerativer Energierückspeisung (SB) Elektronischer Verteiltransformator (SB)
- [5] A. Real, ALPHA REAL, Zürich: Zuverlässigkeit von Sicherheitsschaltungen gegen Inselbildung (JB)
- [6] R. Tanner, SEMAFOR, Basel: Erweiterung des Programmsystems OPAL mit Frequenzumrichtern (SB)
- [7] A. Huser ENCONTROL, Niederrohrdorf: Energiemanagement in vernetzten elektronischen Systemen (SB)
- [8] M. Kunz, BASLER + HOFMANN, Zürich und M. Kistler, TELEINFORM, Schlieren: Energieverbrauch von Netzwerkkomponenten (SB)
- [9] B. Aebischer, ETH-Zürich: Förderung des rationellen Energieeinsatzes in der Informationsstechnik und Unterhaltungselektronik (JB), Energieverbrauch und Energiesparmöglichkeiten von Automaten Vorstudie (SB) International koordinierte Beschaffung eines innovativen Kopiergerätes (SB)
- [10] D. Haefelin, INFEL, Zürich: Folgeprojekt Prioritäre Aktionsfelder im DSM; Anleitung zur erfolgreichen Marktbearbeitung (SB)
- [11] H. Züger, ABB SECHERON, Genf: Hochtemperatur-Supraleiter-Transformator (SB)
- [12] G. Véscey, EPF-Lausanne: Entwicklung eines HTS-Kabels für die Energietechnik (JB) Assessing the Impacts of High Temperature Superconductivity on the Electric Power Sector (JB)
- [13] H. Späth, UNI-Karlsruhe: Ausarbeitung von energierelevanten Umsetzungsprojekten der LESIT-Ergebnisse (SB)
- [14] W. Fichtner, ETH-Zürich: Analyse und Optimierung von IGBT Modul Packages und Vergleich von Bauelementkonzepten für MOS-kontrollierte Hochspannungs-Leistungshalbleiterschalter mit dem Trench-IGBT (JB)
- [15] P. Mauchle, SCHNYDER & BRÜNIGER, Ottenbach: Parameteridentifikation und Messverfahren für USV-Anlagen (JB)
- [16] L. SIMON, Genf: Compresseur hydraulique-isothermique (JB)
- [17] P. Aeschlimann, LINARD, Lommis: Energiemanager Typ 96.010 (SB)

 [18] C.U. BRUNNER, Zürich: Enper: Energiesparen bei Reisezügen (SB)
 - (JB) Jahresbericht 1997 vorhanden
 - (SB) Schlussbericht vorhanden

Referenzen

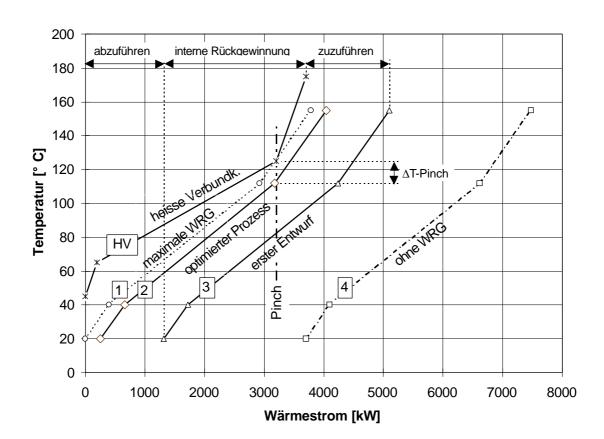
- [19] R. BRÜNIGER, *Ottenbach: Reisebericht* über den internationalen Workshop über "HTSC Power Transmission Cables", Mai 1997
- [20] C. Schierz, C. Müller, ETH-Zürich: Elektrosensibilität: Standortbestimmung eines Phänomens, 4. Juli 1997
- [21] J. Nipkow, ARENA, Zürich: Technologietrends bei Antrieben/Motoren (Tagungsunterlagen zum gleichnamigen BFE-Workshop)

UMGEBUNGS- UND ABWÄRME, WÄRME-KRAFT-KOPPLUNG

Überblicksbericht zum Forschungsprogramm 1997

Martin Zogg

martin.zogg@bluewin.ch



Prozessintegration mit der Pinch-Methode

Systematisches Konzipieren energie- und verfahrenstechnischer Prozesse sowie komplexer haustechnischer Anlagen für einen minimalen Energiebedarf durch Zusammenfassen aller aufzuheizenden und aller abzukühlenden Ströme. Kurven 1 bis 4 für Konzepte mit abnehmendem Wärmerückgewinnungsgrad.

Programmübersicht und Programmziele

Das Forschungsprogramm "Umgebungs- und Abwärme, Wärme-Kraft-Kopplung UAW" befasst sich mit der Nutzung der Umgebungswärme (Luft, Erdboden, Grund- und Oberflächenwasser) und von Abwärme (Gebäude, industrielle Prozesse) für die Raumheizung, zur Warmwasserbereitung und für industrielle Prozesse. Über 50% des gesamten Endenergiebedarfs der Schweiz werden für diese Wärmeanwendungen benötigt. Dieses Forschungsprogramm möchte die Wissenslücken schliessen, um in Zukunft einen wesentlich höheren Anteil der Niedertemperaturwärme aus Umgebungswärme oder aus Abwärme gewinnen zu können. Durch die Kombination von Wärme-Kraft-Kopplungs-Anlagen mit Elektrowärmepumpen aber auch mit fortgeschrittenen Absorptionswärmepumpen lassen sich gegenüber den üblichen Öl- und Gasheizkesseln bereits heute 30 bis 50% an Brennstoffen zur Raumheizung einsparen und damit die CO2-Emissionen entsprechend reduzieren [24]. Zur Verbesserung der Effizienz und der Betriebssicherheit und zur Reduktion der Kosten der genannten Systeme und einer energieoptimalen Konzeption industrieller Prozesse wurden im Jahr 1997 die folgenden Hauptziele verfolgt und im wesentlichen bis zu den geplanten Etappenzielen erreicht:

- Verbessern der Nutzung von Umgebungsluft und Erdwärme für Wärmepumpen,
- Erarbeiten von Grundlagen zur Entwicklung von Kleinwärmepumpen mit natürlichen Kältemitteln insbesondere für den Sanierungsmarkt,
- Entwickeln neuer Konzepte und Methoden zum Testen und Optimieren von Wärmepumpenheizungssystemen auch für Niedrigenergiehäuser,
- Ausarbeiten und Erproben neuer Wege zur Emissionsreduktion bei Blockheizkraftwerken.
- Weiterentwickeln und Umsetzen der Methoden der Prozessintegration zur Reduktion des Energiebedarfs industrieller Prozesse.

Leider musste die geplante Verwirklichung eines Heizkessels mit integrierter Absorptionswärmepumpe infolge von Lizenvergaben ins Ausland und mangelnder Beteiligung der schweizerischen Kesselhersteller aufgegeben werden. Eine ausführliche, resultatorientierte Jahresübersicht zu diesem Forschungsprogramm [26] kann über ENET bezogen werden.

Durchgeführte Forschungsarbeiten und erreichte Ergebnisse

WÄRMEQUELLEN UND WÄRMEÜBERTRAGUNG

Die üblichen Gebläse für Wärmepumpen mit Umgebungsluft als Wärmequelle benötigen viel elektrische Antriebsenergie und erfordern Massnahmen zur Geräuschreduktion. Im neuen Projekt stille Verdampfer für Luft/Wasser-Wärmepumpen [1] wird deshalb versucht, ohne Gebläse auszukommen. Bei Erdwärmesonden ist zwischen zu geringen Sondenlängen und unnötig hoher Pumpleistung sorgfältig zu optimieren. Zu diesem Zweck wurde das Berechnungsmodul EWS zur Ermittlung der Soleaustrittstemperatur aus Erdwärmesonden entwickelt und validiert [2]. Es vermag auch das dynamische Verhalten von einzelnen Doppel-U-Sonden über mehrere Jahre sehr gut wiederzugeben. Die Ergebnisse von Auslegungsprogrammen für Wärmepumpenheizungen mit Erdwärmesonden sind nur verlässlich, wenn die einzugebenden relevanten Stoffwerte des Erdbodens am Erdwärmesondenstandort hinreichend bekannt sind. Ein erster Schritt zum Schliessen der hier noch empfindlichen Wissenslücken wird mit dem neuen Vorhaben Geothermische Eigenschaften des Schweizer Molassebeckens [3] unternommen. Ziel ist ein einfach zu bedienendes PC-Programm zur Prognose der geothermischen Stoffwerte und der Erdoberflächentemperatur für einen beliebigen Standort im schweizerischen Mittelland. Die **Regeneration von Erdwärmesonden im Sommerhalbjahr** durch Überschusswärme aus Solaranlagen oder durch "sanfte Raumkühlung" steht insbesondere bei höher belasteten Erdwärmesondenfeldern immer wieder zur Diskussion. Ein neues Projekt [4] soll den Einfluss von Wärmeeinträgen in Erdwärmesondenfelder von Sole/Luft-Wärmepumpenanlagen typischer Mehrfamilienhäuser klären.

Die rasche Einführung alternativer Kältemittel als Ersatz für die chlorhaltigen Kältemittel erfordert das Bereitstellen neuer Berechnungsgrundlagen für den Wärmeübergang bei der Verdampfung. Beim thermodynamisch interessanten natürlichen Kältemittel Ammoniak fehlen diese insbesondere bei der Verdampfung von Gemischen von Ammoniak und löslichen Schmierölen. Die Untersuchungen an (FKW) wurden deshalb auf die Verdampfung solcher Gemische in glatten und strukturierten Rohren ausgedehnt [5]. Nach diversen Verzögerungen beim Umbau der ursprünglich für synthetische Arbeitsmittel konzipierten Versuchsanlage konnten erste Versuche mit reinem Ammoniak gefahren werden.

WÄRMEPUMPEN UND BLOCKHEIZKRAFTWERKE

Aus ökologischen Gründen wechseln immer mehr Hersteller von Wärmepumpen auf natürliche Kältemittel wie Ammoniak und Alkane. Während sich Ammoniak als Arbeitsmittel für Wärmepumpen und Kältemaschinen infolge seiner thermodynamischen und ökologischen Vorzüge bei Grossanlagen durchgesetzt hat, sind bei kleinen Aggregaten noch erhebliche Hindernisse zu überwinden. An einer Ammoniak-Grosswärmepumpe von SULZER mit je 3.9 MW Wärmeleistung wurde noch nach 11 Betriebsjahren eine Jahresarbeitszahl von 4.4 gemessen [11]. Der auf den unteren Heizwert bezogene Nutzungsgrad der gesamten WKK-WP-Kombination beträgt immer noch 160%! Im neuen Forschungsprojekt Kleinwärmepumpe mit Ammoniak [15] werden die thermodynamischen und wirtschaftlichen Vorteile einer NH3-Wärmepumpe im Wärmeleistungsbereich von 6 bis 25 kW gegenüber entsprechenden Wärmepumpen mit Propan und R407C untersucht und ein neues Adsorptionsmittel als "Ammoniakfalle" für den Leckagefall getestet. Erste Ergebnisse für eine Luft/Wasser-Wärmepumpe zeigen, dass sich mit Ammoniak um etwa 15% höhere Leistungszahlen als mit Propan oder R407C ergeben. Nachteilig ist für Ammoniak aber das hohe Verdichtungsverhältnis.

Das grösste Marktpotential für Wärmepumpen liegt im Sanierungsmarkt. Da hier meistens nur Luft als Wärmequelle in Frage kommt und das Wärmeverteilsystem i.a. für höhere Temperaturen ausgelegt ist, sind hohe Temperaturhübe zu überwinden. Dafür werden bei Wärmepumpen grösserer Leistung zweistufige Kreisprozesse eingesetzt. Mit Hilfe einer durch Computersimulationen gestützten experimentellen Untersuchung wurde die Anwendbarkeit dieses Prinzips am Beispiel zweier Schaltungsvarianten auch für Kleinwärmepumpen untersucht [8]. Gegenüber einstufigen Wärmepumpen wurde bei Temperaturhüben über 45 °C die Leistungszahl um rund 14% und die Wärmeleistung um rund 70% erhöht. In einer zweiten Phase [9] werden die Untersuchungen auf eine exergetisch optimale Enteisung und die Verwendung eines natürlichen Kältemittels wie Propan ausgedehnt. Die Entwicklung eines AWP-Kessels (Kombination Absorptionswärmepumpe, konventionellem Gaskessel und intelligenter Steuerung) musste infolge einer Lizenzvergabe ins Ausland und mangelnden Interesses der Schweizer Kesselindustrie aufgegeben werden.

Bei den **Blockheizkraftwerken** stand die Forschungstätigkeit im Zeichen der Emissionsminderung. Dieses Ziel wurde durch eine Betriebsemissionsüberwachung, die Entwicklung eines schadstoffarmen Motors und von Kleinblockheizkraftwerken mit äus

serer Verbrennung verfolgt. Die übliche Betriebsemissionsüberwachung der stöchiometrisch betriebenen Verbrennungsmotoren von Blockheizkraftwerken über die Lambdasondenspannung und die Abgastemperatur genügt nicht. Deshalb wurden zwei wirtschaftlich tragbare Methoden zur Emissionsüberwachung während der ganzen Betriebszeit von BHKWs ausgearbeitet und im praktischen Betrieb in 3 BHKW-Anlagen mit elektrischen Leistungen von 174 bis 430 kW erprobt [13]. Bei der aufwendigeren Emissionsüberwachungsmethode werden die Emissionen direkt gemessen, während sie bei der kostengünstigeren Endothermiemethode indirekt über die Temperaturerhöhung im Katalysator bestimmt werden. Die entwickelten Methoden zur Emissionserfassung im Betrieb lassen Fehlfunktionen frühzeitig erkennen und ermöglichen damit ein rechtzeitiges Auslösen von Revisionsarbeiten.

In einem grösseren Vorhaben wird die Entwicklung eines emissionsarmen Gasmotors (Swiss-Motor) [7], der die strengen schweizerischen Abgasnormen ohne nachgeschalteten Katalysatoren erreichen soll, vorangetrieben. Im Berichtsjahr wurde der Motor für Magerbetrieb umgebaut und zunächst im atmosphärischen Betrieb untersucht. Im aufgeladenen Betrieb mit Turbokompressor, Zwischenkühlung und Oxidationskatalysator zur Reduktion der CO- und der KW-Emissionen sind die NO_x-Werte mit knapp 400 mg/ m³_N noch wesentlich zu hoch. Weitere Verbesserungen werden im kommenden Jahr mit anderen Kolbengeometrien und Brennkammervolumina erwartet. Die gleichzeitig durchgeführte Untersuchung einer massiven Abgasrückführung lassen NOx-Werte unter 100 mg/m³_N erwarten. Über diesen Teil wird im Forschungsprogramm "Feuerung und Verbrennung" berichtet. Erste Untersuchungen an einem neuen Motorenkonzept mit äusserer Verbrennung [17] verliefen leider enttäuschend. Das Vorhaben wird deshalb nicht weiter verfolgt. Ziele einer durch den NEFF, den PSEL, den FOGA und das BFE unterstützten Entwicklung eines Stirling-Freikolben-Energiemoduls sind: 1 kW elektrische Energie, 4 kW Wärme, 50'000 wartungsfreien Betriebsstunden und tiefe Emmissionswerte ohne katalytische Abgasreinigung. Das BFE beteiligte sich an der Entwicklung des dynamischen Lastreglers [19]. Dieser muss nebst der Regelung des Energiemoduls im Betrieb bei einem Lastabwurf kurzzeitig die ganze Leistung ohne Beschädigung des schwingenden Kolbensystems aufnehmen können. Nach theoretischen und experimentellen Voruntersuchungen wurde der Regler für das 1 kW-Energiemodul entworfen, gebaut und im Labor wie auch am 1 kW Stirling-Generator erfolgreich getestet.

SYSTEMOPTIMIERUNG

Die Messungen im Wärmepumpentestzentrum Töss erfolgen bei stationärem Betrieb. Im realen Einsatz

laufen Wärmepumpen i.a. taktend. Im Anfahrbetrieb erbringen Wärmepumpen aber nur eine reduzierte

Wärmeleistung. Die Leistungsreduktion ist von der Dauer des Betriebsunterbruchs und den jeweiligen Eigenschaften der Wärmepumpe abhängig. Um auch das Anfahrverhalten erfassen und vergleichen zu können, sind Methoden für einen dynamischen Wärmepumpentest zu entwickeln. Der momentane Wissensstand wird in [14] zusammengefasst. Als Nächstes ist ein Berechnungsmodell für den späteren Einbau in Simulationsprogramme und eine entsprechende Messmethode auszuarbeiten. Die Wärmepumpe ist nur eine wichtige Komponente im Gesamtsystem Wärmequelle - Wärmepumpe - Wärmespeicher - hydraulisches Wärmeverteilsystem - Gebäude - Regelung. Deshalb wird im Forschungsvorhaben Kurztestmethode für Wärmepumpenanlagen [12] an der Erfassung des realen Gesamtsystems im tatsächlichen Betrieb mit bescheidener messtechnischer Hardware als Grundlage für Betriebsoptimierungen, Abnahmeversuche und Hochrechnungen auf die zu erwartenden Jahresergebnisse gearbeitet. Dabei wird der Versuch unternommen, von den Ergebnissen der modernen Systemanalyse zur Reduktion des Messaufwands mit Hilfe eines hinreichend genauen mathematischen Modells zu profitieren. In der abgeschlossenen zweiten Phase wurde für ein einfaches Luft/Wasser-Wärmepumpenheizungssystem ein dynamisches Simulationsmodell entwickelt. Die Identifikation des Teilsystems der Wärmeverteilung mit Fussbodenheizung und inneren Wärmequellen anhand gemessener Werte der Rücklauftemperatur, der Aussentemperatur und Druckdifferenz über der Umwälzpumpe in einem Einfamilienhaus in Massivbauweise konnte erfolgreich abgeschlossen werden. Diese ersten Ergebnisse der Parameteridentifikation sind sehr ermutigend und lassen fürs kommende Jahr auch eine erfolgreiche Erfassung der weiteren Teilsysteme er-

Niedrigenergiehäuser mit Energiekennzahlen unter 200 MJ/m²a stellen neue Anforderungen an die Heizsysteme. Um das Ziel eines hohen Komforts mit

weniger Geld und geringerer Umweltbelastung. zu erreichen, sind Wärmeerzeugung, Wärmeverteilung und Gebäude als ganzes System zu behandeln [16]. Dieses wird durch eine Computersimulation sowie mit Feld-und Labormessungen erfasst. Die Umweltbelastungen unterschiedlicher Lösungen werden mit Ökobilanzen bewertet. Von den untersuchten Heizungssystemen schneidet die Luft/Wasser-Wärmepumpe mit Abluft-Wärmepumpenboiler am besten ab. Eine zusätzliche passive Solarenergienutzung erwies sich nur bei Massivbauweise als praktikabel. Bei der Variante einer Sole/Wasser-Wärmepumpe wurden mit Hilfe des Programmmodul EWS [2] die Grenzen für einen Erdwärmesondenbetrieb mit reinem Wasser als Wärmeträger aufgezeigt.

Bei der Integration verfahrens- und energietechnischer konzentrierten unsere Prozesse sich schungsbemühungen auf neue Methoden zur energetischen Optimierung der in der Schweiz besonders häufigen Batch-Prozesse. Im Berichtsjahr wurde eine interessante Übersicht über die derzeit für Batch-Prozesse verfügbaren Prozessintegrations-Methoden erarbeitet [6]. Die vorgeschlagene PinchBATCH-Methode erleichtert das Auffinden optimaler Schaltungen für direkte und indirekte Wärmeübertragung und die systematische Wahl geeigneter Zwischenspeichertemperaturen. In der zweiten Phase des Projekts sind die Optimierung der Wärmespeicherung und die Minimierung der Anzahl benötigter Wärmeübertrager unter Einbezug kombinatorischer Methoden geplant. Im Bereich der Prozessintegration hinkt die technische Praxis auch in unserem Land weit hinter den heutigen Möglichkeiten eines systematischen Auffindens optimaler Anlagekonfigurationen her. Wir haben deshalb der Umsetzung der weitaus erfolgreichsten Pinch-Methode in die Praxis grosses Gewicht beigemessen und diese in einem Sonderheft [25] und einem gut besuchten Kurs mit Handbuch [18] einem breiteren Fachpublikum vorgestellt. Weitere Kurse werden

Nationale und internationale Zusammenarbeit

Die Anstrengungen im Forschungsbereich "Umgebungs- und Abwärme, Wärme-Kraft-Kopplung (UAW)" wurde mit dem NEFF (Nationaler Energie-Forschungs-Fonds), dem FOGA (Energieforschungsfonds der schweizerischen Gasindustrie) und dem PSEL (Projekt- und Studienfonds der Elektrizitätswirtschaft) koordiniert. Diese Fonds beteiligten sich an folgenden Projekten in unserem Bereich: Mini-Blockheizkraftwerke als Freikolben- Stirling-Generator (NEFF, PSEL, FOGA, BFE), Wärmepumpentestund Ausbildungszentrum Töss (PSEL, BFE), Swiss Motor (FOGA, BFE), Mini-Blockheizkraftwerk mit Verbrennungsmotor (NEFF, FOGA), Kostenermittlung und Marktsituation von Grosswärmepumpen (PSEL). Im Rahmen der FWS (Fördergemeinschaft

Wärmepumpen Schweiz) arbeiten Branchenverbände von Planern und Installateuren, Hersteller von Wärmepumpen, Elektrizitätswerke und Dienststellen von Kantonen zur Verbreitung zuverlässiger und effizienter Wärmepumpenheizungsanlagen zusammen. Arbeitsgemeinschaft Wärmepumpen AWP wirkte bei der Ausarbeitung und Vorstellung des Pflichtenhefts für die Swiss Retrofit Heat Pump mit. Auch mit dem Schweizerischen Fachverband für Wärme-Kraft-Kopplung WKK wird ein reger Gedankenaustausch gepflegt. Im Bereich der Prozessintegration fand die nationale Zusammenarbeit im Rahmen mehrerer Sitzungen des National Teams des IEA Implementing Agreement on Process Integration Technologies statt. Unsere Bestrebungen zur Verbreitung der

Methoden der Prozessintegration wurden auch durch den *FVC* (Fachgruppe für Verfahrens- und Chemieingenieurwesen im SIA) unterstützt.

Die internationale Zusammenarbeit erfolgte durch bilaterale Kooperation mit Nachbarländern und durch Mitarbeit in Projekten der Internationalen Energieagentur IEA. Zwischen der FWS und den entsprechenden Organisationen in Deutschland und Österreich finden regelmässige Dreiländertreffen statt. Unter anderem wird ein gemeinsames Gütesiegel für Wärmepumpen erarbeitet. Die Vereinigung Deutscher Elektrizitätswerke führte im Juni 97 eine Informationstagung zu Marktfragen am Wärmepumpentest- und Ausbildungszentrum Töss durch. Im Ausschuss für die VDI-Richtlinie 4640 zur thermischen Nutzung des Untergrundes wirkt auch ein Delegierter aus der Schweiz mit. Die Electricité de France EdF zeigt sich an unserer Wärmepumpentechnologie und an unseren Planungswerkzeugen sehr interessiert. Eine intensive internationale Zusammenarbeit erfolgte auch dieses Jahr über die schweizerische Beteiligung IEA Heat Pump Programme HPP. Das Heat Pump Centre des HPP informiert über internationale Fortschritte der Wärmepumpentechnologie, Ergebnisse der HPP-Projekte und internationale Marktentwicklungen. Es gab uns auch Gelegenheit, die Fortschritte in der Schweiz einem breiten internationalen Fachpublikum bekanntzugeben. Informationen und Berichte aus dem HPP-Programm der IEA findet man in {www.heatpumpcentre.org}. Innerhalb des Swiss National Teams fand wiederum ein reger nationaler Informations- und Gedankenaustausch statt. Näheres in {www.waermepumpe.ch}. Im HPP-Projekt Compression Systems with Natural Working Fluids werden Planungsgrundlagen für die Anwendung natürlicher Kältemittel wie Ammoniak, Kohlenwasserstoffe, CO2 oder Luft in Wärmepumpen erarbeitet. Die Schweiz hat nebst einer Studie zur Umweltrelevanz natürlicher Kältemittel weitere Beiträge aus den Projekten [5] und [11] eingebracht und in einem internationalen Workshop vorgestellt [20]. Der Schlussbericht wird im nächsten Jahr erscheinen. Näheres in {www.termo.unit.no/ kkt/annex22}. Eine internationale Kooperation im Bereich Entwicklung und Vermarktung von Einzelraumwärmepumpen erfolgt als HPP-Projekt Heat pumps for single room applications. Im Rahmen des Vorhabens [16] offerierte die Schweiz eine Ausweitung als HPP-Projekt. Das International Institute of Refrigeration IIR {www.iifiir.org} ist auch für die Forschung und Entwicklung in der Wärmepumpentechnik ein bedeutendes Forum. Das BFE hat deshalb einen namhaften Teil der Mitgliedschaftskosten für die Schweiz übernommen. Im Herbst 1997 führte das IIR in Linz den internationalen Workshop Heat Pump Systems, Energy Efficiency and Global Warming durch, an dem auch unsere Forschungs- und Entwicklungsvorhaben [8] und [16] zur Diskussion gestellt wurden.

Im Bereich der Prozessintegration fand die internationale Zusammenarbeit im Rahmen des *IEA-Implementing Agreement on Process Integration* statt {www.iea.org/impagr/effene/a32proc.htm}.

Hauptthemen des ersten Vorhabens dieses Programms sind das Erfassen der Bedürfnisse der Anwender sowie eine Übersicht über die vorhandenen Methoden und die Entwicklungstendenzen der Prozessintegration. An den Arbeiten beteiligte sich auch eine Arbeitsgruppe in der Schweiz. Dieses Swiss National Team pflegte nebst den internationalen Tätigkeiten auch einen regen nationalen Gedankenaustausch zu dem in der Schweiz noch wenig beachteten Thema [10]. Mit der Herausgabe eines Sonderhefts zur Prozessintegration [25] wurde eine besondere Anstrengung zur Verbreitung der Methoden der Prozessintegration in die Praxis unternommen. Als Produkte dieses Projekt sind erschienen: Eine Übersicht über Gewohnheiten, Erfahrungen und Wünsche der Anwender [22] und ein Katalog [23] als zusammenfassende Darstellung der wichtigsten Methoden sowie eine weltweite Information über Forschungsinstitutionen, Softwareentwickler, verfügbare Software, Kurse und Fachbücher.

Transfer in die Praxis

Da an den meisten der ohnehin sehr anwendungsnahen Projektarbeiten private Firmen beteiligt sind, ist die direkte Zusammenarbeit mit der Privatwirtschaft sehr eng. Die im Jahr 1997 abgeschlossenen Forschungsarbeiten sind eine gute Grundlage für eine industrielle Weiterentwicklung zu neuen Produkten ([1], [7], [8], [9], [11], [15], [19]), dienen einer besseren Auslegung ([2], [3], [5], [14]), können zur Planung effizienterer und kostengünstiger Wärmepumpenheizsysteme eingesetzt werden ([4], [16]), erlauben eine bessere Optimierung und Überprüfung von Wärmepumpenheizungssystemen ([12], [14]), sichern einen emissionsarmen Betrieb von Blockheizkraftwerken [13] und erlauben die Reduktion des Energiebedarfs verfahrenstechnischer

Prozesse ([6], [18], [23]). Auf die in den UAW-Projekten erarbeiteten Ergebnisse wird laufend durch Publikationen der Projektleiter und durch Kurzfassungen des Programmleiters hingewiesen. Zahlreiche P+D-Projekte helfen, das in der Forschung Erarbeitete in zuverlässig funktionierende Anlagen umzusetzen. Diesem Ziel diente auch die im Mai 1997 an der Ingenieurschule Burgdorf mit grossem Erfolg durchgeführte 4. UAW-Tagung mit dem Thema Wärmepumpen und Blockheizkraftwerke: Von der Forschung in den Alltag [24].

Das auch vom BFE unterstützte **Wärmepumpentestund Ausbildungszentrum Töss** leistet einen erheblichen Beitrag zur Sicherung der Wärmepumpenqualität und zur Erhöhung der Effizienz der im Handel angebotenen Wärmepumpen. Die Prüfergebnisse können über {www.wpz.ch} abgerufen werden. Mit der Verabschiedung der Schweizer Norm SN 253130 wurde auch bei uns ein wesentlicher Schritt zur Anwendung brennbarer Kältemittel getan (Auszug in {www.waermepumpe.ch}). Die von der FWS organisierte Wärmepumpen Expo 97 in Zürich bot mit gut 50 Ausstellern erneut eine ausgezeichnete Gelegenheit, die Vorteile, Möglichkeiten und Fortschritte der Wärmepumpenheizung einer grossen Besucherzahl zu zeigen. Die FWS sorgt durch die Ausbildung der entsprechenden Fachleute und der Schaffung eines Gütesiegels für eine Erhöhung der Qualität der Wär-

mepumpentechnik. Die Wärmepumpentechnik wird auch im Rahmen des Investitionsprogramms des Bundes gefördert. Näheres dazu {www.bfe.admin.ch}. Der Schweizerische Fachverband für Wärme-Kraft-Kopplung WKK führte im November 97 eine gut besuchte Tagung zur Wärme-Kraft-Kopplung durch. Der trotz hohem Energiesparpotential geringe Bekanntheitsgrad der Prozessintegration veranlasste uns zur Herausgabe einer Sondernummer zur Prozessintegration [25] und zur Lancierung eines BFE-Kurses zur Prozessintegration [18]. Der Kurs fand ein gutes Echo und wird bereits am 31.März 98 wiederholt.

Ausblick auf 1998

An der Aktualität der Wärmepumpentechnologie und der Wärme-Kraft-Kopplung hat sich dank ihrem hohen und kurzfristig realisierbaren Potential bezüglich Reduktion der CO₂-Emission und des Bedarfs an fossilen Brennstoffen nichts geändert. Deshalb wird auch im Jahr 1998 die Realisierung des UAW-Konzepts 96/99 - wenn auch mit einigen Korrekturen - fortgesetzt. Auch die für 1998 geplanten Forschungsarbeiten dienen in erster Linie dem Ziel, die Effizienz und die Zuverlässigkeit solcher Systeme zu erhöhen, deren Preis zu senken und den Weg für die Verwendung natürlicher Kältemittel zu ebnen. Im Sanierungsmarkt liegt ein grosses Potential für den Einsatz von Wärmepumpen. Die Wärmepumpe kann sich an diesem Markt nur einen wesentlichen Anteil sichern, wenn es möglich wird, eine effizientere Wärmepumpe zu einem gegenüber heutigen Aggregaten um 30% bis 50% günstigeren Preis anzubieten. Dieses Ziel ist nur erreichbar, wenn es gelingt, die "Wärmepumpenkräfte" in unserem Land für die gemeinsame Entwicklung und Produktion einer neuen Wärmepumpe, der Swiss Retrofit Heat Pump, zu vereinen. Die SRHP soll gegenüber den heutigen Wärmepumpen eine höhere Jahresarbeitszahl bei kleinerem Speichervolumen erreichen, den Betrieb mit Vorlauftemperaturen bis 60°C ermöglichen, natürliche Kältemittel verwenden und dank modularem Aufbau und gemeinsamer Entwicklung und Serieproduktion kostengünstiger werden. Im Berichtsjahr wurde ein detailliertes Pflichtenheft aufgestellt und ausgeschrieben. Wir hoffen, 1998 die konkreten Arbeiten starten zu können. Zusätzlich sind für 1998 nebst der Fortsetzung und dem Abschluss der laufenden Projekte [1], [3], [5], [6], [7], [12], [14] und [16] vorgesehen: Implementieren des Berechnungsmoduls für Erdwärmesonden [2] in das Auslegungsprogramm WP-Calc, je nach Ausgang des Vorhabens [15] Realisieren eines Funktionsmusters einer Ammoniak-Kleinwärmepumpe, Untersuchung und gegebenenfalls Realisieren eines neuen Wärmepumpenprozesses mit zusätzlichem Kältemittelunterkühlungskreislauf, Ausarbeiten einer Regelstrategie für Kleinwärmepumpen, Schliessen der Wissenslücken für die Anwendung der Prozessintegration in der komplexeren Haustechnik, Einbringen unseres Schwerpunkts "Umwelt und Nachhaltigkeit" ins IEA Implementing Agreement on Process Integration. Im Interesse der Umsetzung führen wir am 12.Mai 1998 an der Ingenieurschule Burgdorf die fünfte öffentliche UAW-Tagung mit dem Thema "Wärme-Kraft-Kopplung - heute und morgen, Stand der Technik - Entwicklungsschwerpunkte" durch (Programm und Anmeldung bei ENET).

Projets P+D

(F. Rognon, chef de programme P+D)

Suite à l'annulation et au report de plusieurs projets, les engagements financiers de ces deux prochaines années se trouvent divisés par deux! En conséquence, les critères et les priorités des deux programmes cidessous seront assouplies dès le 1er janvier 1998. La documentation correspondante peut être obtenue auprès du chef de programme.

a) Programme P+D "Chaleur ambiante"

Durant l'année écoulée, nous avons enregistré 8

demandes nouvelles, 3 ont été acceptées et 1 refusées. Pour les 4 restantes, nous attendons des compléments d'information avant de statuer définitivement. La tendance à la baisse du nombre de projets se confirme malheureusement. 3 projets ont été abandonnés au profit d'énergie fossile. Nous constatons avec regrets, que le programme d'investissement d'ENERGIE 2000 n'a exercé aucun effet positif. Au contraire, il a fortement focalisé l'attention des maîtres d'ouvrages ou des décideurs qui pensent leurs projets uniquement en

fonction de ses critères et sont ensuite impossible à convaincre pour la réalisation d'une installation pilote ou de démonstration.

Relevons que le rapport du projet 18854 sur le radiateur pompe à chaleur constitue l'aboutissement du projet de recherche lancé en 1994. L'introduction sur le marché en 1997 s'avère un beau succès commercial: plus de 150 unités ont été vendues en moins de 3 mois. Ce projet peut être qualifié d'exemplaire: accompagné par l'OFEN, il a parcouru toutes les étapes de la recherche en passant par des installations pilotes jusqu'à la commercialisation.

Afin de redresser la courbe descendante des nouveaux projets, la collaboration avec le groupement promotionnel suisse pour les pompes à chaleur (GSP) sera renforcée. L'accent restera porté sur: l'assainissement de chauffages existants, l'utilisation de fluides frigorifiques neutres pour l'environnement, l'amélioration du coefficient de performance, l'abaissement des coûts.Les 26 projets en cours se répartissent de la manière suivante:

1) Sources de chaleur:

air	sondes	nappe	lac, rivière
	géothermiques	phréatique tunnel	
7	12	6	1

2) Systèmes principaux:

	CCF	air/eau	air/eau	eau ou
	+ PAC	monovalente	avec appoint	saumure/eau
Nombre	4	4	3	18
dont CAD	2	0	1	3

Les **rapports finaux** suivants sont parus en 1997 et sont disponibles auprès de ENERGIE 2000 P+D-Informationsstelle:

Proj.Nr.	Titre
18854	Heizkörperwärmepumpe, Grundlagen Förderstrategie
10575	Messungen drehzahlregulierter Wärmepumpenanlage
13836	Drehzahlregulierte Wärmepumpenanlage Kindergarten Brunnadern
10162	Gasmotor-Wärmepumpe Hinterkappelen

b) Programme P+D "Couplage chaleur-force"

Durant l'année écoulée, nous n'avons enregistré qu'un nouveau projet, qui est actuellement en discussion. Les 5 projets en cours se répartissent de la manière suivante selon le combustible utilisé: 3 moteurs au gaz naturel, 1 au propane et 1 au gaz de décharges contrôlées. Nous déplorons l'absence de pile à combustible. Dans tous les cas, la chaleur est utilisée.

Afin d'encourager l'utilisation de groupes chaleur-force en combinaison avec des pompes à chaleur, nous allons publier en 1998 un cahier d'aide à la planification destiné aux ingénieurs. Les grandes lignes du programme n'ont pas changé vu la modestie du budget: priorité absolue est donnée aux technologies nouvelles et aux carburants renouvelables.

Liste der Projekte

- [1] P.von Böckh, HTL-*Muttenz*: *Stiller Verdampfer für Luft/-Wasser-Wärmepumpen* (JB, ENET-Nr. 9721060)
- [2] A.Huber, HUBER ENERGIETECHNIK, *Zürich: Berechnungsmodul für Erdwärmesonden* (SB, ENET-Nr. 9658807)
- [3] W. Leu, GEOFORM, Winterthur: Geothermische Eigenschaften des Schweizer Molassebeckens (JB, ENET-Nr. 9723763)
- [4] W.P. Hässig, BASLER & HOFMANN, Zürich: Regeneration von Erdwärmesonden, Phase 1 (JB, ENET-Nr. 9722601)
- [5] O. Zürcher, LENI / EPF-Lausanne: Evaporation de mélanges d'ammoniac et d'huile dans des tubes (JB, ENET-Nr. 9656540)
- [6] P. Krummenacher, A. Auguste, LENI / EPF-Lausanne: Intégration énergétique de procédés industriels discontinus (ZB, ENET-Nr. 9655360)
- [7] R.Röthlisberger, LENI / EPF-Lausanne: Swiss Motor: Modification d'un moteur diesel pour le fonctionnement au gaz naturel en cogénération (JB, ENET 9553707)
- [8] E.Nidegger, D.Favrat, D.Reymond, M.Zehnder, LENI / EPF-Lausanne: Pompe à chaleur biétagée à haute performance, phase 1 (SB, ENET-Nr. 9400101)
- [9] M. Zehnder, LENI / EPF-Lausanne: **Pompe à chaleur biétagée à haute performance, phase 2** (JB, ENET-Nr. 9710478)
- [10] P.Krummenacher, LENI / EPF-Lausanne: Direction du NT Suisse pour l'annexe 1 de l'IEA-IA on Process Integration (JB, ENET-Nr. 9554740)
- [11] X.Pelet, D.Favrat, LENI / EPF-Lausanne & A.Vögeli, SULZER FRIOTHERM, Winterthur: Performances of 3.9 MWth Ammonia Heat Pumps within a District Heating Cogeneration Power Plant - Status after eleven Years of Operation (SB, ENET-Nr. 9658908)

- [12] G.Reiner, SULZER FRIOTHERM, Rothenburg & E.Shafai, S.Ginsburg, R.Wimmer, IMRT/ETH-Zürich & H.R.Gabathuler, H.Mayer, GABATHULER, Diessenhofen & H.U.Bruderer, SAURER THERMOTECHNIK, Arbon: Kurztestmethode für Wärmepumpenanlagen Phase 2: Messung, Modellierung und Validierung (ZB, ENET-Nr. 9657407) und (JB, ENET-Nr. 9657407)
- [13] F. Kühnis und H.P. Eicher, EICHER+PAULI, *Liestal* & D.E. Maurer, AMMANN, *Langenthal: Betriebsüberwachung von Dreiwegekatalysatoren* (SB, ENET-Nr. 9553311)
- [14] B. Gubser, M. Ehrbar, HTL-Buchs: Dynamischer Wärmepumpentest Ergebnisse der Literaturrecherche (ZB, ENET-Nr. 9720132)
- [15] T.Boyman, Th.Schmid, HTL-Horw & A.Flück, NEK UMWELTTECHNIK, Zürich:

 Kleinwärmepumpen mit Ammoniak Phase 1: Thermodynamische Vor- und Nachteile gegenüber

 Propan und R407C (ZB, ENET-Nr. 9719746) und (JB, ENET-Nr. 9719746)
- Th. Afjei, D. Wittwer, INFEL, Zürich & W. Betschart, M. Wetter, G. Zweifel, A.Glass, HTL-Horw & H.P. Geering, S. Ginsburg, E.Shafai, IMRT / ETH-Zürich & A. HUBER, Zürich & R. Bircher, BIRCHER+KELLER, Sissach & G. DOKA, Zürich: Kostengünstige Niedrigtemperaturheizung mit Wärmepumpe Phase 2: Ökologischer und ökonomischer Vergleich, Systemoptimierung, intelligente Regelung, Versuche (ZB, ENET-Nr.9655701) und (JB, ENET-Nr.9655701)
- [17] P.-A. Jeandupeux, ETS-Le Locle: Moteur à combustion externe (SB, ENET-Nr. 9553848)
- [18] R.Morand, R.Bendel, HELBLING, Zürich, & R.O. Brunner, BRUNNER + PARTNER, Neuenhof & Hp. Pfenninger, KONVEKTA, St. Gallen: Prozessintegration mit der Pinch-Methode Handbuch zum BFE-Kurs "Energieplanung in Industrie und Haustechnik" (ZB, ENET-Nr. 9658854)
- [19] Hp. Zumsteg, ÖKOZENTRUM, Langenbruck & E.T.Schönholzer, M. Hagen, HTL-Buchs: Dynamischer Lastregler zu Stirling-Lineargenerator (SB, ENET-Nr.9555021)
 - (JB) Jahresbericht 1997 vorhanden
 - (ZB) Zwischenbericht vorhanden
 - (SB) Schlussbericht vorhanden

Referenzen

- [20] M.Zürcher, J.R.Thome, D.Favrat: Flow Boiling of Ammonia in Smooth and Enhanced Horizontal Tubes und X.Pelet, D.Favrat, A.Vögeli: Performance of 3.9 MW_{TH} Ammonia Heat Pumps within in a District Heating Cogeneration Power Plant, Preprints Workshop "Compression Systems with Natural Working Fluids" of the IEA Annex 22 in Gatlinburg USA, October 1997
- [21] IIR-Workshop *Heat pump Systems, Energy Efficiency and Global Warming* Linz, Preprints, International Institute of Refrigeration 1997
- [22] T. Pears: End-User Survey, IEA Implementing Agreement on Process Integration, Annex 1, Capenhurst GB 1997, ENET-Nr. 9554740/3
- [23] T. Gundersen: *A worldwide Catalogue on Process Integration*, IEA Implementing Agreement on Process Integration, Annex 1 / Telemark Institute of Technology, Porsgrun (N), 1997, ENET-Nr. 9554740/2
- [24] F.Rognon (Hrsg.): *Wärmepumpen und Blockheizkraftwerke: Von der Forschung in den Alltag*, Tagungsband zur 4.UAW-Tagung, Bundesamt für Energie 1997, ENET-Artikel 30550.
- [25] R.Bendel, D.Favrat, R.Jeanmonod, U.Haller, P.Krummenacher, R.Morand u. M.Zogg: *Sonderheft zur Prozessintegration*, Schweizer Ingenieur und Architekt, 115(97)38
- [26] M.Zogg: Ausführliche Jahresübersicht 1997 zum Forschungsprogramm "Umgebungs- und Abwärme, Wärme-Kraft-Kopplung (UAW)", Bundesamt für Energie 1998, ENET-Artikel 30792 (gratis)

Excerpt from "ENERGY RESEARCH 1997", Editor: L. Dubal Swiss Federal Office of Energy http://www.admin.ch/bfe/

SOLAIRE ACTIF - CHALEUR

Rapport de synthèse sur les activités 1997 du programme de recherche

Jean-Christophe Hadorn

jchadorn@swissonline.ch

Mesures selon la norme européenne

La mesure des performances des capteurs solaires selon la nouvelle norme européenne nécessite un contrôle des conditions de vent régnant à la surface des capteurs. Le Centre national d'héliotechnique à Rapperswil vient de doter ses plates-formes de mesures des équipements nécessaires.

Centres de gravité du programme

La recherche solaire thermique suisse est appliquée et volontairement proche du marché, clients, industriels du solaire et bureaux d'étude. Chaque étape franchie dans la recherche, par tests et analyse, doit nous rapprocher un peu plus de la rentabilité du solaire thermique vis-à-vis des sources conventionnelles d'énergie.

Le programme 1997 a été organisé autour des centres de gravité suivants:

1. Amélioration continue des performances des capteurs solaires. Ceci est obtenu par le maintien à un niveau élevé de qualité du Centre national d'héliotechnique (SPF) à Rapperswil pour les tests de capteurs solaires et de composants des installations solaires pour assurer performance et durabilité.

- 2. Amélioration des performances des installations de production d'eau chaude sanitaire. Ceci est obtenu par le test comparatif de kits solaires du marché selon une procédure rapide nouvelle, et la mise en place au SPF d'une nouvelle installation de test de stocks solaires.
- 3. Mise à disposition des professionnels d'outils logistiques utiles et simples d'emploi.
- 4. Amélioration des connaissances concernant le fonctionnement et l'intérêt des **absorbeurs non vitrés**.
- 5. Acquisition et analyse de données observées sur des **installations solaires en service**, présentant des caractéristiques innovantes.

Buts visés pour 1997

a) Logistique

On cherche d'une part à maintenir les outils de planification développés dans les années précédentes à un haut niveau d'utilité, et d'autre part à faire diffuser les outils suisses dans le monde entier. Cet aspect est jugé important pour le soutien de l'exportation de produits et de savoir-faire suisse dans le domaine du solaire thermique.

b) Composants

Les installations de tests des capteurs solaires, de leurs composants et les bancs-tests des systèmes compacts pour l'eau chaude sanitaire du SPF à Rapperswil doivent être maintenus à un haut niveau de qualité. Ceci permet de garantir de bons produits sur le marché solaire et de consolider le SPF comme un centre international recherché en matière de tests et de conseils. On perçoit en effet des tendances de concentration de compétences des centres européens. La Suisse ne doit pas rester isolée sous peine d'incompatibilité des produits solaires suisses sur le marché européen.

L'aboutissement de la recherche d'une couche sélective améliorée pour l'absorbeur d'Énergie Solaire SA, seul absorbeur sélectif pouvant supporter les intempéries, était attendu.

L'étude du comportement et la recherche de bonnes solutions au problème de la surchauffe estivale de lignes de capteurs solaires était un nouveau thème pour 1997.

c) Systèmes

En matière de chauffe-eau solaires, il s'agissait pour 1997 de transférer à la pratique les résultats des tests comparatifs de kits solaires réalisés selon une nouvelle méthode par le SPF en 1996 et 1997 et de

valider les résultats obtenus sur des périodes courtes de mesure par des mesures longue durée à Yverdon.

Il s'agissait aussi de rechercher, en accord avec les nécessités industrielles, des solutions nouvelles pour un kit solaire permettant de diminuer encore le coût initial pour le client final, jugé élevé (9 à 12'000 Frs pour un kit solaire de 4 à 6 m²).

Le démarrage de travaux dans le domaine de l'assurance qualité des systèmes en fonctionnement était visé: application des théories du contrôle optimal à la régulation des chauffe-eau solaires, définition de critères de qualité et des moyens techniques simples permettant de les évaluer à bon marché.

L'implication du SPF dans la simulation de systèmes au moyen du logiciel TRNSYS, la référence internationale en la matière, était recherchée.

Le suivi des performances de plusieurs installations avec captage par absorbeurs solaires sélectifs (Saillon, Boudry, Plan-les-Ouates, Gilamont) comme système de captage était également un but devant permettre de mieux cerner l'intérêt et les limites du recours au capteur non-vitré.

Utilisant les cinq années passées de recherche sur les unités de production d'électricité par voie thermodynamique, le LENI de l'EPFL et COGENER devaient finaliser un concept de mini-centrale électrosolaire de 10 kWel à réaliser en 1998.

d) Installations

Les conclusions des mesures de trois cycles annuels de la grande installation solaire de Saillon était attendue, tant pour le champ de 1'000m² d'absorbeurs que pour le stockage saisonnier en aquifère et l'ensemble du système.

Les résultats comparés des performances de deux immeubles solaires de huit familles à Sevelen étaient attendus.

Une bonne participation à CISBAT'97, conférence

internationale organisée par le LESO-EPFL, de l'ensemble des chercheurs en matière de solaire thermique était à l'ordre du jour en octobre 1997 pour renforcer le transfert des résultats vers la pratique.

Travaux effectués et résultats obtenus

a) Logistique

Le logiciel METEONORM version 2.0, développé par Météotest Berne depuis 1990, fournissait par interpolation pour toute commune de Suisse et pour une centaine de villes européennes, les irradiations solaires globales, directes et diffuses, horaires et mensuelles, sur des plans quelconques et avec effet d'horizon, ainsi que la température extérieure et l'humidité relative. En 1997, la version METEO-NORM 3.0 distribuée sur CD-ROM permet de le faire pour n'importe quel point terrestre de la planète. avec choix de l'emplacement sur carte géographique! Les données internationales mensuelles de 906 stations avec ensoleillement et 778 avec température extérieure mensuelle proviennent de l'Institut de Géographie de l'ETH Zürich, du National Climatic Data Center des USA et de l'O.M.M.. Les algorithmes d'interpolation développés METEOTEST se révèlent suffisamment précis pour les applications de météorologie solaire [1]. Il s'agit grande première mondiale pour énergéticiens. METEONORM peut en outre être utilisé avec profit dans nombre d'autres domaines où le climat joue un rôle (bâtiments, photovoltaï que, hydrologie, tourisme, agriculture,...). La distribution mondiale au prix de 500 Frs a débuté en octobre site Internet Le www.meteotest.ch/meteotest/meteonorm peut informer en complément.

Le logiciel de simulation des installations solaires **POLYSUN 2.0** a été promu en Suisse par le SPF, en Allemagne et en Autriche par le biais de distributeurs. La *hotline* mise en place au SPF a été fortement sollicitée, montrant encore une certaine méconnaissance du domaine solaire par les projeteurs. Il est confirmé que la mise à disposition dans POLYSUN de valeurs cohérentes de paramètres par défaut est une nécessité pour éviter des erreurs grossières. Le produit est bien accueilli par les professionnels et se révèlent à l'usage très efficace pour les installations usuelles [2 D].

La version 3.0 n'a pu être mise en chantier comme prévu du fait de l'importante charge générale de travail du SPF en 1997.

Les résultats des tests de capteurs (plus de 250 tests à ce jour) sont distribués depuis 10 ans sous forme de 8 feuilles A4 par capteur. Les classeurs fédéraux nécessaires jusqu'en 1997 ont été acquis par plus de 1'000 personnes à ce jour. Il était temps de réaliser une version digitale, plus facile à utiliser et à mettre à

jour et pouvant mieux s'intégrer à terme dans une offre d'ensemble sur support numérique. Le catalogue révisé et complètement mis à jour pour 100 capteurs du marché est disponible depuis fin 1997 sur CD-ROM pour Windows, accompagné par une version de démonstration du logiciel Polysun 2.0, de publications du SPF et un ensemble d'information sur les tests de capteurs et de systèmes pratiqués à Rapperswil. Le CD-ROM sera pour 1998 un élément important de transfert de connaissances du SPF vers le marché [2 D].

Parallèlement à ces informations mises à disposition de manière plus efficace et moins coûteuse, un site Internet dédié à la recherche en solaire thermique a été conçu et réalisé. Le site accessible à l'adresse **www.solarenergy.ch** est appelé à un certain développement, anticipant ainsi la distribution d'information en matière d'énergie solaire via Internet. Notre intention est de ne pas manquer le virage du réseau mondial et de référencer les travaux de recherche suisses en matière de solaire thermique [2 D].

b) Composants

Le Laboratoire fédéral d'Héliotechnique de Rapperswil (**SPF-ITR**) est une pièce essentielle du programme de recherche. Ces travaux sont de qualité et nécessaires pour la consolidation du jeune marché solaire.

Les principaux résultats obtenus en 1997 au SPF en ce qui concerne les composants des installations solaires sont les suivants [2]:

- 40 tests de capteurs solaires ont été réalisés en 1997, 7 provenant de Suisse, 15 d'Allemagne et 9 d'Autriche. Une tendance est à des modules de plus en plus grands, dépassant 5 m², qui posent des problèmes de banc-test,
- les tests de qualité des capteurs, permettant d'obtenir le label SPF, ont été très demandés par les fabricants. 15 capteurs ont été testés, 13 ont passé le test avec succès et 18 sont encore en attente! Les constructeurs écoutent les conseils d'amélioration qui leur sont donnés à l'issue du test et la plupart du temps modifient le design de leurs capteurs,
- l'harmonisation des procédures de tests du SPF avec les nouvelles normes européennes a été entreprise. Ceci alourdit le travail dans une période transitoire mais est nécessaire pour le futur, surtout dans l'optique de la reconnaissance

officielle future d'un nombre limité de centres européens de recherche solaire,

- les bancs d'essai ont été équipés d'un dispositif permettant de mesurer les effets du vent sur les performances des capteurs. Ces effets sont surtout sensibles pour les capteurs non vitrés, mais la mesure est imposée par la norme européenne,
- la certification européenne du laboratoire de tests des capteurs du SPF a été obtenue,
- les procédures de tests dynamiques de capteurs selon les normes européennes ont été essayées dans le cadre d'un groupe de 9 centres de recherche européens. A terme, elles pourraient devenir les seules conformes. Le SPF participe le plus possible à l'entreprise de normalisation, dans le souci de la qualité et du moindre coût des tests,
- les 4 installations de tests en parallèle de systèmes complets pour l'eau chaude sanitaire ont été maintenues et utilisées pour qualifier de nouveaux systèmes,
- une caméra infrarouge pour l'analyse des capteurs solaires et des pertes singulières des cuves de stockage a été mise en service,
- une nouvelle installation de tests de stocks solaires (de 1 à 25 m³) a été réalisée dans les nouveaux locaux du SPF. La caractérisation de stocks stratifiés, avec des conditions variables de soutirage et diverses configurations d'échangeurs (externes, internes, double-manteau) est un travail de recherche qui débutera en 1998,
- les données de dégradation et salissures de 60 couvertures transparentes, certaines exposées depuis 11 ans à Davos et à Rapperswil, ont été organisées en base de données et sont accessibles sur le CD-ROM SPF,
- le développement d'un verre solaire avec couche anti-reflet conjointement avec l'ISFH de Hannover et un industriel suisse (ERIE) n'a pas encore abouti. L'ISFH a renoncé fin 1997 à poursuivre dans le domaine pour des raisons de budget. Une décision côté suisse devra être prise,
- les tests de fluides caloporteurs capables de résister sans dégradation aux hautes températures (200 C) seront poursuivis avec l'EMPA avec un nouvel autoclave.
- les résultats du concours sur les chauffe-eau solaires, un des gros travaux du SPF en 1996 ont été très largement distribués en mai 1997 à l'occasion d'une journée spéciale à Zürich (journée "Les compacts débarquent"),
- les travaux sur un nouveau circulateur solaire n'ont pu être continués avec tous les moyens nécessaires faute de temps. Ils seront repris en 1998.

La collaboration internationale dans un groupe de travail de l'AIE intitulé MSTC "Materials for Solar Thermal Collectors" a été poursuivie. Des tests "Round Robin" de 5 couches d'absorbeurs ont été effectués par 3 laboratoires dont le SPF. Les comparaisons internationales ont permis de détecter un défaut dans le réglage de la température de l'appareillage suisse. Les résultats ont été transmis aux fabricants et les procédures mises au point sont la base de la future norme ISO sur les tests de vieillissement accéléré de couches solaires. En outre, le microclimat intérieur des capteurs, qui subissent des cycles de température et d'humidité, est étudié par le groupe MSTC et commence à être mieux connu.

Le projet **Absorbeur 2000** du SPF terminé pour l'OFEN en 1996 a trouvé une ouverture industrielle malheureusement hors de nos frontières. C'est un industriel allemand qui exploitera le brevet détenu par l'OFEN, le SPF et l'Institut de physique de Bâle. Une usine a été construite en 1997 et la production est attendue pour 1998. La concurrence est forte (USA, Allemagne, Suède, Suisse).

La recherche sur les possibilités d'amélioration des caractéristiques optiques de l'absorbeur AS+ d'Énergie Solaire SA, sans utiliser de produits hautement toxiques et sans consommation d'énergie excessive a abouti. Ce type d'absorbeur est le seul non vitré et sélectif à pouvoir être exposé aux intempéries. Deux couches ont passé avec succès les tests normalisés de vieillissement accéléré au SPF et à Freiburg: une première dite C3-97 avec sous-couche de nickel puis une deuxième C4-97, dans laquelle la sous-couche de nickel a pu être supprimée et le cuivre directement appliqué sur l'acier inoxydable de l'absorbeur. La couche C4-97 présente de très bonnes performances optiques avec un coefficient d'absorption de 0.963 et un coefficient d'émission de 0.05. Le passage du laboratoire à la production industrielle, sans préjudice à la chaîne de production existante, a été étudié, notamment en ce qui concerne les interactions entre les bains galvaniques et la récupération des métaux entraînés dans les eaux de rinçage. Il devrait être accompli en 1998, pour délivrer en série un absorbeur de qualité améliorée [3].

c) Systèmes

A l'EINEV d'Yverdon, le banc de mesures de 3 chauffe-eau est opérationnel. Les mesures sur un kit solaire commercial ont permis de valider un modèle TRNSYS puis de mettre au point un polynôme de régression permettant de prédire la fraction solaire journalière en fonction de l'irradiation et de la température extérieure des 3 jours précédents. La sensibilité des résultats à la stratégie d'appoint et de soutirage et au climat est encore à faire. A terme, chaque kit pourrait être caractérisé par un tel polynôme et ses

performances en un lieu donné obtenu instantanément à partir de la météo des jours précédents. Le danger de l'approche par régression est toutefois la normalisation de paramètres, alors qu'un logiciel de simulation permet une plus grande souplesse.

Un prototype de chauffe-eau solaire *"low-flow"* (7 l/h m²) avec 8 m² de capteurs non vitrés a été testé. Les effets du vent ont clairement été mis en évidence: à partir de 1.5 à 2 m/s de vent dans le plan du capteur, les performances du capteur chutent dramatiquement. Des systèmes de protection imaginés et testés (acrotère, filet) n'ont conduit qu'à des améliorations très marginales. Enfin une étude sur le meilleur choix pour des unités autonomes de production de froid solaire est en cours [6].

La régulation des installations solaires recèle encore un potentiel de gain inexploité. Dans le projet de supervision automatique des installations, une collaboration entre l'Institut d'automatique de l'EPFL, l'EINEV d'Yverdon et un industriel solaire pour rechercher un système de "réglage intelligent" est opérationnelle. En 1997, un modèle dynamique complet d'un kit solaire a été élaboré et une commande optimale du circuit solaire a été proposée. Le débit optimal devrait être proportionnel à l'ensoleillement et une commande prédictive de l'appoint devrait être utilisée. Ceci d'autant plus que l'appoint peut être conçu à volume variable, ce qui représente un nouveau concept. L'identification automatique des habitudes des usagers est alors à envisager. La validation de l'approche théorique sera faite en 1998. Le rapprochement avec les travaux du LESO-EPFL de commande par réseau de neurones capables d'apprentissage (projet Neurobat du programme de recherche "Installations CVC"), sera à faire en 1998 ou 1999 [7].

Le SPF a analysé en 1997 huit nouveaux chauffe-eau compacts du marché, selon la méthodologie mise au point en 1995 et 1996 pour le concours "chauffe-eau solaires". Les mesures ont lieu sur des périodes courtes (1 à 3 semaines) et les performances annuelles en sont dérivées par extrapolation grâce à la simulation. Le nouveau programme du SPF "FITTRN" permet désormais de faire le couplage entre le logiciel DF Dynamic Fitting d'identification de paramètres à partir des mesures et le modèle physique TRNSYS de l'installation, qu'il convient d'avoir élaboré préalablement. Ceci n'est pas toujours facile ni possible, des composants utilisés dans la pratique n'ayant pas encore d'équivalent théorique dans TRNSYS (échangeurs à double-manteau). Les résultats obtenus avec l'approche TRNSYS-DF sont bien meilleurs que ceux obtenus avec l'approche "black box" du logiciel DST. A l'avenir, les travaux de recherche du SPF concernant les systèmes reposeront sur TRNSYS, qui est à notre avis le seul

cadre de simulation actuel valable et international [2].

Dans le projet Économies possibles grâce aux arrêts du primaire dans les installations solaires, l'équipe de recherche composé d'un bureau d'ingénieurs et du Service de l'énergie de Lausanne a mesuré et analysé 17 installations de préchauffage solaire d'eau chaude en fonctionnement durant l'été 1997. Conclusion: des économies importantes d'énergie auxiliaire fossile, qui peuvent atteindre la production annuelle du solaire, soit selon les cas de 50 à 500 kWh/m² an, peuvent être faites si l'appoint est totalement déclenché lors des périodes ensoleillées. Deux dispositions pour y parvenir sont envisageables: d'une part lors du projet, un dimensionnement de la surface de capteurs plus important que la pratique actuelle ne le recommande, c'est-à-dire 1.1 m² par personne au lieu de 0.5 à 0.8 m², et d'autre part en mettant en oeuvre un "limiteur" de mise en marche de l'appoint, à double thermostat, utilisant l'information de la température du stock solaire. Une représentative de celle-ci est toutefois délicate à mesurer, et un rapprochement avec la sonde unique mise au point à Burgdorf en 1996 pourrait être profitable. Par ailleurs, l'équipe a constaté que nombre d'installations visitées ne fonctionnent pas correctement. Un projet d'analyse des causes de problèmes et de pannes serait important avant même d'envisager toute autre mesure, mais du ressort du marché [8].

Le projet "Qualitätssicherung bei Solaranlagen" débuté en 1997 vise justement pour éviter les dysfonctionnements des installations solaires ou tout au moins pour pouvoir les détecter aisément, à la définition de critère(s) de qualité. Le problème est d'utiliser un indicateur représentatif sans que sa mesure ne coûte cher. A terme, le projet pourrait permettre de mettre en place une garantie de résultats solaires efficace et acceptée par installateurs et usagers du solaire [4].

Un des facteurs de qualité d'une installation technique, la durabilité dépend aussi de la maîtrise des comportements en conditions extrêmes. La surchauffe estivale possible d'une installation solaire en est un exemple. Dans le projet d'Illnau, une installation de préparation d'eau sanitaire pour un groupe de villas est mesurée depuis le printemps 1997. L'installation comporte 52 m² de capteurs vitrés, irrigués par 15 l/h m² et couplés à 6.25 m³ de stock. L'installation pouvait être modifiée pour l'étude de la surchauffe estivale du circuit de capteurs. Le domaine est mal connu et pas documenté. Des mesures de température et de pression lors de la vaporisation du fluide caloporteur suite à une surchauffe ont permis de mieux comprendre ce qui se passe dans le circuit solaire. Des recommandations de solutions pour minimiser les sollicitations mécaniques des armatures et éviter les trop hautes températures ont été formulées. Une méthode de dimensionnement du vase d'expansion tenant compte des cas de surchauffe a été développée [5].

En matière de production d'électricité par voie thermodynamique, le groupe LENI-EPFL associé à COGENER a terminé en 1997 les travaux "CSIP" par les rapports finaux du projet détaillé d'une minicentrale solaire pilote électro-thermo-solaire de 10 kWel [13]. Tous les détails n'ont cependant pu être réglés de manière sûre, notamment en ce qui concerne la partie captage solaire et particulièrement l'absorbeur du concentrateur qui pose des problèmes de fiabilité (soudures, perte de vide). En ce qui concerne le cycle thermodynamique complet, seule l'expérimentation en vraie grandeur peut à ce stade permettre à notre avis un véritable progrès. Une nouvelle phase a donc débuté en 1997: la réalisation d'une unité pilote sur le site de l'EPFL. Ce projet dénommé SPS (Solar Power System) a le potentiel de déboucher à 3 ans sur une unité de production d'électricité solaire de 10 à 20 kWel, avec une production continue si l'unité est couplée à une source d'appoint comme le gaz ou le bois, et ceci à des coûts inférieurs au photovoltaï que [13].

d) Installations

Les résultats du projet **Saillon 1 MW solaire** (thermique) durant le 3ème et dernier cycle de mesures confirment et précisent les observations précédentes, à savoir [9]:

- les 957 m² d'absorbeurs solaires ont en moyenne des caractéristiques plus faibles qu'attendues (C0= 0.8 au lieu de 0.91 selon test SPF no 34, C1=16 W/m² K au lieu de 12). L'analyse des causes montrent principalement une irrigation insuffisante, sans doute liée au débit "low-flow" (12 l/h m²) utilisé dans des capteurs en position horizontale, et l'effet du vent. Quant à l'irrigation insuffisante, un changement de la pompe pour atteindre 20 à 25 l/h m² est envisagé,
- le stock saisonnier en aquifère ne fonctionne pas selon l'attente. Les causes sont toujours difficiles à cerner faute d'une instrumentation complète de l'aquifère qui aurait été coûteuse. Pour tenter de mieux comprendre, un travail de recherche complémentaire sur le sujet a été commandé au GEOLEP de l'EPFL dans le cadre du programme de recherche "Stockage de chaleur",
- après les observations des cycles 1 et 2, une meilleure gestion de l'appoint au stock solaire court terme a permis d'augmenter nettement la part solaire fournie en direct à l'installation. La part solaire annuelle est de 12%. Par rapport au projet initial, il manque la décharge du stock saisonnier qui n'a rien fourni alors qu'on n'en attendait près de 30% des besoins. La charge

- estivale en 1997 a en outre été perturbée par des pannes,
- le décompte individuel du chauffage, possible grâce à la télégestion des Calobus de chaque appartement, entraîne des tensions de voisinage et la nécessité d'un dialogue permanent. Le montant moyen des charges variables de chauffage est cependant faible de 27 Frs/mois par appartement soit 75% de l'indice cible SIA.

Des recommandations de design peuvent être tirées de l'expérience de Saillon. La maîtrise d'un stock de petite taille en aquifère, sans grand moyen financier, nous paraît actuellement trop risquée. Le rapport final est attendu en 1998.

Au **Centre d'Entretien de Boudry**, 102.5 m² d'absorbeurs en façade sont directement reliés au chauffage de sol d'un atelier. Il s'agit d'un "plancher solaire direct" (PSD). Les résultats de deux années de mesures montrent que:

- l'installation solaire a fourni durant chaque année
 7% de l'énergie thermique totale consommée dans le Centre,
- l'effet du vent sur la paroi verticale est prépondérant quant aux performances, mesurées à 126 kWh/m² par an.

Un modèle dynamique de simulation de PSD par éléments finis a été validé sur les mesures avec succès et utilisé pour étude paramétrique. Des tables de dimensionnement de PSD ont été réalisées pour divers sites suisses, températures de consigne, surfaces relatives d'absorbeurs, orientation, inclinaison des absorbeurs, et épaisseur de dalle chauffante. Les tables sont directement utilisables par les bureaux d'étude pour des projets de PSD avec absorbeurs en Suisse [10].

La cité solaire de Plan-les-Ouates comporte trois corps de bâtiments à enveloppe bien isolée, munis d'une toiture solaire intégrée de 1'400 m² d'absorbeurs sélectifs couplés à 100 m³ de stock, et d'une ventilation double-flux avec puits canadien. Dans notre axe de recherche sur le potentiel des absorbeurs, le suivi de la toiture solaire est effectué par le CUEPE. L'Office cantonal de l'énergie de Genève participe également au financement de mesures sur les bâtiments. Les premières mesures indiquent que l'installation solaire couvre 80% des besoins thermiques, essentiellement l'eau chaude sanitaire estivale [11]. Des problèmes de démarrage du circuit solaire ont été mis en évidence, qui devraient être corrigés durant l'hiver. L'effet du vent et celui de la courbure des capteurs en toiture sera étudié en 1998. Les résultats d'ensemble seront importants pour le dimensionnement de toiture solaire. A Savièse en 1997, une villa a été dotée d'une toiture solaire semblable de 108 m² avec stock de 5 m³, et suivi par un projet P+D. Les premiers résultats indiquent un taux de couverture solaire de près de 85% de janvier à juin 1997 [19].

L'installation de **Gilamont-Vevey** comporte 3 groupes solaires de 68 m² d'absorbeurs non vitrés connectés à une cuve de 2 m³ pour le préchauffage de l'eau sanitaire de 3 groupes de 20 logements. Les mesures légères montre une productivité annuelle des absorbeurs de 360 kWh/m² et un taux de couverture de l'ordre de 34%. Hors subventions, le prix du kWh solaire est de l'ordre de 26 cts et avec subventions de 16 cts, ce qui est un résultat intéressant.

Les résultats 1996 des deux immeubles collectifs solaires pour huit familles de **Sevelen** sont confirmés. Sevelen 1 avec 112 m² et un stock de 227 l/m² a eu un taux de couverture solaire des besoins chauffage + eau chaude de 58% en 1997, et Sevelen 2 avec 110 m² et 352 l/m² de 61% [12]. Ceci est un très bon résultat pour des immeubles locatifs. La productivité solaire a été de 268 kWh/m² an pour l'installation No 1 (couverture des capteurs en acryl ondulé) et de 334 kWh/m² an pour l'installation No 2 (couverture en verre et couche sélective sur l'absorbeur). La stratification dans les cuves est bonne, le stockage ne pouvant cependant couvrir l'ensemble des besoins dès octobre. L'optimisation de la taille du stock est encore

un thème de recherche que nous explorerons par la suite avec des modèles validés sur les mesures de ces deux installations.

Pour réduire les coûts du solaire en simplifiant les concepts, la possibilité de combiner stockage solaire actif avec stockage solaire passif en utilisant la seule structure massive en béton d'une villa solaire a été poursuivie dans le cadre d'un diplôme postgrade en énergie au LASEN-EPFL. L'analyse par simulation TRNSYS du comportement thermique dynamique d'une maison solaire à stockage intégré, montre que la conception d'un "mur solaire direct" est tout à fait intéressante. Avec des surfaces de captage de 20 m² au plus pour éviter les surchauffes, l'épaisseur optimale du mur est de 12 à 14 cm et les serpentins doivent se situer à mi-mur. Une bonne solution, simple et économique, pour satisfaire les besoins d'une villa, consiste alors à réaliser pour le chauffage un mur solaire direct (ou plancher) couplé à 20 m² d'absorbeurs sélectifs et piloté par une régulation anticipative intelligente (réseau de neurones), sans autre forme de stockage que le mur, et pour l'eau sanitaire de recourir à un kit solaire compact du marché! L'ensemble constitue un nouveau concept à explorer dans les années à venir.

Coordination et collaboration nationale

Parmi les principales collaborations nationales de l'année 1997, citons:

- le SPF avec l'industrie solaire suisse en général et en particulier les fabricants de capteurs solaires (contacts très fréquents, demande de conseils, tests de matériels,...), avec l'EMPA et avec l'Institut de physique de l'UNI-Bâle,
- l'École d'ingénieurs d'Yverdon avec l'Institut d'Automatique de l'EPFL et l'industriel du solaire AGENA,
- les bureaux d'études PLANAIR et BSI,
- l'entreprise ESSA avec BSI, avec COGENER et avec le SPF,
- le bureau d'étude KELLER avec le Service de l'énergie de la ville de Lausanne,
- l'OFEN avec l'OCEN et la commune de Plan-les-Ouates.

Le SPF a organisé en outre de nombreuses visites de ses installations de Rapperswil au cours de l'année 97

Une hotline pour Polysun a été ouverte en 1997 au SPF.

Afin d'assurer une bonne coordination entre tous les

projets et une répartition optimale des ressources financières, les travaux menés au SPF, poids lourd du programme, font l'objet d'une évaluation tous les deux mois entre le chef de programme et le directeur du SPF.

Par ailleurs, pour présenter les travaux du programme, les projets faisant partie du programme de recherche solaire actif ont été invités à fournir une contribution à CISBAT'97 à l'EPFL [14].

Dans le domaine de la production d'électricité thermosolaire, nous avons organisé à Berne en mai 1997 une journée spéciale de coordination et d'informations sur les projets en cours dans lesquels des suisses étaient partie prenante. Le secteur Énergies renouvelables d'ENERGIE 2000, le LENI de l'EPFL, COGENER, FRICKER ENGINEERING, EWZ, et le PSI ont contribué à l'échange d'informations. ABB invité n'a pu venir de même que la Direction à la Coopération et au Développement.

Des présentations croisées entre responsables romands de programmes de l'OFEN et délégués cantonaux à l'énergie ont été organisés en avril et septembre 1997 afin de dynamiser les contacts et les idées de projets.

Coordination et collaboration internationale

En ce qui concerne l'Agence Internationale de l'Énergie et pour 1996, mise à part la fin de la dernière sous-tâche de la Tâche 14, le seul groupe actif en solaire thermique est celui qui traite des matériaux (MSTC). La collaboration est très bonne pour aboutir notamment à des normes communes de qualité. Le SPF y prend une part active. En outre, des contacts très fréquents ont lieu entre le SPF et l'ISFH 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, avis et collaboration. A moyen terme ce peut être un levier puissant pour des produits solaires suisses à l'export.

En 1997, les principales collaborations internationales ont été les suivantes:

- le SPF travaille fréquemment avec les centres de recherche européens, notamment allemands (FSE, ISFH) et hollandais,
- le SPF a présenté ces travaux dans des conférences internationales (OTTI),
- le site Internet "solarenergy.ch" a été ouvert,
- le transfert de la technologie de l'absorbeur 2000 en Allemagne a été effectué,
- un travail commun entre le Danemark, les Pays-Bas et la Suisse a été mis sur pied. Le choix s'est porté sur la caractérisation de stocks solaires.
 C'est un domaine où le Danemark a une certaine avance sur la Suisse, mais nous avons de meilleures connaissances dans la gestion de la stratification.

Nous avons suscité et soutenu financièrement la participation d'un représentant de l'Office Cantonal de l'Énergie de Genève à la conférence *Solar Energy* & *Utilities* Vejle, Danemark, mai 1997, où ont été

présentées des réalisations solaires d'envergure soutenues par les pouvoirs publics et les compagnies électriques ou de gaz, qui voient un potentiel important de clients.

Nous avons co-financé la participation de deux représentants suisses au meeting d'expert 1997 Workshop on Large-Scale Solar Heating, à Marstal au Danemark en mai 1997, où est située la plus grande installation solaire du monde avec 8'000 m² de capteurs. Les réalisations de grande taille montrent des économies d'échelle appréciables. Elles tardent à pénétrer en Suisse pour des raisons structurelles avant tout (peu de réseau à distance, encore moins à basse température, indépendance et individualisme des habitants).

Le logiciel "Solar Option", issu des travaux suisses du groupe de travail d'un projet de l'AIE et complètement révisé en 1997, a été démontré à Marstal. Il a pour but le prédimensionnement rapide de solution solaire avec stockage saisonnier sous forme de cuve à eau dans les grands ensembles construits. La distribution du logiciel sera organisée en 1998 pour un prix modique via ENET.

Un nouveau projet AIE veut traiter de solutions groupées pour l'achat d'installations solaires compacts (1'000 à 5'000 pièces, ce que l'on dénomme par Large Scale Solar Purchasing) pour faire descendre les prix et "créer un marché". Nous avons participé avec le SPF à un meeting préliminaire de ce projet à Göteborg en septembre 1997 (Solar procurement meeting). La participation suisse à cette tâche tendant à influencer fortement le marché n'est pas jugée opportune sous l'égide de l'OFEN. C'est le Service Industriel d'une Ville qui devrait être concerné au premier chef en Suisse [35].

Transferts à la pratique, Projets P+D

(P. Renaud, chef de programme P+D)

La recherche en solaire thermique est une recherche appliquée, en liaison permanente avec la pratique. Plus de 80% du budget est alloué à des projets qui visent à répondre à des besoins à court terme du marché: qualité, fiabilité des composants, performances des installations, améliorations possibles. On recherche le plus possible des collaborations chercheurs-ingénieurs-industrie, qui permettent de valider directement et de faire passer des nouvelles idées rapidement. Dans certains cas, c'est l'industriel lui-même qui effectue une recherche avec le soutien de l'OFEN.

Les outils logistiques METEONORM et POLYSUN sont dirigés vers la pratique solaire quotidienne. En 1997, les logiciels ont été démontrés sur des stands à l'occasion de la Schweizer Baumesse et de CISBAT'97.

Le transfert à la pratique est favorisé en outre par des événements particuliers, comme la journée sur les compacts solaires organisée par le SPF en mai 97 à Zürich pour présenter les résultats du concours chauffe-eau. Une telle journée est fortement consommatrice de ressources, mais permet de toucher un grand nombre de gens via la presse.

Un article sur le marché et la recherche en énergie solaire thermique a été rédigé pour la revue "Chauffage et Ventilation" [33]. De même un article dans la revue "Panorama" a été publié, dans un but d'information du public sur la recherche en solaire thermique en général.

Une transparence est recherchée par l'envoi organisée de toute publication à ENET et la mise en oeuvre du serveur Internet "solarenergy.ch" que nous utiliserons de plus en plus pour diffuser des informations.

La valorisation des résultats obtenus à Sevelen devra être entreprise en 1998 sous forme d'une demijournée ad hoc.

En ce qui concerne les projets P+D, dont le programme est dirigé par le bureau PLANAIR, le nombre de demandes a sensiblement diminué en 1997, mais les montants octroyés et le nombre de demandes acceptées ont augmenté (effet de retard de 1996).

Les projets sont avant tout orientés vers la promotion du contracting solaire (au nombre de 5) et des installations de production d'eau chaude sanitaire en milieu locatif (10), hôtelier (2) et médico-social (5).

Ils représentent pour 1997 1'482 m² de capteurs et une production estimée à 660 MWh pour un

investissement global de l'ordre de 2 millions (subventions: 817'188 Frs). Une liste complète des projets P+D acceptés en 1997 peut être trouvée dans la référence [15]. Une valorisation synthétique des résultats des projets P+D réalisés depuis 1990 est envisagée, ce qui serait une information extrêmement précieuse, pour la pratique future (expériences bonnes et moins bonnes) et en amont pour la recherche solaire (identification de thèmes d'amélioration).

Les projets P+D 1997 concernent dans leur grande majorité des actions de préchauffage d'eau sanitaire de grande envergure (20 à 150 m²). Ces installations sont les plus rentables économiquement. Il n'y a cependant eu que peu de recherche d'optimisation de tels systèmes. Il manque un "kit pour locatif", à l'image des kits compacts développés pour les villas. Une réflexion est à mener au sein du programme de recherche dans ce sens.

Dans l'ensemble, le transfert à la pratique est jugé satisfaisant. Une amélioration est à envisager pour ce qui concerne les résultats mesurés sur les installations complètes. Dans cette optique, l'initiative du CUEPE de discuter deux fois par an les mesures de Plan-Les-Ouates par un comité composé des usagers, des ingénieurs, des entreprises, de la commune, de l'OCEN et de l'OFEN est à recommander.

Evaluation 1997

Le programme s'est déroulé dans l'ensemble selon l'attente en 1997 et conformément à notre planification acceptée par la Commission CORE en 1996.

Le développement de la mini centrale électrosolaire est toutefois plus lent que prévu du fait de la complexité de l'entreprise.

Perspectives 1998

En 1998, les connaissances devraient progresser en matière de simulation des installations *"low-flow"* compact et de caractérisation de stocks stratifiés.

Une avancée sur le contrôle optimal des installations de préparation d'eau chaude sanitaire, avec possibilité de détection de pannes et de dysfonctionnement est attendue. Une complémentarité avec la régulation neuronale (encore inconnue en solaire actif) sera à évaluer.

Au cours de 1997, nous avons défini les contours d'une nouvelle tâche AIE. Le thème est "Solar Combisystems" ou comment construire à l'optimum une installation combinée chauffage + eau chaude sanitaire ? Chaque pays a apporté des réponses

différentes à la question. Aucune comparaison scientifique n'ayant encore été faite sur le sujet, nous pensons qu'il y a un potentiel important de réduction de coûts par confrontation d'expérience et optimisation. Sept pays se sont déclarés intéressés à ce jour. La phase de développement du concept de la tâche se fera en 1998, la tâche devant travailler de fin 1998 à 2001. L'implication de l'industrie sera recherchée.

Les projets mesurés tel que Sevelen, puis Plan-Les-Ouates, devront être valorisés par simulation et optimisation. La participation active à la définition de la future tâche AIE 26 "Solar Combisystems", dans laquelle nous pouvons beaucoup apporter et apprendre, est à organiser (meeting de mars 98 à Genève).

Liste des projets de recherche

- [1] S. Kunz, J. Remund, METEOTEST, Bern: METEONORM Version 3.0 Internationale (RA + RF)
- [2] U. Frei et al., SPF/IT-Rapperswil: SPF Forschung 1997 2001
 - Teil A: Komponenten in solarthermischen Systemen (RA)
 - Teil B: Thermische Solarsysteme (RA)
 - Teil C: Materialen in thermischen Systemen (RA)
 - Teil D: Informatik und Software (RA)
- [3] J.-P. Rossy, ENERGIE SOLAIRE, Sierre: Absorber AS+ (C4-97) (RA + RF Phase 1, Décembre 1997)
- [4] C. Olivier, SYNETRUM, Murten: Qualitätssicherung bei Solaranlagen (RA)
- [5] R. Eismann, FENERGY VON FELTEN, Jonen: Messprojekt zu 52 m² low-flow Solaranlage (RA)
- [6] P. Dind, EINEV, Yverdon: Mesures long terme de chauffe-eau solaires et pré-étude de petites unités de production de froid solaire (RA)
- [7] D. Gillet, D. Bonvin, EPFL-Lausanne: Supervision automatique d'installations solaires thermiques (RA)
- [8] L. Keller, Bureau d'études Keller-Burnier, *Lavigny: Energie solaire: Economies possibles grâce aux arrêts du primaire* (RA + RF Novembre 1997)
- [9] J.-P. Rossy, ENERGIE SOLAIRE, Sierre et B. Saugy, BSI, Lausanne: Saillon 1 MW Solaire. Suivi du 3ème cycle (RA)
- [10] M. Kernen, P. Renaud, PLANAIR, *La Sagne*, O. Graf, BSI, Lausanne: *Plancher solaire direct du Centre d'Entretien des routes nationales de Boudry NE* (RA + RF Décembre 1997)
- [11] B. Lachal, CUEPE, Genève: Toiture solaire de Plan-les-Ouates: mesures, bilan technicoéconomique et étude de son intégration architecturale (RA)
- [12] L. Clavadetscher, TNC, Männedorf: Messungen an zwei Solarhäusern in Sevelen (RA)
- [13] D. Favrat, EPFL-Lausanne, Y. Allani, COGENER, Lausanne: SPS1-2: mini-centrale pilote électrothermosolaire de 10 kWe (RA), CSIP 3 Projet détaillé d'une minicentrale pilote électrothermo-solaire de 10 kWe (RF en 4 parties)
 - A. Résumé étendu, D. Favrat, EPFL-LENI:,1997, 16 p.
 - B. CEP3: concentrateur solaire extra-plat, Y. Allani, H. Baumard, D. Cretegny, COGENER, 1997
 - C. Turbine scroll: rapport final, R. Zanelli, EPFL, 1997
 - D. Dimensionnement et gestion du fonctionnement du cycle, essais du CEP2, M. Kane, EPFL, 1997
- [14] J.-L. Scartezzini, EPFL-Lausanne: Conférence internationale Energie Solaire et Bâtiment CISBAT'97 (RA + RF Octobre 1997)
 - (RA) Rapport annuel 1997 disponible
 - (RF) Rapport final disponible

Liste des projets P+D

La liste de 27 projets est disponible dans la référence suivante:

- [15] PLANAIR, La Sagne: *Programme P+D 09A*, *Solaire actif*, *Rapport annuel 1997*, OFEN Les principaux projets P+D 1997 sont:
 - DISV 58798 Action contracting solaire, 1170 Aubonne, 64 m² préchauffage ECS
 - DISV 59593 Préchauffage solaire Hotel Intercontinental, 1209 Genève, 150 m²
 - DISV 63423 Préchauffage solaire locatif Rothschild, 1200 Genève, 110 m²
 - DISV 59613 Préchauffage solaire em milieu locatif, 2400 Le Locle, 28 m²
 - DISV 59837 Solar contracting Hotel Bahnhof Terminus, 7270 Davos, 46 m²
 - DISV 59856 Solare Vorwärmung Mehrfamilienhaus, 4000 Basel, 31 m²
 - DISV 62041 Stabile Feat, préchauffage ECS sanitaire, 6900 Lugano, 49 m²
 - DISV 51090 Ardoises solaires, 1981 Montpreveyres, 150 m².

PHOTOVOLTAIK

Überblicksbericht zum Forschungsprogramm 1997

Stefan Nowak

stefan.nowak.net@bluewin.ch





Qualitätssicherung von Photovoltaik-Komponenten

- Wechselrichterprüfstelle an der Fachhochschule Burgdorf (oben)
- Modulprüfung am TISO, Fachhochschule der italienischen Schweiz, Canobbio (unten)

Programmübersicht und anvisierte Zielpunkte für 1997

In diesem Forschungsprogramm wird die Photovoltaik als Energiesystem betrachtet und die laufenden Forschungsarbeiten sind, je nach Schwerpunktbereich, kurz- oder mittelfristig auf die Anwendung ausgerichtet. Die Fragen, auf welche sich die Forschung konentriert, betreffen eine unbedingt notwendige weitere Kostenreduktion und eine verbesserte Produktevielfalt. Technologisch von Bedeutung sind in diesem Zusammenhang zum einen der erzielbare Wirkungsgrad und die Zelltechnologien für eine breite Massenanwendung. Andererseits hat die Forschung zum Ziel, in Hinsicht auf die weiteren Komponenten des Energiesystems Photovoltaik neue bzw. verbesserte Lösungen zu erarbeiten und diese in industrielle Produkte überzuführen. Als Hauptanwendung wird die gebäudeintegrierte Photovoltaik betrachtet. Forschungs- und P+D-Projekte umfassen im Berichtsjahr je 35 Projekte, wobei hier alle bekannten Projekte, unabhängig von ihrer Finanzierung, berücksichtigt sind.

Die 5 Programmbereiche umfassen:

Zellen: Dünnschicht-Zellen bilden hier den Schwerpunkt, wobei sich die Arbeiten auf das Grundmaterial Silizium konzentrieren. Die Voraussetzungen zur weiteren Umsetzung dieser Arbeiten sind dabei ein mittelfristiges Ziel. Im Berichtsjahr wurden, zur Hauptsache im Rahmen von neuen internationalen Projekten, auch die Arbeiten zu anderen Materialtechnologien (insbesondere II-VI-Verbindungen) intensiviert, sodass in der Schweiz heute eine breite Material- und Technologievielfalt besteht, in welcher die wesentlichen internationalen Stossrichtungen vertreten sind.

Module und Gebäudeintegration: Neue Produkte und Systeme für die Integration der Photovoltaik im

bebauten Raum bilden nach wie vor einen wichtigen Schwerpunkt. Dabei wird zum einen die Wahl der zum Einsatz gelangenden Zell-Technologien von immer grösserer Bedeutung. Zum anderen findet eine stetige Erweiterung der verfügbaren Produkte statt, wobei sich die Industrie zunehmend engagiert.

Systemtechnik: Dieser Bereich, welcher in der Umsetzung am weitesten fortgeschritten ist, hat in der Schweiz eine langjährige Tradition, welche es erlaubt, auch im internationalen Kontext wirksam zu werden. Die entsprechenden Technologien werden zunehmend standardisiert und in Hinsicht auf Sicherheitsaspekte und Effizienz der Systeme laufend verbessert. Wichtige Attribute sind eine breite wendungserfahrung, Langzeitmessungen sowie die Qualitätssicherung der Systeme. Insgesamt sollen in diesem Bereich die Bedingungen eines breiten Einsatzes der Photovoltaik entwickelt und erprobt werden.

Diverse Projekte und Studien: In diesen Bereich fallen Arbeiten zur längerfristigen Abschätzung wichtiger Indikatoren der Photovoltaik, insbesondere in bezug auf die Umwelt, die Potentiale sowie die Marktentwicklung. Darüber hinaus werden neue kombinierte Nutzungsformen der Photovoltaik untersucht (z.B. Hybridtechnologien, Thermo-Photovoltaik).

Internationale Zusammenarbeit: Die internationale Zusammenarbeit bildet ein zentrales Standbein der Arbeiten und wird in allen Bereichen verfolgt. Der Anschluss an die internationale Entwicklung sowie ein intensivierter Informationsaustausch war auch im Berichtsjahr ein wichtiges Ziel, welches im Rahmen der internationalen Programme der EU sowie der IEA weiterverfolgt wurde.

1997 durchgeführte Arbeiten und erreichte Ergebnisse

ZELL-TECHNOLOGIE

Am Institut de Microtechnique, IMT, in Neuchâtel wurde die nunmehr 5. Projektetappe in Angriff genommen mit dem Ziel, das vielversprechende Konzept der mikromorphen Solarzelle [1] (Kombination einer mikrokristallinen Topzelle mit einer amorphen Bottomzelle in einer Tandemzelle) weiter zu entwickeln und die technischen Möglichkeiten dieses Materials in bezug auf Wirkungsgrad, Depositionsrate und Stabilität sowie Herstellungsbedingungen zu optimieren. Ein neues EU-Projekt NEST [1] ergänzt diese Arbeiten. Die Charakteristiken konnten im Berichtsjahr weiter verbessert werden: Für die mikrokristalle (µc-Si:H) p-i-n-Zelle konnte auf Glas ein stabiler Wirkungsgrad von 8.3% erreicht werden. In Kombination mit der amorphen Zelle erreichte die entsprechende mikromorphe Tandemzelle einen stabilisierten Wert von 12%, allerdings vorderhand noch bei einer tiefen Depositionsrate. Diese konnte jedoch

unabhängig für das intrinsische, mikrokristalline Material (i-µc-Si:H) bis 16 Å/s gesteigert werden. Auch in der umgekehrten Schichtabfolge (n-i-p), welche für Substrate verschieden von Glas von Bedeutung ist, konnte für die µc-Si:H Zelle ein Wert von 5.2% erzielt werden. Weitere Arbeiten betreffen unter anderem die Herstellung von transparenten leitenden Oxid-Schichten sowie der Einsatz der hotwire-Deposition zur Erzeugung stabilerer amorpher Schichten. In einem weiteren, vom PSEL massgeblich geförderten Projekt [1] wird die Abscheidung von Solarzellen auf Kunststoffsubstraten untersucht. Die Wahl des Substratmaterials fiel aus Gründen der Temperaturstabilität auf Polyimid. Im Vordergrund standen im Berichtsjahr Fragen der Kontaktierung sowie der Laserstrukturierung. Für amorphe n-i-p Zellen (Fläche 10 cm²) wurde ein Wirkungsgrad von 7.7% erreicht. Parallel dazu wird seitens des Industriepartners am entsprechenden System für Fassadenintegration gearbeitet. In einem EUREKA-Projekt erfolgen zudem in Zusammenarbeit mit verschiedenen Schweizer Industriepartnern Arbeiten zur Umsetzung der amorphen Zellen für Kleinanwendungen.

Am Centre de Recherche en Physique des Plasmas der ETHL [2] wurde das Projekt der **grossflächigen Abscheidung** von dünnen Siliziumschichten abgeschlossen. Durch ein verbessertes Elektrodendesign konnte sowohl für amorphe wie für mikrokristalline Schichten auf einer Fläche von 35 x 45 cm unter Verwendung der VHF-Depositionstechnik eine gute Homogenität erzielt werden. Gleichzeitg konnte die Eignung des VHF-Verfahrens zur Erzeugung des mikrokristallinen Siliziums aufgrund der erhöhten Dissoziation des Silans bestätigt werden. Verschiedene Diagnostikverfahren ermöglichen ein vertieftes Verständnis der stattfindenden Plasmaprozesse.

Im PSEL-Projekt **SWISSCIS** [5] wurde am Institut für Quantenelektronik der ETHZ das epitaktische Wachstum von Verbindungshalbleitern CuIn_xSe_v

durch Molekularstrahlepitaxie und deren Strukturanalyse untersucht. Mittels *physical vapour deposition* wurden polykristalline Cu(InGa)Se-Zellen mit bis zu 13.3% Wirkungsgrad erzeugt. Das Projekt wurde abgeschlossen und wird im Projekt **WIDE GAP CPV** im Rahmen des Programms JOULE der EU weiterverfolgt. Ein weiteres EU-Projekt, **LACTEL**, befasst sich mit der grossflächigen Abscheidung von CdTe-Zellen durch Elektrodeposition.

Die Arbeiten zu den **nanokristallinen Zellen** (GRÄTZEL-Zellen) [4] wurden am *Institut de Chimie Physique* der ETHL fortgesetzt. Diese Arbeiten erfolgen zum einen in Zusammenarbeit mit den industriellen Lizenznehmern sowie in neuen Projekten des JOULE-Programms. Im Vordergrund stehen seitens der Umsetzung Fragen bezüglich der Abdichtung und der Stabilität, wobei die Wahl künftiger Elektrolyten in diesem Zusammenhang ebenfalls von Bedeutung ist. Ein Wirkungsgrad von 11% wurde mittlerweile durch das Fraunhofer Institut in Freiburg (D) bestätigt. Erste konkrete Anwendungen werden für Kleingeräte erwartet.

SOLARMODULE UND GEBÄUDEINTEGRATION

Das Projekt ALUCOSOL® für ein **integriertes Photovoltaik-Fassadensystem** [6] wurde bei ALU-SUISSE TECHNOLOGY & MANAGEMENT weiterverfolgt, wobei die Zielsetzungen aufgrund der Nicht-Verfügbarkeit geeigneter Halbzeuge für die Solarzellen angepasst werden mussten. Nebst der Auswertung der bisherigen Versuchsmuster konzentrierten sich die Arbeiten im Berichtsjahr – aufgrund der günstigen Erkenntnisse aus einem entsprechenden NEFF-Projekt – auf die Möglichkeiten der Abscheidung von amorphem Silizium auf Aluminium sowie auf eine neue Form der grossflächigen rückseitigen Kontaktierung durch Löcher im Substrat.

Die Arbeiten zur Flachdachintegration wurden am LESO der EPFL [3] weitergeführt mit dem Ziel, weitere neue Systemlösungen für **integrierte Flachdachanwendungen** zu entwickeln. Nachdem aufgrund der früheren Resultate das Produkt SOLBAC® entstanden ist, wurde im Berichtsjahr die ästhetisch ansprechende Lösung SOLGREEN® für Gründächer vorgestellt. Die Produktepalette kann damit laufend

erweitert werden und die kombinierte Nutzung auch auf den sonst in Konkurrenz stehenden Gründächern realisiert werden. Im Projekt zum Einsatz der Photovoltaik auf Bahnhofperrons [3] mussten einige defekte Module nach einer mechanisch falsch erfolgten Montage ausgetauscht werden, sodass die vorgesehenen Messungen noch nicht vollständig durchgeführt werden konnten.

Das LESO befasst sich weiterhin mit der Fortsetzung des Projektes **DEMOSITE** [3], welches seit Anfang 1997 auch Bestandteil des IEA-Photovoltaik-Programms ist. Dabei wurde das Spektrum der präsentierten Lösungen um die Flachdachanwendungen ergänzt, für welche gleich drei erste Schweizer Produkte vorgestellt werden (SOFREL Beton, SOLBAC und AMAX). Ein weiterer Pavillon befasst sich mit der 1997 durch ATLANTIS ENERGIE vorgestellten Dachschindel SUNSLATE®. Somit umfasst DEMOSITE heute insgesamt 17 verschiedene Lösungen zur Gebäudeintegration der Photovoltaik.

SYSTEMTECHNIK

ALPHA REAL erarbeitete in einem neuen, vom EWZ und ATAL mitgetragenen Projekt, zusammen mit interessierten Industriepartnern, Lösungen für einen **dreiphasigen Kleinwechselrichter** [7], wobei der Leistungsbereich auf 1 kW festgelegt wurde. Vorteilhaft sollte sich dabei das Wegfallen grösserer Elektrolytkondensatoren auswirken. Die vorgeschlagene Schaltungstopologie erreicht in der Simulation einen Wirkungsgrad von ca. 94%.

Im EU-Projekt SCMIC [8], bei welchem nebst der

ETHZ seitens der Schweiz ENECOLO und ALU-SUISSE TECHNOLOGY & MANAGEMENT beteiligt sind, wird ein **Einzellenwechselrichter** entwickelt. Auch hier liegen Schaltungstopologien für ein- und dreiphasige Varianten vor, welche bereits erprobt wurden und Gesamtwirkungsgrade in der Grössenordnung von 85-90% erwarten lassen.

Das Projekt der **Wechselrichterprüfstelle** an der Ingenieurschule Burgdorf [9] wurde im Berichtsjahr abgeschlossen. Insgesamt 13 verschiedene kommer

zielle Wechselrichterprodukte wurden auf alle wichtigen Parameter intensiv geprüft. Daraus konnte auch ein Vorschlag für ein allgemeines Wechselrichter Reporting Format abgeleitet werden, welches die wichtigen Kenndaten umfasst und die Prozeduren festlegt. In einem neuen Projekt wird die Qualitätssicherung [9] von PV-Anlagen seitens der elektrischen Systemkomponenten weiterverfolgt, indem die Zuverlässigkeit von Wechselrichtern und deren Langzeitverhalten untersucht wird. Neu soll die Prüfung auch an Produkten mit integrierter Impedanzüberwachung sowie an Inselwechselrichtern durchgeführt werden können. In dem vom PSEL massgeblich geförderten Projekt zum Langzeitverhalten [9] von netzgekoppelten PV-Anlagen werden diverse Anlagen in verschiedenen Klimaregionen und deren Energieertrag untersucht, wobei 8 Anlagen fein und weitere 29 grob ausgemessen werden. Die Wechselrichterdefekte wurden für die überwachten Anlagen für 1996 mit 0.34 Ausfällen pro Betriebsjahr quantifiziert, was eine laufende Verbesserung im Verlauf der Zeit darstellt. Für die Anlage auf dem Jungfraujoch konnte der spezifische Energieertrag von 1509 kWh/kWp gemessen werden.

ALPHA REAL verfolgt in drei Projekten des EU-Programms JOULE weitere Aspekte der Sicherheit und der Zuverlässigkeit von netzgekoppelten PV-Anlagen. Für den früher entwickelten Lichtbogendetektor [7] konnte im Rahmen von Feldmessungen die Funktionsweise weitgehend bestätigt werden. Für die Zielsetzung eines einfachen Energiemessgerätes [7] wurden im Berichtsjahr bestehende Messgeräte und Datenlogger evaluiert, wobei ein integriertes Konzept zum Tragen kommen soll. Die Zuverlässigkeit von AC-Modulen [7] bildet den Inhalt eines weiteren Projektes, welches neu in Angriff genommen wurde. Im Vordergrund steht dabei der Einsatz eines Hot-Spot-Detektors durch Strombegrenzung, wodurch bei Grossmodulen Kosteneinsparungen erwartet werden. In einem vom PSEL mitgetragenen Projekt wird die Zuverlässigkeit von Sicherheitsschaltungen gegen die Inselbildung [7] geprüft. Dieses Projekt umfasst sämtliche Energietechnologien, welche in einer dispersen Energieversorgung durch Kleinanlagen zum Tragen kommen können.

An der Ingenieurschule St-Imier wurde das Projekt zur Untersuchung **neuer Photovoltaiksysteme** [10] in Zusammenarbeit mit der Gesellschaft MONT-SOLEIL weitergeführt. In der Testanlage im Umfeld des Kraftwerks MONT-SOLEIL können bis zu 12

Experimente simultan durchgeführt werden. Die Testobjekte umfassen neue Entwicklungen in der Modultechnologie und sollen Aufschlüsse auf deren Verhalten unter realen Bedingungen geben. Nebst neu angekündigten Produkten wichtiger PV-Hersteller werden auch Schweizer Produktentwicklungen geprüft. Die Erfolgskontrolle für das Kraftwerk MONT-SOLEIL lieferte im Jahr 1997 aufgrund günstiger Witterungsbedingungen den bisher höchsten jährlichen Ertrag von rund 634'000 kWh.

Das TISO an der Ingenieurschule Trevano setzte seine Untersuchungen kommerzieller PV-Module [11] fort, wobei hier auch die Alterungseffekte über längere Zeit verfolgt werden können. Die für einzelne Produkte – auch auf der Basis von mono- und polykristallinem Silizium – festgestellte Degradation der Kenndaten wurde im Berichtsjahr bestätigt. Darüber hinaus können am TISO Thermografiemessungen sowie Spektralmessungen durchgeführt werden. Die Messungen an den beiden vorhandenen PV-Anlagen, welche zu den ältesten ihrer Art gehören, liefern eine gute Erfahrungsbasis für Langzeitbeobachtungen.

Auch am PSI finden zunehmend Messungen zur Charakterisierung von Zellen und Modulen [12] unter realen Einstrahlungsbedingungen statt. Zu diesem Zweck wurde ein flexibler Teststand aufgebaut, welcher der Sonne nachgeführt werden kann und präzise automatisierte Messungen erlaubt. Damit können in kurzer Zeit die relevanten Kenndaten ermittelt werden, wobei Einflüsse der Einstrahlungsbedingungen und der Temperatur berücksichtigt werden können. Messungen wurden sowohl an Laborzellen wie an Prototypen und kommerziellen Modulen durchgeführt. Mit der in diesem Abschnitt beschriebenen apparativen Infrastruktur können die Kenndaten wichtiger PV-Komponenten präzise und rasch ermittelt werden. Bei Bedarf können auch Messungen an Anlagen vor Ort durchgeführt werden.

Das in einem PSEL-Projekt untersuchte Betriebsverhalten der 80 kWp PV-Anlage mit **DC-Direkteinspeisung** [13] PARK+RIDE Neufeld in Bern konnte durch EWE abgeschlossen werden. Die Erkenntnisse betreffen zum einen – trotz Fehlen eines *MPP-Trackings (Maximum Power Point)* – einen guten Energieertrag von 1100 kWh/kWp. Zum anderen konnten die Einflüsse von schnellen Transienten, welche für diese Art DC-Netz typisch sind, ermittelt werden. Sie machen die Verwendung eines Tiefpassfilters in DC-Anlagen dieser Art sinnvoll.

DIVERSE PROJEKTE UND STUDIEN

Das Projekt zur **Umweltverträglichkeit** verschiedener PV-Technologien wurde durch ALPHA REAL [7] in Zusammenarbeit mit der EAWAG abgeschlossen. Im Berichtsjahr wurden die Stoffflüsse für verschiedene Solarzellentechnologien anhand der Methode der Stoffflussanalyse untersucht, wobei die

dynamische Beurteilung von Kenngrössen wie z.B. der Produktion von Modulen, Energieaufwand, Potentialerschliessung, usw. betrachtet wurde. Die zu berücksichtigenden elektrischen und fossilen Energieflüsse werden getrennt simuliert, was z.B. für die Bestimung der Energierücklaufzeiten Vorteile hat.

Am LESO der EPFL wurde in Zusammenarbeit mit SCHWEIZER und ENECOLO die Projektphase zur Machbarkeit eines **Hybridkollektors** (thermisch und Photovoltaik) [3] abgeschlossen. Die wesentlichen Anforderungen an dieses Konzept konnten festgelegt werden. Sie betreffen zum einen die Temperaturbeständigkeit der eingesetzten Materialien sowie deren technologisch sinnvolle Kombination. Im Vordergrund steht dabei die Verwendung von amorphen Siliziumzellen.

Das früher fertiggestellte **PC-Planungsinstrument** PVSYST [26] (entwickelt an der UNI-Genf) ging im Rahmen einer internationalen Evaluation als besonders vielseitiges Werkzeug hervor, wobei sich noch Verbesserungen auf der Benützerebene aufdrängen. Es soll im Rahmen der IEA-Zusammenarbeit weitere Verbreitung finden.

Für das bekannte Planungsprogramm **Meteonorm** [27] (entwickelt bei METEOTEST, in Bern) wurde im Berichtsjahr neu eine internationale Version vorgestellt.

Im EU-Projekt **Satellight** [14] wird in der Groupe de Physique Appliquée der UNI-Genf an einem Strahlungsatlas auf der Grundlage von Meteo-Satellitendaten gearbeitet, welcher auch über Internet verfügbar gemacht werden soll. Die Information wird in der Form von Klimakarten aufgearbeitet und wird Zentral- und Westeuropa abdecken. Anwendungsgebiete sind unter anderem auch bei der Tageslichtnutzung zu finden.

Am PSI wird mit Unterstützung des FOGA das Thema der **Thermo-Photovoltaik** [12] anhand eines mit Erdgas betriebenen, wärmegeführten Klein-Blockheizkraftwerks weiterverfolgt. Um den Nachweis der Machbarkeit eines solchen Konzeptes zu erbringen, wurde im Berichtsjahr ein Prüfstand mit geeigneten Komponenten (Emitter, Filter, Zellen) aufgebaut und mit der erforderlichen Messapparatur versehen. Weitere Schwerpunkte sind ein geeignetes Emitterkonzept für künftige Systeme sowie die Modellierung.

Die Abschätzung des **PV-Flächenpotentials** in der Schweiz wurde an der UNI-Freiburg mit einer Diplomarbeit abgeschlossen, welche sich schwerpunktmässig mit der Methodik zur Berechnung dieses Potentials unter Berücksichtigung wichtiger Reduktionsfaktoren befasste. Das Konzept wird im Rahmen von konkreten Fallstudien für kleinere Räume (erste Anwendung Stadt Zürich) als praxistaugliches Instrument bei NET [15] weiterentwickelt.

IEA-PROJEKTE

Das TISO an der Ingenieurrschule Trevano zeichnet, zusammen mit der Programmleitung Photovoltaik, für die Schweizer Arbeiten [11] im Rahmen des IEA-Projekts Exchange and Dissemination of Information on PV Power Systems verantwortlich. Im Berichtsjahr wurde der zweite internationale Übersichtsbericht [28] über PV-Systeme in den Ländern der IEA sowie eine Übersicht über die in diesen Ländern laufende Forschung [29] publiziert. Der Newsletter PV-Power [30] informiert über weltweite Entwicklungen in der Photovoltaik. Ein Bericht über die Rückliefertarife wurde seitens der Schweiz im Berichtsjahr fertiggestellt [31]. Ausserdem fand ein Workshop zur umfassenden Beurteilung der Umwelteinflüsse der Photovoltaik statt [32].

TNC CONSULTING koordiniert im selben IEA-Programm den Schweizer Beitrag [16] zum Projekt, *Operational performance and design of PV power systems*. Im Berichtsjahr war TNC auch für die Leitung des Projektes verantwortlich (Operating Agent). Die Struktur der Datenbank und das entsprechende Eingabeprogramm wurden fertiggestellt. Die Zahl der in der Datenbank vertretenen Anlagen konnte auf 187 erhöht werden. Die Übersicht gängiger Mess- und Auswertemethoden für PV-Systeme wird als IEA-Publikation vorbereitet.

ATLANTIS ENERGIE beteiligt sich an den Arbeiten zum Projekt Use of PV power systems in standalone

and island applications [17]. Verschiedene techniche Publikationen dieses IEA-Projekts sind in Vorbereitung.

ENECOLO stellt den Schweizer Beitrag zum Projekt *Grid interconnection of building integrated and other dispersed PV power systems* [8] sicher. Wichtigstes Ereignis des Jahres war ein Workshop [33], welcher im September in Zürich stattfand und die Problematik der Wechselwirkung von PV-Anlagen mit dem elektrischen Netz, die Erfahrungen sowie die unterschiedlichen technischen Methoden in einem breiteren Rahmen erörterte.

Die Aktivitäten zum Thema **Photovoltaik im Gebäude** werden durch ENECOLO [8] und das LESO [3] koordiniert. Die entsprechenden Arbeiten finden ab 1997 im neuen Projekt *PV in the built environment*, des IEA Photovoltaik-Programms statt und erfreuen sich eines grossen internationalen Interesses. ENECOLO zeichnet in diesem Task für die Arbeiten zum Thema Systemtechnologie verantwortlich.

Ein internationales, durch die PV-Industrie initiiertes Zertifizierungsprogramm Global Approval Program (GAP), welches sich insbesondere auf Systemlösungen für Inselsysteme konzentriert, wurde neu vorgestellt. Seitens der Schweiz ist ALPHA REAL an diesen Arbeiten beteilgt. Zudem soll diese Organisation in Genf ihren Geschäftssitz haben.

Nationale Zusammenarbeit

Die Schweizer Fachwelt der Photovoltaik zeichnet sich im allgemeinen durch eine vorzügliche innere Zusammenarbeit aus, welche sich für viele Projekte durch entsprechende ergänzende Aufgaben konkretisiert. Gleichzeitig findet ein immer intensiverer Austausch mit der Industrie und der Elektrizitätswirtschaft

statt, sodass sich der Kreis interessierter Personen und Institutionen laufend erweitert. Auch auf der Programmebene besteht mit den relevanten Stellen der öffentlichen Verwaltung und der Elektrizitätswirtschaft weiterhin eine gute Zusammenarbeit.

Internationale Zusammenarbeit

Die internationale Zusammenarbeit bildet im Programm "Photovoltaik" ein wichtiges Standbein, welches auch im Berichtsjahr 1997 weiter ausgedehnt werden konnte. Das nun seit einigen Jahren laufende Programm der IEA, *Photovoltaic Power Systems*, zeigt in den verschiedenen Aktivitäten – nach einigen Anfangsschwierigkeiten – eine intensive Zusammenarbeit und immer mehr konkrete Resultate. Daneben konnte die Beteiligung am EU-Programm JOULE

auch 1997 erfolgreich ausgedehnt werden, sodass dieser Teil nun Projekte in allen Programmbereichen umfasst. Weitere EU-Projekte mit Schweizer Beteiligung werden demnächst beginnen. Diese internationale Zusammenarbeit belegt die anhaltend hohe Qualität der Schweizer Photovoltaikforschung und erlaubt den immer wichtiger werdenden Anschluss an die internationale Entwicklung.

Transfer in die Praxis

Der Transfer in die Praxis, ein klares Ziel der laufenden Arbeiten, findet in allen Bereichen des Programms statt, wobei dies noch nicht überall im selben Mass zutrifft. So steht dieser Transfer für den Bereich der Solarzellen erst am Anfang und betrifft vorab Kleinanwendungen. Gleichzeitig findet aber auch für die Solarzellen ein kontinuierlicher Wissenstransfer in die Industrie statt, was die Chancen einer weiteren Umsetzung erhöht, wobei hier die grossen Anfangsinvestitionen zu berücksichtigen sind. Viele Arbeiten gehen nahtlos in P+D-Projekte über; dabei steht in zunehmendem Mass auch die Produktentwicklung im Vordergrund. In mehreren Anlagen

verschiedenster Grösse, welche 1997 erstellt wurden, konnten neu entwickelte Lösungen oder Produkte eingesetzt werden. Vermehrt greift die Industrie das Thema der Photovoltaik auf und entwickelt eigene Produkte. Insgesamt kann die Umsetzung damit als weitgehend positiv beurteilt werden, wobei die Geschwindigkeit gegenüber einzelnen Länder ins Hintertreffen gelangen kann. Hierzu könnten verbesserte politische Rahmenbedingungen einen mittelfristig entscheidenden Beitrag leisten. Die Frage, welcher Anteil der Wertschöpfung der Photovoltaik künftig in der Schweiz stattfinden wird, drängt sich auf.

P+D-Projekte

Zur Zeit laufen im Photovoltaik P+D-Bereich rund 35 P+D-Projekte mit folgenden Schwerpunkten:

- PV-Integration in Gebäude und Schallschutzeinrichtungen (Erprobung neuer Systemkomponenten)
- Überprüfung diverser P+D-Anlagen mittels fundierter Messkampagnen
- Weiterentwicklung und Erprobung von Wechselstrom-Modulen (modulintegrierte Wechselrichter),
 u.a. auch im Bereich der Gebäudeintegration

Im Jahr 1997 wurden 10 neue P+D-Projekte angefangen. Die Schwerpunkte liegen auch hier bei der Erprobung neuer Systemkomponenten im Bereich der Photovoltaik-Integration in Gebäude und Schallschutzeinrichtungen (5 Projekte, 7 Anlagen) und bei der Erfolgskontrolle bestehender P+D-Anlagen durch detaillierte Messkampagnen (3 Projekte). Im Bereich

der Gebäudeintegration werden dabei zwei Anlagen mit neuen Wechselstrom-Modulen ausgeführt.

Bei den neuen P+D-Projekten im Bereich der PV-Integration handelt es sich um folgende Anlagen:

- 6,3 kWp Anlage integriert ins Dach des Instituts de Microtechnique (IMT) in Neuenburg [18] (PV-Elemente mit amorphen Zellen, Gebäudeintegration; Leitung IMT)
- 16,3 kWp Anlage mit PV AC-Modulen integriert ins Dach eines Bauernhauses in Iffwil [19] (PV-Elemente mit integrierten Wechselrichtern, hybride Anlage Strom-Warmluft, Gebäudeintegration; Leitung: ATLANTIS ENERGIE)
- 11,8 kWp Anlage mit Wechselstrom-Modulen UBS Zürich [20] (PV-Elemente mit integrierten Wechselrichtern, Hot-Spot Schutzschaltung, "Flachdachintegration"; Leitung: ALPHA REAL)
 Drei 10 kWp Photovoltaik Schallschutzanlagen entlang der Autobahn [21] (Kombination

- Photovoltaik-Schallschutz, 3 Prototyp-Anlagen; Leitung TNC Consulting)
- 1 kWp Flachdachanlage mit SCIBEL Modulen, Ausführung Beton [22] (Flachdachintegration mit neuen Photovoltaik-Elementen, horizontale Anlageausrichtung, Leitung; ENECOLO)

Mehrere Projekte konnten im Berichtsjahr abgeschlossen werden:

- Sunny Tile [23] (PV-Dachziegel)
- Hybride Dachintegration Erlach [19] (PV-Warmluft-Anlage)

- Mobiles Messsystem [19]
- IMIPP [24] (Information über monatliche PV-Produktion)
- Messkampagne NOK Megawatt Solarkette [25]

Für das Jahr 1998 befinden sich bereits diverse Anlagen im Bereich der Gebäudeintegration zur Erprobung von neuen PV-Komponenten in Vorbereitung. Im weiteren ist vorgesehen, bei einigen speziellen P+D-Anlagen detaillierte Messkampagnen zu starten und laufende, erfolgversprechende Messprojekte zu verlängern.

Bewertung 1997 und Ausblick für 1998

Das Programm Photovoltaik war 1997, trotz anhaltender Knappheit der verfügbaren Mittel, durch Kontinuität im technischen Bereich gekennzeichnet. Ein erfreuliches Resultat war die deutliche Zunahme der neu angefangenen Projekte im EU-Programm JOULE. Die Arbeiten im Bereich der Solarzellen sind von anhaltend hoher Qualität gekennzeichnet, wobei einzelnen Bereichen eine weltweit führende Rolle zukommt. Dieser Erfolg darf nicht darüber hinwegtäuschen, dass erfolgreiche Konzepte nie lange auf die entsprechende Konkurrenz warten müssen, sodass ein zuneh mender Erfolgsdruck entsteht. Dies ist für die Photovoltaik im Licht einer deutlichen, internationalen Marktausdehnung zu beurteilen, welche in verchiedenen Ländern - auch in Europa - mit wichtigen Investitionen seitens des Staates und der Industrie verbunden ist. Der Umsetzung der Arbeiten kommt damit eine wachsende Bedeutung zu.

Erfreulich ist, dass das Interesse der Industrie im Bereich der Modul- und Systemtechnik auch 1997 zugenommen hat. Verschiedene neue oder verbesserte Produkte wurden vorgestellt und einzelne Marktpositionen gefestigt. Die seit Anfang 1997 verfügbaren Fördermittel des Bundes für Anlagen sowie das zunehmende Engagement einzelner Elektrizitätswerke führten seitens des Marktes zu einer Belebung, welche sich auch positiv auf die Forschung auswirkt, indem die Eigenmittel der beteiligten Firmen und Institutionen zunehmen. Wichtig ist in diesem Zusammenhang, dass hier eine Kontinuität mit steigender Tendenz gehalten werden kann, sodass eine nachhaltige Wirkung erzielt wird.

1997 fand in Barcelona die 14. Europäische PV-Konferenz statt, die grösste ihrer bisherigen Art [34]. Dabei konnte die andernorts festgestellte Aufbruchstimmung bestätigt werden. Es entstand aber auch der Eindruck, dass sich Forschung und Markt teilweise entfernen bzw. unterschiedliche Geschwindigkeiten einschlagen.

Für 1998 wird es angesichts dieser Feststellungen darum gehen, die Kontinuität zu wahren und die Anstrengungen zu einer nachhaltigen Umsetzung fortzusetzen. Eine nationale PV-Veranstaltung wird im Frühling Gelegenheit zu einer Standortbestimmung bieten. Im Sommer wird anschliessend in Wien die zweite PV-Weltkonferenz stattfinden.

Liste der 1997 gelaufenen Projekte

- [1] A. Shah, IMT, UNI-Neuchâtel: Mikromorphe Solarzellen (JB) NEST (New enhanced silicon thinfilm solar cells) (JB) • Amorphe Siliziumzellen auf Plastiksubstrat (JB)
- [2] Ch. Hollenstein, CRPP / EPF-Lausanne: Grossflächige Abscheidung von amorphen, photovoltaischen Silizium-Schichten (JB+SB) / ENET 9400051
- [3] J.-B. Gay, LESO / EPF-Lausanne: Photovoltaïque sur toits plats une nouvelle approche (JB) / ENET 9554392 Installations photovoltaïques intégrées aux marquises de gare (JB) / ENET 9400641 Site de démonstration d'éléments de construction photovoltaïques intégrés au bâtiment Phase II (JB+SB) / ENET 9400261 DEMOSITE and DEMOSITE FLAT ROOFS Phase III (JB) / ENET 97599873 Capteur hybride d'une nouvelle génération (JB) / ENET 9656360
- [4] M. Grätzel, ICP2 / EPF-Lausanne: Cellules solaires basées sur des films semiconducteurs nanocristallins colorés (JB) INDOOR DYE PV's (JB)
- [5] H. Zogg, IQE ETH-Zürich: SWISSCIS (JB+SB) WIDE GAP CPV (Wide gap chalcopyrites for advanced PV devices) (JB) LACTEL (Large Area cadmium telluride electrodeposition for thin-film solar cells) (JB)
- [6] M. Weng, ALUSUISSE-LONZA, Neuhausen: ALUCOSOL Entwicklung eines Fassadensystems mit integrierten Solarzellenmodulen (JB) / ENET 9301131

- [7] M. Real, ALPHA REAL, Zürich: 3-Phasen Modulwechselrichter (JB) / ENET 9759021 * Improving PV system reliability by a new concept including a novel arc detection unit (JB) * PV Checker: Research on low cost PV system checker devices for future application in the individual PV system monitoring (JB) * Accelerated Reliability improvement of AC-Modules (JB) * Modell zur Analyse und Prognose der langfristigen Umweltverträglichkeit verschiedener PV-Technologien (JB+SB) / ENET 9008009
- [8] P. Toggweiler, ENECOLO, Mönchaltorf: SCMIC (Single Cell Module Integrated Converter) (JB)
 Schweizer Beitrag IEA-PVPS Task V und VII (JB)
- [9] H. Häberlin, HTL-Burgdorf: Aufbau einer Testanlage für PV-Wechselrichter bis 60kW (JB+SB) / ENET 9400561 Qualitätssicherung von PV-Anlagen (JB) / ENET 9761703 Langzeitverhalten von PV-Anlagen (JB) / ENET 9659074
- [10] C. Brielmann, EISI, St-Imier: Programme de recherche sur des cellules PV à haut rendement (JB+SB) / ENET 9552187
- [11] M. Camani, Dip. del Territorio, Bellinzona: Tests di componenti e sistemi per progetti nel campo della tecnica fotovoltaica, TISO periodo IV (JB+SB) / ENET 9400931 TISO: Valutazione e sorveglianza di lavori nel settore dei sistemi fotovoltaici (JB+SB) / ENET 9400991
- [12] W. Durisch, PSI-Villigen: Charakterisierung von PV-Generatoren (JB) M. Schubnell:

 Thermophotovoltaische Erzeugung von Strom in mit Erdgas betriebenen, wärmegeführten Kleinblockheizkraftwerken (JB)
- [13] M. Keller, EWE, Zürich: PV-Anlage mit Direkteinspeisung, Park + Ride Neufeld, Bern (JB+SB)
- [14] P. Ineichen, GAP / UNI-Genève: Satellight (JB)
- [15] S. NOWAK, NET, St. Ursen: Abschätzung des PV-Flächenpotentials im schweizerischen Gebäudepark (JB+SB)
- [16] L. Clavadetscher, TNC CONSULTING, Männedorf: Schweizer Beitrag IEA-PVPS Task II (JB)
- [17] B. Bezençon, ATLANTIS ENERGIE, Bern: Schweizer Beitrag IEA-PVPS Task III (JB)

P+D-Projekte (Auswahl)

- [18] R. Tscharner, IMT / UNI-Neuchâtel: Integrierte PV-Anlage mit amorphem Silizium (JB)
- [19] B. Stucki, ATLANTIS ENERGIE, Bern: PV-Dachintegration mit Modulwechselrichtern (JB) A. Eckmanns: Hybride Dachintegration Erlach (JB+SB) Mobiles Messsystem (JB+SB)
- [20] M. Real, ALPHA REAL, Zürich: PV-Analge mit Megalinos
- [21] Th. Nordmann, TNC CONSULTING, Männedorf: 3 x 10 kWp PV-Schallschutzanlgen (JB)
- [22] P. Toggweiler, ENECOLO, Mönchaltorf: PV-Flachdachanalge mit SCIBEL
- [23] A. Rupp, STAR UNITY, Au: Sunny Tile (JB+SB)
- [24] Ch. MEIER, Zürich: IMIPP (Information über monatliche PV-Produktion) (JB+SB)
- [25] S. Roth, NOK, BADEN: Messkampagne NOK Megawatt Solarkette (JB+SB)
 - (JB) Jahresbericht 1997 vorhanden
 - (SB) Schlussbericht vorhanden

Referenzen

- [26] A. Mermoud, GAP, UNI-Genève: PVSYST
- [27] S. Kunz, Meteotest, Bern: METEONORM
- [28] Photovoltaic power systems in selected IEA member countries 2nd International survey report, IEA-PVPS 1997
- [29] Photovoltaic power systems R&D: Status and strategies in selected IEA member countries, S. Nowak et al., Proceedings 14th European Conference on Photovoltaic Solar Energy Conversion, Barcelona, 1997
- [30] PV Power, Newsletter of the IEA PVPS Programme
- [31] Buy-back rates for grid-connected PV power systems, IEA PVPS Task 1, 1997
- [32] Environmenatl aspects of PV power systems, Report on a IEA-PVPS Task 1 Workshop, Utrecht, 1997
- [33] Grid Interconnection of PV systems, Report on a IEA-PVPS Task 5 Workshop, Zurich, 1997
- [34] Die 14. Europäische Photovoltaik-Konferenz aus Schweizer Sicht, Ed. S. Nowak, BFS, 1997

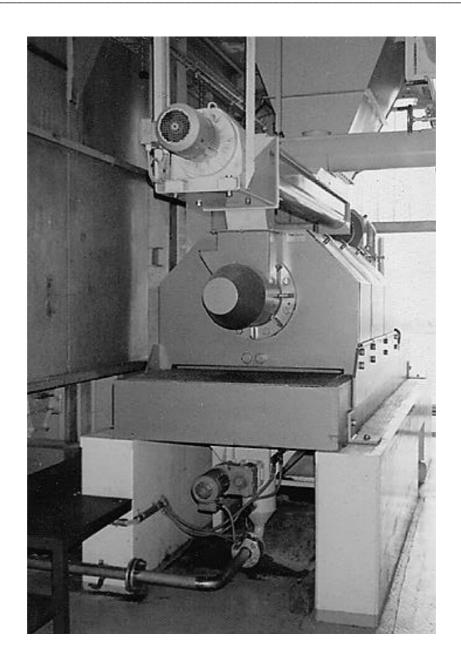
Excerpt from "ENERGY RESEARCH 1997", Editor: L. Dubal Swiss Federal Office of Energy http://www.admin.ch/bfe/

BIOMASSE

Überblicksbericht zum Forschungsprogramm 1997

Martin Hinderling / Daniel Binggeli

martin.hinderling@bfe.admin.ch / daniel.binggeli@bfe.admin.ch



Biodiesel

Die Rapsmethylester-Anlage in Etoy produziert jährlich aus knapp 5000 t Raps 1,8 Mio Liter Biodiesel. Herzstück ist nebst der Schneckenpresse für die Ölgewinnung (Bild) der Anlageteil für die Umesterung.

Programmschwerpunkte

Das Forschungsprogramm Biomasse (Holz, Pflanzen, organische Abfälle aller Art) befasst sich hauptsächlich mit deren Umwandlung in Energie und zu einem geringen Teil mit dem Ernten, Einsammeln und Aufbereiten der Biomasse. Das Programm soll einen Beitrag dazu leisten, dass der Anteil der Biomasse an

der schweizerischen Energieversorgung kontinuierlich erhöht wird. Die Programmschwerpunkte 1997-1999: Biomasse effizient, kostengünstig und schadstoffarm nutzen, mittels Verbrennen, Vergasen, Vergären und weiteren Umwandlungsprozessen.

Anvisierte Zielpunkte für 1997

Die Zielpunkte 1997 lassen sich wie folgt zusammenfassen:

- Die Voraussetzungen für die Verbreitung von Holzheizungen weiter verbessern: energetischer Wirkungsgrad, Abgasemissionen, Abgaskondensation, Wirtschaftlichkeit (Holz, Altholz)
- Vergaser-Eignungsprüfungen durchführen bzw. abschliessen
- Vergärungs-Technologie im Bereich landwirtschaftliche, kommunale und industrielle biogene Abfälle fördern
- Energiegras/Feldholz: Das im gleichnamigen Projekt erarbeitete Wissen umsetzen.

1997 durchgeführte Arbeiten und erreichte Ergebnisse

BIOMASSE UMWANDELN

a) Biomasse verbrennen und vergasen

In der vorliegenden Berichtsperiode wurden Massnahmen zur Einhaltung optimaler Betriebsbedingungen für Low NOx-Holzfeuerungen [1] mit Luftstufung untersucht. Die Optimierungen der Betriebsbedingungen umfassten die Einhaltung einer Temperatur zwischen rund 1'150 und 1'250°C sowie die Einhaltung unterstöchiometrischer Bedingungen in der Reduktionszone. Im weiteren wurden Ansätze Prozessregelung untersucht, welche Einhaltung der optimalen Primärluftzahl gewährleisten. Dazu wurde eine CO-Lambda-Regelung realisiert, welche einen Betrieb bei minimalem Luftüberschuss der Feuerung erlaubt und einen Anstieg der CO-Emissionen ausschliesst. Die Versuche mit der CO-LambdaRegelung zeigen, dass durch Betrieb bei minimalem Luftüberschuss (1.2 bis 1.4) auch minimale NOx-Emissionen erzielt werden, da durch die CO-Lambda-Regelung bei typischem Verhältnis von Primär- zu Sekundärluftmenge ein unterstöchiometrischer Betrieb in der Reduktionszone gewährleistet wird.

Im Projekt SNCR- und SCR-Verfahren bei Holzfeuerungen [1] als Sekundärmassnahmen zur
Stickoxidminderung soll die Wirksamkeit der Verfahren untersucht werden. Bei der katalytischen Entstickung interessiert nebst der Kurzzeitwirksamkeit
das Verhalten nach längerer Betriebszeit unter
Praxisbedingungen. Für beide Verfahren sollen
geeignete Prozessregelungen vorgeschlagen und
ausgetestet werden. Für die Erfolgskontrolle der
verschiedenen Verfahren soll nicht nur eine
Überprüfung der gesetzlich vorgeschriebenen NOxGrenzwerte durchgeführt werden, insbesondere soll

zusätzlich die Bedeutung von N2O, NH3 HCN und HNCO berücksichtigt werden; als Folge der Erkenntnisse aus dem Projekt Erfolgskontrolle SNCR-Verfahren zur Entstickung von Holzfeuerungen vom August 1996.

Ziel des Projektes Abgaskondensation bei Holzfeuerungen [1] ist ein Vergleich verschiedener Abgaskondensationsverfahren in Bezug auf Energie und Verhinderung von Dampfschwaden. Aufgrund des Vergleichs und der thermodynamischen Prozessgrundlagen sollen Richtlinien für die optimale Auslegung von Kondensationsanlagen aufgezeigt werden. Im weiteren soll die mit Kondensation und Quench ausgerüstete Anlage HGA in Affoltern bezüglich Energiehaushalt optimiert und bezüglich Entschwadung verbessert werden. Im Berichtsjahr wurde ein Berechnungsprogramm erstellt, welches das Mollier-Diagramm für Abgase aus Holzfeuerungen liefert. Unter Berücksichtigung der wichtigsten Betriebsparameter können damit verschiedene Anlagenkonzepte verglichen und Massnahmen zur Entschwadung beurteilt werden. Die getroffenen Sofortmassnahmen an der Anlage HGA mit geringem apparativem Aufwand reichen jedoch nicht aus für die Gewährleistung eines schwadenfreien Betriebes. Deshalb werden der Einsatz einer Wärmepumpe zur Absenkung der Rücklauftemperatur, sowie die Verbrennungsluftbefeuchtung zur Absenkung der Abgastemperatur geprüft.

Im Projekt **Auslegungsgrundlagen für Holzfeuerungen** [8] wird ein Modell zur Beschreibung der Holzverbrennung in Vorschubrost- und Unterschubeuerung erarbeitet, welches zur optimalen Auslegung von Feuerungsanlagen eingesetzt werden kann. Das Berechnungsmodell soll sowohl die Feststoffumsetzung als auch die anschliessenden Gasphasenreaktionen erfassen. Die Feststoffumsetzung soll beschrieben werden in Abhängigkeit der Korngrösse, des Wassergehalts, der Primärluftmenge, der Temperatur und der Rostbewegung. In der Gasphase soll die Kopplung zwischen der Kinetik der wichtigsten Reaktionen und der Einflüsse von Geometrie und Strömung untersucht werden. Das Berechnungsmodell soll an einem Kaltströmungsmodell und an Feuerungsanlagen experimentell validiert werden. Im Zwischenbericht werden Berechnungsergebnisse dargestellt, die mit Hilfe des CFD Codes TASCflow für zwei verschiedene Feuerungen entstanden sind.

Energetische Nutzung von Biomasse (Verbrennung und Vergärung von Hofdünger) [3]: Dieses Projekt bezweckt die energetische Nutzung von landwirtschaftlichen Reststoffen durch geeignete technische und organisatorische Massnahmen gezielt fördern. Die Verbrennung ist besonders interessant. Mit ihr können auch via Mist den Betrieben hohe Nährstoffanteile entzogen und ausserbetrieblich genutzt werden. Für die anfallende Wärme braucht es natürlich die entsprechenden Abnehmer.

Einfluss von Schwermetallen und Chlor auf die Vergasung von Altholz und ähnlichen Abfällen [4]: Ziel dieses Projektes ist, den Einfluss von Fremdstoffen auf die Produktzusammensetzung (Gase, Teere, Asche) von Wirbelschichtvergasern zu ermitteln. Versuche mit Altholz zeigen, dass die Vergasung ein Rohgas produziert, welches ein höheres H2 zu CO-Verhältnis und geringeren Teergehalt aufweist als die Vergasung von naturbelassenem Holz. Vorläufiges Ergebnis: Der Teergehalt der Gase steigt mit zunehmender Brennstoffeuchte.

Vergasung verschiedener Holzfraktionen mit einem Doppelfeuervergaser [5]: Es wurden Versuche mit Schnitzeln, Altholz und Rinde durchgeführt (jeweils ein 150 Stunden-Dauertest). Materialzufuhr und Vergasung funktionieren problemlos, die Gasreinigung zufriedenstellend (einige Komponenten sind verbesserungsbedürftig). Nach insgesamt 1600 Betriebsstunden an einem alten Gasmotor wies eine endoskopische Untersuchung einen erstaunlich guten Motorzustand nach.

Festbettvergaser für SGF (Standardised Gasifier Fuel [6]): Das Ziel dieses EU-Projektes besteht darin, für standardisierten (brikettierten) Biomasse-Brennstoff einen kostengünstigen Vergaser für die Stromerzeugung mit Motoren zu finden. Hauptziel des schweizerischen Beitrages: vgl. folgenden Absatz. Im Berichtsjahr wurden vier verschiedene Vergaser einer Eignungsprüfung mit SGF als Brennstoff unterzogen. Die Prüfung wurde nach dem für die BFE-Projekte entwickelten Verfahren durchgeführt. Es zeigte sich, dass die Gasqualität der Versuche mit SGF vergleich-

bar mit denjenigen ist, welche mit andern Vergasern mit trockenen Holzschnitzeln erreicht wurden.

Evaluation of Gas Cleaning Technologies for Small Scale Biomass Gasifiers [2]: Dieses Projekt im Rahmen von EU/JOULE bezweckte, geeignete Systeme zur Reinigung von Rohgasen aus Biomasse-Festbettvergasern zu evaluieren. Mit der Datenauswertung, ergänzt mit Schätzwerten, liessen sich Wirkungsgrade und Investitionskosten der verschiedenen Systeme bestimmen. Für eine abschliessende Beurteilung ist allerdings die Ermittlung der Betriebskosten auf experimenteller Basis nötig.

Vergasungsversuche mit Biomasse geringer Dichte aus der Schweiz in einem Zyklon-Vergaser in Bangalore, Indien [7]: Projektziel ist, abzuklären, inwiefern sich dieser Vergasertyp für die Vergasung von Enegiegras, naturbelassenem Sägemehl und Restholz eignet. Nun haben aber die Resultate eines Testprogrammes mit pulverförmiger Biomasse nahegelegt, das Vergaserkonzept wesentlich zu ändern. Eine Neuausrichtung des Projektes ist nötig.

Production d'énergie à partir du bois (gazéificateur couplé à un moteur) [11]: Die gesteckten Ziele konnten weitgehend erreicht werden: Automatisierung sämtlicher Teilfunktionen des Vergasersystems (Beschickung, Ascheaustrag, Gaskühlung etc.), Abwasserreinigung realisieren, Motor installieren, Anschluss an Netz. Bis Ende Jahr war der Motor rund 100 Stunden (von geplanten 500 Stunden) in Betrieb.

b) Biogene Abfälle vergären

Kleine, schlüsselfertige Biogasanlage, Phase II [12]: Ziel war die Entwicklung einer kostengünstigen und funktionstüchtigen Klein-Biogasanlage für Flüssigmist sowie der Bau einer entsprechenden Pilotanlage (Anlage Sulser in Oberschan). Das Betriebsverhalten ist gut, die Wirtschaftlichkeit noch nicht genügend. Diese lässt sich aber mittels vermehrter Vergärung von Co-Substraten deutlich verbessern.

Co-digestion de déchets organiques [18]: Bei etlichen organischen Abfällen aus der Lebensmittelindustrie bestehen noch Wissenslücken in Bezug auf ihre Vergärbarkeit. Diese Lücken sollen innert zwei Jahren geschlossen werden.

Prozessverhalten von in der Schweiz eingesetzten MSW-Gärsystemen unter dem Einfluss steigender Anteile an Küchenabfällen [13]: In diesem neuen Projekt soll im Labormassstab das Verhalten solcher Abfälle untersucht werden. Es zeichnet sich nämlich ab, dass künftig die Küchenabfälle insbesondere mehr Fette und Eiweisse enthalten werden, so dass Komplikationen im Vergärungsablauf zu erwarten sind.

Production de biogaz à partir de déchets organiques humides [19]: Dieses neu angelaufene Projekt bezweckt, die Verwertung von feuchten organischen Abfällen als Schweinefuttermittel zu verbessern, indem die flüssige Phase abgetrennt, vergärt, energetisch genutzt und gemeinsam mit der festen Phase

hygienisiert wird.

Stand der Technik und Einsatzmöglichkeiten von Membranverfahren bei der Vergärung von Abwässern , Phase I, [20]: Mit Membranverfahren können "dünne" organische Industrieabwässer aufkonzentriert, vergärt und energetisch verwertet werden. Es steht zu erwarten, dass man derart auf die heute üblichen energieintensiven aeroben Stufen verzichten kann

Entwicklung eines Anlagenkonzeptes für die Vergärung von häuslichen Abfällen im ländlichen Raum [14]: Ziel dieses Projektes war die Entwicklung und Erprobung eines Anlagekonzeptes für die gemeinsame Vergärung von rund 2000 Jahrestonnen Mist. Grüngut und Ergebnis: Stabile Gärprozessbedingungen stellen sich erst ab Mistanteilen von 50 und mehr Gewichtsprozenten ein.

Einfluss der Zugabe von Sauerstoff zur Hydrolyse beim 2-stufigen aeroben Abbau von biogenen Abfallstoffen [21]: Dieses Projekt soll untersuchen, ob eine beschränkte Sauerstoffzugabe den Abbauprozess behindert oder eventuell gar verbessert. Gelingt der Nachweis, darf man sich davon konstruktive Vereinfachungen beim Anlagebau versprechen. Das Ergebnis sollte Ende 1998 vorliegen.

PC-Programm zur Berechnung der Biogasproduktion [13]: Ein benutzerfreundliches Windows-Programm liegt nun vor, das zeitsparende umfassende Machbarkeitsabklärungen für den Bau von Biogasanlagen erlaubt. Das internationale Interesse ist gross, eine englische Version ist in Vorbereitung.

Beurteilung nachwachsender Rohstoffe in der Schweiz in den Jahren 1993 - 1996 [15]: Diese Studie des Bundesamtes für Landwirtschaft bezweckte, Produkte aus ausgewählten nachwachsenden Rohstoffen mit konventionellen Produkten zu vergleichen, insbesondere deren Umweltauswirkungen auf Energieressourcen und Wirtschaftlichkeit.

c) Energiepflanzen

Vergärung von Extensogras zur Biogasgewinnung

[16]: In Ergänzung zum Biogasprojet innerhalb des interdisziplinären Projektes Energiegras/Feldholz [17] wurden Verfahrenskonzepte für die Vergärung von Energiegras zur Biogaserzeugung erarbeitet. Als Energiegras wurde v.a. Grasschnitt, Silage und Heu von extensiv bewirtschafteten Wiesenflächen verwendet. Hauptresultat: Die Co-Vergärung von Energiegras/Gülle im Rührkesselfermenter kann als praxistaugliches Verfahren empfohlen werden.

Pflichtenheft Energiegrasfeuerung [17]: Um die Umsetzung des Projektes Energiegras/Feldholz zu erleichtern, wurde ein Pflichtenheft erstellt, in dem die wichtigsten Kriterien zusammengestellt sind, welche eine Pilotanlage zur Verbrennung von Energiegras bezüglich Brennstoffproduktion, Ökologie und Technik erfüllen müsste. Dieses Pflichtenheft wird die Standortsuche für den Bau einer Pilotanlage erleichtern.

Verbrennung und Vergasung von Energiegras und Feldholz [9]: In Ergänzung zu diesem Projekt (Teilprojekt von Projekt Energiegras / Feldholz [17]) wurden im Berichtsjahr verschiedene Zusatzuntersuchungen durchgeführt, für welche je separate Forschungsberichte vorliegen: Erarbeitung der Messtechnik zur Bestimmung des Verweilzeitspektrums von Feuerungsanlagen; Verhalten von Chlor und Alkalimetallen bei der Verbrennung von Halmgütern; Partikelgrössenverteilung bei der Verbrennung verschiedener biogener Brennstoffe; Wirkungsgrade und Wirtschaftlichkeit zur Wärmekraftkopplung mit biogenen Brennstoffen.

Teer- und Partikelgrössenverteilung bei der Verbrennung und Vergasung von Biomasse [10]: Das Rohgas aus Holzvergasern ist mit Teer und Partikeln verunreinigt, welche bei der Nutzung des Gases in Verbrennungsmotoren zu Ablagerungen und Verschleiss führen. Um diese Situation zu verbessern, werden die Mechanismen erforscht, wie diese Komponenten entstehen. Darauf aufbauend sollen dann Primärmassnahmen für (weitgehend) Teer- und partikelfreies Rohgas gefunden werden.

SYSTEME UND EINZELPROJEKTE

Die Untersuchung Energie aus Holz, Vergleich der Verfahren zur Produktion von Wärme, Strom und Treibstoff aus Holz [22] gibt eine Übersicht und Beurteilung über wichtigste Techniken, energetische Wertschöpfung und Wirtschaftlichkeit zur Nutzung von Holz. Sie behandelt die Verbrennung, die Vergasung und die Pyrolyse sowie die anschliessenden Umwandlungsverfahren zur Erzeugung von Strom, Methan und Methanol in Wärmekraft- und Verbrennungskraftmaschinen, Brennstoffzellen und Syntheseverfahren. Nicht unerwartet, schneidet die reine Wärmeerzeugung in Feuerungsanlagen am besten ab und bleibt damit mindestens vorerst die

wichtigste Anwendungsart.

Die Studie Ökologischer, energetischer und ökonomischer Vergleich von Vergärung, Kompostierung und Verbrennung fester biogener Abfallstoffe [23] ist angelaufen. Sie soll zukünftige Entscheidungen im Bereich der Verwertung biogener Abfälle erleichtern.

Treibstoffe aus Biomasse [24]: Diese neue Studie wird einen Überblick über den Stand der Technik, die ökologischen Auswirkungen sowie die Ökonomie bei der Umwandlung von verschiedenen Biomasse-Typen zu Treibstoff verschaffen.

Nationale und internationale Zusammenarbeit

Auf nationaler Ebene hat die Zusammenarbeit wiederum zwischen zahlreichen Institutionen stattgefunden: Bundesstellen (BLW, BUWAL, praktisch alle landwirtschaftlichen Forschungsstellen, Fachhochschulen ETHZ, ETHL, PSI), Kantone (u.a. UNI-Neuenburg, HTL Brugg-Windisch, diverse forstwirtschaftliche Dienste), weitere öffentlichen Institutionen, Ingenieurbüros und Anlagebauer (v.a. aus der Holzheizungs- und Fermenterbranche). In solcher Zusammenarbeit werden die meisten Projekt-aktivitäten in den Bereichen Holz und Biomasse durchgeführt. Demgegenüber fanden relativ wenig firmeneigene Forschungsund Entwicklungsaktivitäten statt.

Auch international wird zusammengearbeitet, vorab im Rahmen des 4. EU/JOULE-Programmes für Forschung und Entwicklung, sowie des IEA Bioenergy Agreement. Im letzteren beteiligte sich die Schweiz in den Projekten Biomass Combustion, Biomass Gasification und Anaerobic Digestion of MSW. Sie stellt Experten zur Verfügung, die für den Informationsfluss in "beiden Richtungen" verantwortlich sind. Die genannten Projekten laufen noch bis 2000. Verschiedene Schweizer Experten haben an wichtigen internationalen Konferenzen Fachbeiträge geliefert. Schliesslich bestehen auch regelmässige Kontakte mit dem EU/ALTENER-Programm.

Umsetzung in die Praxis, P+D-Projekte

Die Umsetzung erfolgte mittels Publikationen, Fachartikeln, Vorträgen, Tagungen, Seminaren. Öffentlichkeit und Fachleute wurden dabei über den Stand von Forschung, Entwicklung und Demonstration in verschiedenen Biomasse-Teilbereichen informiert z.B.: Workshop an der FAT über Nachwachsende Rohstoffe; diverse technische Biogastagungen sowie ein 2-tägiger Biogas-Workshop; PACER-Seminar Biogas; Seminar Vergasung (mit grosser internationaler Beteiligung), zahlreiche Veranstaltungen im Rahmen der Beschleunigungsaktion "Energie aus Vergärung".

Hinzuweisen ist auf die Gründung der Einfachen Gesellschaft "Biogas Forum" (28. Oktober 1997), welche mit allen zu Gebot stehenden Mitteln die Biogasnutzung fördern wird. Im Rahmen des Investitionsprogrammes ENERGIE 2000 werden – ab 1. Februar 1998 – neu auch Biogasanlagen subventioniert (Kontaktstelle: P. Finkh, Zürich, 01 632 76 76).

a) Biomasse verbrennen und vergasen

Verbrennungsregelung an einer Stückholzfeuerung [25]: An einem Stückholzbrenner-Bausatz
mit unterem Abbrand für das Hafnergewerbe ist eine
Leistungs- und Feuerungsregelung auf der Basis der
Fuzzy-Technologie angepasst worden. Sie soll
zusätzlich zum Bedienungskomfort die Schadstoffemissionen reduzieren und die Verbrennungsleistung
optimieren. Im anschliessenden zweiten Teil dieses
Projektes wurden in einem Feldversuch fundierte
Daten erfasst und eine Rücklaufhochhaltung und
Restwärmenutzung in die Verbrennungsregelung
integriert.

Im Projekt Innovationsimpuls Klein-Schnitzelfeuerung [26] wurde mit einem Industriepartner eine Feuerungsanlage ausgebildet. Das Herz der Anlage besteht einerseits aus dem neuentwickelten Heizkessel (6-18 kW Leistung) und andererseits aus der Steuerung. Die Leistungsregulierung ist im Bereich von 100% bis 30% möglich. Zur wesentlichen Verbesserung des Jahresnutzungsgrades und Bedienungskomforts dient die automatische Zündung und eine Zugunterbrechungsklappe zur Restwärmenutzung.

In einem Furnier- und Sägewerk wurde von einem Contractor eine mit **Holz betriebene WKK-Anlage** [27] realisiert. Installiert wurde eine Vorschubrostfeuerung mit gestufter Verbrennung und Low-NOx-Verbrennungstechnik. Die Stromerzeugung erfolgt mit einem 2-Zylinder-Spilling-Dampfmotor von 370 kW Leistung. Der erzeugte Strom deckt einen Teil des hohen Strombedarfs der Furniertrockner.

Im weiteren wurden kleinere P+D-Projekte betreffend Betriebsoptimierungen und Erfolgskontrollen, sowie ein Heizlabor zu Schul- und Demozwecken an der Schweizerischen Ingenieur- und Technikerschule für die Holzwirtschaft (SISH) und Messungen an einer neuartigen Schamotte, einem optimierten Kleinkachelofen und einem verbrennungsoptimierten Kessel unterstützt.

Im Bereich der Förderung der Holzenergie im Rahmen von ENERGIE 2000 wird weiterhin ein flächendeckender Informations- und Beratungsdienst aufrechterhalten, sowie Öffentlichkeitsarbeit und eine Beschleunigungsaktion zum Initiieren von Holzfeuerung betrieben. Es werden Projekte unterstützt, die zur Qualitätssicherung und Wirtschaftlichkeit der Holzenergie und deren Wärmenetze beitragen.

b) Tier- und Pflanzenabfälle vergären

Die **Regionale Kompostier- und Vergäranlage** "**Allmig**" (Baar, [28]) hat nun 2 volle Betriebsjahre hinter sich. Bei voller Auslastung der Gärlinie ist die Gesamtanlage praktisch energieautark.

Installation régionale de traitement par méthanisation des déchets organiques du Chablais et de la Riviera [29]: Diese erste grosse Vergärungsanlage in der Romandie (10 bis 14 000 Jahrestonnen, 25 Gemeinden angeschlossen) ist eine DRANCO-Anlage und wird voraussichtlich im 1. Quartal 1999 in Betrieb genommen werden.

Vergärungsanlage in der Tiermehlfabrik Bazenheid [12]: Das Hauptziel, die Reduktion der Geruchsemissionen, konnte erreicht werden. Eine rege Umsetzungstätigkeit hat stattgefunden.

Die Co-Vergärung von Festmist und verschiedenen landwirtschaftlichen Abfallprodukten in einer Flüssigbiogasanlage (Thayngen [16]) sowie die Co-Vergärung von Hühnermist und festen Abfallstoffen in einer landwirtschaftlichen Biogasanlage

(Süderen [16]) haben den Nachweis erbracht, dass Feststoffe, die sich gut mit Gülle vermischen lassen, in bestehenden Flüssigbiogasanlagen ohne grössere Anpassungsarbeiten vergoren werden können.

Der Bau und der Betrieb der **Biogasverbundanlage Frauenfeld** (eine gemeinsame Biogasanlage für drei Landwirtschaftsbetriebe, [30]) erbrachte sehr gute Betriebsergebnisse, wies aber nach, dass die Wirtschaftlichkeit nur dank betriebsfremdem Bioabfall möglich ist.

c) Nachwachsende Rohstoffe umwandeln

Mit der **Rapsmethylester-Anlage in Etoy** [31] besitzt die Schweiz nun eine erprobte, funktionstüchtige Anlage zur Gewinnung von Biodiesel (vgl. *Titelbild!*).

Beurteilung 1997 und Perspektiven für 1998

Die breit gefächerten Programme für Holz und Biomasse konnten wie geplant durchgeführt werden. In der Verbrennungsforschung von Holz gehört die Schweiz zu den führenden Staaten. Das Schwergewicht liegt bei der Demonstration und der Marktunterstützung. Bei der Vergasung (Holz und übrige Biomasse) kommt man stetig voran. Bei der Verbrennung von Energiegras ist die Umsetzung erst teilweise erfolgt. Vergärung von Biomasse: Festigung des Wissensstandes, insbesondere im Bereich der sog. Co-Vergärung.

Die zwar positiven Resultate der Forschungs- und Demonstrations-Aktivitäten werden in ihrer Auswirkung geschmälert, sinkt doch der reale Konsumentenpreis für nicht erneuerbare Energien immer noch (real ist der Konsumentenpreis für Heizöl in den letzten 10 Jahren, 1986 bis 1996, um 28% gesunken).

Die Arbeiten 1998 werden die Konzeptziele 1999 weiterverfolgen: Kontinuität ist nötig. In finanzieller Hinsicht stehen zwar leicht abgeschwächte Mittel zur Verfügung.

Projektliste

F+E-PROJEKTE

- [1] Th. Nussbaumer, Verenum, Zürich: Low NOx-Holzfeuerung (JB ENET 9753890 und 9753891) SNCR- und SCR-Verfahren bei Holzfeuerungen (JB ENET 9755082) Abgaskondensation bei Holzfeuerung (JB, ENET 9758108)
- [2] Ph. Hasler et al., VERENUM, Zürich: Evaluation of Gas Cleanig Technologies for Small Scale Biomass Gasifiers (SB)
- [3] Kant. Fachstelle für Energie / Amt für Umweltschutz, *Luzern*: *Energetische Nutzung von Biomasse* (SB)
- [4] L.C. de Sousa u. S. Stucki, PSI-Villigen: Einfluss von Schwermetallen und Chlor auf die Vergasung von Altholz und ähnlichen Abfällen (JB, ENET 9755229)
- [5] W. Etschmann, HYDROTEST, Emmenbrücke: Vergasung verschiedener Holzfraktionen mit einem Doppelfeuervergaser (SB)
- [6] R. Bühler, HOVERGA, *Maschwanden: Festbettvergaser für SGF (Standardized Gasifier fuel)* (JB, ENET 9754959)
- [7] H. SHARAN, Seuzach: Vergasungsversuche mit Biomasse geringer Dichte aus der Schweiz in einem Zyklon-Vergaser in Bangalore, Indien (JB, ENET 9758819)
- [8] C. Bruch u. Th. Nussbaumer, LTNT / ETH- Zürich: Auslegungsgrundlagen für Holzfeuerungen (JB, ENET 9758890)
- [9] Th. Nussbaumer, LTNT / ETH-Zürich: Verbrennung und Vergasung von Energiegras und Feldholz (JB, ENET 9750367 und 9750368)

- [10] Ph. Morf u. Th. Nussbaumer, LTNT / ETH-Zürich: Teer- und Partikelgrössenverteilung bei der Verbrennung und Vergasung von Biomasse (SB und JB, ENET 9761339 und. 9761340)
- [11] P. Giordano, Centre de Compétence *Châtel-St-Denis* c/o MONNARD, *Châtel-St-Denis*: *Production d'énergie à partir du bois* (JB, ENET 9753313)
- [12] K. Egger, NOVA-ENERGIE, Tänikon: Kleine, schlüsselfertige Biogasanlage (Phase II, SB) Betriebliche Abwasserreinigung Bazenheid SG (SB)
- [13] A. Wellinger, NOVA-ENERGIE, Ettenhausen: Prozessverhalten von in der Schweiz eingesetzten MSW-Gärsystemen unter dem Einfluss steigender Anteile an Küchenabfällen (JB, ENET 9761159)
 PC-Programm zur Berechnung der Biogasproduktion (JB ENET 9757307)
- [14] K. Egger u. U. Meier, INFOENERGIE, FA-Tänikon: Entwicklung eines Anlagenkonzeptes für die Vergärung von häuslichen Abfällen im ländlichen Raum (SB)
- [15] F. Dinkel, *Basel*, und U. Wolfensberger, FA *Tänikon*: *Beurteilung nachwachsender Rohstoffe in der Schweiz in den Jahren 1993 1996* (SB)
- [16] U. Baserga, FA-Tänikon: Vergärung von Extensogras-Silage und Heu in einer Feststoff-Pilotanlage und einer Landwirtschaftlichen Flüssigbiogasanlage (SB) Co-Vergärung von Festmist und verschiedenen landwirtschaftlichen Abfallprodukten in einer Flüssigbiogasanlage (SB) Co-Vergärung von Hühnermist und festen Abfallstoffen in einer landwirtschaftlichen Biogasanlage (SB)
- [17] J-L Hersener et al., FA-Tänikon: Projekt Energiegras/Feldholz (SB) Pflichtenheft Energiegrasfeuerung (SB)
- [18] M. Glauser, BIOL-CONSEILS, Neuchâtel: Co-digestion de déchets organiques (JB, ENET 9762379)
- [19] Y. Membrez, EREP, *Aclens*: *Production de biogaz à partir de déchets organiques humides* (JB, ENET 9763366)
- [20] H. ENGELI, Neerach: Stand der Technik und Einsatzmöglichkeiten von Membranverfahren bei der Vergärung von Abwässern, Phase I (JB, ENET 9763369)
- [21] A. Joss u. W. Edelmann, ARBI, Maschwanden: Einfluss der Zugabe von Sauerstoff zur Hydrolyse beim zweistufigen anaeroben Abbau von biogenen Abfallstoffen (JB, ENET 9758427)
- [22] R. Bühler, I.G. HOLZENERGIE, Maschwanden: Energie aus Holz Vergleich der Verfahren zur Produktion von Wärme, Strom und Treibstoff aus Holz (SB)
- [23] W. EDELMANN und K. SCHLEISS, Maschwanden: Ökologischer und energetischer Vergleich von Vergärung, Kompostierung und Verbrennung fester biogener Abfallstoffe (JB, ENET 9763662)
- [24] F. Dinkel, CARBOTECH, Basel: Treibstoffe aus Biomasse (JB, ENET 9762900)

P+D-PROJEKTE

- [25] C. Chiquet, UNES HANDELS, Ormalingen: Verbrennungsregelung an einer Stückholzfeuerung für Ofensetzer (SB)
- [26] A. Jenni, M. Wiget, I/E/U, Liestal: Innovationsimpuls Klein-Schnitzelfeuerung (SB)
- [27] Holzenergie-Bulletin, Mitteilungsblatt der Vereinigung für Holzenergie, Zürich
- [28] H. Brotschi, A. MÜLLER, *Baar. Regionale Kompostier- und Vergäranlage "Allmig"* (JB, ENET 9750764)
- [29] C. Martin, Service des affaires intercommunales, Vevey: Construction d'une installation régionale de traitement par méthanisation des déchets organiques du Chablais et de la Riviera (JB)
- [30] T. Böhni, ENERGIE & UMWELT, Frauenfeld: Biogasverbundanlage Frauenfeld (SB)
- [31] M. Rinaldi, FA-Tänikon: Schweizer Pflanzenöleter aus Etoy als Dieseltreibstoff (JB)
 - (JB) Jahresbericht 1997 vorhanden
 - (SB) Schlussbericht vorhanden

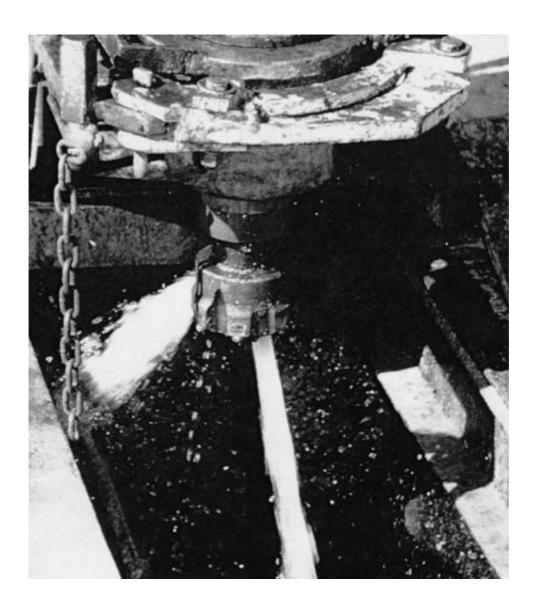
Excerpt from "ENERGY RESEARCH 1997", Editor: L. Dubal Swiss Federal Office of Energy http://www.admin.ch/bfe/

GEOTHERMIE

Überblicksbericht zum Forschungsprogramm 1997

Harald L. Gorhan

harald.gorhan@ewi.ch



Bohrkrone eines wasserbetriebenen Imlochhammers

Zirkulationswasser wird mit Hochdruck (bis 180 bar) durch dieses neuartige Bohrwerkzeug gepumpt. Dadurch werden Bohrgeschwindigkeiten erzielt, die mehr als 50% über denjenigen von konventionellen Anlagen liegen.

Programmschwerpunkte und Ziele für 1997

Der weitaus grösste Beitrag zur geothermischen Wärmeproduktion in der Schweiz wird durch Erdwärmesonden beigesteuert. Die Schweiz weist weltweit pro Kopf die grösste Dichte an Erdwärmesonden auf; etwa 20'000 Anlagen sind bereits in

6'383

Betrieb. Der Erfolg der untiefen Geothermie wäre nicht möglich ohne wirtschaftlich und technisch zuverlässige Wärmepumpen. Etwa 40% aller Wärmepumpen nutzen Erdwärme als Wärmequelle.

 Zum Vergleich (1996)
 GWh

 Sonne
 198

 Umweltwärme
 826

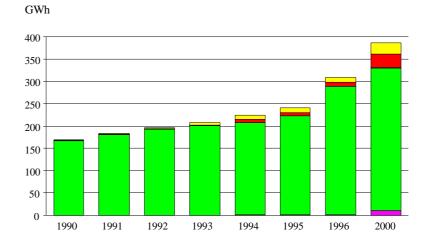
 davon Geothermie
 309

 Biomasse
 3641

 Abfall
 1'471

 Abwasser
 247

Total



Systeme	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	2000
Energiepfähle	0.0	0.0	0.2	0.4	0.7	1.0	1.0	10.0
Erdwärmesonden (EWS)	167.0	181.0	192.0	200.0	207.0	222.0	287.0	320.0
Tiefe EWS (Neubohrungen, bestehende Tiefbohrungen	0.0	0.0		0.1	0.1	0.1		0.5
Aquiferbohrungen	1.0	1.0	1.0	1.0	7.0	7.0	10.5	30.5
Tunnel-Geothermie	1.0	1.0	3.0	6.0	9.0	10.0	10.5	25.0
Hot Dry Rock / Hot Wet Rock	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0
Total	169.0	183.0	196.2	207.5	223.8	240.1	309.0	386.6

Obige Darstellung zeigt die Beiträge der einzelnen geothermischen Nutzungsmethoden zum Wärmeproduktionsziel ENERGIE 2000. Ebenfalls dargestellt sind die Beiträge der verschiedenen erneuerbaren Energiequellen im Vergleich zu der insgesamt im Jahre 1996 alternativ produzierten Wärme.

Trotz aller Anstrengungen hat die Verwendung von Erdwärmesonden ihr Potential noch lange nicht ausgeschöpft. Um auch verstärkt bei Heizungssanierungen, das heisst beim Ersatz von alten Öl- und Gasheizungen eingesetzt zu werden, müssen die Investitionskosten für die Erstellung von Erdwärmesonden in Zukunft weiter gesenkt werden.

Das eigentliche Schlüsselprojekt der tiefen Geothermie bildet die Fortsetzung der Forschungsstudie "Deep Heat Mining" (früher als Hot Dry oder Hot Wet Rock - Technologie bezeichnet).

Diese durch den PSEL mitfinanzierte Studie beschäftigte sich in der Berichtsperiode mit Standort-evaluationen und mit der Suche nach Finanzierung / Trägerschaften für die nachfolgenden, in finanzieller Hinsicht wesentlich aufwendigeren Untersuchungsphasen.

Die bisherigen Ergebnisse sind sehr erfolgversprechend und haben auch international grosse Anerkennung gefunden. Dies konnte durch enge Mitarbeit beim *IEA-Geothermal Implementing Agreement on Hot Dry Rock* [7] erreicht werden, aus dem auch aus Schweizer Sicht wertvolles *know- how* gewonnen werden konnte.

1997 durchgeführte Arbeiten und erreichte Ergebnisse

UNTIEFE GEOTHERMIE

a) Erhöhung der Wirtschaftlichkeit geothermischer Bohrungen [1]

Eine Erhöhung der eingangs erwähnten Wirtschaftlichkeit von Erdwärmesonden-Anlagen ist in erster Linie durch Verminderung der Bohrpreise zu erreichen, denn letztere stellen einen der wichtigsten Kostenfaktoren bei der Planung von EWS-Anlagen dar. Bei den Bohrkosten wiederum ist der Bohrfortschritt der entscheidende Kostenfaktor; je rascher eine Bohrung abgeteuft werden kann, um so billiger kommt diese infolge von Einsparungen bei Personalkosten.

Des weiteren ist die Vereinfachung und Verkleinerung von Bohrgeräten wichtig, um bei Heizungssanierungen in dicht überbautem Gelände, das heisst, auch unter beschränkten Platzverhältnissen, Erdwärmesonden erstellen zu können.

Bei dem erstmalig in der Schweiz zur Anwendung gebrachten wasserbetriebenen Imlochhammer (siehe Foto Titelseite) darf tatsächlich von einem Durchbruch in der Bohrtechnologie gesprochen werden. Dieses Gerät, ursprünglich in Schweden für den Bergbau konzipiert, konnte nun auch für eine Geothermiebohrung (Weissbad) mit grossem Erfolg eingesetzt werde. Es besteht berechtigte Hoffnung, dass die derzeit bereits recht tiefen Bohrmeterpreise nochmals deutlich gesenkt werden können.

b) Lebensdauer von Erdwärmesonden in Bezug auf Druckverhältnisse und Hinterfüllung [2]

Bei neuen Erdwärme-Installationen geht die Tendenz eindeutig hin zu grösseren Sondenlängen. Sondentiefen von mehr als 200 m sind heute bereits keine Seltenheit. In derartigen Tiefen ist die Druckbelastung auf die Sonde beträchtlich, was besondere Anforderungen an die Dichtigkeit der Zirkulationssysteme stellt und damit auch die Lebensdauer der Anlage beeinflussen kann.

Des weiteren werden erfahrungsgemäss bei vielen Anlagen die heute üblichen Erdwärmesonden thermisch überlastet, was zum Teil auf überdimensionierte Wärmepumpen zurückgeführt werden kann. Bei Überlastung gefriert die Hinterfüllung einer Erdwärmesonde. Infolge von Gefrier-Tau-Zyklen kann es dann zu Schrumpfungsprozessen in der Hinterfüllung kommen, bzw. im Extremfall zum Versagen der

Anlage führen. Praktische Feldmessungen, kombiniert mit Computer Simulationen, sollen hier Klarheit schaffen.

c) Empfehlungen für Energiepfahlsysteme [3]

Mit finanziellen Mitteln des BFE wurden anfangs der neunziger Jahre fünf Energiepfahl-Anlagen erstellt; die Schweiz erbrachte bei der Entwicklung dieser Nutzungstechnologie erhebliche Pionierleistungen.

Das Besondere an Energiepfahlanlagen ist deren ökologisch und wirtschaftlich interessante Doppelnutzung. Die bereits für die Fundation eines Gebäudes nötigen erdberührenden Betonteile können gleichzeitig auch zur Energiegewinnung herangezogen werden. In anderen Worten, die bei schlecht tragfähigem Baugrund für die Standfestigkeit des Gebäudes notwendige Tiefen- oder Pfahlfundation wird zusätzlich mit Rohrschlangen zur Energiegewinnung ausgerüstet und über einen Wasserkreislauf (oft mit Frostschutz-Zusatz) an das Heiz und/ oder Kühlsystem angeschlossen. Über dieses Rohrsystem wird das Erdreich unter dem Gebäude im Winter als Wärmelieferant für die Wärmepumpenheizung und/ oder im Sommer direkt, d.h. ohne Kältemaschine, als Kältelieferant für eine sanfte Klimatisierung oder Prozesskühlung verwendet (free cooling-Verfahren).

Aufgrund der gemachten Erfahrungen konnten Schweizer Firmen bereits grössere Projekte in Deutschland gewinnen. Bei der geplanten Flughafenerweiterung in Kloten (*Dock Midfield*) sollen ebenfalls Energiepfähle zur umweltschonenden Klimatisierung eingesetzt werden.

Von den fünf eingangs erwähnten Energiepfahlanlagen liegen nun mehrjährige Messreihen über Heiz- und Kühlperioden vor. Anhand von genauen Auswertungen soll eine auf die Praxis ausgerichtete Wegleitung für Planer und Architekten erarbeitet werden.

TIEFE GEOTHERMIE

a) Praxisbezogene Aquifer-Bewirtschaftung [4]

Je tiefer man in die Erde vordringt, desto wärmer ist es dort bekanntlich. Liegt in einer technisch wirtschaftlichen Tiefe ein Aquifer vor, dann lässt sich dieses Thermalwasser direkt als Energiequelle nutzen. Falls nur Warmwasser gepumpt, aber dann nicht mehr in den ursprünglichen Aquifer zurückinjiziert wird, spricht man von einer *Singlet*anlage, anderenfalls von einer *Doublette* (wie zum Beispiel in Riehen, dem ersten geothermischen Heizkraftwerk in der Schweiz, das demnächst auch Wärme nach Lörrach liefern wird).

Beim Entzug von Thermalwasser aus Aquiferen werden hydraulische und zum Teil auch thermische Prozesse in Gang gesetzt, die die langzeitige Verfügbarkeit der Warmwasserproduktion in Frage stellen können. Insbesondere können sich benachbarte Bohrungen beeinflussen. Im Rahmen einer Forschungsstudie wurden für drei Anlagen (Riehen, Kreuzlingen und Konstanz, Schinznach Bad) Finite-Elemente-Modelle erstellt und damit die zeitliche Entwicklung der geothermischen Leistung überprüft. Die Modellrechnungen liefern auch die maximal möglichen Förderraten.

b) Geothermische Eigenschaften Schweizer Molassebecken [5]

Die bereits in einem Vorläuferprojekt gewonnen geothermischen Kennwerte (Wärmeleitfähigkeiten, spezifische Wärmekapazitäten und Gesteinsdichten) sollen durch flächendeckende Zusatzmessungen ergänzt werden. Diese Daten werden als Input zur

Entwicklung eines einfach zu bedienenden PC-Programmes für Planer von Erdwärmesondenanlagen benötigt. Dieser Teil des Projektes wird durch den Programmleiter "Forschung Umgebungswärme, Abwärme und WKK" geleitet.

c) Deep Heat Mining [6]

Dieses Schlüsselprojekt der tiefen Geothermie bildete die Fortsetzung der im letzten Jahr begonnen Forschungsstudie "Deep Heat Mining".

Wasserdampf aus geothermischen Feldern wird seit Jahrzehnten weltweit in Ländern mit hohen Temperaturgradienten (Wärmeanomalien) zur Strom- und Wärmeproduktion genutzt. *Deep Heat Mining* ist eine Adaption dieser konventionellen Technologie für die Anwendung auch in Gebieten mit normalen geothermischen Tiefengradienten, wie dies überwiegend in der Schweiz der Fall ist.

1997 konnten – im Hinblick auf die Realisierung einer entsprechender Anlage – die folgenden "Meilensteine" erreicht werden:

- Finanzierung: Entwurf eines Finanzierungsmodelles durch Sponsoring
- Trägerschaft: Diverse Kontakte mit der Industrie und Behörde (Energiefachstellen)
- Standortevaluation: Steckbriefe und Kartenausschnitte für 10 mögliche Standorte
- Information/ PR: Artikel in der Zeitschrift "Der Monat" des Schweizerischen Bankvereins (in d,f,i) und Manuskript auf Anfrage des "Schweizer Journals"
- Begleitende Arbeiten: Bohrkostenanalysen, exemplarisches Bohrprogramm und Rechenmodell zur Wirtschaftlichkeits- Simulation (Sensitivitätsanalyse von Kostenfaktoren)
- Internationale Kontakte: Vorstellung des Australischen Hot Dry Rock-Projektes (Australian National, University) und laufende Kontakte mit dem SOCOMINE-Staff in Soultz-sous-Forêts.

Nationale und internationale Zusammenarbeit

Auch in der jetzigen Berichtsperiode fand eine intensive Zusammenarbeit mit Bohrfirmen, Erdwärmesonden-Herstellern, Besitzern von Kurund Thermalbädern, mit Hochschulen und Höheren Technischen Lehranstalten statt. Dies sowohl in der deutsch-, (romanisch-) als auch in der französischsprachigen Schweiz. Kontakte im Tessin erfolgten mit der Behörde und diversen Ingenieurbüros.

In diesem Zusammenhang erwähnenswert sind mehrere Vorträge, die von Projektnehmern in verschieden Orten der Schweiz gehalten wurden. Von diversen Projektnehmern wurden zudem Presseartikel und geothermische Beiträge für Fachzeitschriften verfasst.

Reger internationaler Informationsaustausch erfolgte im Rahmen der bereits erwähnten Mitarbeit beim *IEA-Geothermal Implementing Agreement (GIA)*.

Das GIA für breitangelegte, internationale F&E-Arbeiten wurde im Frühjahr 1997 begonnen. Bislang nehmen Australien, England, Griechenland, Japan, Mexiko, Neuseeland, die Schweiz, USA und die EU daran teil. Demnächst sollen Italien und Island folgen. Das GIA hat gegenwärtig drei Projekte: I) Environmental Impacts of Geothermal Energy Development, II) Hot Dry Rock und III) Deep Geothermal Resources (>3000m). Weitere Projekte sind in Vorbereitung. Die Schweiz spielt eine wichtige Rolle beim GIA und L. Rybach, ETHZ, wurde zum Chairman des GIA Executive Committee gewählt.

Des weiteren erfolgten erste, vielversprechende Kontakte mit Geothermiefachleuten in Australien, Japan und den GUS-Staaten. Ein besonders enger Erfahrungsaustausch besteht mit Fachkollegen aus Deutschland und Frankreich, teils im Zuge von Veranstaltungen (z.B. mehrere Schweizer Vorträge an der Tagung "Erdgekoppelte Wärmepumpen" in Giessen, an der 1. Uracher Geothermietagung und am "Symposium Geothermie-Chancen und Grenzen einer Regenerativen Energie" in Stuttgart), teils per Mitarbeit an ausländischen Projekten (z.B. Hot Dry Rock-Anlage in Soultz-sous-Forêts im Elsass) oder Besuchen aus dem Ausland (z.B. Erfahrungsaustausch mit Fachleuten aus Baden-Württemberg, anlässlich einer Besichtigung der geothermischen Anlagen in Riehen). Nicht zu vergessen ist die enge Zusammenarbeit der Schweizerischen Vereinigung für Geothermie (SVG) mit der Deutschen Geothermischen Vereinigung e.V. (GTV).

Zur Zeit in Arbeit befindet sich eine komplette Neuauflage der nun etwas überholten BFE Publikation "Erdwärme in der Schweiz – Vorkommen und Nutzungsmöglichkeiten" aus dem Jahre 1990. Zuhanden von Planern, Architekten, Entscheidungsträgern bei der Behörde etc., ist die Erstellung einer praxisorientierten Informationsbroschüre über sämtliche, heute gängigen geothermischen Nutzungsmöglichkeiten vorgesehen. Diese Informationsquelle soll auch über das Internet zugänglich gemacht werden. Nach einer gründlichen Vernehmlasssung, unter anderem durch die Schweizerische Vereinigung für Geothermie und die Fördergemeinschaft Wärmepumpen Schweiz (FWS), ist der endgültige Druck für Januar 1998 vorgesehen.

Die Schweizerische Vereinigung für Geothermie (SVG) war und ist in verschiedensten Bereichen sehr

aktiv. Als Beispiel sei hier die Organisation der European Geothermal Conference Basel zu erwähnen, die zusammen mit Deutschen, Italienischen und Französichen Fachverbänden im Jahr 1999

durchgeführt werden soll.

1997 wurden vom SVG drei Bulletin-Nummern veröffentlicht, die auch im Ausland Beachtung fanden.

Transfer in die Praxis

Als ausgewählte, typische Beispiele für gelungenen Transfer der Forschung in die Praxis, sind hier einige, zur Zeit laufende P+D-Projekte angeführt:

- Lebensdauer von EWS in Bezug auf Druckverhältnisse und Hinterfüllung;
- Machbarkeit der Nutzung von vier ausgewählten Tiefbohrungen für geothermische Pilotanlagen (Phase 2);
- Nutzung des warmen Wassers der Bohrung Berlingen-3 als Trink/Tafelwasser und zur Wärmerückgewinnung;
- Demonstrationsprojekt Erdwärme-Tiefensonde Weissbad (Mitfinanzierung NOK);
- Geothermische Wärmenutzung in Riehen;
- Tiefenerdwärmesonde Weggis (Mitfinanzierung durch das PSEL);
- Messprogramm f
 ür das Projekt "W
 ärmenutzung aus dem Rickentunnel" (Mitfinanzierung NOK);

- Sfruttamento dell'acqua della galleria autostradale del San Gottardo a scopi termici;
- Tunnelwassernutzung Mappo-Morettina;
- Geplant f
 ür das n
 ächste Jahr: Gewinnung geothermischer Energie aus dem Hauenstein Basistunnel (Mitfinanzierung durch die ATEL);
- Géothermie Grand-St-Bernard;
- Wärmegewinnung aus Thermalwasser (Bad Schinznach);
- Exploitation du forage géothermique JAFE de Saillon;
- Forage géothermique de Lavey-les-Bains;
- Forage géothermique d'Yverdon-les-Bains;

Alle bereits erstellten Anlagen werden laufend messtechnisch überwacht, um dann schlüssige Aussagen über deren Wirkungsgrad und Wirtschaftlichkeit machen zu können.

Bewertung 1997 & Ausblick für 1998

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

Die wichtigste Stossrichtung bei der Forschung wird auch 1998 wieder bei der *Deep Heat Mining* Forschung liegen. Dazu beigetragen haben die ermutigenden Ergebnisse bei Dampf-Produktionstests der Pilotanlage in Soultz-sous-Forêts (Elsass). Es handelt sich um einen wichtigen Schritt Richtung Stromerzeugung aus der Geothermie in naher Zukunft.

Weitere Schwerpunkte für das kommende Jahr betreffen effektive Feldversuche bei der Anwendung der erwähnten Imlochhammer-Bohrtechnik sowie Berechnungen und Feldversuche bei der Erstellung von tiefen Erdwärmesonden bis 500 m. In diesem Zusammenhang werden auch wichtige Ergebnisse aus dem Forschungsprojekt "Geothermische Eigenschaften des Schweizer Molassebeckens" erwartet. Die Idee dabei ist die Bereitstellung eines einfachen

PC-Werkzeuges für den Praktiker, um bei der Planung von Erdwärmesonden-Anlagen und von geothermischen Speichern die relevanten geothermischen Kennwerte rasch aus dem erarbeiteten Datensatz ermitteln zu können. Gemeinsam sollen diese Forschungsarbeiten zur wirtschaftlichen Nutzung von höheren Quellentemperaturen mittels Vordringen in grössere Tiefenbereiche, beitragen.

Zu guter Letzt ist für das nächste Jahr die Durchführung einer kleineren Studie zur genauen Erfassung von installierter Leistung Energieproduktion sämtlicher geothermischer Anlagen der Schweiz geplant. Bis heute bestehen diesbezüglich nur grobe Schätzungen und indirekte Rückschlüsse, wie zum Beispiel per Erdwärmesonden-Prozent, Verkaufszahlen von Wärmepumpen oder von PVC-Rohren. Gänzlich in der Statistik fehlen bis dato entsprechende Leistungsangaben der direkten Wärmenutzung von Grundwasser. Der Entzug von Erdwärme kann als Teil der Geothermie Nutzung angesehen werden.

Liste der 1997 gelaufenen Projekte

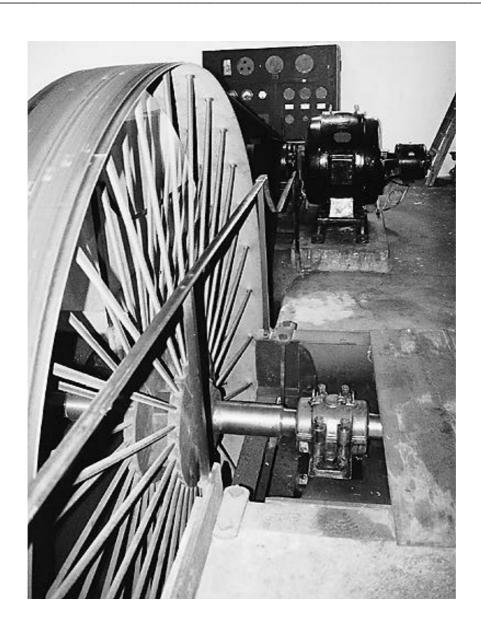
- [1] FORALITH, Gossau: Erhöhung der Wirtschaftlichkeit geothermischer Bohrungen (SB)
- [2] GRUNDAG, Gossau: Lebensdauer von Erdwärmesonden in Bezug auf Druckverhältnisse und Hinterfüllung (JB)
- [3] DGC-LASEN / EPF-Lausanne: Recommendations pour la réalisation d'installations avec pieux échangeurs (Empfehlungen für Energiepfahlsysteme) (SB)
- [4] Institut für Geophysik / ETH-Zürich: Praxisbezogene Aquifer- Bewirtschaftung (SB)
- [5] GEOFORM, Winterthur: Geothermische Eigenschaften Schweizer Molassebe cken (Tiefenbereich bis 500 m), Teil 1, Geothermie (JB)
- [6] Arbeitsgemeinschaft DEEP HEAT MINING, Zürich: Deep Heat Mining. Anwendung der Hot Dry- und Wet Rock Technologie zur Strom- und Wärmeproduktion in der Schweiz, Phase ll (a)- Machbarkeit (SB)
- [7] Arbeitsgemeinschaft POLYDYNAMICS ETH-Zürich CHYN HÄRING GEOPROJECT, Zürich Neuchâtel: Teilnahme am Geothermal Implementing Agreement der IEA (Annex Ill, Hot Dry Rock, Subtask C) (SB)
 - (JB) Jahresbericht 1997 vorhanden
 - (SB) Schlussbericht vorhanden

KLEINWASSERKRAFTWERKE

Überblicksbericht zum P+D-Programm 1997

Hanspeter Leutwiler

iteco@iteco.ch



Bestehende Bausubstanz und Wasserbauten nutzen

Ein wichtiges Ziel des Programms Kleinwasserkraftwerke ist die Reaktivierung und Modernisierung stillgelegter und veralteter Anlagen. Gesucht sind neue, kostengünstige und einpassungsfähige Lösungen, vor allem für Niederdruckanlagen.

Übersicht

Im Jahresplan 1997 wurden die Ziele gesetzt, die Förderung der Kleinwasserkraftwerke mittels Beiträgen an Vorstudien und an Pilot- und Demonstrationsanlagen mit langfristiger Kontinuität zu reaktivieren. Der Schwerpunkt sollte auf gezielt ausgewählte Demonstrationsanlagen gesetzt werden. Nach dem Holprinzip sollten auch weitergehende Initiativen aus der Wirtschaft, von den Behörden oder technischen Schulen gefördert werden.

Wie vorausgesehen, entwickelt sich die Förderung von Anlagen nur sehr zögerlich: Wirtschaftlichkeit, Probleme mit Bewilligungen und lange Projektzyklen sind Hemmnisse, zu denen sich mit der kommenden Strommarktöffnung und anhaltenden wirtschaftlichen Stagnation unsichere äussere Bedingungen gesellt haben. Es wurden vornehmlich Niederdruckanlagen gefördert, wo der grosse Druck der Wirtschaftlichkeit nach neuen kostensparenden Techniken ruft. Zentral waren dabei drei Themen von Einfachbauarten: drehzahlvariable Turbinen zum Einsparen von mechanischen Regulierorganen, Heber-Einbauweisen zum Einsparen von Abschlussorganen und Kompakt-

bauweise für Pico-Kraftwerke. In diesen Belangen konnte der Beginn der Aktivierung mit Demonstrationsanlagen und der beratenden Unterstützung von Entwicklungen eingeleitet werden.

Angegangen wurden interne Ziele wie die Qualitätsverbesserung der Vorstudien und das bessere Erreichen der Sprachregionen. Mit dem 1997 zu Ende gehenden DIANE Projekt Klein-Wasserkraftwerke hat sich das Programm Kleinwasserkraftwerke strukturell und inhaltlich auf die Übernahme der Koordination der Förderung und auf eine breitere Abstützung in der Wirtschaft gerüstet. Es führte eine Strategieanalyse und einen Branchenworkshop durch, und bereitete seinen Internetauftritt vor. Es wurde ein umfassender Homepageentwurf für die vielen Unterlagen für die Information & Beratung erstellt. Das Programm finanzierte Vorarbeiten für ein zukünftiges Forum Wasserkraft Schweiz, welches aus den Aktivitäten für den sehr erfolgreichen Ausstellungskongress "kleine und mittelgrosse Wasserkraftanlagen" in Bern herauszuwachsen begann.

Projektziele 1997

Ein **Entwicklungsbedarf** für die Technik der Kleinwasserkraftwerke wurde wie folgt diagnostiziert und als mittelfristiges Ziel aufgenommen:

- Kostengünstige Picoanlagen (bis 50 kW) für Selbstinstallation und für Trink-, Abwasser- und Drainagewasserkraftwerke.
- Kostengünstige Kleinstturbinen (bis 300 kW) mit guten Wirkungsgraden und grosser Zuverlässigkeit.
- Sonderbauarten für spezielle Anwendungen, z.B. für kostengünstige Kleinstkraftwerke in Wasserleitungsnetzen und Flüssigmedien der Verfahrenstechnik mit Druckregelaufgaben für Niederstdruck-Kraftwerke usw.

Für das Jahr 1997 wurden die folgenden Ziele für die direkte Projektförderung gesetzt:

- Massvolle Reaktivierung der Bundesbeiträge im Sinne einer mittelfristigen Kontinuität, mit Schwerpunkt auf definierte Demonstrationsanlagen und auf Vorstudien.
- Besseres Erreichen der Sprachregionen.

- Vertrauensbildung der Kleinwasserkraftwerk-Branche in die Bundeshilfen.
- Optimaler Einsatz der Mittel mittels Konzentration auf die aktive F\u00f6rderung von Vorstudien und Demonstrationsanlagen unter qualitativen Gesichtspunkten.
- Reserven für die Unterstützung von Initiativen aus der Wirtschaft, den Behörden und den technischen Schulen nach dem Holprinzip, gemäss individueller Beurteilung.

Das Programm Kleinwasserkraftwerke sollte sich 1997 auf zwei Veränderungen im Umfeld vorbereiten: mit dem Ende des DIANE Projekt KleinWasserkraftwerke geht auch eine Ära umfassender indirekter Förderung und Öffentlichkeitsarbeit zu Ende. Das Programm Kleinwasserkraftwerke setzte sich im Berichtsjahr das Ziel, die ersten Schritte in Richtung einer breiteren Abstützung der Förderung der Kleinwasserkraftwerke in der Wirtschaft und bei anderen möglichen Trägern zu unternehmen und Voraussetzungen für die weitere Umsetzungen der Ergebnisse von DIANE zu schaffen.

Arbeiten und Ergebnisse

TECHNISCHE ENTWICKLUNG

Mit der Finanzierung der Turbinenentwicklung im Kleinturbinenlabor MhyLab leistet das Programm Kleinwasserkraftwerke einen wesentlichen Beitrag an die Sicherung von Qualität und Wirtschaftlichkeit von Kleinturbinen bis 1 MW.

Im Berichtsjahr wurde die Einführung eines kostengünstigen, selbstreinigenden Rechens unter-

stützt: ein auf dem Coandaprinzip der Strömungshaftung an Oberflächen beruhender Coanda Feinrechen wurde in eine Pilotanlage eingebaut und wird derzeit mit Messung und Beobachtung überprüft. Es liefen Vorabklärungen zum Entwickeln des Einsatzes drehzahlvariabler Turbinen im Niederdruckbereich von Pico-Kraftwerke – Anlagen zum Kompakteinbau in bestehende Leistungen.

DIREKTE PROJEKTFÖRDERUNG

- Allgemeine Anfragen: Es treffen wieder vermehrt telefonische und schriftliche Anfragen betreffend der Förderung von Kleinwasserkraftwerken ein. Interessierte Personen und Verbände werden informiert und die notwendigen Unterlagen (Gesuchsformulare, Merkblätter) werden diesen zugestellt.
- Merkblätter: Entsprechend der neuen Förderbeitragssituation wurden neue Merkblätter erstellt, bestehende aktualisiert und mit neuen Informationen ergänzt. Die neu ausgearbeiteten Merkblätter wurden vom BFE in die französische und in die italienische Sprache übersetzt.
- Gesuche: Die Abwicklung der Förderbeitragsgesuche wurde überarbeitet. Im Berichtsjahr sind insgesamt 26 Gesuche eingetroffen, wovon 8 P+D-Projekte, 10 Vorstudien und eine Unter-

- stützung an Öffentlichkeitsarbeit verfügt wurden. Die abgegebenen Informationen über die Wiederaufnahme der Vorstudien- und die weiterführende P+D Projektförderung zeigen eine erfreuliche Zunahme der Projekte.
- Aktivierung P+D-Anlagen: Für die Aktivierung von P+D-Projekten wurde das Merkblatt mit den Kriterien für die Einstufung als P+D-Projekt aktualisiert und mit weiteren Themenbereichen ausgebaut. Es fanden individuelle Recherchen und Betriebsbesichtigungen statt. Interessierte wurden motiviert und beraten, ihre Ideen weiter zu entwickeln, ihre Vorhaben qualitativ zu verbessern, mit Fachinstitutionen und Fachkräften zusammen zu arbeiten und sich die finanzielle Unterstützung von verschiedenen Seiten zu organisieren.

INDIREKTE FÖRDERUNG

Die folgenden Schritte dienten uns zum Einbeziehen neuer Trägerkreise und der Industrie zur Erarbeitung von Wegmarken (auch für das zu gründende Forum Wasserkraft Schweiz) sowie zur Vorbereitung der Umsetzung der vielfältigen Ergebnisse des DIANE Projektes Kleinwasserkraftwerke.

- Forum Wasserkraft Schweiz: Von einer Arbeitsgruppe wurde ein Strategiepapier für die Bildung eines "Forum Wasserkraft Schweiz" ausgearbeitet. Der Vorschlag befindet sich momentan in Vernehmlassung. Anlässlich des Workshops "Kleinwasserkraftwerke bis zum Jahr 2000" der Programmleitung wurde die Idee des Forums vorgestellt.
- Kongress kleine und mittelgrosse Wasserkraftanlagen: Über 440 eingeschriebene Teilnehmer und eine sehr gute Pressepräsenz im Vorfeld zeugen von einem grossen Erfolg des Kongresses. Die auf gut 2000 m² Fläche mit fast hundert Ausstellern aufgebaute Wasserkraftschau mit kleinen und imposanten grösseren Maschinen wurde von internationalen Fachpressevertretern als einzigartig beurteilt, und die befragten Aussteller äusserten sich sehr zufrieden. Die Ausstellung war

- ein Spiegel der vielfältigen Wasserkraftbranche, welche im Kleinwasserkraftwerkbereich im Wachstum begriffen ist. Das Programm Kleinwasserkraftwerke beteiligte sich an der Teilnehmer- und Besucherwerbung und war personell präsent.
- Öffentlichkeitsarbeit: Das Programm Kleinwasserkraftwerke hat keine eigenständige Öffentlichkeitsarbeit betrieben, sondern seine Anliegen in die Medienarbeit DIANE eingebracht. Die engere Zielgruppe wurde über "das Kleinkraftwerk", Information an Fachtagungen und am Kongress auf dem Laufenden gehalten.
- Stragegieanalyse DIANE: Um Anhaltspunkte über seine zukünftige Ausrichtung zu erhalten, hat das Programm Kleinwasserkraftwerke die Strategie des DIANE Projekts von einem unabhängigen Büro untersuchen lassen. Die wichtigsten Empfehlungen der Autoren lauten:
 - Aktivere Umsetzung mit klar definierten Produkten und Dienstleistungen
 - Beibehalten eines niederschwelligen Informationsangebotes

- Öffentlichkeitsarbeit auf "events" beschränken
- Prioritäten: Trinkwasserkraftwerke, Reaktivierungen/Erneuerungen
- Kleinanlagen und saisonal betriebene Inselanlagen
- bessere Einbindung in bestehende Strukturen, insb. Energie 2000
- Auftritt des Programmes KWK auf Internet: Um ab 1998 die Information & Beratung zu entlasten, aktuelles Sachwissen benutzergeneriert in einem Pool zu sammeln und die vielen vorliegenden Grundlagen von PACER und DIANE umzusetzen, wurde ein Prototyp für eine Homepage erstellt. Diese Seite wird 1998 fertiggestellt, mit französisch-, italienisch- und englischsprachigen Seiten ergänzt, und unter smallhydro.ch betrieben.
- Workshop "Kleinwasserkraftwerke bis zum Jahr 2000": 24 gezielt aus den verschiedensten Kreisen der Kleinwasserkraftwerke und verwandter Bereiche ausgewählte Personen haben am 31. Oktober in Olten an einem Workshop teilgenommen. Mit der dreistufigen Methodik eines sich fokussierenden Brainstormings, einem Ideen-

 markt und der Konsolidierung der Ideen wurden Vorschläge für unterstützungswürdige Projekte erarbeitet. Die wichtigsten Vorschläge waren:

Vorschläge	Bewertungs- punkte
Finanzierungsinstrumente schaffen	43
Strombörse	27
Negative Folgen des Heimfalls verhindern	24
Konstanz bei Rückliefertarifen und Wasserzinserlass schaffen	13
Turbinenentwicklung im MHyLab	13
Ausweitung der Fördermassnahmen bis 3 MW	11
Kompetenzpool auf Internet	10
Information & Beratung	9
Kantonale Reaktivierungssprogramme stillgelegter Anlagen	9

Die Detailergebnisse haben gezeigt, dass der Schuh in erster Linie bei der Wirtschaftlichkeit und Finanzierung drückt, was auch in politische Dimension führt. In zweiter Linie kommen Vorgehenshilfen und technische Fragen. Der Kurzbericht mit den Resultaten ist bei der Projektleitung erhältlich

Bewertung des Jahres 1997

1997 war ein für die Kleinwasserkraftwerke bewegtes Jahr. Auf der positiven Seite hat mit dem "Ausstellungskongress kleine und mittelgrosse Wasserkraftanlagen" vom Juni in Bern die grösste Wasserkraftausstellung stattgefunden, welche es je in Europa gegeben hat. Damit demonstrierte die Industrie ihren Willen zur Weiterentwicklung dieser Energietechnik. Auch die Politik zeigte bei der Beratung des Energiegesetzes den Willen der Schweizer, erneuerbare Energien zu fördern.

Auf der negativen Seite ist mit der kommenden Marktöffnung im Energiebereich ein faktischer Projekt- und Realisierungsstopp vor allem für grössere Kraftwerke im Besitze der Elektrizitätsverteilunternehmen eingetreten.

Wo dennoch gebaut wird, liegt der Motor einerseits im Schutz der privaten Betreiber von Kleinanlagen vor dem Strompreiszerfall durch den Energienutzungsbeschluss, andererseits im lokalen Verantwortungsbewusstsein dörflicher und städtischer Elektrizitätsversorgungen, welche zugunsten einer umweltfreundlichen Energieversorgung bereits sind,

bei der kommenden Marktöffnung wirtschaftliche Einbussen auf sich zu nehmen. Betreiber, welche vornehmlich für den Eigenbedarf produzieren, können Kleinwasserkraftwerke in vielen Fällen wirtschaftlich realisieren, insbesondere wenn der Bezugstarif hoch ist. Die Öffentlichkeitsarbeit von DIANE, im Rahmen von P+D-Projekten und in Zusammenarbeit mit Dritten hat bewirkt, dass Betreiber, welche ihre Anlagen stillgelegt oder vernachlässigt haben, heute mehrheitlich ein Reaktivieren und Erneuern / Modernisieren ins Auge fassen.

Paradoxerweise hat folglich die kommende Strommarktöffnung bei den kleineren Kraftwerken (noch?) keine sehr nachteilige Wirkung. Mit der durch die Gesuchsteller der P+D-Anlagen betriebenen Öffentlichkeitsarbeit trug das Programm Kleinwasserkraftwerke wesentlich zur politischen Wahrnehmung der Wasserkraft als wichtigster einheimischer Energieträger und zur Festigung der Position der Kleinwasserkraftwerken bei. Mit seinen Bestrebungen zur Kostensenkung hilft das Programm Kleinwasserkraftwerke den Anlagen bei künftig sinkenden Energiepreisen überleben.

Perspektiven für 1998

Für das nächste Jahr bleiben die Aufgaben, den Weg zur Förderung von Pilot- und Demonstrationsanlagen intensiver zu beschreiten, enger mit der Industrie zusammen zu arbeiten und weiter am aktiven Einbezug der Westschweiz und des Tessins zu arbeiten. Förderschwerpunkte zeichnen sich bei der Förderung der drehzahlvariablen Turbinentechnologie und bei der Markteinführung der Siphonturbinen, d.h. der Heberbauweise für Niederdruck-Kraftwerke ab. Die Turbinenentwicklung im MHyLab wird weiterhin unterstützt. Das "Forum Wasserkraft Schweiz" soll gegründet werden und seine Tätigkeit aufnehmen.

Letztlich muss jedoch auch die breitere Umsetzung der neuen Ergebnisse des Programmes Kleinwasserkraftwerke angegangen werden.

Interessante Aktualitäten und umzusetzende Produkte werden auf der Homepage **smallhydro.ch** bekannt gemacht, und die Information & Beratung wird fortgesetzt.

Projekte 1997

Die folgenden neuen P+D-Gesuche wurden bewilligt:

- Kleinwasserkraftwerk am Dorfbach, Bätterkinden
- Kleinwasserkraftwerk Mühle Derendingen
- Abwasserkraftwerk Turatscha
- Erneuerung Wehr Geisslibach
- Kleinwasserkraftwerk Wannenfluh, Rüderswil
- Wasserturbinenanlage Holzfabrik Perlen
- Kleinwasserkraftwerk Lochwasser, Brugg

Für die Grundlagenförderung wurden die folgenden Projekte unterstützt:

- P+D-Projekt COANDA Feinrechen
- MHyLab (Kleinturbinenlabor Montcherand)

WINDENERGIENUTZUNG

Überblicksbericht zum P+D-Programm 1997

Robert Horbaty

enco@spectraweb.ch



Montage der 30-kW-Windkraftanlage auf dem Titlis

Die Nutzung der Windenergie im Alpenraum stellt besondere Anforderungen an Anlagen, Standortabklärungen, Montage und Betreuung.

Zusammenfassung

Im Jahre 1997 kann eine deutliche Zunahme der Windenergie-Aktivitäten in der Schweiz verzeichnet werden:

- Dank der 1996 erarbeiteten Potentialstudie "Windenergie und Landschaftschutz" ist das Interesse an der Entwicklung von Windenergie-Projekten durch in- und ausländische Firmen stark gestiegen. Die Detailkarten der Studie wurden bereits 70 mal verkauft.
- Eine Vielzahl von Medienmitteilungen (113
 Artikel in der Tagespresse, 32 in Fachpublikationen) im In- und Ausland verdeutlichen, dass die Windenergienutzung auch bei uns von Bedeutung ist (zum Vergleich 1996: Total 22
 Artikel).
- Kantone mit grossem Windenergiepotential entwickeln Aktivitäten zur Unterstützung von Windenergieprojekten (z.B. Energierichtplan des Kantons Neuenburg, Standortabklärungen in den Kantonen Waadt und St. Gallen).
- Die Gesuche für Beiträge an Standortabklärungen haben sich vervielfacht (z.B. Grenchenberg, Frémont, St. Croix, Flumserberg).
- Die Aktivitäten in der französisch sprechenden Schweiz, mit ihrem überdurchschnittlichen Windenergiepotential, wurden stark ausgeweitet (Aufbau Infostelle "EOLE-INFO" in La Sagne, Potentialstudie auf französisch, Unterstützung des

- Energierichtplans NE, Windpark Sainte-Croix, etc.)
- Mit dem Projekt WECO (Windenergy in cold climate) ist es gelungen, die schweizerischen Windenergie-Aktivitäten in ein EU-Forschungsprogramm zu integrieren.
- Das außerordentlich grosse Interesse am ersten Windpark auf dem Mont-Crosin – insbesondere auch an der dort erzeugten Elektrizität – zeigt, dass die Nutzung dieser umweltfreundlichen Technologie auch bei uns mit grosser Akzeptanz rechnen kann.
- Mit einer "Agence éolienne" hätten Investoren aktiv an der Erschliessung des Windenergiepotentials beteiligt werden sollen. Aus mangelndem Interesse, v.a. auch seitens der Elektrizitätswirtschaft, wird dieses Projekt nicht weiter verfolgt.
- Auf dem Titlis wurde die höchstgelegene Windkraftanlage in Europa in Betrieb genommen.
- An der gut besuchten Windenergie-Tagung in St.Imier wurde die Gründung eines Windenergie-Forums in der Schweiz beschlossen.
- Mit einem Pilotprojekt bei Infrastruktur-Anlagen des VBS und einem – aufgrund von konkreten Fallbeispielen verfassten – Handbuch, werden die Kenntnisse zur Nutzung der Windenergie in der Schweiz weiter vertieft.

P+D-Aktivitäten und Ergebnisse 1997

a) Windkraftanlage auf dem Titlis

- Errichtung einer 30-kW-Windkraftanlage auf dem Chli-Titlis (Höchst gelegene Windkraftanlage in Europa, Hubschrauber-Einsatz)
- Testbetrieb und Integration in "WECO-Schweiz" (s. unten)

b) Cyber-Marketingkonzept für das Windkraftwerk Mont-Crosin

- Entwicklung eines nicht standortgebundenen, erlebnisorientierten Besucherinformationssystems, auch als Marketinginstrument für "Windstrom".
- Das Endprodukt umfasst folgende 4 Teile:
- Monitoringsystem bei den Windkraftanlagen auf dem Mont-Crosin
- Auftritt im Internet
- Landkartengestützte Windenergiesoftware MEDEA im Besucherpavillion
- Multimedia-Präsentation "Windborne 1" auf CD-ROM (wird durch Infostellen verkauft).

c) Mont-Crosin Besucherinfrastruktur

- Aufbau einer Besucherinfrastruktur für das grösste schweizerische Windkraftwerk im Berner Jura
- Vernetzung mit Solarkraftwerk Mont-Soleil durch einen Erlebnispfad. Benutzung durch mehr als 40'000 Personen, die Hälfte davon durch ausgebildete FührerInnen

d) Standortabklärungen

- Erweiterungen des Klein-Windenergieparks auf dem Grenchenberg (max. 1 MW)
- Windkraftwerk in Frémont

e) Etude Installation éoliennes Canton NE

 Festlegung von Windenergiezonen im kantonalen Energierichtplan des Kantons NE, zusammen mit der kantonalen Energiefachstelle, dem kantonalen Raumplanungsamt, den Elektrizitätswerken und den Gemeinden.

f) Windenergie bei Infrastruktur VBS

- Präsentation der Projektidee beim Amt für Bundesbauten und den Fachleuten des VBS.
- Fragebogenaktion zur Standortevaluation (erste Triage möglicher Standorte ist erfolgt).

g) Mess- und Dokumentations-Programm MUD

 Konzeptentwicklung für ein nach internationalem Standard durchgeführtes Evaluations-Programm aller Windkraftanlagen in der Schweiz.

h) WECO - Schweiz

- Ausarbeitung eines detaillierten Konzeptes zur Integration der Betriebserfahrungen mit Windkraftanlagen in der Schweiz in das EU-Forschungsprojekt "WECO, Windenergy in cold climate".
- Präsentation der schweizerischen Aktivitäten bei den EU-Organen.
- Verträge mit EU und Projektnehmer in der Schweiz.
- Start der Zusammenarbeit.

Folgende Projekte werden teilweise in Zusammenarbeit mit dem Ressort regenerierbare Energien von ENERGIE 2000 durchgeführt:

i) Infostelle Wind Deutschweiz

Die Infostelle Wind erhielt: rund 100 Anfragen. Die Annahmen (70) wurden damit deutlich übertroffen.

Rund 70 Exemplare der Potentialstudie "Windkraft und Landschaftsschutz" wurden bis jetzt verkauft. Die Nachfrage nach Detailkartenausschnitten der Studie ist gut. Für praktisch alle Gebiete, die durch die Studie als Potentialgebiete ausgewiesen werden, existieren die entsprechende Kartenausschnitte.

j) Eole-Info

- Aufbau einer Informationsstelle f
 ür Windenergie in der Romandie.
- Erarbeitung der Potentialstudie "Windenergie und Landschaftschutz" in französischer Sprache.
- Organisation einer Windenergie-Tagung in St.Imier (ca. 60 TeilnehmerInnen)

k) Agence éolienne

- Die Möglichkeiten eine schweizerische Agence éolienne zu errichten wurden abgeklärt. Resultate nach Kontaktnahme mit über 60 Organisationen (Präsentationen und Begehungen):
- Konventionelle Investoren zeigen sehr geringes Interesse an diesem Vorhaben
- Das grösste Interesse resultierte bei Planern und Anlageherstellern.
- Die Elektrizitätswirtschaft bekundete mit den vorgeschlagenen Strukturen gewisse Mühe.
- Interesse seitens der Kantone und der bäuerlichen Organisationen
- Der Aspekt der Promotion der Windenergie kann als durchaus geglückt bezeichnet werden.
- Die Vorfinanzierung von Standorten stösst auf geringes Interesse.
- Die generelle Bedeutung der Windenergie hat durch diese Aktion gewonnen.
- Entscheid: Seitens des BFE wurde beschlossen, auf eine Fortführung des Projektes "Agence éolienne" zu verzichten.

k) Handbuch Windenergie

 Dieses Projekt wird in Zusammenarbeit mit dem Forschungsprogramm "Energiewirtschaftliche Grundlagen" durchgeführt. Die ersten Projektaktivitäten (inkl. 1. Sitzung der Begleitgruppe) wurden durchgeführt.

l) Windpark Sainte-Croix

- Eine Konzeptstudie zum Bau eines 9 MWWindparks durch die Gemeinde Sainte-Croix wurde durchgeführt
- Es wurden 2 Windmessanlagen (mit 40 m-Masten) installiert

m) Windpark Flumserberg

- Ein Vorprojekt zur Errichtung eins 3 MWWindparks bei der Prodkammbahn in den Flumserbergen führte zur Evaluation des optimalen Standortes
- Daselbst Installation von Windmesssystemen

Nationale Zusammenarbeit

Die deutliche Zunahme an Aktivitäten im Windenergiebereich wirkte sich im Berichtsjahr auch auf die nationale Zusammenarbeit aus:

 Auch wenn die Gründung einer Agence éolienne gescheitert ist, die entsprechenden Gespräche und Kontakte bieten eine wichtige Basis für die weitere Verbreitung der Windenergie in der Schweiz (Bauernverband, Elektrizitätswirtschaft, Planer, etc.)

 Mit der Standortevaluation bei Infrastrukturanlagen des VBS – in Zusammenarbeit mit dem Amt für Bundesbauten – konnten wichtige Partner in Hinblick auf bundeseigene Aktivitäten gewonnen werden.

79

- Die Ausarbeitung des Handbuches integriert folgende wichtige Akteure:
 - Forschungsprogramm Energiewirtschaftliche Grundlagen EWG
 - Verein Schweizerische Elektrizitätswerke VSE
 - Stiftung für Landschaftschutz
 - Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft
 - Bundesamt für Raumplanung
 - Ressort regenerierbare Energien von ENERGIE 2000
- An der gut besuchten nationalen Windenergietagung in St.Imier vom 22.10.97 wurde die

- Gründung eines Windenergieforums Schweiz beschlossen, entsprechende Aktivitäten sind in Vorbereitung.
- Die Infostelle Wind und Eole Info decken wichtige Informationsaufgaben für das breite Publikum ab.
- Die "Vernetzung" der Windenergieakteure findet auch im Internet statt:
 - Für den Windenergiepark auf dem Mont-Crosin: http://www.juvent.ch
 - Für den Windpark Sainte-Croix: http://ourworld.compuserve.com/homepages/in terwind

Internationale Zusammenarbeit

a) WECO

Mit der aktiven Teilnahme am EU-Forschungsprojekt WECO (Wind Energy utilisation in Cold climate) können einerseits Betriebserfahrungen unserer Anlagen in der Schweiz Projektentwicklern in ähnlichen Klimaregionen nutzbar gemacht werden, andererseits profitieren schweizerische Windenergie

planer und -betreiber vom entsprechendem *Know-how* im europäischen Raum.

b) Medien

Die Infostelle Wind pflegt im Rahmen ihrer Medienarbeit Kontakte zu den Redaktionen der Fachzeitschriften "Wind Energie aktuell" und "Wind Power Monthly"

Bewertung 1997

a) Positive Aspekte

Mit der Vermarktung der Potentialstudie "Windkraft und Landschaftschutz" und der entsprechenden Karten stieg das konkrete Interesse an der Windenergienutzung in der Schweiz massiv. Planungsfirmen aus dem In- und Ausland entwickeln heute entsprechende Projekte.

Das generelle Interesse an der Windenergie hat ebenfalls stark zugenommen: 7 mal mehr Zeitungsartikel als 1996!

Ende 1997 sind 13 Anlagen mit einer Gesamtleistung von 2.15 MW in Betrieb, Energieproduktion ca. 1'980 MWh.

Mit dem Aufbau eines Windenergieforums "Suisse Eole" konnte begonnen werden. Die Integration der entsprechenden Aktivitäten in die Entwicklung der Förderstrategien regenerierbare Energien des Bundes ist sichergestellt.

b) Zu optimierende Aspekte

Mit im Mittel weniger als 1000 Vollaststunden laufen die meisten Anlagen nicht optimal, mögliche Erklärungen sind turbulente Winde, Vereisungsproblematik, o.ä.

Ausblick 1998

Basierend auf dem 4-Jahresplan 1996 - 1999 ergeben sich für das Jahr 1998 folgende Aktivitäten:

a) P+D-Aktivitäten

- Diverse Standortabklärungen (Grenchenberg, Frémont, Flumserberg, Sainte-Croix, ev. weitere)
- Ausbau des Windparks Mont-Crosin mit mind. einer 600 kW-Anlage
- Aufbau des Forums Suisse Eole

- Aufbau eines Mess- und Dokumentationsprogramm, in Zusammenarbeit mit ISET (UNI Kassel)
- Integration Betriebserfahrungen in internationale Projekte (WECO, etc.)
- Weiterführung der Infostellen Wind und Eole Info: insb. Bearbeitung spezifischer Kundensegmente
- Veröffentlichung des Handbuchs Windenergie

b) *F*+*E*

Obwohl bis anhin im Programm Windenergie keine F+E-Mittel zur Verfügung standen, soll geprüft werden, ob nicht untenstehende Aspekte gefördert werden könnten:

- Entwicklung eines Max. Power-Tracker,
- gekoppelt mit Permanentmagnet-Generatoren mit variabler Drehzahl (Stöv, Bartholdi, Ecopower, EWZ, Leichtwindszene)
- Installation einer "Windteststelle" bei Infrastrukturanlagen des VBS (komplexes Terrain, turbulente Winde, Vereisung, etc.)

Veröffentlichungen

- Windenergie aktuell, No. 5, Mai 1997:
 - "Editorial" von R. Horbaty
 - "Ergebnisse Potentialstudie für die Schweiz" von H. Mösch
 - "Wir können die Fehler der Pionierländer vermeiden" von A. Pfluger
- Windenergie aktuell, No. 10, Oktober 1997:
 "HSW 30 dreht auf 3000m im eisigen Alpenwind", von A. Pfluger
- Sonnenenergie 3, 97:
 Spezialnummer zur Windenergie, div. Autoren
- ENET-NEWS 36, 4. Quartal 97: "Rückenwind für Windenergie", von R. Horbaty.

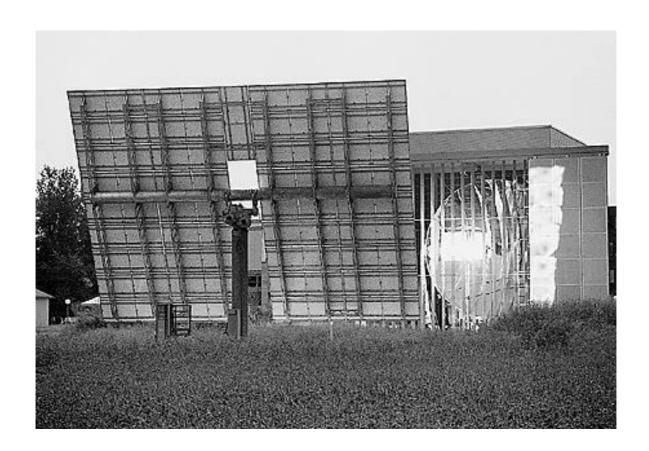
Excerpt from "ENERGY RESEARCH 1997", Editor: L. Dubal Swiss Federal Office of Energy http://www.admin.ch/bfe/

SOLARCHEMIE & WASSERSTOFF

Überblicksbericht zum Forschungsprogramm 1997

Armin Reller

btwag@dial.eunet.ch



Ein Solarofen eröffnet den Zugang zu neuen Prozessen

Der im Oktober 1997 am Paul-Scherrer-Institut eingeweihte neue Solarofen ermöglicht eine Konzentrationen von 5000 Sonnen. Damit wird das Erforschen bisher nicht zugänglicher, für die Umsetzung in technische Verfahren jedoch entscheidender Prozesse ermöglicht.

Programm-Schwerpunkte

Das Programm Solarchemie / Wasserstoff / Regenerative Energieträger umfasst Forschungs-, Entwicklungs- und Umsetzungsarbeiten zur effizienten und ökologisch verantwortbaren Umwandlung von Strahlungsenergie in nutzbare Prozesswärme, chemische Energieträger (insbesondere Wasserstoff), Werkstoffe (wie Metalle und Synthesegas) oder aber elektrisches oder mechanisches Potential. Darüberhinaus soll solar erzeugte Prozesswärme zur Substitution fossiler Energieträger eingesetzt und Kohlendioxid solarchemisch reduziert bzw. als Grundchemikalie für die Synthese wertschöpfender Stoffe umgesetzt werden.

Dem Zusammenhang zwischen Energietechnologieen und den damit intrinsisch verknüpften chemischen Stoffumwandlungen wird angemessen Rechnung getragen. Dies bedeutet insbesondere auch, dass die Material- und Werkstoffwissenschaften mit all ihren gegenwärtigen und zukünftigen Aspekten in den Projekten eine zentrale Rolle spielen, teilweise geradezu Gegenstand eines Projekts sind. Die Arbeiten sind grossenteils in die Programme der IEA eingebunden.

Ein wichtiges Ziel dieses Programms besteht darin, Grundlagenwissenschaften, Angewandte Wissenschaften und Technische Realisierung zusammen mit Industriepartnern sinnvoll und angemessen zu koordinieren, um so die vorhandenen Mittel möglichst effizient einzusetzen. Dieser Ansatz bedingt, dass Projektteams aus Hochschulen und Industrie zusammengestellt werden, die in vorgebenen Zeiträumen zielgerichtete Arbeiten ausführen. Konsequenterweise werden vorrangig Projekte gefördert, für die geeignete Industriepartner gefunden werden, und bei denen in absehbarer Zeit (< 5 Jahre) ein verwertbares Produkt in Aussicht steht. Gearbeitet wird mit überprüfbaren Milestones, konsequentem Reporting und Controlling im Halbjahresrhytmus. Als Abbruchkriterien gelten nachlassendes Interesse und/oder Eigenleistung des Industriepartners sowie neue Erkenntnisse, die das Hauptziel des Projektes in eine fernere Zukunft setzen. 1997 wurden für einige Projekte, die diesen Anforderungen nicht genügen, klare Signale für einen möglichen Projektabbruch gesetzt und damit eine Straffung des Programmes eingeleitet.

Um jedoch das Potential wissenschaftlicher und technischer Innovationen nicht zu stark einzudämmen, werden in ausgewählten Segmenten mit mittelfristigen Zielsetzungen und gut abgesicherter Infrastruktur weiterhin grundlagenwissenschaftlich orientierte Projekte unterstützt.

Durchgeführte Arbeiten und erreichte Ergebnisse 1997

PROZESSWÄRME

Um mittels konzentrierter Sonnenenergie Prozesswärme mit hohem Wirkungsgrad bereitstellen zu können, bedarf es einerseits alterungsbeständiger, möglichst umweltneutraler und selektiver Absorbermaterialien, die in verfahrenstechnisch unterschiedlichen Anlagen eingesetzt werden. Die einfachste der im Berichtsjahr untersuchten Varianten besteht darin, einen mit absorbierenden Keramikgestricken bestückten volumertrischen Receiver mit grossen Luftmengen zu durchströmen. An den beschichteten Fasern wird die mittels Heliostaten konzentrierte Solarstrahlung absorbiert und an die durchströmende Luft übertragen. So lassen sich Lufttemperaturen bis zu 800°C erzeugen. Durch entsprechende Wärmetauschersysteme kann die im Medium Luft gespeicherte Energie als Prozesswärme transportiert und zur Erzeugung chemischer Energieträger oder auch elektrischer Energie eingesetzt werden. Die laufenden Untersuchungen zeigen [1], dass die Beschichtung von Metall- oder Keramikfasern mit absorbierenden Materialien, aber auch die Alterungsbeständigkeit der beschichteten Fasern noch ungenügend ist. Da dieses Funktionsmaterial extremen Belastungen wie sehr kurzfristigen Temperaturschwankungen von mehreren hundert Grad ausgesetzt ist, sind weitere materialwissenschaftliche Untersuchungen notwendig.

Der Bedeutung derartiger Material- und Werkstoffprobleme wird seit einigen Jahren Rechnung getragen: Nach der erfolgreichen Entwicklung von Absorberschichtmaterialien für thermische Sonnenkollektoren im Nieder- und Mitteltemperaturbereich (Warmwasseraufbereitung, Nieddertemperatur-Prozesswärme), d.h. zwischen Raumtemperatur und ca. 500°C, werden jetzt Verbundwerkstoffe aus amorphem Kohlenstoff und unterschiedlichen Metallen (neben dem bis anhin eingesetzten Chrom soll vor allem das umweltverträgliche Titan) für die Beschichtung grosser Kollektorflächen eingesetzt [2; 3]. Die Haftung der Absorberschichten auf der Kupferunterlage, deren Alterungsbeständigkeit und optischen Eigenschaften wurden spezifiziert; die Parameter für das Hochskalieren der entsprechenden Herstellungsprozesse ist erfolgt. Die Resultate werden zur Zeit für Aufbau einer grosstechnischen Herstellungsanlage zur Beschichtung von Kupferblechen mit sog. a-C:H/Cr-Filmen - d.h. den obengenannten, mit Chrom versetzten amorphen Kohlenstoffschichten – umgesetzt.

Ein internationales P+D-Projekt befasste sich im Berichtsjahr mit der Machbarkeit eines 24-Stunden-Solarkraftwerks, welches auf einem thermochemischen Solarspeicherkonzept basiert [4]. Dabei wird im reversibel arbeitenden Haber-Bosch-Verfahren die endotherme Spaltung von Ammoniak im Solarreaktor als Tag-, die Bildung von Ammoniak aus dem erzeugten, speicherfähigem Wasserstoff/Stickstoffgemisch als Nachtreaktion eingesetzt. Die aus Industrie- und Universitätsleuten zusammengesetzte Studiengruppe konnte die technische Realisierbarkeit dieses Konzepts eindeutig beweisen, indem beinahe durchwegs auf technisch erprobte Komponenten, Materialien und Prozesse zurückgegriffen werden konnte. Kostenschätzungen zufolge könnte für ein Kraftwerks mit einer Leistung von 10 MW_{elektrisch} – als Standort steht Zentralaustralien zur Diskussion – mit Stromgestehungskosten von ca. 20 Rappen pro

Kilowattstunde gerechnet werden.

Im Rahmen eines P+D-Projekts, das mit dem Projekt *Kleinwärmepumpen mit Ammonak* koordiniert ist, wurde ein Sicherheitssystem entwickelt und patentiert [5]. Es ist vorgesehen, dessen Einsatzpotential für unterschiedliche, insbesondere solar betriebene Energiesysteme zu prüfen.

Von der Programmleitung wurden Kontakte mit sonnenreichen Ländern, insbesondere Indien, Tansania und Moçambique geknüpft, um in den nächsten Jahren Verfahrenstechniken zur Nutzung solar erzeugter Prozesswärme für die Trocknung von Nahrungsmitteln und weiteren Produkten einsetzen zu können.

CHEMISCHE ENERGIETRÄGER UND TECHNISCH NUTZBARE MATERIALIEN

Die direkte Umwandlung von Sonnenenergie in speicherfähige und transportierbare chemische Energieträger stellt eines der Hauptziele des Programms dar. Dabei werden mittels konzentrierter Solarstrahlung chemische Prozesse in den am PSI aufgebauten Solaröfen bzw. Reaktoren durchgeführt. Energieträger wie Wasserstoff, oder aber Produkte mit hoher Wertschöpfung wie z.B. Metalle und Synthesegas, Filamentous Carbon, etc. sind Zielprodukte dieser Aktivitäten [6,7]. Die seit mehreren Jahren verfolgte Strategie ist so konzipiert, dass in einer Übergangsphase ein sogenannter Energiemix – also z.B. die wirtschaftlich konkurrenzfähigere Nutzung von Solarenergie mit verantwortbaren, günstigen fossilen Energieträgern wie Methan - und später rein regenerative Energiequellen genutzt werden. Die folgenden solar betriebenen, regenerativen Energiewandlungssysteme, d.h. auf geschlossenen Stoffkreisläufen basierenden chemischen Prozesse wurden bearbeitet:

- Die thermische Reduktion von Metalloxiden wie Eisenoxid, Manganoxid und Zinkoxid als Teile eines zweistufigen Wasserspaltungs-Prozesses, welcher als Produkte Wasserstoff und gegebenenfalls Sauerstoff liefert. Die Evaluation der genannten drei Metalloxidsysteme hat noch nicht zu einer eindeutigen Priorisierung eines einzigen Sytems geführt.
- Die solarthermische Zersetzung von Calciumcarbonat, d.h. solares Kalkbrennen, wobei ein
 Grossteil der bis anhin eingesetzten fossilen
 Brennstoffe eingespart werden soll. Eine nicht
 veröffentlichte Studie mit den Industrieunternehmen Holderbank, Krupp Polysius und Bomin
 Solar lieferte die ökonomischen und verfahrenstechnischen Parameter und Kriterien, die für eine
 Realisierung eines solaren Zementwerks bestehen.
 Diese Studie ist für die weitere Gestaltung des
 Projekts von entscheidender Bedeutung.
- Der sogenannte SynMet-Prozess, wobei in einer kombinierten solarthermochemischen Reduktion von Metalloxiden und Reformierung von Erdgas

- Metalle wie Zink und Eisen sowie Synthesegas als Produkte mit hoher Wertschöpfung gewonnen werden. Auch die analoge Reaktion von Eisentitanoxid (Ilmenit, FeTiO3) mit Methan wurde untersucht. Daraus können im optimalen Fall Eisen, Titanoxid als technisch wichtigstes Weisspigment, sowie Synthesegas gewonnen werden. Das SynMet-Verfahren wurde patentiert. Verhandlungen mit der Industrie sollen die Machbarkeit und Wirtschaftlichkeit dieses Prozesses abklären.
- Die katalytische Herstellung von faserartigem Kohlenstoff, sog. Filamentous Carbon, konnte in Zusammenarbeit mit Forschern des Boreskov Institute, Novosibirsk, Russland, erfolgreich weiterentwickelt werden. Obwohl dieser Prozess nicht höchste Priorität hat, zeigt er das Potential der Solarchemie auf dem Gebiet der modernen Materialwissenschaften auf, als wichtige Option für die nahe Zukunft.

Um die beschriebenen chemischen Prozesse realisieren zu können, bedarf es der geeigneten verfahrenstechnischen Einrichtungen. Die entsprechenden PSI-Entwicklungen lassen sich wie folgt zusammenfassen:

Design, Aufbau und Inbetriebnahme des neuen Solar-Ofens. Diese vom PSI finanzierte neue Solaranlage ist auch aus internationaler Sicht ein optimales Werkzeug zur Erforschung des Posolarthermischer und solarthermotentials chemischer Prozesse. Die seit Oktober 1997 zur Verfügung stehende Einrichtung ermöglicht es, mittels eines Heliostaten (120 m² Spiegelfläche) und eines Parabolspiegels mit einem Durchmesser von 8.5 m Solarstrahlung auf einen Brennpunkt zu fokussieren. Im Brennpunkt selbst, wo die chemischen Prozesse stattfinden, kann eine 5000fache Konzentration des Sonnenlichts, d.h. Temperaturen von über 2000°C, erreicht werden. Dies entspricht einer Energieflussdichte von mehr als 5000kW/m² oder einer Leistung von maximal 45 kW. Die Einweihung dieser Anlage erfolgte zusammen mit dem *International Symposium on Solar Chemistry* und dem 3rd *International Symposium on CO₂ Fixation & Efficient Utilization of Energy* am PSI, an denen mehr als hundert TeilnehmerInnen aus 14 Ländern zusammentrafen um die Gegenwart und Zukunft der Solarchemieforschung zu erörtern. Der Anlass fand ein breites Echo in Presse, Radio und Fernsehen.

- Zur Durchführung von Pulverwolkenreaktionen geeignete, fensterlose volumetrische Reaktoren wurden weiterentwickelt und den jeweiligen Prozessparametern optimal angepasst. Diese verfahrenstechnischen Entwicklungen stellen sehr hohe Ansprüche an die beteiligten WissenschafterInnen und IngenieurInnen, da jeder Prozess indivudelle Spezifikationen erfordert.
- Der schon bestehende μ-Photoreaktor wurde modifiziert, um bis zu Temperaturen von 500°C messen zu können. Er soll die Untersuchung der carbothermischen Reduktion von Zinkoxid ermöglichen.
- Die Spezifizierung der in den Reaktoren ablaufenden solarchemischen Prozesse erfordert weiterhin genaue Messungen von Temperatur und kinetischen Daten. Um vor allem die Temperaturabhängigkeit von optischen Eigenschaften unterschiedlicher Metalloxide quantifizieren zu können, wurde mit dem Design und dem Bau eines *Emissiometers* begonnen. Dieses neuartige Messgerät konnte nur aufgrund der langjährigen, in früheren Jahresberichten beschriebenen Vorarbeiten konzipiert und realisiert werden. Seine Entwicklung macht auch deutlich, dass in der Solartechnologie langfristige, zum Teil grundlagenwissenschaftlich orientierte Entwicklungen für reproduzierbare und belastbare Erfassung von

- Eckdaten für die Umsetzung von Modellprozessen in die Technik unabdingbar sind.
- Weitere notwendige Methoden wie ein für die Messung der Intensität solarer Strahlungs- bzw. Energieflüsse geeignetes Radiometer sowie ein Kalorimeter zur Bestimmung der Leistung von konzentrierter Solarstrahlung wurden erfolgreich entwickelt und getestet.
 - Schliesslich führten im Projekt **Direkte Umwand- lung von konzentrierter Sonnenenergie in chemische Energieträger** [6] wichtige grundlagenwissenschaftliche Studien zu Kinetik, Mechanismus und Energetik solar-thermochemischer
 Prozesse zu folgenden Resultaten:
- Die thermodynamischen Daten der Metalloxidprozesse können berechnet werden, was für die Evaluation der vielversprechendsten Varianten von grosser Bedeutung ist.
- Die Wechselwirkungen zwischen Kohlendioxid und Halbleiteroberflächen, z.B. Titandioxid, sowie die Temperaturabhängigkeit der beobachteten photochemischen Reduktion von Kohlendioxid an Halbleiteroberflächen konnten theoretisch und experimentell im Detail charakterisiert werden. Auch die carbothermische Reduktion von Zinkoxid wurde hinsichtlich kinetischer und mechanistischer Parameter spezifiziert.

Insgesamt sind sehr wichtige Schritte zu einer Bündelung und gut koordinierten, erfolgversprechenden Ausrichtung der PSI-Aktivitäten erfolgt. Die Struktur der beiden nunmehr gut verzahnten Projekte Direkte Umwandlung von konzentrierter Sonnenenergie in chemische Energieträger und Entwicklung und Untersuchung von Reaktoren zur chemischen Umwandlung pulverförmiger Stoffe mittels konzentrierter Solarstrahlung [7] ist personell und instrumentell konsolidiert.

PHOTOELEKTROCHEMISCHE PROZESSE UND SPALTUNG VON WASSER

Das in das IEA-Wasserstoffprogramm eingegliederte Verbundprojekt [15] zwischen der UNI-Bern [9] und der UNI-Genf [10] und der EPF-Lausanne [12] hat im Berichtsjahr zu bemerkenswerten Resultaten geführt: Es konnte der Nachweis erbracht werden, dass präparierte Ag⁺/AgCl-Schichten Zinnoxid-Glas-Elektroden als Katalysatoren für die photochemische Oxidation von Wasser zu Sauerstoff wirken. Die dabei entstehenden Silbercluster, die auch die Eigensensibilisierung des Systems verantwortlich sind, lassen sich simultan oder nachträglich elektrochemisch quantitativ zu Ag⁺ oxidieren. Transparente, grossflächige Ag+/AgCl-Schichten auf Zinnoxid-Glas-Elektroden wurden hergestellt, d.h. es steht jetzt eine wasseroxidierende Halbzelle zur Verfügung, die zusammen mit einer geeigneten reduzierenden Halbzelle die photokatalytische Wasserspaltung erlaubt. Eine Erweiterung dieses Projekts besteht in der Entwicklung von sogenannten Antennen-Solarzellen. Dabei werden

Zeolithmikrokristalle mit geeigneten Morphologien synthetisiert, auf einem Substrat in kristallographisch definierter Ausrichtung als Mono-Mikrokristallschicht aufgebracht und mit lumineszierenden Farbstoffen reproduzierbar und homogen sowie in hoher Konzentration beladen. Diese *Antennen-Solarzellen*. erlauben es, Solarstrahlung in hoher Ausbeute zu sammeln, auf entsprechende Substratmaterialien zu leiten und damit effizient photoelektrochemische Prozesse zu betreiben.

Die zweite Variante einer effizienten solaren Wasserspaltung in Wasserstoff und Sauerstoff konnte mit einer sogenannten *Tandemzelle* weiter vorangetrieben werden. Dabei werden zwei Photosysteme eingesetzt: das eine basiert auf einer dünnen, polykristallinen Wolframtrioxid-Schicht, die den blauen Spektralanteil der Solarstrahlung absorbiert und so einerseits Wasser zu Sauerstoff oxidiert und andererseits Elektronen in das zweite, den grünen und roten Spektralbereich absorbierende Photosystem

einspeist. Dieses zweite Photosystem besteht aus einem nanokristallinen Titandioxidfilm, auf den ein Sensibilisator-Farbstoff aufgebracht ist. Die erzeugte Photospannung liefert die Leitungsband-Elektronen zur Erzeugung von Wasserstoff. Die Entwicklung dieser Tandemzellen, d.h. insbesondere die materialwissenschaftliche Optimierung der Elektrodenmaterialien, sind inzwischen soweit fortgeschritten, dass die Spaltung von Wasser bzw. die

direkte Umwandlung von Solarstrahlung in chemisches Potential mit einem Wirkungsgrad von mindestens 4,5% reproduzierbar abläuft. Darüberhinaus konnte gezeigt werden, dass mit dieser Anordnung die photoanodische Oxidation von Chlorid und die Zersetzung von Methanol zu Wasserstoff und weiteren Produkten mit ebenfalls bemerkenswerten Wirkungsgraden gelingt.

SPEICHERUNG, TRANSPORT UND NUTZUNG VON WASSERSTOFF

In diesem wichtigen Segment des Programms wird Wert darauf gelegt, Wasserstoff nicht nur als potentiellen Energieträger zu betrachten, sondern Möglichkeiten für seine Nutzung in chemischen Prozessen aufzufinden. Dieser Ansatz hat zum Ziel, über Nischenanwendungen der Wasserstofftechnologie kürzerfristig auch wirtschaftlich attraktive Einsatzmöglichkeiten zu verschaffen. Eckpfeiler der Aktivitäten sind die Entwicklung und Charakterisierung von Metallhydriden an den UNI-Genf [11] und Fribourg [13] sowie der Einsatz von Metallhydridsuspensionen an der Fachhochschule Burgdorf [14], in denen grosse Mengen von Wasserstoff reversibel gespeichert und sicher transportiert werden können. Die Einsatzgebiete für Metallhydride sind moderne Batteriesysteme sowie - als mittelfristige Option - Speicher für wasserstoffgetriebene Automobile. Das Auffinden von billigen Metallegierungen, bei vergleichsweise tiefen Temperaturen reversibel Wasserstoff speichern bzw. abgeben können, ist für diesen Themenkreis das zentrale Problem. Im Berichtsjahr konnten neuartige, für die Metallhydridtechnologie vielversprechende Legierungen gefunden und charakterisiert werden. Ziel bleibt es, noch kostengünstigere Systeme herzustellen, die einen Wasserstoffanteil von über 5 Gewichtsprozent und eine möglichst tiefe Dehydriertemperatur aufweisen.

Für die Speicherung, den Transport und die effiziente Be- und Entladung von Wasserstoff in suspendierten Metallhydriden, d.h. in quasi-flüssigen Metallhydride, wurde im Berichtsjahr die Planung und der Bau einer technischen Anlage mit einer Leistung von 100 kW (thermisch) begonnen. Diese Aktivität definiert sich als wichtige Ausbau- bzw. Abschlussphase des seit einigen Jahren laufenden Projekts Quasi-lüssige Metallhydride als Wasserstoffträger für Automobile [14]. Im Januar 1998 ist die Inbetriebnahme der technischen Anlage vorgesehen. Die zu erwar-

tenden Resultate werden als Entscheidungsgrundlage für die technisch-industrielle Realisierbarkeit quasiflüssiger Metallhydridspeicher dienen.

Im Projekt Hydrogen Supply from Liquid Energy Carriers werden organische Hydride als Alternative zu den genannten Metallhydriden untersucht [8]. Die beiden Hauptziele dieses Projekts waren 1997 der Aufbau und die Inberiebnahme einer Pilotanlage für Dehydrierung von Methylcyclohexan Kilowatt-Massstab, sowie Prüfung die von Katalysatoren für die partielle Oxidation Methanol und Toluol. Die beiden letzgenannten Prozesse dienen der Wassestoffproduktion. Erste Langzeitversuche ergaben, dass in der verfügbaren Anlage Mengen von 17,6 l Wasserstoff pro Minute aus der katalysierten Umwandlung von Methylcyclohexan in Toluol erzeugt werden können. Dies entspricht einer Leistung von 3.12 kW_{thermisch}. Für die Herstellung von Wasserstoff aus Methanol ergaben sich viel höhere Werte: mit kommerziellen Cu/Al₂O₃-Katalysatoren wurden in einem 1 Liter-Reaktor 5'000 1 Wasserstoff pro Minute (18 $kW_{thermisch}$, bzw. 45% Effizienz) erzeugt; für das autotherme Methanol-Reforming konnten mit einem Rh/ZrO2 -Katalysator 16'000 1 Wasserstoff pro Minute (48 kW_{thermisch}, bzw. 53% Effizienz) erreicht werden. Die Resultate für die partielle Oxidation von Toluol sind noch nicht auf diesem Niveau (bis jetzt 27% Effizienz).

In dem im Berichtsjahr begonnen P+D-Projekt **Drucktanklager für Wasserstoff und Sauerstoff** wurden schliesslich mit der Firma DJEVAHIRDJIAN wichtige Schritte für Energieeinsparungen beim Betrieb der Industrieanlage in Monthey initiiert [16]. Damit ist es erstmals gelungen, ein Industrieunternehmen, in welchem Wasserstoff als unabdingbarer Energieträger eingesetzt wird in das Programm einzubinden.

KATALYTISCHE REDUKTION VON KOHLENDIOXID

Mit dem an der ETHZ laufenden Projekt [17] konnte gezeigt werden, dass die direkte katalysierte Synthese von Methylaminen ausgehend von Kohlendioxid, Wasserstoff und Ammoniak möglich ist. Neu entwickelte Hybrid-Katalysatorsysteme erlaubten die sehr effiziente Synthese von *N,N*-Dimethylformamid aus Kohlendioxid, Wasserstoff und Dimethylamin. Schliesslich konnte auch gezeigt werden, dass

ausgehend von Methanol und Triethylamin mit demselben Kataysator Ameisensäuremethylester hergestellt werden kann. Insgesamt sind diese Resultate von weitreichender Bedeutung, da sie klare Wege zur Gewinnung von Grundchemikalien mit hoher Wertschöpfung aus den Ausgangsstoffen Kohlendioxid, Wasserstoff und Ammoniak aufzeigen. Damit kann für das Programm "Solarchemie / Wasserstoff" ein geschlossenes Stoff- und Prozess-System formuliert werden, das unterschiedliche Energieträger bzw. Grundchemikalien durch die direkte oder indirekte Umwandlung von mehr oder weniger konzentrierter Solarstrahlung bereitzustellen vermag.

Nationale Zusammenarbeit

Das Verbundprojekt ABSORBER 2000 konnte erfolgreich weitergeführt werden, indem der operativ verantwortlichen Gruppe an der Ingenieuschule Rapperswil zusammen mit einem Industriebetrieb die Beschichtung von Kollektorblechen mit technisch relevanten Dimensionen gelang. Aufgrund der Resultate wurde mit einem Industrieunternehmen in Kempten bzw. Cottbus, Deutschland – leider fanden sich keine investitionswilligen schweizerischen Unternehmen – mit Unterstützung des Landes Brandenburg der Aufbau einer industrielle Anlage vereinbart, die für eine Jahresproduktion von 200'000 m² ausgelegt wird. Mittelfristig sollen die an der UNI-Basel entwickelten, otpimierten Schichtmaterialien eingesetzt werden.

Die Entwicklungen auf dem am PSI untersuchten Gebiet der solar betriebenen, technisch relevanten Prozesse wurden konkretisiert: mittels einer Projektstudie mit den Firmen HOLDERBANK, BOMIN SOLAR und KRUPP POLYSISUS wurde mit belastbaren Daten abgeklärt, ob sich der Bau eines solar unterstützten Zementwerks und ein wirtschaftlich konkurrenzfähiger Betrieb realisieren lässt. Die Resultate zeigen, dass für den Bau eines Werks mit einer gegenwärtig gängigen Produktion

von 3000 Tagestonnen Zement grosse Investitionen und eine lange Amortisationsdauer entstehen werden.

Mit der in Monthey tätigen Firma DJEVAHIRDJIAN wurde im Rahmen eines P+D-Projekts zusammen mit der UNI-Hamburg, einerseits die Alterungsbeständigkeit für die im Hochdruck-Elektrolyse-Prozess im Einsatz stehenden Elektrodenmaterialien materialwissenschaftlich charakterisiert und andererseits neuartige, energiesparende Drucktankanlagen für Sauerstoff und Wasserstoff entwickelt und geprüft.

Zwischen den Verantwortlichen des Projekts Kleinwärmepumpen mit Ammoniak, den Firmen NEK UMWELTTECHNIK und HUG ENGINEERING und dem Arbeitskreis Reller, UNI-Hamburg, wurde ein Sicherheitssystem für Ammoniak als Medium nutzende technische Systeme entwickelt und patentiert.

Schliesslich wurde von den Firmen CYPHELLY und PANGAS die Funktion und Effizienz eines für solar betriebene Energieanlagen neuartigen Luftdruck-Speichersystem geprüft. Die Resultate sind sehr ermutigend und die durchgeführten Arbeiten sind als Ausgangspunkt eines grösseren Projekts zu werten.

Internationale Zusammenarbeit

Die internationalen Aktivitäten waren sehr zahlreich und vielfältig:

Folgende IEA-Aktivitäten wurden mit Mitteln des Programms SOLARCHEMIE / WASSERSTOFF gefördert:

- IEA-Programme SolarPACES
- IEA Wasserstoff-Forschungsprogramm
- Leitung von SolarPACES, Projekt: Solar Chemistry
- Leitung des Projekts Photoproduction von Hydrogen und Case Studies of Integrated Systems des IEA-Wasserstoff-Programms
- Wissenschaftliche Zusammmenarbeiten erfolgten mit mehreren Partnerinstitutionen. Als wichtigste sind zu nennen:

- Australian National University, Canberra, Australien
- Deutsche Forschungsanstalt f
 ür Luft- und Raumfahrt (DLR), K
 öln, Deutschland
- Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme, Freiburg, Deutschland
- Institut f
 ür Anorganische und Angewandte Chemie, UNI-Hamburg, Deutschland
- Université de Nancy, Frankreich
- Solarforschungszentrum Odeillo, Frankreich
- Solar Energy Research Center, The Weizmann Institute of Science, Rehovot, Israel
- Boreskov Institute of Catalysis, Novosibirsk, Russland
- Plataforma Solar de Almerìa, Tabernas, Spanien
- Sandia National Laboratories, Albuquerque, (USA)
- NREL, Golden, (USA)

Bewertung der Ergebnisse

Das Programm "Solarchemie / Wasserstoff" wurde 1997 weiter umstrukturiert und verschlankt. Dies war notwendig, um den gegenwärtigen und zukünftigen Anforderungen gerecht zu werden, d.h. um dessen praktische Bedeutung zu verstärken. Vor allem die grundlagenwissenschaftllichen Projekte wurden auf ihr Umsetzungspotential hingeprüft und wenn nötig (und möglich) mit veränderten Zielsetzungen ausgestattet, oder zeitlich begrenzt. Die Bestrebungen wurden anlässlich einer Präsentation vor der CORE positiv bewertet.

Auf Projektebene erbrachte das Berichtsjahr viele erfreuliche Resultate und Entwicklungen. Besonders erwähnenswert sind die Fortschritte des Projekts ABSORBER 2000, der patentierte SYNMET-Prozess, die Fortschritte in den Gebieten der photochemischen Wasserstoff-Erzeugung, der teilweise patentierten, katalytischen CO₂-Reduktionsprozesse und des ebenfalls patentierten Ammoniak-Sicherheitssystems.

International hat sich das Programm SOLARCHEMIE / WASSERSTOFF durch die

genannten Symposien, aber auch durch sehr intensive Publikations- und Vortragsaktivitäten weiter profiliert. Dies spricht für die bemerkenswerte Fachkompetenz der beteiligten WissenschaftlerInnen und IngenieurInnen. Die zur Verfügung stehenden Solaranlagen, aber auch die an Hochschulen und in Industrieunternehmen zur Verfügung stehenden Untersuchungsmethoden entsprechen dem internationalen Niveau, und sind teilweise als führend einzustufen.

Die finanzielle Struktur des Programms ist nicht optimal: Vertraglich fixierte langjährige Projekte, die in der neustrukturierten Programmstrategie nicht höchste Priorität haben, belasten das laufende Budget in einem hohen Masse und – was sich viel schwerwiegender auswirken wird – verhindern die Aquisition neuer Projekte. Die erfreuliche Zunahme von P+D-Projekten kann dieses Defizit teilweise kompensieren.

Ausblick auf das Jahr 1998

Bereich Im der Anwendung von solarer Prozesswärme sollen 1998 durch die angemessene von Koordination Forschungsund Entwicklungsarbeiten und P+D-Projekten Umsetzungen in den technisch-industriellen Betrieb vorangetrieben werden. Für das Projekt ABSORBER 2000 sind die notwendigen Schritte soweit vollzogen, dass nur noch begleitende Arbeiten und - falls die materialwissenschaftlichen Untersuchungen erlauben oder erfordern Optimierungen durchgeführt werden Im Bereich müssen. Prozesswärme im Mitteltemperaturbereich werden die schon geknüpften Kontakte mit Partnern in Indien, Tansania und Moçambique soweit konkretisiert, dass sobald als möglich Pilotanlagen gebaut und getestet werden können. Für die Solarkalzinierung sowie für das 24-Stunden-Ammoniak-Solarkraftwerk werden detaillierte Machbarkeitsstudien bzw. Pilotanlagen als nächste Realisierungsschritte unternommen.

Mit dem neuen Solarofen am PSI eröffnet sich die Möglichkeit, einerseits weitere, materialwissenschaftlich vielversprechende Werkstoffe zu erzeugen bzw. deren Herstellung zu optimieren, andererseits sollen die zur Diskussion stehenden Metalloxidzyklen zur Produktion von Wasserstoff oder Metall /

Synthesegas-Gemischen so charakterisiert und optimiert werden, dass ein für die zukünftige technische Umsetzung optimales System eindeutig definiert werden kann. Dies erfordert die begleitende Weiterentwicklung geeigneter Reaktorsysteme und Messmethoden. Die Nutzung der Solaranlagen durch Industriepartner soll stark intensiviert werden.

Es ist geplant, ein neues IEA-Projekt zu initiieren, das sich in verstärktem Masse auf die Nutzung von Wasserstoff als Grundchemikalie fokussiert. Diese Stratgie soll zu einem rascheren und tragfähigen Einsatz von Wasserstoff in industriellen Prozessen führen.

Die Forschungs- und Entwicklungsarbeiten werden in ihrer gesamten Breite im Rahmen von Beiträgen an relevanten Kongressen, d.h. an der XII World Hydrogen Energy Conference in Buenos Aires, Argentinien, am 9th International Symposium on Solar Thermal Concentrating Technologies in Odeillo, Frankreich, und an der Fourth International Conference on Greenhouse Gas Control Technologies in Interlaken, Schweiz, vorgestellt werden. Diese Aktivitäten sind für den Aufbau internationaler Zusammenarbeiten von zentraler Bedeutung.

Liste der Projekte

- [1] H. Fricker, Rickenbach: KEREK, keramisches Absorber-/Receiver-System (JB)
- [2] P. Oelhafen, J. Geng, A. Schüler, UNI-Basel:Meatlloxide, keramische Materialien und Verbundwerkstoffe in der Solartechnologie (JB)
- [3] U. Frei, P. Ganz, SPF-ITR, Rapperswil: ABSORBER 2000 (P+D-JB)
- [4] A. Luzzi, ANU, Canberra, Australien: Closed-loop Thermochemical Storage of Solar Energy Using Ammonia (P+D-JB)
- [5] A. Flück, NEK, Zürich und A. Reller, UNI-Hamburg: Sicherheitssystemn für Ammoniak-Anlagen (P+D-Projekt)
- [6] I. Alxneit, M. Schubnell, M. Sturzenegger, PSI-Villigen: Direkte Umwandlung von konzentrierter Sonnenenergie in chemische Energieträger (JB)
- [7] A. Steinfeld, PSI-Villigen: Entwicklung und Untersuchung an Reaktoren zur chemischen Umwandlung pulverförmiger Stoffe mittels konzentrierter Solarstrahlung (JB)
- [8] T. Schucan, PSI-Villigen: Hydrogen Supply from Liquid Energy Carriers (JB)
- [9] G. Calzaferri, UNI-Bern: Photochemische und photoelektrochemische Umwandlung und Speicherung von Sonnenenergie (JB)
- [10] J. Augustynski, M. Ulmannn, UNI-Genève: La photolyse de léau et la production d'hydrogène et dóxygène au moyen de l'énergie solaire (JB)
- [11] K. Yvon, UNI-Genève: Synthese und Charakterisierung von neuartigen ternären und quaternären Metallhydriden (JB)
- [12] M. Grätzel, EPF-Lausanne: Photolyse von Wasser, solare Herstellung von Wasserstoff (JB)
- [13] A. Züttel, L. Schlapach, UNI-Fribourg: Entwicklung von Niedertemperatur-Hydridlegierungen hoher Speicherkapazität (JB)
- [14] T. Bücherer, K. Marti, HTL-Burgdorf: Quasi-flüssige Metallhydride (QLMH) als Wasserstoffräger für Automobile (JB)
- [15] J. Courvoisier, Genève: Leitung von SUBTASKA ANNEX 10 des IEA-Wasserstoffprogramms (JB)
- [16] M. Arnold, DJEVAHIRDJIAN, Monthey: Drucktanklager für Wasserstoff und Sauerstoff (P+D-Projekt)
- [17] R. Köppel, A. Baiker, ETH-Zürich: Katalytische Synthesen ausgehend von mineralischen Kohlendioxid-Quellen (JB)
 - (JB) Jahresbericht 1997 vorhanden

Publikationen

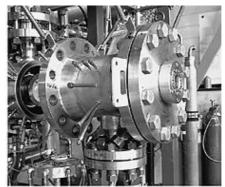
Über die geleisteten Arbeiten wurde eine grosse Anzahl von Publikationen in der Fachliteratur veröffentlicht. Die Resultate der Projektarbeiten wurden auch an zahlreichen internationalen Konferenzen in Form von Vorträgen und Postern erfolgreich präsentiert. Detaillierte Angaben betreffend Publikationen können den Jahresberichten der Projektleiter entnommen werden.

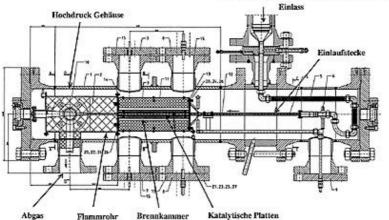
FEUERUNG & VERBRENNUNG

Überblicksbericht über die Aktivitäten 1997 im Forschungsprogramm

Alphons Hintermann

alphons.hintermann@bfe.admin.ch





Katalytische Hochdruckverbrennung

Die Beherrschung der Hochdruckverbrennung eröffnet neue Perspektiven für eine effiziente und schadstoffarme Nutzung von Brennstoffen. Die entsprechenden Hightech-Versuchsträger mit ihren optischen Fenstern sind eine Herausforderung für den Konstrukteur und Experimentator.

Programmübersicht und anvisierte Ziele

Das Forschungsprogramm Feuerung & Verbrennung befasst sich seit 1988 mit den Grundlagen der Verbrennungsprozesse in stationären Feuerungen, in der motorischen Verbrennung sowie in Verbrennungsvorgängen in Gasturbinen und Abfallverbrennungsanlagen. Die erarbeiteten Grundlagen sollen nicht nur dem Fortschritt der wissenschaftlichen Aspekte der Verbrennungsvorgänge dienen, sondern sich auch zur Klärung von Fragen aus der Privatwirtschaft eignen und Beiträge zur Schadstoffreduktion leisten. Die Verbrennung soll so gesteuert werden, dass neben optimaler Leistung die erzeugten Schadstoffe ohne Abgasnachbehandlung die Grenzwerte der Luftreinhalte-Verordnung (LRV) unterbieten, resp. letztere dank neuentwickelter Technologien weiter verschärft werden können.

Das Hauptarbeiten werden an der ETH-Zürich und am PSI in drei Programmschwerpunkten durchgeführt. Die beiden Schwerpunkte **Numerische Simulation** und **Optische Messmethoden** bedingen sich gegenseitig – der eine dient zur Validierung des andern – und beide sind einem raschen Technologiewandel unterworfen. Immer schnellere Computer und effizientere Algorithmen erlauben einen immer detaillierteren

Einbezug der komplexen chemischen Reaktionen während des Verbrennungsprozesses. Dies erfordert wiederum als Input bessere experimentelle Daten von Reaktionskonstanten und/oder die Detektion kurzlebiger Radikale. Eine Herausforderung für den Experimentator!

Den dritten Programmschwerpunkt bildet die **Schadstoffreduktion und die Schadstoffanalytik**, wobei die Bildungsmechanismen von Schadstoffen während der Verbrennung im Vordergrund stehen.

Die einzelnen Schwerpunkte sind nur thematisch leicht auseinander zu halten. In den einzelnen Projekten kommen meist alle, jedoch mit unterschied-licher Gewichtung, zum Einsatz.

Hauptziele im Forschungsprogramm 1996-99 [27] sind:

- Die Wahrung der Kontinuität und des erreichten internationalen Standards in der Forschung.
- Die konsequente aktive Umsetzung des an der Hochschule angesiedelten Grundlagenwissens.
- Das Bearbeiten spezifischer Problemstellungen aus der Privatwirtschaft an den Hochschulen.

1997 durchgeführte Arbeiten und erreichte Ergebnisse

GRUNDLAGEN DER VERBRENNUNG

Tiefere Einsicht in die motorische Verbrennung ist Ziel der dritten Phase des Projekts Turbulenzpara-meter von Motorströmungen [1]. Die komplexen Vorgänge in der motorischen Verbrennung bedingen eine Validierung der experimentellen wie auch der theoretischen direkten numerischen Simulationsrechnungen an überschaubaren Grundproblemen wie Stufenkanal oder Stauflamme. In der Opposed-Jet Konfiguration sowie am Wolfhard-Parker Brenner konnte in den Berechnungen der Einfluss detaillierter Reaktionskinetik sowie der Transportkinetik berücksichtigt werden. Die Genauigkeit des eindimensionalen Ansatzes wurde zur Analyse der experimentellen Resultate überprüft. Ziel ist die gleichzeitige Validierung der Simulationswerkzeuge und der neuesten laserdiagnostischen Methode, die es ermöglicht, absolute Konzentrationen von Radikalen in einer Flamme mit grösster räumlicher Auflösung zu messen. Die zweidimensionale Konzentrationsverteilungen des OH-Radikals aus der Simulation stimmen sehr gut mit den gemessenen überein. Die Ergebnisse werden am 27th int. Symposium on Combustion präsentiert werden [34].

Ein numerisches Modell zur Simulation der laminaren, katalytisch stabilisierten Verbrennung von Methan, das homogene und hetrerogene chemische Reaktionen berücksichtigt, wurde im Vorhaben **Tieftemperaturverbrennung bei hohen Drücken** [2] fertiggestellt. Die Schlüsselreaktionen, die die homogene Zündung beeinflussen, zeigen eine starke Abhängigkeit der OH-Adsorption/Desorption von der homogenen Zündungsdistanz. Zur Validation wurde am neuen katalytischen Kanalbrenner (an dem später auch die katalytische Verbrennung unter turbulenten und Hochdruckbedingungen gemessen werden kann) mittels planarer, laser induzierter Fluoreszenz die OH-Konzentrationen in guter Übereinstimmung mit der Theorie gemessen [35,36]. Die Technik der katalytisch stabilisierten Verbrennung ist sehr attraktiv für die Anwendung in Gasturbinen. Daher ist die Kenntnis des Einfluss des Drucks sehr wichtig.

Das Laboratorium für Verbrennungsmotoren und Verbrennungstechnik (LVV) der ETH-Z und das PSI haben in den letzten drei Jahren zusammen eine Konstantvolumen-Hochtemperatur- und Hochdruckzelle (HDTZ) entwickelt. Die HTDZ ermöglicht die Untersuchung von dieselmotorischen Vorgängen wie der Einspritzung, Tröpfchenbildung/-Zerstäubung des Einspritzstrahls, der Zündung des Gemisches (am LVV) und dessen Verbrennung sowie der Schadstoffbildung (am PSI). Im Gegensatz zu einem realen Motor kann mit dieser Zelle ein grösserer Bereich von Parametern, z.B. Druck und Temperatur der Verbrennungsluft abgedeckt werden. Der Zugang für laseroptische Messmethoden ist durch fünf grosse Fenster ge-

währleistet. Laseroptik und HDTZ bilden eine Einheit. Die HDTZ ist für experimentelle Parameterstudien wie auch zur Validierung von Computersimulationen von Verbrennungsprozessen konzipiert. Mit der schon 1996 operativen HTDZ am LVV sollen vor allem physikalische Parameter während der Verbrennung gemessen und mit der Theorie verglichen werden. Die HTDZ ist für die nächsten Jahre ein wesentlicher Versuchsträger zum Studium der Grundlagen der Verbrennung und wird auch wertvolle Beiträge zur Lösung von industrierelevanten Fragen liefern.

Ab 1997 steht eine zweite HDTZ am PSI im Einsatz. Im Projekt Anwendung laseroptischer Messmethoden in der Hochdruckverbrennung [3] sollen vorwiegend chemische Komponenten wie Spezies-, NO-und Stöchiometrieverteilungen gemessen werden. Die LVV-und die PSI-Zelle ermöglichen das simultane Bearbeiten derselben Fragestellung mit komplementären Messmethoden. Ausserdem wurden an der PSI-Zelle konstruktive Verbesserungen und Erweiterungen, welche sich im Laufe der Experimente am LVV als notwendig erwiesen haben, durchgeführt. Ins-

besondere werden an der PSI-Zelle höhere Drücke und Temperaturen zum Einsatz kommen.

Die HDTZ war Hauptversuchsträger zum Thema Dieseleinspritzstrahlen im Projekt Flammenfront- und Schadstoffvisualisierung [4]. Am LVV wurde eine Messtechnik entwickelt, um die für die Einspritzung charakteristischen Teilchengrössen- und Geschwindigkeitsverteilungen zu messen. Ein Vergleich einfacher Simulation mit dem Experiment führte zu einem Modell mit verbesserter Strahlaufbruchbeschreibung. Dieses wurde anhand von Messungen für kalte Sprays in der HTDZ validiert und in einem weiteren Schritt an die Bedürfnisse von verbrennenden Sprays ange-passt. Anwendungen dieses Modells auf langsam lau-fende Grossdieselmotoren haben sich als erfolgreich erwiesen.

Weitere Verbrennungsgrundlagen werden insbesondere mit unterschiedlichen, zum Teil recht innovativen optischen Messmethoden erarbeitet und sind in den folgenden Projekten samt Anwendungsbereichen be-schrieben.

OPTISCHE MESSMETHODEN

Zum tieferen Verständnis der komplexen Phänomene in der turbulenten Verbrennung ist der Vergleich zwischen Simulation und dem Experiment in einfachen Situationen unabdingbar. Im 1996 abgeschlossenen Projekt Methoden der digitalen Bildverarbeitung zur Ermittlung eines 2D-Geschwindigkeitsfeldes wurde eine effiziente digitale Bildverarbeitungsmethode entwickelt und an einem Stufenkanal für eindimensionale Strömungen erfolgreich eingesetzt. In einer nachfolgenden Diplomarbeit wurde wiederum eine exzellente Übereinstimmung der am Stufenkanal gemessenen Turbulenzen – diesmal bei Reynoldszahlen um 500 - mit numerischen Simulationsrechnungen festgestellt. Dies lässt hoffen, dass die Simulation auch ein brauchbares Werkzeug für komplexere Situationen im Motorenbrennraum sein kann.

Im Vorhaben Messungen von relativen und absoluten Konzentrationen instabiler Moleküle in Flammen mit laserspektroskopischen Methoden [5,37] gelangen verschiedene Messmethoden zur Erfassung verbrennungsspezifischer Moleküle zum Einsatz. So konnten mit der Femtosekunden Four Wave Mixing-Methode O2, N2 und CO2 in einen Molekularstrahl nachgewiesen werden. Messungen mit einem zeitlich verschobenen Probepuls ergeben periodische Signale, aus denen Molekül- und Derivationskonstanten bestimmt werden können. In Zusammenarbeit mit dem Sandia National Laboratorium konnten dort erstmals Laser Induced Fluorescence (LIF)-Spektren an HCCO registriert und ausgewertet werden [38]. Damit konnte das Tor zum spektroskopischen Studium des Ketenyl-Radikals Verbrennung geöffnet der Femtosekunden-Ionisation zum Nachweis von metastabilen Fragmenten im Molekularstrahl erweist sich

als hervorragendes Instrument. Damit gelang es, fragile protonierte Wassercluster bis zu $(H_2O)80H^+$ nachzuweisen.

Am PSI ist eine neue Temperaturmessmethode [39], basierend auf elektrostriktiver laserinduzierter Gitter, die sich speziell für Hochdruckbedingungen eignet, in Bearbeitung. Ferner konnten mit 2D-LIF turbulente Flammenfronten im Gasturbinenbrenner des ABB-Forschungszentrums Dättwil erfolgreich visualisiert werden

Mit resonanter holographischer Interferometrie (RHI) wurde die Verteilung der Temperatur und der Konzentration von NH und OH in einer NH₃/O₂ Flamme eines Wolfhard-Parker-Brenners im Projekt Temperatur- und Turbulenzstrukturerfassung in Flammen [6] gemessen und mit berechneten Werten verglichen. Aus der Interferenz zweier Hologramme können Verteilung und Dichte dieser Spezies unabhängig von der unbekannten Gaszusammensetzung bestimmt werden. Der Vorteil von RHI liegt in der mit anderen Methoden kaum erreichten örtlichen Auflösung. Klar für das Entwickeln neuer Messmethoden sprechen auch die noch nicht erklärten Diskrepanzen mit Spezieskonzentrationen, die durch andere Methoden bestimmt wurden. Die RHI-Entwicklung ist nun abgeschlossen und die Methode kann in anderen Projekten zum Einsatz gelangen.

Im nun abgeschlossenen Projekt **Flammenstrahlung** in Gasturbinen-Brennkammern [7] liegen auf der experimentellen Seite neben pyrometrisch ermittelten Gesamtstrahlungsdaten laseroptisch gemessene Temperaturen, Russkonzentrationen und Partikelgrössen der Gasturbinenflamme für verschiedene Verbrennungsparameter wie Druck, Brennstoff und Betriebs

weise des Doppelkegelbrenners vor. Das zur Russbestimmung eingesetzte Dispersionsquotientenverfahren bewährte sich unter den schwierigen industriellen Bedingungen. Detaillierte Informationen zu den experimentellen Ergebnissen finden sich in einer kürzlich abgeschlossenen Dissertation [40]. Auf der numerischen Seite wurde zum einen ein Verbrennungsmodell zur Beschreibung magerer, abgehobener Flammen und zum andern ein auf physikalischchemischen Grundlagen der Russbildung fussendes Russbildungs- und Oxidationsmodell erfolgreich implementiert. Die numerisch ermittelte Druckabhängigkeit der Russbildung wie auch die Simulation der gesamten Gasturbinen-brennkammer sind in guter Übereinstimmung mit den experimentell gewonnenen Daten und bilden Gegen-stand einer weiteren Dissertation [41].

Innerhalb des mit einer Dissertation [42] abgeschlossenen NEFF-Projekts Verfahren zur Einspritzoptimierung von Direct Injection-Dieselmotoren [8] ist es am LVV gelungen, durch die Entwicklung eines neuen Laser Speckles Messverfahrens die flächenhafte Erfassung der Spraykontur und Tröpchengrösse an einem realen Spray in einem Direct Injection (DI)-Dieselmotor aufzuzeigen. Der systematische Einsatz des Messverfahrens und die Entwicklung einer schnellen online Auswertung am Prüfstand wird zeigen, in wie weit sich das entwickelte Verfahren zur automatischen Optimierung von Einspritzsystemen eines DI-Dieselmotors und zur Unterstützung der rechnerischen Simulation eignen wird.

NUMERISCHE SIMULATION VON VERBRENNUNGSVORGÄNGEN

Numerische Simulation ist integrierender Bestandteil bei fast allen motorischen Verbrennungs- und Gasturbinen-Projekten. Diese werden hier nicht mehr speziell erwähnt.

Im Bereich der stationären Verbrennung ist der numerische und der experimentelle Teil im Vorhaben Modellierung der NO-Bildung in Flammen [9] nun abgeschlossen. Die Stickoxidbildung wurde an verschiedenen Wasserstoff/Helium Flammen numerisch unter Verwendung der Verbrennungsmodelle PEUL und FLAMELET untersucht und mit Messdaten (Spezies und Temperaturdaten von Sandia Laboratories (USA), Geschwindigkeitsmessungen an der ETH-Z) validiert und eine gute Übereinstimmung von Rechnungen und Messungen erreicht. Die Analyse der experimentellen ETH-Messdaten wurde zusammen mit Sandia-Forschern unter Einbezug neuer Sandia-Daten durchgeführt. Die Ergebnisse wurden in den internationalen Katalog der Standard-Flammen aufgenommen.

Im Berichtsjahr wurde im Projekt Numerische Simulation der Flammenstabilität bei realen Ölbrennern [10] transiente, vorgemischte Flammen numerisch untersucht und das bestehende Modell in ein transientes Laminares *FLAMELET*-Modell erweitert. Das instationäre Wiederzünden in turbulenten, nichtvorgemischten Flammen kann damit erfolgreich simuliert werden. Die Modelle sind im kommerziellen CFD-Code *TASKFLOW* eingebaut und können von andern Anwendern relativ einfach bedient werden. Mit einer Dissertation ist dieses Projekt nun vorläufig abgeschlossen worden.

Ende 1997 wurden am Laboratorium für Thermody

namik in neuen Technologien (LTNT) die beiden Projekte **Schadstoffreduktion durch Teil-Vormischung** und **Struktur turbulenter Diffusionsflammen** gestartet.

Large Eddy-Simulation in der turbulenten Verbrennung. [11] heisst das gemeinsame Projekt des Seminars für angewandte Mathematik der ETH-Z und dem Institut für Computeranwendungen der UNI-Stuttgart. Dabei soll die Simulation der hochkomplexen turbulenten Verbrennungsprozesse durch Einbezug substantieller Turbulenzmodelle und effizienter numerischer Methoden verbessert werden. Das Ziel ist, solche Methoden, aufbauend auf bereits existierende Verfahren durch Mathematiker zu entwickeln, die Ergebnisse mit anderen Verfahren zu vergleichen und letzten Endes den Ingenieur von Modellentwicklungsarbeit zu entlasten.

Als P+D-Vorhaben mit starkem Grundlagenanteil ist die enge Zusammenarbeit von Gruppen bei ABB, des LVV (Projekt Flammenstruktur und NO_x-Bildung in turbulenten Vormischflammen [22]) und des LVV (Projekt Mischung und Verdampfung von Brennstoffsprays in Gasturbinen-Vormischbren**nern** [23]) zu bezeichnen. Von der ABB-Gruppe wurde ein atmosphärischer Versuchsstand mit einem Quarzrohr für den optischen Zugang hergerichtet. Am PSI wurde das Laser- und Detektionssystem für den Nachweis und die 2-dimensionale qualitative Darstellung des Fluoreszenz- und Mie-Signals evaluiert, beschafft und im Labor getestet. Das LVV implementierte in einem numerischen Code ein neues Verdampfungsmodell, das die für die ABB interessanten Mehrkomponenten Brennstoffe zulässt.

SCHADSTOFFREDUKTION UND SCHADSTOFFASPEKTE

Trotz seinem über hundert jährigen Geburtstag ist der Dieselmotor noch längst nicht am Ende seiner Entwicklung. Mit direkter Brennstoffeinspritzung und innermotorischer Abgasrezirkulation können der Wirkungsgrad weiter gesteigert und die Emissionen weiter gesenkt werden. Er gilt auch als aussichtsreichstes Antriebskonzept für ein 3 l/100 km-Fahrzeug. Die in den LVV-Projekten erarbeiteten Grundlagen werden in P+D-Projekten weiter erforscht und in LIEBHERR-Motoren im Hinblick auf die Erfüllung der Euro-III-Normen, insbesondere betreffend der NO_x-Emissionen, umgesetzt.

Im Vorhaben NO_x-Reduktion mit Harnstoff-SCR [12] wird die Realisierbarkeit von Harnstoff-SCR bei Fahrzeugen untersucht. Ziel der Arbeit ist die Entwicklung von beschichteten SCR-Katalysatoren, welche beim Einsatz an mobilen Dieselmotoren, d.h. bei instationärem Betrieb, bessere Eigenschaften aufweisen sollten. Im Labortest konnte mit neuen beschichteten Katalysatoren die Leistung der besten Vollkatalysatoren bei Temperaturen über 3000°C erreicht werden. Bei tieferen Temperaturen ist hingegen der Vollkatalysator wegen dem besseren Verhältnis Aktivmasse/Oberfläche dem beschichteten vorzuziehen. Ausserdem wurde ein Verfahren [43] gefunden, mit dem sich der Ammoniakschlupf bei SCR-Anlagen mit geringem Aufwand kontinuierlich messen lässt. Damit ergeben sich neue Möglichkeiten zur optimalen Regelung der Reduktionsmittel-Dosierung bei SCR-Anlagen.

Mit über Erwarten hohen Reduktionsgraden konnte das gemeinsame NEFF-BFE-ETH-Projekt Stickoxidminderung bei stationären Dieselmotoren [13] abgeschlossen werden. Durch die Massnahmen Miller-Prozess und Abgasrezirkulation sind zusammen mit einer Common-Rail-Einspritzung an einem stationär betriebenen und mit einem neuen ABB-Turbolader ausgerüsteten SULZER-9S20-Grossdieselmotor ohne Erhöhung des Brennstoffverbrauchs und der Russemissionen NO_x-Reduktionen von 40-50% erreicht worden. entwickelte Konzept Hochdruckabgasrezirkulation mittels eines zweiten Turboladers wurde zusammen mit ABB patentiert. Es ist weltweit der grösste Dieselmotor, an dem die Vorteile dieser Gemischaufbereitung demonstriert wurde. Auf der Simulationsseite konnte ein Modell entwickelt werden, das bei entsprechender Anpassung der wichtigsten Parameter auch für andere, ähnliche Motoren eine Voraussage über das Emissionsverhalten ermöglicht. Die erarbeiteten phänomenologischen und dreidimensionalen Simulationsmethoden dieselmotorischen Stickoxidbildung, angewandt auf einen mittelschnellaufenden Grossdieselmotor, wurden an verschiedenen internationalen Tagungen präsentiert [31, 32] und das grosse Potential, das sie zu einem bedeutenden Entwicklungswerkzeug der Zukunft macht, ausgelotet.

Als recht komplex zeigt sich die Erforschung der Russpartikelentstehung während der Verbrennung. Im Projekt Ermittlung des geometrischen Aufbaus von Russ-Primärpartikeln und Validierung der Simulation des Russbildungsmechanismus [14] wird eine früher entwickelte lasergestützte Streulicht-Messmethode zur Erfassung der Partikelgrössenverteilung verbessert. Für die Auswertung von Streulichtsignalen an Russpartikeln ist die Kenntnis der geometrischen Partikelform sehr wichtig, und daher das Problem der Formerkennung. Messresultate und numerische Modelle ermöglichen genauere Voraussagen über die Partikelhistorie. Die Messmethode, die anspruchsvolle Auswertesoftware und die Theorie sind soweit fortgeschritten, dass 1998 die Methode getestet und der Einfluss der Russpartikelformen auf die Partikelgrössenmessung an einem Schlitzbrenner bestimmt werden kann. Die Industrie wie auch die EMPA zeigen grosses Interesse an den Ergebnissen.

Mit dem Ziel, den zuständigen Fahrzeugszulassungsbehörden Entscheidungsgrundlagen für die Bewertung von Abgasemissionen von Erdgasfahrzeugen zur Verfügung zu stellen, wurde das Vorhaben **Wirkungsorientierte Bewertung von Automobilabgasen** [15] gestartet. Die EMPA setzt dabei ihre modernsten chemischen Methoden zur Abgasanalytik ein. Als Experten wirken Vertreter aus der Automobil- und Gasindustrie und der schweizerischen Zulassungs- und Umweltschutzbehörden mit.

Konkrete Ergebnisse liefern und nicht den Treibhauseffekt in Mammut-Konferenzen zerreden ist die Motivation zur Unterstützung des bereichsübergreifenden Vorhabens Zuverlässigkeit der Rekonstruktion der atmosphärischen Kohlendioxidkonzentration anhand polarer Eiskerne [16]. CO2 ist immer noch die wichtigste Komponente bei der Erhöhung des Treibhauseffektes und der erwarteten globalen Klimaerwärmung. Die atmosphärische CO2-Konzentration war auch vor dem Eingreifen des Menschen gewissen Schwankungen unterworfen. Sie waren aber während den letzten 250'000 Jahren noch nie so hoch wie heute. Diese Erkenntnisse verdanken wir Untersuchungen an polaren Eiskernen. In diesem Projekt wird die Zuverlässigkeit dieser wichtigen Daten untersucht und wenn möglich die Präzision der Daten der durch Menschen verursachten Änderungen und der durch natürliche bedingten zu verbessern.

Nationale und internationale Aktivitäten und Zusammenarbeit

Folgende Ereignisse prägten 1997 den nationalen und internationalen Erfahrungsaustausch und dienten auch als Kontaktbörse für Zusammenarbeitsprojekte zwischen Forschern von Hochschulen und der Privatwirtschaft:

Das fünfte Jahrestreffen des *ERCOFTAC-Kompetenz zentrums für Messtechnik, Verbrennung und Schad stoffbildung* fand am 20. Juni 1997 mit rund 50 Teilnehmern aus Industrie und Hochschule statt. Das 19. Task-Leaders Meeting des IEA-Implementing Agreements Energy Conservation and Emissions Reduction in Combustion [30] fand in Capri, Italien, im üblichen Rahmen statt. In den letzten Jahren beginnen die im Rahmen dieser IEA-meetings geschaffenen Kontakte ihre Früchte zu tragen. Neben den langjährigen Kontakten des LVV mit dem Istituto Motori, Neapel, bahnt sich eine Zusammenarbeit der PSI-Lasergruppe mit dem Sandia Laboratorium in Livermore an. Wertvolle Kontakte der PSI-Gruppe konkretisieren sich nun auch mit Japan.

Ebenfalls in *Capri* wurde die dritte internationale Konferenz "*Internal Combustion Engeneering*" vom *Istituto Motori*, *Neapel*, organisiert. Das LVV war mit einem Beitrag [31] vertreten.

Dem Motto "Demonstration der Zusammenarbeit zwischen Hochschule und Privatwirtschaft" war die zweite Jahrestagung der Schweizerischen Vereinigung für Verbrennungsforschung (SVV) gewidmet. Die sieben vorgestellten Zusammenarbeitsprojekte, die je aus der Sicht des Hochschul- und des Industriepartners präsentiert wurden, stiessen bei den über 50 Teil-

nehmern aus der Industrie- und Hochschule auf grosses Interesse. Mit den Vertretern der NEFF-Nachfolgeorganisationen Forschungs- und Entwicklungsfonds der schweizerischen Gasindustrie (FOGA) und Forschungsfonds der Erdölvereinigung (FEV) wurde dabei ein regelmässiger Erfahrungs- und Informationsaustausch beschlossen. Als erstes Ergebnis resultierte daraus die gemeinsame Vorstellung der Verbrennungsforschung der öffentlichen Hand in der Schweiz zusammen mit ausgewählten FEV-Projekten im Informationsblatt "brennpunkt" [44] der Informationsstelle Heizöl.

International anerkannte Referenten aus der Automobil- und Zulieferindustrie informierten anlässlich der Internationalen Konferenz über Common Rail (CR)-Einspritzsysteme vom 7. November 97 an der ETH-Z die rund 200 Teilnehmer über den gegenwärtigen Stand und das Zukunftspotential von CR-Einspritzsystemen in Dieselmotoren. CR-Einspritzsysteme ermöglichen konstruktive Lösungen, die zu einem insgesamt vereinfachten Motorenkonzept führen. Das dort vorgestellte Swiss Common Rail Projekt [18] stiess auf starkes Interesse.

P+D-Projekte und Transfer in die Praxis

Mit der Schliessung des ELCO-Entwicklungslabors in *Vilters* ist der Kreis der Industriepartner als Kunden für stationäre Verbrennungsforschung weiter geschrumpft. Dies wird auch Konsequenzen für die Forschung haben.

Eine erfreuliche Entwicklung zeichnet sich jedoch in der Zusammenarbeit der Forscher der motorischen Verbrennung mit der Privatwirtschaft ab. Die bestehenden Kollaborationen des LVV mit der Firma GANSSER-HYDROMAG mündete zusammen mit neuen Industriepartnern wie LIEBHERR, DUAP und SIG in das Projekt Swiss Common Rail [18]. Anlässlich verschiedener Projekt-Sitzungen wurde ein gegenseitiges Vertrauensverhältnis geschaffen, das zu berechtigten Hoffnungen Anlass gibt, das ambitiöse Ziel der Entwicklung eines LIEBHERR Dieselmotors, der die EURO-III-Normen übertrifft, vor der Jahrtausendwende zu erreichen. Obwohl der am LVV getestete LIEBHERR Motor bereits mit einem konventionellen Einspritzsystem sehr gute Werte bezüglich Emission und Verbrauch aufweist, konnte am LVV gezeigt werden, dass diese Werte mit dem GANSER-HYDROMAG Common Rail-System übertroffen werden können.

Zur Sicherung der industriellen Serienproduktion wurde Ende 1997 die SIG mit dem Projekt Entwicklung einer Hochdruckpumpe mit Regelung [19] als Unterprojekt des Swiss Common Rail-Projekts beauftragt. Eine kostengünstige Hochleistungspumpe und deren optimale Anordnung in der Einheit mit dem *Rail* ist für die Markteinführung eines Hochdruck *Common Rail*-Systems unerlässlich.

Die numerische Simulation von Strömungs-, Einspritzund 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 Produkteentwicklung [17]. Ein Modell zur Beschreibung der dieselmotorischen Zündung wurde entwickelt und anhand experimenteller Daten aus der HTDZ validiert. Die Anwendung auf die Verbrennung in Motoren zeigte eine gute Übereinstimmung mit den experimentellen Daten. Die Verwendung der neuen Modelle ergab eine deutlich realistischere Strahlausbreitung im Motorbrennraum und in der Folge auch Brennverläufe, die besser mit experimentellen Daten korrelieren.

Um die Leistungsfähigkeit zirkulierender Wirbelschichten (ZWS) zu erhöhen, ist eine gut Kenntnis der lokalen Gas-Feststoff-Strömungen in industriellen ZWS-Anlagen unerlässlich. Im Schweizerisch-Französischen Gemeinschaftsprojekt Messung von Scale-up Parametern energieeffizienter und umweltfreundlicher zirkulierender Wirbelschichtanlagen [20] besteht die einmalige Gelegenheit, Feststoffgeschwindigkeits- und -konzentrationsmessungen in Anlagen unterschiedlicher Grösse durchzuführen. Die dazu notwendige Entwicklung und Erprobung der Messsonde sind teilweise abgeschlossen und einige Messkampagnen erfolgreich durchgeführt.

In Zusammenarbeit mit dem Programm "Umgebungsund Abwärme, Wärme-Kraft-Kopplung" wird
unter dem Kurztitel Swiss-Motor [21] mit zwei Hochschulen und zwei Industriepartnern ein emissionsarmer
Gasmotor entwickelt. Die ETH-L arbeitet am
Magermotorkonzept, an der ETH-Z werden umfangreiche Simulationsrechnungen und Auslegearbeiten für
massive Abgasrückführungen durchgeführt und anschliessend die Versuche auf dem Prüfstand der
EMPA vorgenommen. Die Verbesserung des an einem
LIEBHERR-Motor realisierten Magermotorkonzepts,
das gegenüber dem Stand der Technik deutlich
reduzierte NO_x-Emissionen beinhaltet, verspricht
bereits kurzfristig Chancen auf dem europäischen
Markt.

Das Erfahrungspotential der ETH und der EMPA in Sachen numerische Simulation kommt im Industrieprojekt **Grundlagen der Skalierung von Gas- Brennwert-Units im Leistungsbereich um 1 MW**[24, 25] zum Tragen. Das Ziel ist, Komplettgeräte mit leistungsmoduliertem Brenner und abgestimmter Brennkammer inklusive Regelung auf den Markt zu

bringen. Ein Schadstoffreduktionspotential (unverbrannte Kohlenwasserstoffe und CO) moderner Verbrennungssysteme liegt in der Reduktion der Anzahl der Ein- und Ausschaltvorgänge. Bei der Umsetzung an einer industriellen Pilotanlage um 1 MW tauchten Probleme auf, die an einer 450 kW-Anlage genauer analysiert wurden. Anhand der vorliegenden Versuchsergebnisse lässt sich die Skalierbarkeit des Konzepts auf 1 MW bestätigen.

Um in Müllverbrennungsanlagen eine gleichbleibende Energieerzeugung sicherzustellen, sind sehr hohe und konstante Dampfströme gefordert. Die traditionellen Regelsysteme werden diesen Anforderungen nicht gerecht. Im Vorhaben **Effiziente Energienutzung durch intelligente Regelung des Verbrennungsvorgangs in Müllverbrennungsanlagen** [26] will die UNI-Freiburg in enger Zusammenarbeit mit der Von Roll die komplexe Regelungstechnik von KVA's durch Einsatz neuer Messtechniken und Methoden der künstlichen Intelligenz wie *Fuzzy Logic* effizienter gestalten und damit eine Senkung des NO_x-Ausstosses erreichen.

Bewertung 1997 und Ausblick 1998

Das positive Echo auf die 1997 an verschiedenen nationalen und internationalen Konferenzen präsentierten Forschungsarbeiten bestätigt unsere internationale Kompetitivität. Nicht zuletzt ist dies der Kontinuität in der Forschung und dem vorhandenen guten Forscherpotential zuzuschreiben. Dies widerspiegelt sich auch in den relativ vielen Dissertationen, die im Berichtsjahr abgeschlossen werden konnten. Eine [45] wurde mit der Silbernen Medaille der ETH ausgezeichnet. Herzliche Gratulation!

Auch ausländische Industriekreise interessieren sich für das bei uns vorhandene Fachwissen. So konnte das LVV einen Wettbewerb zur Modellierung der Verbrennung in DI-Ottomotoren gewinnen (Projekt ausgeschrieben von der Forschungsvereinigung Verbrennungskraftmaschinen (FVV) in Deutschland).

Durch neue P+D-Projekte konnte im Berichtsjahr die Zielsetzung der verstärkten Umsetzung des Grundlagenwissens in die Privatwirtschaft erfüllt werden. Hierzu sind als Hoffnungsträger für eine rasche Umsetzung in ein kommerzielles Produkt die beiden Swiss Common Rail-Projekte [18, 19] hervorzuheben. Sie bilden die Grundlage für eine mögliche Markteinführung eines LIEBHERR-Dieselmotors im Jahr 1999, der die EURO III Normen übertrifft. Dass wir hier zur rechten Zeit an vorderster Front dabei sind, wurde an der vom LVV organisierten internationalen Common Rail Konferenz vom 7. November 1997 in Zürich eindrücklich bestätigt. Für 1997 konnte mit

den zur Verfügung stehenden Mitteln die Kontinuität der laufenden Forschungsarbeiten gewährleistet werden. Ein besonderes Augenmerk galt der SVV, welche künftig die gesamte Verbrennungsforschung und deren Umsetzung abdecken wird. Die SVV-Struktur soll durch ein für Firmen attraktives SVV-Konzept gefestigt werden. Das Ziel ist, die SVV mittelfristig zu einer Kontakt- und Ideenbörse für verbrennungsrelevante Fragen und zur Planung von gemeinsamen Projekten zu gestalten. Das Werben für neue SVV-Mitglieder wird auch 1998 im Vordergrund stehen.

Ferner soll 1998 die Zahl P+D-Projekte weiterhin erhöht werden. Die Vorbereitungsphase für solche Projekte hat teilweise schon 1997 begonnen. Auch für sie wird die praxisnahe Umsetzung der Forschungsresultate durch die bewährten halbjährlichen Zielvorgaben und das *Milestone-Controlling* zum Einsatz kommen.

Der infolge knapper werdender Ressourcen erfolgte enge Schulterschluss zwischen den LVV- und PSI-Verbrennungsaktivitäten soll 1998 weiter vertieft werden.

In Boulder, Colorado wird **27**th *Int. Combustion Symposium*, das Hauptereignis in der Verbrennungsforschung 1998, stattfinden. Aus der Schweiz werden die jetzt schon vorliegenden Beiträge [34, 35, 36] präsentiert.

Liste der Projekte

- [1] K. Boulouchos et. al. LVV/ETH-Zürich: Turbulenzparameter von Strömungen (JB)
- [2] I. Mantzaras et. al. PSI-Villigen: Tieftemperaturverbrennung bei hohen Drücken (JB)
- [3] P. Obrecht et. al., PSI-Villigen: Anwendung laseroptischer Messmethoden in der Hochdruckverbrennung (JB)
- [4] B. Ineichen et. al., LVV/ETH-Zürich: Flammenfront- und Schadstoffvisualisierung (SB)
- [5] T. Gerber et. al. PSI-Villigen: Messungen von relativen und absoluten Konzentrationen instabiler Moleküle in Flammen mit laserspektroskopischen Methoden (JB)
- [6] A. Tsannis et. al. PSI-Villigen: Temperatur- und Turbulenzstrukturerfassung in Flammen (JB)
- [7] J. Gass et. al. LTNT/ETH-Zürich: Flammenstrahlung in Gasturbinen-Brennkammern (JB + SB)
- [8] M. Stöckli und B. Ineichen, LVV/ETH-Zürich: Verfahren zur Einspritzoptimierung von Direct Injection Dieselmotoren (NEFF-JB)
- [9] J. Gass et. al. LTNT/ETH-Zürich: Modellierung der NO-Bildung in Flammen (JB)
- [10] J. C. Ferreira und J. Gass LTNT/ETH-Zürich: Numerische Simulation der Flammenstabilität bei realen Ölbrennern (JB)
- [11] R. Jeltsch et. al., SAM/ETH-Zürich: Large Eddy-Simulation in der turbulenten Verbrennung (JB)
- [12] M. Koebel, PSI-Villigen: NO_x-Reduktion mit Harnstoff-SCR (JB)
- [13] Ph. R. Von Rohr et. al., IVUK/LVV/ETH-Zürich: Stickoxidminderung bei stationären Dieselmotoren (SB)
- [14] S. Kunte, LVV/ETH-Zürich: Ermittlung des geometrischen Aufbaus von Russ-Primärpartikeln und Validierung der Simulation des Russbildungsmechanismus (JB)
- [15] Ch. Bach, EMPA, Dübendorf: Wirkungsorientierte Bewertung von Automobil-Abgasen (JB)
- [16] B. Stauffer, UNI-Bern: Zuverlässigkeit der Rekonstruktion der atmosphärischen Kohlendioxidkonzentration anhand polarer Eiskerne (JB)

Liste der P+D - Projekte

- [17] F. X. Tanner et. al., LVV/ETH-Zürich: Einsatz der rechnergestützten Simulation für die turbulente Verbrennung in der industriellen Produkteentwicklung (CRFD) (JB)
- [18] R. Schubiger et. al., LVV/ETH-Zürich: Demonstration eines besonders schadstoffarmen Verbrennungssystems für direkteingespritzte Dieselmotoren im off road Betrieb (JB)
- [19] F. Spinnler, SIG, Neuhausen: Entwicklung einer Hochdruckpumpe mit Regelung
- [20] Y. Caloz und L. Reh, IVUK/ETH-Zürich: Messung von Scale-up Parametern energieeffizienter und umweltfreundlicher zirkulierender Wirbelschichtanlagen (JB)
- [21] R. Röthlisberger et. al., LENI/EPF-Lausanne, K. Boulouchos et. al., LVV/ETH-Zürich: Swiss-Motor, Demonstration eines besonders umweltfreundlichen Gasmotors für den stationären Einsatz (JB)
- [22] T. Gradinger et. al., LVV/ETH-Zürich: Flammenstruktur und NO_x-Bildung in turbulenten Vormischflammen (JB)
- [23] W. Hubschmid et. al. PSI-Villigen: Mischung und Verdampfung von Brennstoffsprays in Gasturbinen-Vormischbrennern (JB)
- [24] Ch. Bruch et. al. LTNT/ETH-Zürich: Grundlagen der Skalierung von Gas-Brennwert-Units im Leistungsbereich um 1MW, Phase I (JB)
- [25] H. Dreher, IGNIS, Ruswil, J. Gass et. al. LTNT/ETH-Zürich: Grundlagen der Skalierung von Gas-Brennwert-Units im Leistungsbereich um 1MW, Phase II (JB)
- [26] R. Berksum, IIUF, UNI-Freiburg: Effiziente Energienutzung durch intelligente Regelung des Verbrennungsvorgangs in Müllverbrennungsanlagen (JB)
 - (JB) Jahresbericht 1997 vorhanden (via ENET)
 - (SB) Schlussbericht vorhanden (via ENET)

Referenzen

- [27] A. Hintermann: Forschungsprogramm 1996-99 "Feuerung&Verbrennung", BFE, zu beziehen bei ENET
- [28] U. Dogwiler et. al.: Two-dimensional Modeling for Catalytically Stabilized Combustion of a Lean Methane-Air Mixture with Elementary Gaseous and Surface Chemical Reactions, Combustion and Flame, (1998)
- [29] Th. Stocker et. al.: Climate and Environmental Physics 1994 1997, Progress Report, (1997)
- [30] G. B. Drummond, Ed.: XIX Task-Leaders-Meeting, Proc. IEA-Conf. Capri, 15. 17. August 1997
- [31] G. Weisser et. al.: *Towards CRFD-Simulation of Large Diesel Engines: Modeling Approaches for Key Processes*, Proc. ICE Conference, *Capri*, (1997)
- [32] K. Boulouchos et. al.: *Experimentally Validated Atomization and Ignition Models for Diesel Engine Combustion Simulations*, Proc. ILASS-EUROPE Conference, *Florence*, (1997)
- [33] L. Reh et. al.: *Development Potentials of Circulating Fluidized Bed Combustion*, Proc. VGB Conf. (1997)
- [34] A. Tzannis et. al.: Application of Resonant Holograpgic Interferometry to OH Concentration Measurements in a 2D Co-Flow H₂/Air Diffusion Flame and Comparison with Direct Numerical Simulations, Proc. 27th Int. Symposium in Combustion, Boulder, Colorado (2. 6. August 1998)
- [35] U. Dogwiler et. al.: Homogeneous Ignition of Methane/Air Mixtures over Platinum: Comparison of Measurements and Detailed Numerical Predictions, Proc. 27th Int. Symposium in Combustion, Boulder, Colorado (2. 6. August 1998)
- [36] J. Mantzaras et. al.: Numerical Modelling for Turbulent Catalytically Stabilized Combustion of Lean H₂/Air Mixtures in Plane Channel Flows, Proc. 27th Int. Symp. in Combustion, Boulder, Colorado (2. 6. August 1998)
- P. Beaud et. al.: Picosecond Investigations of Vibrational Energy Transfer and Quenching of OH(A2+,v'=0,1) in an Atmospheric Pressure methane-Air Flame, J. Chem. Phys. (1998)
- [38] B. Mischler et. al.: Analysis of Radicals in Combustion Processes, Chemia 51, 771-776, (1997)
- [39] B. Hemmerling et. al.: *Temperature and Mixture Fraction Measurements in Gases by Laser Induced electrostrictive Gratings*, Opt. Lett. (1998)
- [40] R. Schulz: Experimentelle Untersuchung der Russbildung in einer Gasturbinenbrennkammer, Dissertation ETH-Zürich No. 12407, (1997)
- [41] S. Martens: Simulation von Russbildung und Flammenstrahlung unter gasturbinentypischen Bedingungen, Dissertation ETH-Zürich No. 12512, (1998)
- [42] M. Stöckli: Entwicklung und Erprobung eines Detektionssystems zur in-situ-Messung von Einspritzstrahltröpfechen am DI-Dieselmotor, Dissertation ETH-Zürich No. 12367, (1997)
- [43] M. Elsener und M. Koebel: Neuartiges Verfahren zur Bestimmung des Ammoniakschlupfs in der SCR- und SNCR-Technik, PSI-TLM-51-97-06, (1997)
- [44] A. Hintermann: Verbrennungsforschung der öffentlichen Hand in der Schweiz, brennpunkt Nr. 34 (1997)
- [45] P. Dimopoulos: *Experimentelle Untersuchung des Strömungsfeldes in motorischen Brennräumen*, Dissertation ETH-*Zürich* No. 11937, (1996)

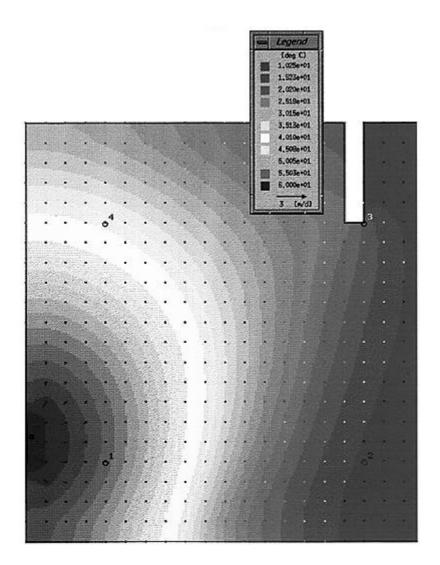
Excerpt from "ENERGY RESEARCH 1997", Editor: L. Dubal Swiss Federal Office of Energy http://www.admin.ch/bfe/

STOCKAGE DE CHALEUR

Rapport de synthèse sur les activités 1997 du programme de recherche et du programme P+D

Jean-Christophe Hadorn

jchadorn@swissonline.ch



Simulation numérique

L'analyse par éléments finis des possibilités de stockage de chaleur dans un aquifère de faible profondeur effectuée à l'EPF-Lausanne a montré que même en l'absence d'écoulement naturel important, les pertes thermiques par convection naturelle peuvent devenir prépondérantes et rendre le stockage inopérant.

Centres de gravité du programme

Le programme de recherche "Stockage de chaleur" est organisé autour de trois axes correspondant à trois types de stockage saisonnier de chaleur ou de froid. Le **stockage saisonnier** est en effet le problème le plus important et le plus utile à résoudre tant son potentiel est important, soit pour la valorisation de l'énergie solaire, soit pour celle de l'énergie tirée de l'environnement au moyen de pompes à chaleur.

Les centres de gravité sont, par ordre d'importance:

- 1) de rechercher les moyens de réduire le coût des **stocks souterrains diffusifs** par le développement de nouveaux types d'échangeurs de chaleur, par l'optimisation de l'échange fluide-sol et par l'optimisation de l'ensemble du système dans lequel s'insère le stock.
- 2) de connaître et mieux comprendre le comportement de **stocks diffusifs** (sondes, pieux échangeurs,...) exploités par des **pompes à chaleur**, ainsi que les performances d'ensemble de systèmes. Cette connaissance est également acquise par des projets P+D faisant l'objet de mesures.
- 3) d'évaluer la faisabilité d'installation de stockage en **aquifère** de l'ordre de 10'000 m³, soit une taille relativement petite pour un stock saisonnier sans isolation artificielle, mais qui correspond à un marché potentiel en Suisse. Deux problèmes se posent pour de tels aquifères: les pertes thermiques sont importantes et le balayage par écoulement naturel peut détruire totalement le stock (voir entête).

La recherche sur des sujets présentant un caractère novateur et connexe aux axes ci-dessus n'est pas exclue, mais les moyens financiers sont limités. Elle est décidée selon l'opportunité des demandes, de cas en cas.

En matière de stockage court terme, le stockage de chaleur solaire revêt un intérêt primordial. Il s'agit d'améliorer la connaissance de la stratification thermique, des pertes de chaleur et de la gestion optimale des cuves à eau de toute taille. Le programme de recherche "Stockage de chaleur" a des moyens trop limités pour envisager une avancée critique dans ce domaine. C'est donc dans le programme "Solaire actif - Chaleur" que nous essayons de couvrir les aspects les plus utiles du stockage court terme. Par ailleurs, l'industrie solaire et celle des chauffe-eau effectuent une part importante de la recherche dans ce domaine sans aide directe de l'OFEN. Citons par exemple les cuves solaires de JENNI ou celles d'autres fabricants, ou le boiler CIPAG avec isolation par le vide montré par l'entreprise au cours de l'année 1997.

Le stockage en matériau à chaleur latente n'a pas démontré par le passé des avantages décisifs par rapport à l'eau et n'est de ce fait pas soutenu.

Le **stockage de froid industriel**, étudié en France et au Japon, n'a encore que peu d'applications en Suisse du fait de la structure tarifaire plus homogène de l'électricité dans notre pays. Il n'est pas exclu qu'il apparaisse cependant à l'avenir comme un moyen de gestion optimale d'installations nécessitant recherche.

Buts visés pour 1997

a) Stockage en cuve à eau

La plus grosse cuve de stockage de chaleur solaire de Suisse, celle de l'installation de l'Office fédéral de la Statistique à Neuchâtel, sera mise en service en 1998. Une mesure des pertes de cette cuve a été faite en 1997 avec cuve vide d'eau, avant l'exploitation, pour confrontation au modèle théorique.

Les expériences en Europe ont montré que les pertes thermiques des cuves de stockage saisonnier d'énergie solaire ont toujours été sous-estimées a priori, et mal comprises a posteriori après une année de mesures.

c) Stockage diffusif

Les premières solutions possibles pour la réduction

des coûts des installations solaires pour des immeubles collectifs avec stockage saisonnier diffusif étaient attendues.

Les résultats des mesures sur deux stocks diffusifs expérimentaux pour des villas étaient attendus.

b) Stockage en aquifère

La mise en route d'une thèse à l'EPFL était visée.

Le suivi des projets P+D et l'analyse des résultats étaient également un objectif important. Divers projets pilotes devaient fournir enfin des résultats de mesure plusieurs années après la décision de les réaliser.

Travaux effectués et résultats obtenus

STOCKAGE EN CUVE

A Neuchâtel, la cuve de stockage saisonnier de l'installation solaire du nouveau bâtiment de l'Office fédéral de la Statistique a été installée en 1995 et restera hors exploitation jusqu'à mi 98. En profitant de cette période, un procédé original de mesure des pertes thermiques de la cuve de 2'370 m³ a été défini et mis en oeuvre [1]. L'air intérieur de la cuve de 14 m de diamètre et 14 m de hauteur (!) a été chauffé et les puissances nécessaires et températures atteintes ont été enregistrées. La mesure du coefficient k global est précieuse pour l'analyse complète ultérieure de l'installation solaire, évitant l'incertitude de la méthode consistant à déduire les pertes du stockage des défauts de bilan entre énergie injectée et énergie soutirée. Malheureusement, à l'automne 1997, le manteau de la cuve a été inondé par des venues d'eau et l'isolant s'est retrouvé trempé et dégradé. La mesure a fourni une déperdition en régime établi de 10.6 kW alors que le modèle théorique prévoit 8.1 kW (0.20 W/m² K). L'équipement de mesures a été conservé en fonction jusqu'en 1998 afin de suivre l'évolution du séchage et des réparations entreprises sur l'isolation de la partie inférieure de la cuve. De ce point de vue, la mesure mise en place à d'autres fins a été salutaire: elle permet un contrôle bienvenu de l'évolution du séchage. La répartition des déperditions selon les surfaces est également connue grâce au modèle calé sur les observations.

Outil de pré-dimensionnement d'une solution solaire avec stockage saisonnier en cuve pour un groupe d'immeubles ou un quartier nouveau ou à rénover, le logiciel *Solar option* a été finalisé et testé [1]. Il sera mis en distribution via ENET en 1998 pour une somme modique.

A Chambésy près de Genève, le projet RENOVA comporte une cuve à eau de 11 m³ chargée par 31 m² de capteurs solaires, ainsi qu'un stock souterrain diffusif placées sous la maison, pour absorber les excédents de chaleur solaire d'été. L'installation de mesures a été réalisée et les mesures sont acquises depuis juin 1997 par le CUEPE. Les résultats sont très conformes au projet. Les capteurs intégrés en toiture montrent un coefficient optique de 0.9 et thermique de 5.7 W/m²·K, et le solaire a fourni 100% des besoins jusqu'en fin 1997. On a observé que la stratification dans la cuve comportant un boiler inox intégré peut être cependant rapidement détruite par brassage lors des soutirages d'eau sanitaire. Des excédents solaires estivaux de 24'000 MJ ont été injectés dans le sous-sol à une température maximale de 50°C, valeur imposée par la présence de tubes en plastique. Les pertes thermiques du stock souterrain non isolé sont cependant importantes et il ne pourra assurer de fonction active en hiver [3]. Ceci avait été prévu par les simulations, mais le test réel était nécessaire du fait de l'incertitude des modèles pour les stocks de petits volumes et peu homogène. Aucun signe de tassement ou de gonflement du sous-sol n'est détecté. Les résultats de mesures d'un cycle complet seront exploités par simulation en 1999 afin d'effectuer une recherche d'optimum.

STOCKAGE DIFFUSIF

Le bâtiment de la société Thali à Hitzkirch est chauffé par une installation de pompe à chaleur utilisant un stockage souterrain de 1'000 m de sondes coaxiales, rechargé en été par le dégagement de chaleur de la salle informatique. Un dimensionnement incorrect et un choix inadéquat des équipements et des débits ont été corrigés après une première campagne de mesures sur cette installation pilote [15]. Les résultats des mesures sur l'installation rénovée montrent un fonctionnement nettement meilleur. Les performances de la pompe à chaleur ont été améliorées de 15%. Cependant, il y a trop de sondes pour les besoins et, d'autre part, la chaleur injectée en été par le refroidissement direct des locaux est nettement supérieure à la chaleur soutirée en hiver. La température moyenne dans le sol du stock va augmenter jusqu'à s'établir après quelques années à quelques degrés au-dessus de la moyenne naturelle, peut-être 3 à 5°C, de manière à dissiper ainsi les excès de l'été. Une recherche in situ d'optimum pourrait être tentée [2].

A l'École d'Ingénieurs de Winterthur (TWI), le projet de recherche sur la possibilité de réduire le coût du **stockage souterrain diffusif** et d'analyser les conditions optimales d'une réalisation dans la région de Zürich se poursuit [4]. Ce projet constitue le projet principal de notre programme, le stockage diffusif présentant les caractéristiques les plus favorables pour du stockage saisonnier. Les études ont progressé dans chaque axe du projet. Il est considéré comme cible de base un groupe d'immeubles neufs ou à rénover demandant 500 MWh/an. On veut satisfaire cette demande par le solaire avec un stockage saisonnier diffusif de 10 à 15'000 m³. On sait qu'il s'agit d'une limite inférieure de taille quant aux pertes annuelles.

Les résultats obtenus en 1997 sont les suivants:

1) la recherche de l'amélioration des sondes existantes conduit à suggérer une sonde à trois double-U en polybutylène de 20 mm x 1.9 mm, capable de supporter 5 bars et 70°C, selon les spécifications imposées par les résultats de simulation d'une

installation complète, et pouvant être introduite par vibration jusqu'à 30 m de profondeur,

- 2) la minimisation des pertes thermiques d'un stock de 15'000 m³ a été recherchée et conduit à une géométrie de 25 m par 30 m de hauteur et une couverture de 10 m de terrain si l'on yeut éviter tout isolant artificiel,
- 3) la recherche de cas concrets d'application potentielle dans la région de Zürich a permis de repérer un quartier en rénovation, Wettswil qui doit passer de 1000 à 500 MWh/an de demande en chaleur (200 MJ/m² an), et un quartier nouveau à bâtir, dont les plans prévoient une construction écologique à basse consommation d'énergie soit 100 MJ/m²·an. Les premières optimisations par simulation conduisent à un dimensionnement de 2100 m² de capteurs, un stock de 15'000 m³ et une fraction solaire de 50% pour le cas de Wettswil. Ces deux cas ont l'avantage de fixer un cadre réel au projet de recherche qui pourrait déboucher sur des réalisations.
- 4) la recherche des emplacements géologiquement favorables dans le canton de Zürich et les environs se poursuit. Les données de base utilisées sont: la carte de protection des eaux du canton et les résultats de près de 470 forages exécutés pour des sondes géothermiques. Une carte des lieux propices au stockage diffusif réalisable par vibration, situés en zones habitées, a pu ainsi être dressée,
- 5) le dimensionnement d'ensemble de l'installation comprenant captage solaire, stockage saisonnier diffusif, stock tampon et une distribution basse température est effectué par le LASEN-EPFL au moven du logiciel TRNSYS. Une configuration développée par un chercheur du LASEN, lors d'un précédent stage en Suède financé par le Fonds national, a été utilisée comme point de départ. Sur cette base, une combinaison optimale des paramètres est recherchée, compte tenu des contraintes. Si le résultat s'avère encourageant économiquement et à fort potentiel de reproduction, ce que l'on cherche, on pourra faire connaître la solution développée pour satisfaire par le solaire plus de 50% des besoins thermiques de quartiers d'habitation. On pourrait enfin, si les conditions le permettent, réaliser une première

A l'aéroport de Zürich sera prochainement construit un

bâtiment de grande taille nécessitant 350 pieux de fondation. Le bâtiment Dock Midfield pourrait ainsi être chauffé et climatisé en utilisant le sous-sol grâce aux pieux équipés comme échangeurs thermiques [6]. La technique est connue, mais le dimensionnement est encore délicat. La recherche consiste en l'espèce à mettre au point un modèle TRNSYS de l'installation et à optimiser le dimensionnement et l'exploitation. Du fait de la taille du bâtiment, des énergies en jeu et de la nouveauté de la solution, le dimensionnement le plus correct possible doit être fait, au mieux des outils actuels. Les données de demande en chaleur et froid du bâtiment proviennent de simulations faites par l'EMPA. Pour lever des incertitudes quant aux paramètres thermiques du sol, un test de réponse de deux sondes réalisées sur le site sera effectué en 1998 afin de connaître le facteur de résistance fluide-sol essentiel au dimensionnement. Un appareillage ad hoc sera développé et les résultats directement utilisables dans le modèle de simulation. Il s'agit d'une méthode de reconnaissance encore sophistiquée puisque classiquement on se contente de données thermiques de la littérature ou de mesures ponctuelles de la conductibilité thermique d'échantillons de sol. Elle se justifie par l'envergure du projet.

Le modèle utilisé par le LASEN pour les pieux et leur couplage à une pompe à chaleur a été mis au point et validé sur des mesures de deux installations avec pieux échangeurs dans le cadre du programme de recherche "Géothermie" de l'OFEN [21]. L'influence des écoulements souterrains peut être déterminante pour le fonctionnement à long terme du stock. Les premiers résultats de simulation montrent qu'en été le besoin en refroidissement du bâtiment pourrait être totalement assuré par les pieux en direct. En hiver, les pompes à chaleur (PAC) sur les pieux fourniraient 85% des besoins, avec un coefficient de performance (COP) moyen de 3,5. Le bilan du stock serait alors non équilibré. Cet éventuel déséquilibre et conséquences devront être précisés dès l'obtention des paramètres du sous-sol mesurés in situ.

La même démarche de mesure in situ de la réponse d'une sonde puis de simulation de l'installation pour son optimisation a donné de bons résultats dans le cas du projet P+D du Collège de Peseux que nous analysons plus loin.

STOCKAGE EN AQUIFÈRE

En matière de stockage en aquifère, il convient de s'interroger sur le futur de la technique. Les stocks réalisables sont de taille modeste et leurs performances sont décevantes pour des raisons mal connues (projets de Sierre et de Saillon). Les écoulements naturels semblent prépondérants et il a été montré en 1996 qu'une barrière hydraulique était une mesure insuffisante pour préserver pour plus de six mois la chaleur dans le cas de stocks de moins de 10'000 m³.

Dans le projet "Faisabilité générale du stockage de chaleur en aquifère", le Laboratoire de Géologie de l'EPF-Lausanne tente de fournir une explication complète du fonctionnement décevant du stock en aquifère de Saillon. Une modélisation 3D poussée a débuté. Elle servira ensuite de base à l'étude des limites de faisabilité de stocks en aquifère dans les conditions hydrogéologiques courantes suisses [5].

Coordination et collaboration nationale

La coordination avec les programmes "Géothermie" et "Chaleur de l'environnement" est fréquente par échanges d'informations entre chefs de programmes.

Dans notre programme, afin de ne pas disperser les forces, tous les aspects de simulation d'installations avec stock diffusif sont regroupés autour du même chercheur spécialiste du LASEN à l'EPFL. Le projet de l'école d'ingénieurs de Winterthur confie ainsi un volet simulation au LASEN, de même que le projet *Dock Midfield.* Nous obtenons ainsi des collaborations efficaces, nourries par plusieurs projets.

Coordination et collaboration internationale

Nous avons participé comme chairman et conférencier au symposium international en matière de stockage qui a lieu tous les trois ans MEGASTOCK'97 [17, 18]. On observe un fort développement du stockage saisonnier de froid en aquifère aux Pays-Bas, en Allemagne du Nord, en Suède et en Belgique. Les besoins en refroidissement de locaux sont avec cette technique satisfaits aisément, sans tour de refroidissement et de manière spectaculairement rentable.

La collaboration internationale se fait par contacts informels entre chercheurs. Par exemple, le responsable de notre projet de recherche à l'ETS de Winterthur a été reçu en Allemagne pour échange d'idées sur les grands stocks diffusifs dont les Allemands projettent la construction.

Transferts à la pratique, projets P+D

Les travaux suisses en matière de stockage saisonnier ont été présentés à CISBAT'97 à l'EPFL afin d'informer les intéressés et de favoriser le transfert des connaissances vers la pratique [19]. Les installations P+D bénéficient des connaissances acquises dans les projets de recherche: lors de l'évaluation du projet, des conseils sont fournis au requérant pour améliorer le projet.

Les projets P+D du programme sont orientés principalement sur le stockage diffusif, avec pompe à chaleur et recharge estivale, pour des bâtiments d'une certaine taille (collège, université, industrie). Des solutions de stockage dans le sol pour des villas, sans pompe à chaleur, sont toutefois également étudiées afin de connaître leur potentiel. De nombreux ouvrages théoriques sur les maisons à basse consommation citent en effet depuis plus de 20 ans le sous-sol, sans isolation, comme un recours possible pour le stockage saisonnier solaire. Il importe de montrer si ceci est valable ou non.

Au cours de 1997, des résultats attendus après plusieurs années de réalisation ont été obtenus.

Les plus spectaculaires concernent l'installation du **Collège de Peseux** dans le canton de Neuchâtel [9]. Le stock de 29'000 m³ fonctionne selon l'attente. L'indice énergétique du collège dont la demande annuelle en chaleur a été de 519 MWh, est passé de 794 MJ/m²·an avant travaux de rénovation et agrandissement à 176 MJ/m²·an! Le COP mesuré pour la pompe à chaleur électrique est de 3.64 en début d'hiver caractérisé par un stock chaud, à 3.28 en février. Ceci montre l'intérêt d'une source de chaleur de qualité telle qu'un stock saisonnier, pour les PAC. La pompe à chaleur est

alimentée en électricité par un groupe chaleur-force à gaz. Le rendement global de l'ensemble a atteint 1.47 mesuré sur le PCI du gaz. Le bilan du stock indique pour la première année un excès d'apport en été. Les résultats de ce projet devront être largement comuniqués en 1998 et 1999.

Dans le projet de Wollerau, après des difficultés de mise en service durant près d'un an, du fait de la régulation centralisée, un cycle complet de mesures est enfin disponible. Le stock constitué est extrêmement inerte. La température de saumure de la PAC ne descend pas au-dessous de 1°C en hiver et a atteint 17°C en été. Le COP moyen annuel a été mesuré à 3.9. L'appoint à gaz n'a fonctionné qu'en période de révision des PAC. En été, le stock a pu satisfaire tous les besoins de froid en direct, sans enclenchement de groupe de froid. Ces besoins, qui représentent la régénération du stock pour l'hiver, sont faibles (75 MWh/an) par rapport au soutirage hivernal par la pompe à chaleur. Un abaissement progressif de la température du stock est donc à attendre. Il conviendra de trouver une solution à ce problème. Les tuyaux horizontaux de connexion entre sondes ont une influence thermique importante [7,22].

L'installation de démonstration de **Buchrain** est dans le principe semblable à celle pilote, de Wollerau. La demande en chaleur mesurée a été de 460 kW et en froid de 130 kW. Une différence avec Wollerau est qu'une recharge du stock de 100 kW a lieu en permanence du fait de l'exploitation des rejets des groupes de froid d'un supermarché situé dans le complexe construit. Une température "aller" maximale de 22°C est contractuelle avec le supermarché, le

retour devant s'effectuer à 17°C. On peut donc s'attendre à un COP des pompes à chaleur plus élevé que la normale. La demande en chaleur a été couverte à 16% par le mazout, à 30% par l'électricité pour la PAC et à 54% par le stock. En hiver le COP moyen mensuel mesuré a été de 3.1 pour une fourniture côté condenseur à 50-55°C et à 2.7 en été pour l'eau chaude sanitaire nécessitant 62°C. Les températures côté condenseur sont ainsi plus élevées qu'à Wollerau. La température minimale de saumure a été de +10°C en février et maximale de 17°C en août. Une exploitation plus intensive du stock en hiver par la PAC serait souhaitable pour un bilan équilibré et éviter une hausse progressive de la température du stock au cours des années. Ceci nécessite une négociation avec la compagnie électrique pour éviter le haut tarif à certaines heures, qui fait que la PAC est déclenchée pour des raisons économiques [7, 23].

L'installation de Thali AG à Hitzkirch comporte une pompe à chaleur exploitant 10 sondes de 100m, régénérées en été par les rejets de rafraîchissement des locaux. Le propriétaire était déçu des performances des premiers mois. Dans le cadre d'un projet pilote, un diagnostic complet a été fait. Le dimensionnement initial trop faible des pompes de circulation et des échangeurs de froid a été corrigé après les premières mesures. Les deux PAC de 45 kW ont consommé, en 1997, 21% de moins qu'en 1996. Le confort intérieur des locaux en été a été nettement amélioré, ce qui permet aussi une meilleure recharge des sondes. Le nombre de sondes est par contre peut-être encore trop important pour la charge thermique d'hiver. Le suivi est assuré par un projet de recherche décrit précédemment. L'installation photovoltaï que de 30 kW a également été assainie et a produit 27'000 kWh en 1997, 18% de plus qu'en 1996 à irradiation comparable [15].

Le projet pilote du nouveau bâtiment de la Caisse d'assurances cantonales de Lucerne **Buchenhof à Aarau** comporte 10 sondes de 120m. Il devrait permettre de couvrir 70% des besoins en chaleur et froid du bâtiment par la PAC. Les mesures débuteront en mars 1998 dans le but d'évaluer les performances mensuelles de la PAC et les températures de saumure provenant du stock [13].

Le projet pilote de la *Hochschule St Gallen* comporte également un groupe de sondes délimitant un stock de 20'000 m³, utilisé en hiver par une PAC et régénéré en été par les rejets de climatisation de l'école. En 1997, le bureau d'ingénieurs responsable de l'installation et des mesures n'a pas fourni de rapport annuel [10].

Le projet de stock en molasse de 10'000 m³ chargé par 600 m² d'absorbeurs solaires pour les besoins d'une trentaine de logements de la coopérative **CODHAVA** à Corcelles avait reçu une qualification de projet pilote en 1995. En fin 1997, l'assemblée des propriétaires a renoncé à effectuer les travaux pour des raisons finan-

cières. Le contrat sera donc dénoncé [14].

Les projets précédents concernaient des bâtiments collectifs. Dans le programme, nous suivons également un certain nombre de projets qui concernent l'habitat individuel, afin d'évaluer la possibilité du stockage saisonnier à l'échelon de la villa. Trois projets pilotes décidés en 1995 apportent en 1997 les premiers résultats.

L'installation de **Les Brenêts** comporte un stock saisonnier sous forme de fûts de récupération de remplis d'eau. Il doit être chargé par une façade de captage solaire à air. Les résultats 1997 sont décevants par le fait que les gaines de ventilation acheminant l'air chaud de la façade vers le local en béton rempli de fûts ont montré des défauts d'étanchéité tels que les températures de sortie de la façade de 50°C se transformaient en 30°C à l'entrée du stock. La perte d'énergie a été trop considérable pour que le stock ne soit même partiellement chargé à la fin de l'été 97. Ceci devra être corrigé en 98 [12].

La maison solaire SOLERI à Unterseen avec stockage dans le sol environnant les fondations, des excédents d'été de 40 m² de capteurs solaires à air, est mesurée depuis deux ans. Les résultats de la 2ème année montrent un indice énergétique très bas de 85 MJ/m²·an pour la chaleur et 45 MJ/m²·an pour l'électricité, bien en dessous de la cible SIA. La demande annuelle en chaleur de la villa a été de 260 MJ/m² dont 125 proviennent des capteurs à air et de la véranda en direct et 30 du stock saisonnier en indirect. Le reste est assuré par les 16 m² de capteurs à eau (55 MJ/m²·an) et leur stock de 3.5 m³, les gains internes (15 MJ/m²·an) et par l'appoint à bois (35 MJ/m²·an) [8]. L'apport du stock saisonnier reste donc faible par rapport aux gains directs. Dans les villas à très basse consommation, chaque mesure prise pour économiser ou procurer un apport durant l'hiver revêt une certaine importance. Le stock est à évaluer selon cette optique, compte tenu de son coût initial. Le rapport final du projet est attendu.

Une villa familiale à **Epalinges** est doté de 36 m² de capteurs solaires plans sélectifs qui chargent en été un stock en molasse de 360 m³ constitué sous la villa. Le pari était risqué: pour charger le stock, 150 m² d'absorbeurs non vitrés étaient à l'origine prévus, ce qui aurait apporté environ 3 fois plus d'énergie que la solution finalement retenue pour des raisons esthétiques avant tout. La distribution de chaleur est à très basse température (via aérochauffeur et chauffage de sol largement dimensionné), il n'y a pas de pompe à chaleur dans le système. En 1997, 15 MWh solaires ont été captés. On a relevé à mi-décembre 97 dans les profils thermiques une très légère augmentation d'environ 1°C de la température de la masse de terrain entourant les sondes. Il est peu probable que le réchauffement progressif du massif de molasse au cours des années soit notable. La puissance de charge devra être augmentée en 1998, par exemple avec un appoint externe, si l'on veut voir un effet et tirer une conclusion quant à la viabilité de la solution [11].

Signalons dans le même ordre de solutions de stockage individuel, que dans le cadre du programme de

recherche en "solaire actif – chaleur" présenté par ailleurs, le projet **Renova** a montré que durant la première année la dissipation thermique de l'énergie injectée en été dans le sous-sol par 31 m² de capteurs solaire était importante, vraisemblablement plus de 90% de l'énergie injectée ne sera ainsi pas récupérée.

Évaluation 1997

Les connaissances en matière de stockage diffusif progressent de manière certaine mais non spectaculaire. L'année 1997 a permis de tirer les fruits de plusieurs années de recherche et de construction-exploitation de projets P+D. Les projets mettant en oeuvre des bâtiments de grande taille et des solutions de stockage saisonnier nécessitent en effet trois à cinq ans entre l'idée de réalisation et les résultats de mesures.

Dans l'ensemble, les résultats sur les stocks diffusifs montrent que les conditions nécessaires pour un succès sont:

 bonne connaissance du sous-sol et notamment des écoulements souterrains. calcul et dimensionnement très soigné, au moyen des outils de simulation validés qui sont désormais disponibles.

Le comportement d'ensemble des combinaisons chauffage-refroidissement autour d'un stock diffusif comportant des groupes de sondes commence à être connu (Wollerau, Buchrain, Thali, Buchenhof, St-Gall). Nous avons là une accumulation de données qui devrait tendre à prendre l'allure d'une connaissance grâce à l'analyse comparée.

Pour les villas individuelles, la complexité de la mise en oeuvre d'un stock diffusif ne semble pour le moment toujours pas justifiée par les gains.

Perspectives 1998

Les travaux sur la recherche de stocks diffusifs plus économiques à Winterthur devraient conduire à des décisions de poursuite ou de persévérance dans le domaine. Rappelons qu'il s'agit de réaliser plus de 50% solaire pour des groupes de bâtiments nécessitant plus de 500 MWh/an de chaleur. En Allemagne, des projets de cette envergure, voire plus grands, sont en cours de discussion (Neckarsulm).

L'évaluation par simulation du projet SERSO, stock diffusif de 30'000 m³ utilisé en hiver pour éviter la formation de glace sur un pont près de Spiess, en fonction depuis deux ans, sera soutenue financièrement. La recherche de configurations optimales pour ce type d'installations dont on a appris qu'il existait plus de 15 exemples au Japon lors de MEGASTOCK'97, est visée.

L'étude des causes de l'échec du stock en aquifère de Saillon devrait permettre peut-être de proposer une solution d'amélioration du stock existant et surtout de mieux cerner les limites du stockage en aquifère de taille modeste (10'000 m³).

En ce qui concerne les projets P+D, le programme révélera sans doute encore un manque de projets lié à la crise du bâtiment des années récentes. Compte tenu de l'ampleur d'une réalisation possible à Lucerne, en discussion depuis deux ans (stock de 300'000 m³ pour la CNA), il se pourrait cependant que l'ensemble du budget P+D soit dédié à ce seul projet. Dans le cas contraire, il faudra rechercher ou susciter de nouveaux projets. Les résultats favorables des pilotes de Peseux, Wollerau, Buchrain et Thali devraient aider. Les bilans économiques devront toutefois être produits. Les solutions à pieux échangeurs pourraient en 1998 également être plus fréquentes dans la mesure où les connaissances dans le domaine sont meilleures et plus répandues.

Les solutions de stockage diffusif pour une villa sont peu convaincantes et ne seront pas aidées à l'avenir, sauf cas particulièrement prometteur en simulation prévisionnelle.

Liste des projets de recherche

- [1] P. Jaboyedoff, SORANE, Lausanne: Solare Wärmespeicherung / Stockage saisonnier (IEA CHSPSS Working group) (RF sous forme du logiciel Solar option 1.0) Mesures des pertes de chaleur de la cuve de stockage de l'installation solaire de l'Office fédéral de la statistique à Neuchâtel (RA)
- [2] P. Stähli, IEM, Konolfingen: Dienstleistungensgebäude mit Niedrigenergiehausstandart. Gebäude der Firma Thali in Hitzkirch. Messkampagne der EWS Speicher Anlage (RA)
- [3] B. Lachal, CUEPE, Genève: RENOVA: Installation solaire active avec injection de chaleur en sous-sol (RA)

- [4] H. Juzi, TWI, Winterthur: Saisonale Speicherung von Sonnenenergie im Erdboden zur Wärmeversorgung von grösseren Überbauungen (RA)
- [5] A. Parriaux, GEOLEP / EPF-Lausanne: Faisabilité générale du stockage de chaleur en aquifère en Suisse (RA)
- [6] M. Hubbuch, EWI, Zürich: Energiepfähle für Dock Midfield des Flughafens Zürich. Detaillierte Simulation und Optimierung der Anlage (RA)
 - (RA) Rapport annuel disponible
 - (RF) Rapport final disponible

Liste des projets P+D

- [7] C. Kapp, NEK Umwelttechnik, Zürich: Erdwärmesondenfeld (Heizen- Kühlen- Speichern) für den Produktions-Neubau Meister + Co. AG, Wollerau SZ (RA) EWS-Anlage Tschannland, Buchrain (RA)
- [8] A. HEMMI, Unterseen, M. BLATTER-SPALINGER, Münchenstein: SOLERI: Erdspeicher für Wohnhaus Hemmi, Unterseen (RA)
- [9] B. MATTHEY, Montezillon: Installation solaire pour le collège des Coteaux à Peseux avec stockage saisonnier par sondes verticales et pompe à chaleur à gaz (RA)
- [10] H. SCHÄR, St Gallen: Erdspeicheranlage für das Weiterbildungszentrum HochSchule St. Gallen
- [11] F. FLEURY, Epalinges: Villa solaire avec stockage saisonnier en molasse (RA)
- [12] P. LÉCHAIRE, Les Brenêts: Maison solaire avec stockage saisonnier central chauffé par capteurs à air (RA)
- [13] J. WILLERS, Rheinfelden: Verwaltungsgebäude Buchenhof, Aarau. Messkampagne des saisonales Erdspeichers (RA)
- [14] CODHAVA, Corcelles: Chauffage solaire avec stockage saisonnier en molasse
- [15] P. Stähli, Konolfingen: Optimierung Gewerbehaus Thali AG (RA)

Références

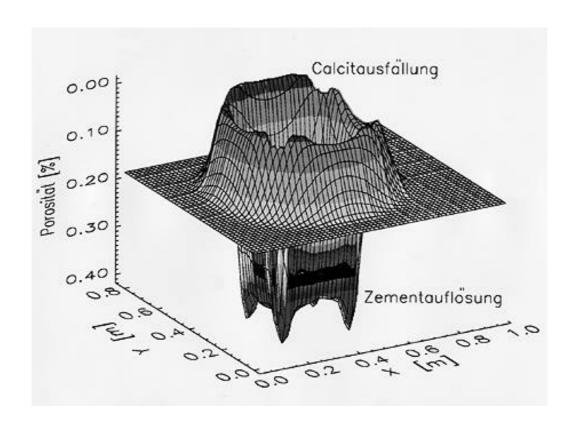
- [16] J.-C. Hadorn, Compte-rendu de la Conférence *MEGASTOCK'97*, Sapporo, Japan ENET, décembre 1997
- [17] J.-C. Hadorn, *Status of seasonal storage in Switzerland, MEGASTOCK'97*, Sapporo, Japan ENET No 6100016/5
- [18] J.-C. Hadorn, A review of seasonal storage in Switzerland, CISBAT'97, EPFL-LESO, pp. 91-96
- [19] A. Hemmi, Unterseen, M. Blatter-Spalinger, Münchenstein, *SOLERI: Niedrigenergiehaus mit Erdspeicher in Unterseen*, CISBAT'97, EPFL-LESO, Octobre 1997, pp. 377-382
- [20] A. Fromentin, D. Pahud, *Pieux échangeurs ou comment se chauffer par le biais des fondations d'un bâtiment*, CISBAT'97, EPFL-LESO, Octobre 1997, pp. 249-254
- [21] C. Kapp, M. Morath, NEK Umwelttechnik AG, Zürich, EWS-Anlage Wollerau SZ. Teil 1: Messkampagne von November 1996 bis Oktober 1997, ENET, Bern, 9. Dezember 1997
- [22] C. Kapp, M. Morath, NEK Umwelttechnik AG, Zürich, EWS-Anlage Ueberbauung TSCHANNLAND, Buchrain LU. Teil 1: Messkampagne von November 1996 bis Oktober 1997, ENET, Bern, 15. Dezember 1997
- [23] D. Pahud, Simulation of central solar heating plants using a duct store: an application for Switzerland, 1996, ENET, Bern, No 9006008/53, 91 p.

KERNTECHNIK UND NUKLEARE SICHERHEIT

Überblicksbericht zum Forschungsprogramm 1997

Wolfgang Kröger

kröger@psi.ch



Simulation der Zementdegradierung nach 1000 Jahren Wechselwirkung

In einem Endlager für schwach- & kurzlebige mittelaktive Abfälle, das zu 95% aus Zement besteht, dringt Gesteinswasser ein. Der Zement löst sich langsam auf und in der Umgebung des Endlagers fällt Calcit aus.

Programmziele

Forschung auf dem Gebiet sicherer Kerntechnik in der Schweiz dient heute primär:

- dem ständigen Angleichen von Kompetenz an den 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 und dem Erbringen wissenschaftlicher 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" des Paul Scherrer Instituts (PSI) statt. Die Hochschulbeiträge konzentrieren sich auf die Lehre; Doktoranden und Diplomierende führen allerdings ihre Forschungsarbeiten meist am PSI durch. 1997 wurden am PSI insgesamt ca. 190 Personen-Jahre (davon ca. 35 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 die NAGRA, das BFE (bzw. die HSK) sowie dem BBW im Rahmen EU-FTE-Rahmenprogramme (europäische Rahmenprogramme für Forschung und technische Entwicklung) finanziert. BFE/HSK steuerten allein ca. 7% der Drittmittel bei; darauf geht der nachfolgende Jahresüberblick "Regulatorische Sicherheitsforschung der HSK" nochmals gesondert ein.

Arbeiten und Ergebnisse 1997

SICHERHEIT & SICHERHEITSBEZOGENE BETRIEBSPROBLEME KKW

STARS [1]

Dieses Projekt in Zusammenarbeit und mit Unterstützung der HSK zielt auf die Analyse postulierter Unfallsequenzen in den schweizerischen KKW mit Rechencodes nach dem Stand der Technik und detaillierten reaktorphysikalischen und thermohydraulischen Systemmodellen. Die Arbeit umfasst:

a) On-call Dienstleistungen

Beim Test "Generator-Lastabwurf" am KKW Leibstadt (KKL) muss eine Reihe von Schutzmassnahmen ergriffen werden. Diese Kette von Aktionen wurde bei der Simulation gut erfasst und wies auf die Qualität der Analysen hin, insbesondere der detaillierten Darstellung des Anlagenregel- und -schutzsystems. Die Anwendung reaktorphysikalischer Daten zur genauen Kernzustand-Beschreibung während der Tests erwies sich auch als wesentlich für die erzielte allgemeine gute Übereinstimmung.

Die Qualität und der Anwendungsbereich der von einem Brennstofflieferanten benutzten *Void*korrelation wurden überprüft; die sehr kurzfristig angelegte Arbeit basierte auf der in den letzten zwei Jahren angelegten *Void*-Datenbank. Es zeigte sich, dass die vorgeschlagene Korrelation für die beabsichtigte Anwendung adäquat ist, solange sie für *Void*anteile unterhalb 85% verwendet wird.

Bei der Überprüfung durch HSK-Experten einer für das KKW Gösgen-Däniken (KKG) durchgeführten probabilistischen Sicherheitsanalyse (PSA) im Rahmen der periodischen Sicherheitsüberprüfung wurden vier LOCA-Szenarien als für die PSA-Resultate kri-

tisch eingestuft. Vereinfachte Rechnungen für Brüche von 5 und 10 cm Durchmesser mussten mit modernen *Codes*, wie RELAP5, verifiziert werden. Dabei wurden mehrfache Fehlfunktionen – wie bei PSA typisch – angenommen: Man kombinierte die Nichtverfügbarkeit aller Akkumulatoren mit dem Versagen aller primärseitigen Hochdruck-Injektionssysteme. Es zeigte sich, dass der Reaktor auch bei mehrfachen Fehlfunktionen und daher stark beeinträchtigtem Kernnotkühlsystem kühlbar bleibt, solange mindestens ein System zur sekundärseitigen Druckentlastung verfügbar ist.

b) Codeimplementierung, -modellierung und -validierung

Ein mit 9% Gd vergifteter Brennstoffstab wurde während des 10. Zyklus im KKL im Rahmen einer Zusammenarbeit KKL-ABB-PSI bestrahlt. Nach eingehenden γ-Scans im Werk wurde er zu den heissen Zellen des PSI transportiert, wo radiale Konzentrationsverteilungen der relevanten Isotope mittels Sekundärionen-Massenspektroskopie (SIMS) gemessen werden. Zuvor wurden blinde Rechnungen mit dem Codepaket von Studsvik (CASMO-4 / SIMULATE) durchgeführt.

Die Überprüfung der *Void*-Modelle in RETRAN-3D wurde abgeschlossen; Daten aus 83 Experimenten in 9 Testaufbauten (insgesamt ca. 500 Datenpunkte), die bei der Entwicklung der Chexal-Lellouche – Korrelation nicht genutzt worden sind, wurden gesammelt. Allgemein wurde in diesem unabhängigen Test eine gute Übereinstimmung zwischen Rechnungen und

Messdaten erzielt. Dennoch wurde eine wesentliche Überschätzung des *Void*anteils bei niedrigen Massenströmen und Drücken festgestellt, die für Sicherheitsanalysen von LWR (Unfallszenarien mit Naturzirkulation) relevant sein könnte.

c) Forschungsorientierte Arbeiten

Der Fokus richtete sich 1997 auf die Analyse der Experimente vom 7. KKL-Zyklus. Während diesem Satz von Experimenten, mussten die Reaktorparameter

angepasst werden, um die Amplitude der Leistungsoszillationen zu kontrollieren. Die sorgfältige Berücksichtigung dieser Variationen war für eine Übereinstimmung der berechneten Oszillationsabklingraten mit den Messdaten entscheidend. Die erfolgreiche Wiedergabe in den Simulationen von regionalen Oszillationen, die in diesem Experimentensatz gemessen wurden, ist ein überzeugender Beweis für die globale Qualität der PSI-Methodik für SWR-Stabilitätsanalysen.

HUMAN RELIABILITY ANALYSIS [2]

Auf dem Gebiet der HRA hat das PSI 1997 zwei *Oncall-Reviews* für zwei schweizerische KKW abgeschlossen, die sich mit der Methodik befassen und offene Fragen identifizieren. In einem Fall wurde auch die Anwendung beurteilt. Diese Arbeit liefert auch Forschungsimpulse und ist mit Entwicklungsarbeiten zur Verbesserung heutiger Methoden eng gebunden. Drei Forschungsaufgaben wurden gestartet:

 Bei der HRA-Rekalibrierung in einer Schweizer PSA werden neue Versagenswahrscheinlichkeiten abgeschätzt, um die von Experten erhaltenen Index-Wahrscheinlichkeiten neu zu eichen.

- Bei der Entwicklung eines Rahmens für die Analyse von Betriebsereignissen nach Ausführungsfehlern und eines Ansatzes zur Identifizierung und Quantifizierung von Gelegenheiten für Entscheidungsfehler der Operateure, werden solche Ereignisse aus der Vergangenheit studiert, um Voraussage-Ansätze zu unterstützen.
- Im Rahmen der Entwicklung eines dynamischen Softwarewerkzeuges auf der Basis von OPSIM und RETRAN werden Simulationen der Anlage und der Befolgung von Prozeduren durch die Operateure integriert.

LWR-KONTAMINATION [3]

Ziel dieses Projektes ist die Studie der dominierenden Rolle der Wasserchemie in Reaktorsystemen für die Aktivitätsaufnahme (und daher die Strahlenexposition) und für das Komponenten-Alterungsverhalten.

1997 hat man elektrochemische Hochtemperatur-Messtechniken im Labor eingeführt. Eine neuartige Hochtemperatur-Referenzelektrode zur Messung des Korrosionspotentials unter SWR-Bedingungen wurde entwickelt. Der Prototyp einer mit elektrochemischen Sensoren vollständig ausgerüsteten Couette-Autoklave für Hochtemperaturmessungen wurde gebaut. Zukünftig wird es möglich sein, Polarisationsexperimente und Impedanzspektroskopie-Messungen gleichzeitig an bis zu 32 Proben von *On-Line* und bei hoher Temperatur vorzunehmen. Dazu wurde auch das Datenerfassungssystem erneuert.

Ferner wurde der Aktivitätsaufbau auf korrodierende rostfreie Stahlproben unter verschiedenen Heisswasser-

Chemiebedingungen studiert. In einem umfassenden *Screening*-Experiment wurde der Aktivitätsaufbau für pHs im Bereich 4 bis 8 unter Zugabe möglicher Reaktorwasser-Verunreinigungen untersucht. Der Aktivitätsaufbau in den Korrosionsschichten zeigte eine klare Abhängigkeit von pH-Wert und Verunreinigungen. Die günstige Wirkung von Mn und die schädliche von Cu wurden definitiv bewiesen. Die Austauschkoeffizienten von ⁶⁰Co/⁵⁸Co mit korrodierenden rostfreien Stahlflächen unter SWR-Bedingungen wurden erfolgreich bestimmt, und es gelang erstmals, eine genaue Massenbilanz von Radionukliden für das gesamte Autoklavensystem experimentell zu erstellen.

Die Arbeiten zur Strahlenfeldreduktion im Rezirkulationssystem von SWR führten zu einem erfolgreichen Technologietransfer an Siemens/KWU, die das registrierte Patent des PSI für eine spezifische Voroxidationstechnik von rostfreien Stählen übernommen hat.

EDEN [4]

Die Arbeit im Rahmen dieses Projektes (Entwicklung, Demonstration und Evaluation von Nachbestrahlungsuntersuchungen) [4] konzentrierte sich auf drei Hauptgebiete:

a) Korrosionsbeständigkeit und mechanisches Verhalten von Zircaloy-Brennstabhüllrohren bei hohem Abbrand und langer Reaktorexposition

Die Abbranderhöhung erfordert Hüllrohr-Materialien mit verbesserter Leistung hinsichtlich Korrosionsbeständigkeit und H₂-Aufnahme. In einem gemeinsamen Projekt mit einem schweizerischen KKW und einem

Brennstofflieferanten wurden verschiedene Hüllrohrwerkstoffe für DWR aus niederlegierten Zinnlegierungen und Zr-Nb-Legierungen überprüft, aus Brennstoffstäben, die Abbrände bis zu 80 MW•d/kgU und Bestrahlungszeiten bis zu 2300 Vollast-Tagen erreichten. Die Hüllen zeigten keine spezifische Verschlechterung der wasserseitigen Korrosion, und die Wasserstoffaufnahme blieb im akzeptablen Bereich.

Nachdem eine ungewöhnliche Oxidation in der Nähe des Abstandhalters auf einem Brennstoffstab nach 5 Zyklen Bestrahlung bei der in-situ Routineinspektion in einem schweizerischen KKW entdeckt wurde, zeigte eine umfassende Untersuchung in den heissen Zellen erhöhte Korrosion von Zircaloy-2 Hüllrohren unterhalb des Inconel-Abstandhalters bereits vom ersten Zyklus an. Diese sog. Schattenkorrosion wurde auch früher unter SWR-Bedingungen beobachtet, erreichte aber nach langen Bestrahlungszeiten einen asymptotischen Wert. Hier aber wurde eine Beschleunigung der Korrosion seit dem 4. Zyklus festgestellt, die zu einer beträchtlichen Abnahme der Hüllrohr-Wandstärke führte. Vergleiche mit anderen KKW zeigten, dass dieser Effekt anlagespezifisch war und in Zusammenhang mit der Wasserchemie stand. Bei der Untersuchung stellte sich heraus, dass die Mechanismen der Schattenkorrosion und der beobachteten Beschleunigung nicht gut verstanden sind, und dass weitere Grundlagenforschung erforderlich ist.

Die Korrelation zwischen Zähigkeit von Hochabbrand-Hüllrohren bzw. H₂-Aufnahme und Bestrahlung wurde durch Vergleiche von Zugversuchen an H₂-geladene und im Reaktor bestrahlte rekristallisierte Führungsrohre studiert und zeigte eine Überlagerung der Versprödungseffekte von Bestrahlung und H₂.

Die wasserseitige Korrosion hängt stark von der Oxydstruktur und dem Diffusionsvorgang im Oxyd ab. Die TEM-Präparationstechnik zur Aufdeckung des Metall-Oxyd-Übergangs bei hoher Auflösung wurde weiter verbessert und auf bestrahlte Proben mit Oxyddicken bis zu 50 μm angewandt. Da keine Unterschiede zwischen unbestrahlten Proben und solchen aus Autoklaven gefunden werden konnten, deutet darauf hin, dass am Metall-Oxyd-Übergang der zwei Probenarten ähnliche Bedingungen herrschen.

Lithium, welches zu etwa 2 ppm zur Kontrolle des pH-Wertes von DWR hinzugefügt wird, beschleunigt oberhalb 70 ppm die Zirkaloy-Korrosion. Mit einer neuen Technik (lineares *Scanning* und Bildanalyse in Verbindung mit LMIS (*liquid metal ion source*) der SIMS über Hüllrohr-Querschnitte) wurden Analysen des Tiefenprofils von Li und B von der Probenober

fläche aus vorgenommen. Die Profile wurden in Oxydschichten bis zu 50 μ m, d.h. 5 mal mehr als mit bisherigen Techniken, untersucht. Auch in diesen dickeren Oxyden nahm die Li-Konzentration mehrere Mikrometer vor dem Metall-Oxyd-Übergang ab.

b) Strahlungsinduzierte Spannungsrisskorrosion IASCC

Spannungsrisskorrosion von Kernkomponenten aus rostfreiem Stahl oder Nickel-Basislegierungen ist ein grösseres Problem bei SWR und - bis zu einem gewissen Grade - bei DWR. Zum besseren Verständnis der grundlegenden Mechanismen und der massgeblichen Parameter wurden der Stand der Technik, laufende internationale Programme und spezifische schweizerische Bedürfnisse im Rahmen eines HSK-finanzierten Vorprojektes rezensiert. Die Studie zeigte, dass die den Vorgang kontrollierenden Mechanismen, insbesondere die relative Wichtigkeit mikrostruktureller (strahlungsinduzierte Härtung) und mikrochemischer (strahlungsinduzierte Korngrenzenausscheidung) Effekte sind nicht gut bekannt. Die Forschung fokussiert auf die Materialqualifizierung hinsichtlich IASCC-Resistenz, aber es fehlen quantitative Daten über Risswachstum.

c) Analyse der Fluenz schneller Neutronen auf Reaktorstählen

In Verbindung mit der KKW-Alterung, insbesondere im Fall von IASCC, ist es wichtig die Fluenz schneller Neutronen der Komponenten zu kennen. Mit Hilfe der Reaktion ⁹³Nb (n,n') ^{93m}Nb ist es möglich, die Fluenz direkt an der Komponente zu bestimmen, indem kleine Proben mit mindestens 100 ppm Nb analysiert werden- was für alle Stähle der Fall ist. Die Methode wurde an Proben aus AISI 304 des Kernmantels vom KKW Mühleberg nach 20 Jahren Bestrahlung angewandt und lieferte Fluenzen, die mit auf anderen Isotopen basierenden Messungen von GE sowie mit Rechnungen gut übereinstimmten. Mit finanzieller Unterstützung der HSK wird nun die Methode durch Einbau qualitätsgesicherter Verfahren und Nutzung von Synchrotronstrahlung für die TXRF-Analyse de Nb-Konzentration in den Proben weiter verbessert.

KOMPONENTENSICHERHEIT UND SCHADENSANALYSEN [5]

Das Projekt zielt auf Identifizierung, Charakterisierung und Voraussage von Alterungs- und Versagensmechanismen in Funktion von mechanischen und chemischen Belastungen, Temperatur und Zeit (d.h. Werkstoffmechanik und –korrosion). Um den KKW-Betreiber eine weitgehende Voraussage der Lebensdauer von Komponenten zu ermöglichen, ist zuerst nötig die Schädigungsmechanismen zu identifizieren und dann die entsprechenden Änderungen der Mikrostrukturen zu verfolgen. Derzeit werden die umgebungsbedingte Rissbildung und Versagensmechanismen bei hohen Temperaturen untersucht.

Die umgebungsbedingte Verschlechterung von Strukturmaterialien kann Verfügbarkeit, Wirtschaftlichkeit und in schweren Fällen auch die KKW-Sicherheit beeinträchtigen. Umgebungsbedingte Rissbildung (EAC; umfasst Korrosionsermüdung (CF), dehnungsinduzierte Risskorrosion (SICC), Spannungsrisskorrosion (SCC)) ist ein möglicher Degradierungsmechanismus für den Reaktordruckbehälter (RDB).

Die SCC-Anfälligkeit niedriglegierter RDB-Stähle wurde mit umfassenden experimentellen Untersuchungen unter normaler SWR-Wasserchemie (NWC)

im Normalbetrieb und unter transienten Bedingungen studiert. Dies führte zu einer der grössten Datenbanken über Risswachstum für Sicherheitsüberlegungen und Beurteilung der strukturellen Integrität.

Die untersuchten niedriglegierten RDB-Stähle zeigen sehr hohe SCC-Resistenz, auch unter extremen Oxidationsbedingungen. Sie unterliegen keiner klassischen SCC unter stationärer Belastung und unter Wasserchemie-Bedingungen, die für SWR-Wasser im stationären Normalbetrieb repräsentativ sind. Es wurde gezeigt, dass die Kontrolle der Wasserchemie ein starkes Mittel zur EAC-Begrenzung ist.

Werkstoffschädigung und -versagen bei höheren Temperaturen treten wegen mikrostruktureller Änderungen, wie Änderungen der Kornstruktur und Restspannungen, auf. Die Anwendung der klassischen bruchmechanischen zur Schadensbeurteilung ist begrenzt und daher ist eine mehr physikalisch begründete Theorie, die der Werkstoff-Mikromechanik Rechnung trägt, notwendig. Zur Untersuchung des

Spannungs-Dehnungs-Verhaltens an der Rissspitze wurde die elastische Dehnung um die Rissspitze in einer vorgeritzten DCB-Probe mittels Röntgendiffraktion gemessen und mit den konstitutiven Elastizitätsgleichungen zu Spannung konvertiert. Während Röntgendiffraktion Spannungen in der Nähe der Oberfläche erfasst, werden komplementäre, interessantere Resultate für die inneren Werkstoffpunkte der Probe aus Neutronendiffraktion an der SINQ erwarten. 1997 wurde ein erstes Experiment zur Bestimmung von Restspannungen am FLNP in Dubna (Russland) mit einem hochauflösenden Fourier Neutronendiffraktometer durchgeführt.

Forschungsziel des EU-FTE-Projektes REVISA ist die Übertragung von Kenntnissen über mikromechanische Mechanismen und Restspannungen auf fortgeschrittene thermoplastische und Kriechmodelle. Das Versagen unter Druck induktiv geheizter Rohre aus RDB-Stahl wurde untersucht und die Ergebnisse mit rechnerischen Voraussagen der Versagenszeit mit den neuen Werkstoffmodellen verglichen.

FORSCHUNG ZU SCHWEREN UNFÄLLEN [6]

Das Projekt zielt auf ein besseres Verständnis von Phänomenen während schwerer Reaktorunfälle, um Quellterme genau abzuschätzen und vorgeschlagene Accident Management – Massnahmen zu bewerten.

Das internationale Programm Phébus untersucht die Freisetzung von Spaltprodukten aus beschädigtem oder geschmolzenem Brennstoff und deren Transport im primären Rohrleitungssystem, deren Wechselwirkung mit dem Steuerstabmaterial sowie die Jodchemie und das Verhalten von Aerosolen im Containment. Es besteht aus 6 Tests, wovon zwei bereits durchgeführt wurden. Das PSI liefert sog. in kind – Beiträge auf den Gebieten der Untersuchung von Kernmaterialien sowie der Aerosolphysik und Jodchemie. Beim letzteren werden einerseits Daten aus Phébus, soweit möglich, bei Sicherheitsfragen der Schweizer KKW angewandt; ferner werden diese Daten (im Rahmen des EU-FTE-Projektes PHEBEN) für die Evaluation von Computercodes genutzt, die für Quelltermanalysen eingesetzt werden. Andererseits werden experimentelle Arbeiten zu offenen Fragen, wofür gemeinsames wissenschaftliches Interesse besteht, stattfinden.

In diesem Zusammenhang wurde eine experimentelle Vorrichtung zur Qualifizierung des für den Phébus-Test vorgesehenen Filtersystems am PSI entworfen und gebaut. 10 Tests bei Zimmertemperatur wurden zwischen August und Dezember 1997 durchgeführt. Die getesteten Filterelemente zeigen sehr hohe Rückhaltefaktoren, aber die vor dem Erreichen des Auslegungs-Druckabfalls zurückgehaltene Aerosolmasse ist nicht so hoch wie erwünscht. Wietere Tests unter realistischen Bedingungen (800 °C bis 1000 °C mit metallischem Dampf und festen Aerosolpartikeln) werden Anfang 1998 durchgeführt.

Die radiolytische Stabilität von AgI unter β-Strahlung bleibt eine offene Frage, die kürzlich nach dem Ausgang der zwei ersten Phébus-Tests an Aktualität gewonnen hat. Dazu wurden 29 Tests mit Kolloidsuspensionen an einem Elektronenstrahl der UNI-Leeds im Rahmen des EU-FTE-Projektes Iodine Chemistry durchgeführt. Vorläufige Auswertungen weisen darauf hin, dass β-Strahlung zu einer Agglomeration von Kolloiden und zum Formverlust bei grösseren Partikeln führt. Solche Partikel enthielten weniger Jod als die stoechiometrische Zusammensetzung von AgI erwarten liess. Die Effekte der Randbedingungen (Verunreinigungen, Trägergas, Dosisrate und Gesamtdosis, etc.) wurden ebenfalls berücksichtigt. Ein anderer Kreislauf für detailliertere Untersuchungen auf der Basis eines gelösten β-Strahlers (168Re) wird derzeit gebaut.

Das Projekt POSEIDON-*Loop* und die AIDA-Beiträge im Rahmen des ALPHA-II – Projektes wurden Ende 1996 erfolgreich abgeschlossen und die entsprechenden Schlussberichte 1997 veröffentlicht. Ein Nachfolgeprogramm für POSEIDON zur Untersuchung der Blasenhydrodynamik bei turbulenter Spritzerströmung in offenen Becken wurde im Rahmen einer Dissertation initiiert.

Es wurden Analysen einiger schwerer Unfallszenarien für das KKG durchgeführt. Die Analyse des Aerosolverhaltens im Rahmen eines postulierten *Station-Black-Out* – Szenarios zeigte, dass, falls das *Containment* (aufgrund der fehlenden Stromspeisung) nicht adäquat isoliert werden kann, die Freisetzung in die Umwelt beträchtlich sein kann.

Das KKB hat Betonproben analysiert, die vom Con-

tainment-Keller entnommen wurden; diese zeigten eine andere Zusammensetzung als in bisherigen Unfallanalysen genutzt. Der Fall eines Station-Black-Out wurde daher erneut und mit den neuesten Versionen der Computercodes untersucht. Die Analyse zeigte, dass der heisse Strang des Reaktors oder die Surge-Leitung des Druckhalters mit Sicherheit zwischen 900 °C und 960 °C versagen und zu einer Druckentlastung des Systems führen werden, die ihrerseits die Injektion von Kühlmittel aus den Akkumulatoren ins untere Plenum auslösen wird. Ein erster Absturz des Reaktorkerns wird durch die Injektion von Wasser ins untere Plenum verursacht, die genügend Dampf für

eine ausgedehnte Dampf-Zircaloy-Reaktion liefern wird Sensitivitätsstudien wurden durchgeführt, um sicherzustellen, dass der Absturz tatsächlich nach der Injektion von Wasser stattfindet. Die Unterschiede in der Betonzusammensetzung führen zu einer höheren Wasserstoff- und Wasserdampfproduktion, aber zu weniger CO und CO₂. Die Druckgeschichte des *Containments* und die Wasserstoffverteilung scheinen leicht verschieden von jenen in früheren Studien; dennoch werden diese Unterschiede frühere Schlussfolgerungen nicht beeinflussen. Vertiefte Analysen der *Containment*-Thermohydraulik und des Aerosolverhaltens werden Anfang 1998 durchgeführt.

ENTSORGUNG RADIOAKTIVER ABFÄLLE [7]

Das Ziel der diesbezüglichen Arbeiten ist, Modelle zu entwickeln und zu testen, sowie spezifische Daten zu erheben im Hinblick auf Endlager radioaktiver Abfälle. Die Arbeiten werden im Auftrag des Bundes und in enger Zusammenarbeit mit der NAGRA durchgeführt, die sie auch finanziell unterstützt. Die primären Kompetenzfelder sind Modellierung und experimentelle Arbeiten zur Chemie von Endlagersystemen und zum Radionuklidtransport in der Geosphäre mit Berücksichtigung der Retardierungsmechanismen.

Das Schwergewicht unserer Arbeiten lag auf dem Gebiet von Prozessen und Mechanismen in Zementsystemen, da mehr als 90% der Materialien in einem Endlager für schwach- und kurzlebige mittelaktive Abfälle aus Zement und Beton bestehen. Die Experimente zur Zementdegradierung wurden erfolgreich mit Hilfe des Rechencodes MCOTAC modelliert. Sorption von Radionukliden begrenzt den Anteil mobiler Radionuklide im Zement und führt zu einer Retardierung bei Transportprozessen. Daher wurden Sorptionsexperimente für Sr, Ni, Eu und Th an Zement und an reinen Zementphasen durchgeführt. Die Sorptionskinetik von Eu(III) und Th(IV) war schnell und deutet darauf hin, dass der hauptsächliche Reaktionsmechanismus Adsorption ist. Bei den Messungen an einzelnen Zementfestphasen ist die Sorption von Eu recht unabhängig von der spezifischen Oberfläche; die Sorption von Sr zeigt eine starke Abhängigkeit von der Beton-Oberfläche und der Art der Bindungsstellen. Für Calcit, einem Sekundärmineral des Zementabbaus, wurden auch Sorptionsexperimente mit Am(III) durchgeführt, die, wie erwartet, ähnliche Werte wie für Eu(III) ergaben.

Ein Teil der Abfälle enthält Zellulose; damit ist der Einfluss von Zelluloseabbauprodukten, primär Isosaccharinsäure (ISA), auf die Nuklidsorption von Interesse. Während die Sorption von Eu durch ISA wenig beeinflusst wird, zeigt Th eine starke Sorptionsreduktion bei höheren ISA-Konzentrationen. Kinetische Studien der Am-Sorption auf Calcit zeigen, dass diese nach ungefähr 170 Tagen etwa ihren ursprünglichen Wert erreicht. Mit diesen und früheren Untersuchungen wurde nun eine ausreichende Kenntnis des Ein

flusses von Zelluloseabbauprodukten auf die Nuklidsorption und -speziation erreicht, und diese Untersuchungen werden im kommenden Jahr abgeschlossen.

Ein weiterer organischer Bestandteil der meisten Zemente im Endlager sind Zementadditive. Dies sind meistens schlecht definierte Substanzen und über ihren Einfluss auf Sorption und Speziation ist wenig bekannt. Erste Messungen mit einem ganzen Spektrum verschiedener Additive und den Elementen Ni, Eu und Th haben eine starke Abhängigkeit der Sorptionsreduktion vom Additivtyp gezeigt.

Die Arbeiten zur Komplexierung durch Huminstoffe dehnten sich auf die Untersuchung ihres Einflusses auf Speziation und Sorption aus. Es zeigte sich, dass für Schweizer Grundwässer primär dreiwertige Actinide (und Lanthanide) zu berücksichtigen sind. Die Huminstoffe-Untersuchungen wurden mit einem umfangreichen Bericht abgeschlossen.

Verschiedene Untersuchungen wurden über tonige Gesteine als potentielle Wirtsgesteine in der Schweiz (z.B. Mergel im Wellenberg und Opalinuston im Felslabor Mt. Terri) durchgeführt, um Information über ihre Porosität und die Porenwasserchemie zu erhalten. Es scheint, dass das Ausgasen von CO₂ die Wasserprobenchemie beeinflusst.

Mitfällung von Radionukliden kann sehr wirksam für die Rückhaltung der Radionuklide sein. Nach einer Evaluation der Literaturdaten und der grundlegenden Konzepte, wurde speziell die Mitfällung relevanter Elemente in Calcit untersucht. Es zeigte sich dabei, dass Kopräzipitation einen wichtigen Mechanismus für ein Endlager mit grossen Mengen Zement darstellt. Die Entwicklung wird nun vorangetrieben, um die Mitfällung in Rechenprogramme, welche chemische Reaktionen und Stofftransport gleichzeitig behandeln, und in die Sicherheitsanalysen einzubauen.

Die Radionuklidtransport-Modellierung in der Geosphäre wurde fortgeführt: Das Rechenprogramm PIC-NIC wurde von QuantiSci weiterentwickelt und kann nun zweidimensionale Matrixdiffusion und heterogene Gesteinsmatrizen berücksichtigen. Derzeit werden umfangreiche Testserien zur Verifizierung und erste Anwendungen dieses neuen *Codes* durchgeführt. Die Teilnahme an der NEA-Studie GEOTRAP mit Vorrechnungen eines Migrationsexperimentes in Schweden bekräftigte das gute Verständnis der Transportmechanismen am PSI. Schliesslich wurde die Model-

lierung irreversibler thermodynamischer Prozesse in Angriff genommen, da erste grobe Experimente im Felslabor Mt. Terri einen klaren Hinweis auf Osmoseeffekte lieferten. Erste Abschätzungen von Stoffflüssen zeigen, dass solche Prozesse für die Sicherheitsanalyse von Wichtigkeit sein könnten.

SICHERHEITSBEZOGENE TECHNISCHE MERKMALE ZUKÜNFTIGER REAKTORKONZEPTE

FORTGESCHRITTENE BRENNSTOFFZYKLEN [8]

Die Beiträge dieses Projektes konzentrieren sich auf die Fragen:

- Maximierung der Ressourcennutzung durch Studie des Brennstoffverhaltens bei hohem Abbrand und der Plutoniumrezyklierung in heutigen LWR.
- Machbarkeit eines Brennstoffes mit "inerter Matrix" (IMF) auf der Basis von ZrO₂.
- Rezyklierung von Actiniden und langlebigen Spaltprodukten in schnellen Reaktoren oder fortgeschrittenen beschleunigergetriebenen Systemen.

Bei der Untersuchung der Neutronikmerkmale von IMF wurden "realistische" Fälle betrachtet, die "Übergangsanordnungen" mit einer Mischung von UO2- und IMF-Brennelementen benötigen. 3D-Analysen bestätigten, dass die Einführung von 12 IMF-Brennelementen adäquater Auslegung in einem heutigen DWR von 1 GWe kein Betriebsmerkmal des Reaktorkerns wesentlich modifiziert. Dies erlaubt, Brennstoffmanagement-Modelle ins Auge zu fassen, die mit den Betriebsmerkmalen heutiger DWR kompatibel sind. Das Potential von IMF-Elementen zur Pu-Verbrennung ist ca. 2.5 mal höher als jenes von MOX-Elementen. Ferner wurde eine Abschätzung der radiotoxischen Gefährdung vorgenommen, basierend auf dem Nuklidinventar im abgebrannten Brennstoff aus drei LWR-Betriebsweisen: Einmalige UO2-Nutzung, Pu-Rezyklierung über MOX und Pu-Rezyklierung über IMF. In der Periode zwischen 10³ und 10⁶ Jahren ist der IMF-Brennstoff am vorteilhaftesten (ca. 2 mal tiefer als UO2). Ferner bieten seine Unlöslichkeit in Wasser und Säuren und die wesentliche Reduktion von Abfallvolumina durch Nutzung der bei der Wiederaufarbeitung anfallenden Hüllrohrabschnitte wesentliche Vorteile gegenüber UO₂- und MOX-Kernen.

Die Daten- und Methodenvalidierung wurde fortgesetzt mit dem Abschluss der Ersten Phase des Internationalen Benchmarks über die Berechnung uranfreier LWR-Brennstoffzellen und einer eher umfangreichen Sensitivitätsstudie für die wichtigsten physikalischen Parameter uranfreier (Pu-Er)O₂-Brennstoffe in ZrO₂-Matrix. Es war möglich, die meisten Diskrepanzen zwischen Ergebnissen der Abbrandrechnungen abzuklären, aber es verbleiben relativ grosse Unsicherheiten bezüglich des Brennstofftemperatur-Reaktivitätskoeffizienten am Zyklusende und des *Void*-Reaktivitätskoeffizienten für Dampfgehalte über ~90%. Für letzteren Parameter werden die Unsicherheiten der

hohen Empfindlichkeit gegenüber den schnellen Neutronendaten von Zr und Er zugeschrieben.

Fortschritte wurden bei der Präparation einer inerten Matrix für die Verbrennung spaltbaren Plutoniums in LWR erzielt. Zwei unterschiedliche Methoden zur Konversion dieser Multikomponent-Keramik (Zr, Yt, Er, Ce)O₂ von Nitratlösungen in ein trockenes Produkt wurden untersucht und deren jeweilige Möglichkeiten definiert. Ein vergleichendes Experiment im Reaktor wurde definiert, und derzeit laufen Verhandlungen über eine Zusammenarbeit. Auf der Basis von in JAERI durchgeführten Wärmeleitfähigkeitsexperimenten wurde eine ringförmige Pellet-Auslegung zur Reduktion der Temperatur im Zentrum vorgeschlagen. Parallel wurde die Fabrikation und das Verhalten eines Niedertemperatur-Brennstoffes mit in metallischer Matrix eingebetteten sphärischen Partikeln untersucht.

Die Brennstoffstab-Fabrikationstests nach einem vereinfachten Verfahren mit weniger Verfahrensschritten wurden mit der Herstellung von UO₂-Partikeln und Stabattrappen abgeschlossen. Man hat den neuen Sinterofen für Arbeiten mit aktivem Material qualifiziert und einen neuen Titrator für die Bestimmung von Pu, U und Np im Actinidenlabor installiert und in Betrieb genommen. Rechen*codes* für das thermische Verhalten von Brennstoffstäben wurden getestet und dokumentiert. Die Modellannahmen werden gegen Messresultaten aus LWR-Brennstoff, der in Halden bestrahlt wurde, und Karbidbrennstoff aus früheren Tests an einer USA-Anlage verifiziert.

Einsichten und Erfahrungen aus der Forschungsarbeit werden in wissenschaftliche Dienstleistungen für die schweizerischen KKW investiert: Die im Rahmen der PSI-Unterstützung an den UAK durchgeführten Kernnachrechnungs-Studien von KKL bis zum heutigen Zyklus 14, machten eine Migration zur neuesten Version der Rechenwerkzeuge (CASMO-4.1 und SIMU-LATE-3.5.01) und Konsistenzüberprüfungen gegenüber früheren *Code*-Versionen erforderlich. Der mittlere Eigenwert über alle Zyklen beträgt 0.998±0.001, während konsistent höhere Werte vom Zyklus 10 an eine Folge der steigenden Anzahl von Brennelementen im berechneten Kern sind, für welche die neue Version von CASMO-4 eingesetzt wurde.

Auf eine spezifische Anfrage des KKL hin wurde eine Studie kalter kritischer KKL-Anordnungen durchgeführt. Sie zeigte eine systematische Reaktivitätsunterschätzung, die für solche Anordnungen am ausgeprägtesten ist, die durch Ausfahren von Kontrollstäben an der Kernperipherie kritisch geworden sind.

Mit der detaillierten zerstörenden Prüfung der keramischen Struktur, des Spaltproduktverhaltens und der radialen Entwicklung der Actiniden mittels SIMS an Hochabbrand-MOX, der in einem schweizerischen KKW bestrahlt wurde, hat man eine ausgezeichnete Grundlage für die Interpretation und Modellierung von

MOX-Brennstoff aufgestellt. Die Teilnahme im internationalen Programm FIGARO lieferte Information über den Spaltgas-Schwellenwert, die zum Anpassen der Modelle für das Brennstabverhalten diente. Im Rahmen des ARIANE-Programmes hat das PSI zum ersten Mal Daten über Isotopenvektoren und isotopischer Zusammensetzung geliefert, die man durch Trennung von Nd, U und Pu im Hochleistungs-Liquidchromatographie bzw. mittels induktiv gekoppelter Plasma-Massenspektrometrie gewonnen hat.

LWR-PROTEUS [9]

Ziel dieser Experimente, die Anfang 1998 an der umgebauten PROTEUS-Anlage starten, ist eine aufdatierte Validierungsbasis für moderne, komplexe LWR-Brennstoffauslegungen und Kernrechen*codes* mittels Messung detaillierter Leistungs- und Reaktionsratenverteilungen in reellen Brennelementen zu liefern.

Das Projekt stellt eine signifikante Änderung dar: Früher fanden kritische Experimente mit simulierten Kernanordnungen statt; nun soll ein Teil einer echten Kernladung im PROTEUS untersucht werden, bevor diese am Kernkraftwerk eingesetzt wird. Dieser einmalige Ansatz bringt neben technischen Vorteilen hinsichtlich Realitätsnähe und direkter Übertragbarkeit auch wesentliche wirtschaftliche Vorteile für die Forschung hinsichtlich Testbrennstoffbeschaffung und Entsorgung etwaiger Abfälle.

Das 4-Jahres-Programm wird gemeinsam vom PSI und dem UAK finanziert, wobei gewisse Projektphasen zusätzliche Unterstützung von einzelnen UAK-Partnern für die Untersuchung spezifischer Aspekt erhalten. Die Unterzeichnung der entsprechenden Verträge im September war ein besonderer Meilenstein im Laufe eines Jahres, das hauptsächlich ein

Vorbereitungsjahr der Anlage mit Abschluss der mechanischen und neutronischen Auslegung war.

Bei der Testplanung wurde ein Berechnungs-*Bench*markproblem basierend auf den PROTEUS-Kernanordnungen definiert und mit modernen bzw. industriellen Zellen*codes* berechnet. Die Resultate zeigten
hohe Diskrepanzen (bis 7%) in den Stableistungen,
insbesondere in der Nähe von Gitter-Inhomogenitäten.

Eine neue γ-Scanning – Vorrichtung, die erste ihrer Art weltweit, die automatisch und sequentiell die 4 Meter langen Brennstäbe scannen kann, wurde ausgelegt und zusammengebaut. Auch neue Techniken von anderen Gebieten werden in LWR-PROTEUS genutzt: In Zusammenarbeit mit der Neutronenradiographie-Gruppe der SINQ, wird die Möglichkeit der Anwendung der "Bildplatten"-Technik zur Messung der Leistungsverteilung in Brennstoff ins Auge gefasst. Diese Technik war bisher nur in radiobiologischen Anwendungen genutzt. Ferner werden 3D-γ-Tomographie-Techniken entwickelt, um die Leitungsverteilung in inneren des Brennstoffstabes zu messen. Diese Methode wird auch für spezifische Messungen im Hotlabor angewandt, z. B. zur Bestimmung asymmetrischer Abbrandprofile in bestrahltem Brennstoff.

ALPHA [10]

Dieses Projekt untersucht experimentell und analytisch die langfristige Nachwärmeabfuhr aus dem Containment "passiver" fortgeschrittener LWR. 1997 war das Projekt primär mit drei laufenden Aktivitäten innerhalb des EU-FTE-Rahmenprogrammen in Zusammenarbeit mit relevanten europäischen Expertengruppen gekoppelt:

a) IPPS (European BWR R&D Cluster for Innovative Passive Safety Systems)

Eine Reihe stationärer Test eines passiven Isolationskondensatorsystems wurde erfolgreich abgeschlossen. Die Messergebnisse erweiterten die vorhandene experimentelle Datenbank hinsichtlich Druck und Durchflussrate. Zur Simulation von H₂ im *Containment* wurde erstmals in der PANDA-Anlage He eingesetzt. Zur Voraussage der Testergebnisse wurden der *Code* RELAP5 und der 3D-*Containmentcode* GOTHIC benutzt. Die Testnachrechnung mit RELAP5 stimmt mit den Messergebnissen gut überein; dennoch ist die Modellierung des Isolationskondensator-Beckens mit einem 1D-*Code* kritisch. GOTHIC ist speziell zur Vorausrechnung der Phänomene im Becken geeignet. Diese Untersuchungen sind noch im Gang.

In PANDA wurden sechs Gebäudekondensator-Systemtests erfolgreich durchgeführt. Sie bestätigten das Gebäudekondensator-Konzept, lieferten aber auch wichtiges Feedback für die Referenzauslegung des Siemens-1000 Reaktors. Erstmals wurden auch Sequenzen mit Kernüberhitzung durch Einspeisung der entsprechenden He-Menge während der Tests simuliert. Die erzeugte Messdatenbank wird nun für die Beurteilung einer Reihe von *Codes* am und ausserhalb PSI genutzt. Parallel wurden Vorarbeiten für die Test-Nachrechnung mit dem CFD-*Code* CFX-3D und mit GOTHIC (Untersuchung des *jet impingement*) gelei

stet. Nachrechnungen drei früherer SBWR-Tests mit RELAP5 zeigten eine sehr präzise Wiedergabe des globalen Systemverhaltens und bestätigten die am PSI mit anderen *Codes* gewonnene Erfahrung. Dabei wurde auch Bedarf an weitere *Code*verbesserungen bezüglich spezifischer Details identifiziert, insbesondere die Mischung, Stratifizierung, poolseitiger Wärmetransfer und Kondensation in Anwesenheit nichtkondensierbarer Gase.

b) TEPPS (Technology Enhancement for Passive Safety Systems)

Die Vorausrechnungen von drei Systemtests in Zusammenhang mit der passiven Kühlung des ESBWR-Containments wurden abgeschlossen und bestätigten das erwartete Systemverhalten. Parallel wurden mit GOTHIC Untersuchungen der Verbreitung von geheiztem Gas durchgeführt, die zusätzliche Informationen zu dessen 3D-Verhalten lieferten. Anfang Dezember 1997 wurde dann der erste TEPPS-Systemtest in der PANDA-Anlage erfolgreich durchgeführt.

Die notwendigen Modifikationen der LINX-Anlage zur Untersuchung der Stratifizierung und Mischung im Druckabbau-Ring wurden in Angriff genommen. Parallel wurden die Arbeiten auf die Untersuchung und Modellierung mit GOTHIC und CFX-3D von Blasenfahnen, einer für das Verhalten von Druckabbau-Ringen wichtigen Frage.

c) INCON (Innovative Containment Cooling for Double Concrete Containment)

Anlage experimentell untersucht. Eine Reihe von 40 Tests wurde erfolgreich abgeschlossen. Parallel wurden umfangreiche Modellierungsarbeiten in Zusammenhang mit der Dampfkondensierung auf geneigten gerippten Rohren in Anwesenheit nicht-kondensierbarer Gase durchgeführt; das PSI-Modell wurde als Arbeitswerkzeug für das Projekt INCON adoptiert. Dieses Modell ist frei von empirischen Konstanten und wurde gegen experimentellen Daten validiert.

GANZHEITLICHE BETRACHTUNG VON ENERGIESYSTEMEN (GaBE) [11]

Dieses multidisziplinäre Projekt liefert wissenschaftlichen Technologietransfer zu einigen der Hauptakteure der schweizerischen Energieszene, unterstützt internationale Aktivitäten auf dem Gebiet der vergleichenden Bewertung von Energiesystemen und verfolgt intern die Methoden- und Datenbankenentwicklung. Neben dem PSI liefern verschiedene Gruppen der ETHZ Beiträge zum Projekt.

Im Rahmen der Forschungszusammenarbeit "Dezentral" mit dem VSE, untersucht GaBE Optionen für die schweizerische Stromversorgung, derzeit fokussiert auf dezentralisierter Wärme-Kraft-Kopplung (WKK) unter Nutzung ökonomischer und ökologischer Kriterien. Aus methodischen Gründen deckt diese Untersuchung auch die Wärmeversorgung. Basierend auf einer Lebenszyklusanalyse (LCA) werden für eine Reihe von Versorgungsszenarien der Investitionsbedarf, die jährlichen Kosten und die Hauptemissionen von Schadstoffen in die Luft abgeschätzt. In diesem Zusammenhang werden Faktoren berücksichtigt, wie: Entwicklungen im Bausektor, erwarteter Energiebedarf, prospektive Technikfortschritte und eindringungsrate für neue Systeme sowie mögliche alternative Randbedingungen. Bis heute wurden ausgewählte frühere Studien diskutiert, die Zuordnungsfrage bei Prozessen mit mehrfachem Ausstoss und die grundlegenden ökonomischen Beziehungen hervorgehoben, eine Methode zur Berücksichtigung der Kostenvariabilität entwickelt und für neun Versorgung

optionen erste Abschätzungen von jährlichen Kosten und LCA-basierten Emissionen durchgeführt.

Eine 1997 begonnene Forschungszusammenarbeit mit INFEL zielt auf die Entwicklung von Richtlinien für die adäquate Behandlung von Energiemixen in ökologischen Studien, die den LCA-Ansatz anwenden. Die dazugehörigen Unsicherheiten wurden analysiert und Unterschiede, die aus der Wahl verschiedener Modelle resultieren, veranschaulicht. Eine Checkliste / Entscheidungsbaum zur Erleichterung der Modellwahl wird derzeit entwickelt.

In der vergleichenden Bewertung schwerer Unfälle im Energiesektor wurden Erweiterungen vorgenommen: Der Einfluss von Techniken und Betriebsumfeldern wurde mit der Unterscheidung zwischen industrialisierten und Entwicklungsländern betont. Die OECD-Resultate werden auch für die Schweiz als repräsentativ erachtet - zumindest für eine vergleichende Bewertung. Als Nebenprodukt dieser Arbeit wird derzeit eine probabilistische Behandlung hypothetischer Unfälle in Wasserkraftwerken entwickelt. Dazu gehören Simulationen der Unfallfortpflanzung bei einem Referenzwasserkraftwerk und das Testen alternativer Schadensmodelle. Ferner wurde eine provisorische zeitliche Erweiterung der PSI-Datenbank von schweren Unfällen (ENSAD) implementiert; diese zeigte auf der aggregierten Ebene keine wesentliche Änderung des Musters für das weltweite Auftreten energiebezogener schwerer Unfälle in der Zeit 1993-1996.

Internationale Zusammenarbeit

- STARS: Purdue Univ., EPRI (USA), GRS (D).
- LWR-Kontamination: IAEA, VGB (D).
- EDEN: ABB-Atom (S), EPRI/NFIR (USA), COGEMA, CEA, IPSN (F).
- Komponentensicherheit, Spannungsrisskorrosion: EU-FTE-Rahmenprogramm, FZK, Siemens / KWU, MPA-Stuttgart (D), IAEA, VTT (SF), CEA (F).
- Forschung zu schweren Unfällen: EU-FTE-Rahmenprogramm, EPRI, USNRC (USA), Framatome, CEA (F), AEA Technology (UK), FZK, GRS, Siemens / KWU (D).
- Entsorgung radioaktiver Abfälle: EU-FTE-Rahmenprogramm, FZK, FZR (D), CEA (F), PNC (J).
- Fortg. Brennstoffzyklen: CEA (F), JAERI, PNC
 (J), OECD / NSC und OECD / Halden (N), ECN
 (NL), int. Programme (FIGARO, ARIANE).
- PROTEUS- Experimente: CEA (F), ABB-Atom, Studsvik (S), Siemens / KWU (D), Scandpower (N).
- ALPHA: EU-FTE-Rahmenprogramm, EPRI, GE (USA), Siemens / KWU (D).
- GaBE: IAEA-Programm, OECD / NEA & OECD / IEA, COGEMA (F)

Perspektiven für 1998

Die dargestellten Programme sind mittel- und langfristig angelegt. Für 1998 werden keine wesentlichen Änderungen erwartet. Vielmehr werden erste Überlegungen für die Einbettung der PSI-Aktivitäten in das fünfte EU-FTE-Rahmenprogramm angestellt. Ferner

werden die bereits vorhandenen Ideen zur Nutzung der Spallationsquelle SINQ konkretisiert und weitere – mittelfristig angelegte – Anwendungen an der SLS in laufenden Programmen berücksichtigt.

Publikationen

Im Rahmen der beschriebenen Projekte wurden 1997 rund 100 Arbeiten in Fachzeitschriften und Tagungsbänden publiziert; hinzu kommen ca. 75 Arbeiten zu Kolloquien und Seminaren. Diese sind im PSI-Jahresbericht des Forschungsbereichs F4 (Annex IV) aufgeführt.

Liste der Projekte

Alle aufgeführten Programm- und Projektleiter sind vom PSI-Villigen.

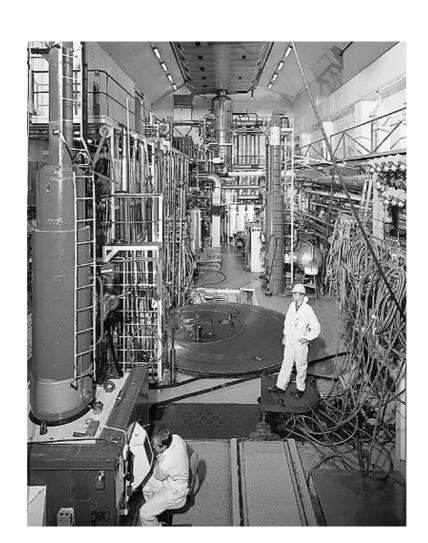
- [1] M. Zimmermann: STARS
- [2] St. Hirschberg: *HRA*
- [3] A. Hiltpold: *LWR-Kontamination*
- [4] G. Bart: *EDEN*
- [5] D. Kalkhof, P. Seifert: Komponentensicherheit, Bruchmechanik, Spannungsriss-Korrosion
- [6] P. Hosemann, S. Güntay: Forschung zu schweren Unfällen
- [7] J. Hadermann: Programm Entsorgung radioaktiver Abfälle
- [8] A. Stanculescu, G. Ledergerber: Fortgeschrittene Brennstoffzyklen
- [9] T. Williams: *LWR-PROTEUS*
- [10] M. Huggenberger, J. Dreier, F. de Cachard: *ALPHA-II*
- [11] St. Hirschberg: *GaBE*

REGULATORISCHE SICHERHEITSFORSCHUNG DER HSK

Überblicksbericht zum Forschungsprogramm 1997

Sabyasachi Chakraborty

chakraborty@hsk.psi.ch



Die Halle des Halden-Reaktors (Norwegen)

Dieses OECD-Projekt befasst sich mit der Sicherheitsforschung auf den Gebieten des Kernbrennstoff- und Materialverhaltens, der computerisierten Überwachungssysteme und der Mensch-Maschnine-Wechselwirkung.

Einleitung

Die Aufsichtsbehörde HSK hat die Sicherheit der schweizerischen Kernanlagen nach dem aktuellen Stand von Wissenschaft und Technik zu beurteilen und allenfalls Forderungen für Massnahmen zur Erhöhung der Sicherheit zu stellen. Deshalb unterstützt die HSK gezielte Vorhaben als regulatorische Sicherheitsforschung und zwar in folgender Form:

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

Nachfolgend werden die wichtigsten Projekte kurz kommentiert.

"Einfluss der Naturkonvektion im Sicherheitsbehälter nach einem schweren Kernschmelzunfall auf die kontrollierte gefilterte Druckentlastung; REVENT II [3]"

Alle schweizerischen Kernkraftwerke sind mit einem sogenannten *Ventingfilter* nachgerüstet worden, der eine kontrollierte Druckentlastung der Unfallatmosphäre im Containment nach einem schweren Kernschmelzunfall ohne Langzeitkontamination der Umgebung ermöglicht. Im Projekt REVENT wird anwendungsbezogen der Transport von radioaktiven Stoffen aus der Unfallatmosphäre und aus dem verdampfenden Sumpf in den *Ventingfilter* untersucht.

Es stellt sich die Frage, wieweit radioaktive Stoffe aus dem *Containment*-Sumpf in die Unfallatmosphäre freigesetzt werden und welcher Anteil während einer Druckentlastung davon in das *Venting-Filtersystem* gelangt. In den bisherigen Sicherheitsanalysen wird dieser Vorgang mit einem sogenannten Entrainmentfaktor abgeschätzt. An der ETH Zürich wurde dazu ein Versuchsstand im Pilotmassstab errichtet, mit dem repräsentative Experimente durchgeführt werden können.

Im Frühling 1997 konnte planmässig die 1.Phase des Projektes mit einer Dissertation abgeschlossen werden in der auch ein *Scale Up*-Modell für die Übertragung der Resultate auf KKW-Massstäbe erarbeitet wurde. Die Ergebnisse zeigen, dass die ursprünglichen Auslegungsgrundlagen der *Venting-Filtersysteme* auf der konservativ sicheren Seite liegen und dies in den möglichen *Accident Management* Massnahmen berücksichtigt werden kann.

Zur besseren Abklärung des thermodynamischen

Verhaltens des Sumpfes bezüglich der Aerosolbildung während des Entspannungsvorganges bei Druckentlastung sowie zum besseren Verständnis der Konvektion des Unfallatmosphäre im Containment wurde ein Folgeprojekt in Form einer Dissertation gestartet. Insbesondere soll auch das Austrocknen des Sumpfes erstmals untersucht werden, während dem eine erhöhte Freisetzung von Aerosolen erwartet wird.

In den ersten 8 Monaten des laufenden Projektes sind gemäss Forschungsplan folgende *Arbeiten* durchgeführt worden:

- Umbau der Pilotanlage und Evaluation der zusätzlichen Messtechnik für die Erfassung von Geschwindigkeitsfelder
- Simulation der Konvektion der Versuchsbehälteratmosphäre während der Druckentlastung mit einem 3D-Finite Element-Code
- Optimierung der Messverfahren aufgrund der Simulationsergebnisse

Die Simulationen wurden in enger Zusammenarbeit mit dem *Royal Institut of Technology* Stockholm durchgeführt. Dank der Unterstützung der Spezialisten dieses Institutes war es möglich, die aufwendigen Berechnungen in wenigen Wochen zu realisieren.

Die Ergebnisse der 1.Projektphase wurden an 2 internationalen Konferenzen (European Aerosol Conference und FISA 97) vorgestellt und in Fachkreisen diskutiert.

"Simulationsmodelle zur Transientenanalyse der Reaktoren in der Schweiz; STARS III [1a]"

Im STARS-Projekt werden Simulationsmodelle zur Transientenanalyse für alle schweizerischen Kernkraftwerke erstellt, um deren Verhalten in ausserordentlichen Betriebszuständen und im Störfall analytisch bestimmen zu können. Die Tätigkeiten in der 3.Projektphase gliedern sich in die 3 Bereiche: Fertigstellung und Validierung der Anlagenmodelle, wissenschaftliche Dienstleistung für die HSK (auf Abruf) und forschungsorientierte Analysen.

In allen Bereichen konnten gemäss den Zielsetzungen wichtige Arbeiten ausgeführt und abgeschlossen werden.

a) Modellierung und Validierung der Anlagemodelle

Der Einsatz der beiden EPRI-Codes RETRAN-3D und CORETRAN für Analysearbeiten wurde vorangetrieben und bei den KKW's Leibstadt (Inbetriebnahmetests, Kernanalyse) und Beznau (Teillastverhalten Dampferzeuger, Kernanalyse mit MOX-Brennelementen) an konkreten Beispielen erfolgreich getestet. Zusätzlich wurden verschiedene Detailanalysen zur Valdierung von Teilmodellen in verschiedenen Standardcodes durchgeführt.

b) Wissenschaftliche Dienstleistungen

Diese Tätigkeiten entsprechen der Störfallanalysen für die HSK bei der Beurteilung der Anlagesicherheit. Im vergangenen Jahr sind verschiedene Analysen und Bewertungen zur Kühlbarkeit des Reaktorkerns des KKW's Gösgen bei ausserordentlichen Betriebszuständen und Störfällen vorgenommen und mit den Ergebnissen der Betreiber und Hersteller verglichen worden. Im Rahmen der periodischen Sicherheitsüberprüfung des KKW's Gösgen wurde eine kritische Bewertung der bei den Störfallanalysen verwendeten Rechenprogrammen vorgenommen.

"Leichtwasserreaktor- Kontaminationskontrolle [1b]"

In diesem Forschungsprojekt soll die Radionuklidaufnahme in die benetzten Korrosionsschichten der Reaktorkomponenten von Leichtwasser-Reaktoren besser abgeklärt werden. Im Vordergrund steht dabei der Einbau von Kobalt 60 in Oxidschichten. Dieses Phänomen ist ein permanentes Problem des Strahlenschutzes in Kernkraftwerken.

Im vergangenen Forschungsjahr sind folgende Vorhaben bearbeitet worden:

- Ermittlung von Stoffübergangskoeffizienten; In einem statischen Kleinautoklaven konnten aufgrund genaueren Massenbilanzen Stoffübergangskoeffizienten von Kobalt ermittelt werden
- Screening-Test zum Einfluss 2-wertiger Metallionen; Um die Aktivitätsablagerung zu verminderen, wird in einigen Siedewasser-Reaktorsystemen 2-wertiges Zink ins Reaktorwasser eingespiesen. Aufgrund thermodynamischer Überlegungen ist anzunehmen, dass auch andere 2-wertige Metalle einen vermindernden Einfluss auf die Ablagerung von Kobalt haben. In Screeningtests mit Rührautoklaven unter Reaktorbedingungen konnte gezeigt werden, dass die Zugabe von Zink oder inaktivem Kobalt die Ablagerung erniedrigt, hingegen kann Kupfer die Ablagerung

c) Forschungsorientierte Arbeiten

Die Tätigkeiten konzentrierten sich auf die Fertigstellung der SWR-Stabilitätsanalyse beim KKW Leibstadt und auf die Bereitstellung von Unsicherheitsanalysen.

Die Projektarbeiten werden zum Teil in enger Zusammenarbeit mit ausländischen Partnern (EPRI, USA) durchgeführt, insbesondere was die Weiterentwicklung der Codes betrifft.

Die Ergebnisse der Teilprojekte fliessen direkt in die Genehemigungspraxis der HSK ein.

- beschleunigen. Bei der Zugabe von weiteren zweiwertigen Metallionen zum Zink kann sich dieser positive Effekt wieder aufheben.
- Aufbau und Erprobung elektrochemischer Messeinrichtungen; Messtechnische Entwicklungen für die Untersuchung von elektrochemischen Vorgängen an den Strukturoberflächen unter Reaktorbedingungen sind erfolgreich weiterentwickelt worden. Erste Untersuchungsergebnisse an Stahl 1.4571 zeigen, dass schon bei niederen Temperaturen der Passivbereich aufgehoben werden kann.

Im Forschungsprojekt wird ein reger internationaler Kontakt gepflegt. Insbesondere konnte mit KWU SIEMENS ein Vertrag zur Übertragung der Patentrechte zur Voroxidation von rostfreiem Stahl abgeschlossen werden.

Im Zusammenhang mit der erhöhten Hüllrohrkorrosionen im KKW Leibstadt wurden Vorschläge zur experimentellen Abklärung erarbeitet.

Für die HSK sind die Erkenntnisse auf dem Gebiet der Ablagerung von aktivem Kobalt an Komponentenoberflächen in Siedewasseranlagen für die Strahlenbelastung des Personals während des Betriebs und der Wartung von grosser Bedeutung.

"Spannungsrisskorrosion von Stählen für Reaktorkomponten in Heisswasser [1c]"

Das Forschungsprojekt hat zum Ziel, das Langzeitverhalten von druckbelasteten Reaktorkomponenten bezüglich Spannungsrisskorrosion unter Reaktorbedingungen (Kühlwasser bei ca. 290°C) zu untersuchen. Dieses Thema ist in der Schweiz aufgrund der im Kernmantel des KKW Mühleberg aufgetretenen Risse von aktueller Bedeutung.

Im Vordergrund standen einerseits die experimentellen Parameterstudien und anderseits die Modellierung der korrosionsgestützten Rissausbreitungsgeschwindigkeit in ferrtischem Reaktor-Druckbehälterstahl (RDB-Stahl).

Die untersuchten RDB-Stähle, insbesondere jene mit niedrigem Schwefel-Gehalt, weisen bei betriebsnahen stationären mechanischen Belastungen unter Normal betriebsbedingungen von Siedewasserreaktoren eine sehr hohe Stabilität gegen transkristalline Spannungsrisskorrosion auf. Bei bisher über 150 getesteten Proben wurden keine Anzeichen für das Auftreten eines stabilen korrosionsgestützten Risswachstums beobachtet. Diese Ergebnisse werden zurzeit mit Experimenten mit hohem Schwefelgehalt weiter abgesichert.

Es wurde ein Modell für die elektrochemische Auflösungszelle entwickelt, welches die Berechnung des Rissfortschrittes in Abhängigkeit der lokalen Wasserchemie im Bereich der Rissfront erlaubt. Erste Ergebnisse zeigen, dass die elektrochemischen Prozesse in der Auflösungszelle auf die unmittelbare Umgebung der Rissfront beschränkt bleiben.

Das Forschungsprojekt steht mit der internationalen Fachwelt in engem Kontakt. Um die experimentelle Technik und die Qualität der Ergebnisse international vergleichen zu können, wurde mit 3 anderen anerkannten Forschungsinstituten (MPA Stuttgart, KWK SIEMENS, VTT Finnland) ein Ringversuch durchgeführt. Bei der Modellierung der Rissspitzen-Mechanik wurde eine Zusammenarbeit mit dem Fraunhofer Institut Freiburg vereinbart.

Da die experimentelle Datenbasis zur Spannungsrisskorrosion ferritischer RDB-Stähle im vorliegenden Projekt zur umfangreichsten der Welt gehört, liegen Anfragen von vielen Forschungs- und Anwendergruppen vor.

Für die Genehmigungspraxis der HSK sind die Kenntnisse der Restlebensdauer von rissbehafteten Reaktorkomponenten entscheidend.

"Strahleninduzierte Spannungsrisskorrosion IASCC [1d]"

In diesem Vorprojekt wurde eine Literaturstudie zum Fachgebiet der strahleninduzierten Spannungsrisskorrosion durchgeführt. Dieser Korrosionsmechanismus ist weitgehend unerforscht und ist als Erweiterung des Hauptprojektes "Spannungsrisskorrosion" gedacht. Aufgrund der aktuellen Diskussion über die Rissen im Kernmantel des KKW Mühleberg wird diesem Korrosionsmechanismus besondere Beachtung geschenkt.

Die Literaturauswertung zeigt, dass der Stahltyp 316 SS gegen IASCC resistenter ist als der Stahltyp 304 SS. Im Vordergrund stehen folgende ungesicherte Kenntnisse:

- Zusammenhang zwischen den Deformationsmechansimen und der IASCC bei austenitschen Stählen mit Neutronenbestrahlung unter Reaktorbedingungen.
- Einfluss von mikrostruktuellen und mikrochemischen Änderungen auf die IASCC

Unter der Leitung der EPRI (USA) ist ein internationales IASCC-Forschungsprojekt geplant mit dem Ziel, mögliche Massnahmen gegen die IASCC vorzuschlagen. Die Betreiber der Schweizer KKW zusammen mit dem PSI haben beschlossen, an diesem Forschungsprojekt teilzunehmen.

Radioökologie [1e] und Verhalten von Radionukliden in Aare und Rhein [5]

Das Verhalten von Radionukliden, die von Kernanlagen an die Biosphäre abgegeben werden, muss bekannt sein, um die Dosen für die betroffene Bevölkerung abschätzen zu können. Das Forschungsprojekt "Radioökologie" am PSI untersucht das Verhalten von Radionukliden in Böden und Pflanzen. In Ergänzung dazu untersucht ein Projekt an der EAWAG das Verhalten von Radionukliden in den Oberflächengewässern (Rhein und Aare).

Die Arbeiten am PSI konzentrierten sich im vergangenen Forschungsjahr auf das Teilprojekt SEMINAT (EU-Forschungsprojekt), in dem mit Feldversuchen das Langzeitverhalten von Radionukliden in halbnatürlicher Umgebung abgeklärt wird, sowie auf die Weiterentwicklung des Radioökologie-Rechenprogrammes CHECOSYS, mit dem, ausgehend von Radionuklidkonzentrationen in Luft und Boden, die Dosisbelastung betroffener Personen berechnet und Massnahmen im Bereich der Landwirtschaft beurteilt werden können. Insbesondere wurde der Einfluss der Niederschlagsintensität auf die Blattaufnahme von Radionukliden und der Einfluss der Probenahmeart von Grasproben bei Regenfall abgeklärt.

Aufgrund der neuen Erkenntnisse über das Verhalten der Radionuklide in den Oberflächengewässern unterhalb der schweizerischen KKW im abgeschlossenen EAWAG-Projekt wurde ein Nachfolgeprojekt gestartet, das folgende Fragen vertieft abklären soll:

Chemismus der Radionuklide im Abwasser und im Flusswasser und die Bedeutung von Kolliden und biologischer Partikel bei Transportvorgängen.

Im vergangenen Forschungsjahr wurde vorallem die Messtechnik, die Beprobung und die Überwachungsstationen verbessert und erweitert. Durch die verbesserte chemische Charakterisierung der Radionuklide in Abwasser und Flusswasser zeigt sich immer deutlicher, dass ein grosser Teil von Radiokobalt organisch komplexiert wird, was seine Mobilität in wässriger Umgebung stark erhöht.

Die Ergebnisse der beiden Forschungsprojekte werden in Zusammenarbeit mit der Sektion Überwachung der Radioaktivität (SUeR), Bern, und dem *Institut de radiophysique appliquée* (IRA), Lausanne, laufend bewertet und praktisch umgesetzt.

Radioanalytik und Dosimetrie [1f]

In beiden Forschungsprojekten werden am PSI spezielle Themen der Radioanalytik und der Dosimetrie bearbeitet, die für die Strahlen-überwachung von besonderem Interesse sind. Die verschiedenen Teilprojekte werden in enger Zusam-

menarbeit mit der HSK ausgeführt. Im Bereich der Radioanalytik wurden vorallem die Verfahren zu Bestimmung von Radionukliden (Plutonium und Aktiniden) in Körperausscheidungen und im Erdreich weiterentwickelt. Diese Arbeiten ermöglichen, die Schutzmassnahmen für das Kraftwerkspersonal zu verbessern.

Im Projekt Dosimetrie lag das Hauptgewicht der Tätigkeiten in der Fertigstellung und Abnahme des neuen Personen-Neutronendosimetersystems, das auf Anfang 1998 als Routinemessverfahren am PSI eingeführt wird. Im Rahmen eines EU-Forschungsprojektes wurde auch die Entwicklung eines neuartigen elektronischen Personendosimeters vorangetrieben, das in Fachkreisen auf ein grosses Interesse stösst.

Diese Forschungs- und Entwicklungsarbeiten sind für die Strahlenüberwachung der Behörde sehr wertvoll und werden direkt in die Praxis umgesetzt.

Human Reliability Analysis HRA [19]

Die Sicherheitsanalysen zeigen, dass dem menschlichen Versagen in Störfallsituationen eine grosse Bedeutung zukommt. Aufgrund dieser Erkenntnisse hat die HSK ein Forschungsprojekt angeregt, das Verhalten der Operateure (resp. Betriebspersonal) mit probabilistischen Methoden zu erfassen und einheitlich in die Sicherheitskonzepte der Schweizer KKW zu integrieren.

Im ersten Forschungsjahr konzentrierten sich die Arbeiten auf die Überprüfung und Neukalibierung der HRA für die KKW's Beznau, Mühleberg und Gösgen.

Weitere zu bearbeitenden Themen sind die Ent-

wicklung eines Rahmenkonzeptes für die Analyse von Betriebserfahrungen mit Schwerpunkt auf Ausführungen falscher Operateurhandlungen (errors of commission) sowie grundlegende Arbeiten für die Entwicklung eines Prototyp-Software-Wekzeugs für dynamische Auswertungen von Handlungsprozeduren.

Der Erfahrungsaustausch mit der internationalen Fachwelt war ein wesentlicher Bestandteil der Arbeitsstrategie innerhalb des Projektes. Neben den fortlaufenden Koopearationsvereinbarungen wurde von der Europäischen Kommission ein neues gemeinsames Vorhaben mit acht EU-Partnern bewilligt.

Dosis-Wirkungsbeziehungen, Molekularbiologische Untersuchungen und Studie über dei Krebssterblichkeit in der Umgebung der Schweizer Kernanlagen [2]

Um den Schutz des Personals von Atomanlagen und der Bevölkerung vor ionisierender Strahlung möglichst umfassend zu gewährleisten, fördert die HSK Forschungen auf dem Gebiet der Wirkung kleiner Dosen. Dieser Förderung umfasst 3 verschiedene Vorhaben.

In einem Vorhaben werden die Mechanismen auf Zellniveau untersucht, die Schädigungen der DNA reparieren oder bei erfolgloser Reparatur die geschädigte Zelle vernichten. Diese Arbeiten sollen das Verständnis des Verhaltens biologischer Systeme unter Einwirkung ionisierender Strahlung verbessern. Die vorliegenden Ergebnisse sind verheissungsvoll und können auch ausserhalb des Strahlenschutzes eine wichtige Bedeutung erlangen.

Die Dosis- Wirkungs-Beziehung bei kleinen Dosen wird mit Literaturstudien und Auswertungen von Forschungsarbeiten vertieft abgeklärt. Neue Erkenntnisse der Strahlenwirkung bei tiefen Dosen können sich direkt auf Schutzmassnahmen nach einem Reaktorunfall auswirken.

Das Kantonalzürcherische Krebsregister hat im vergangenen Forschungsjahr vorallem die Situation der Krebsmortalität in der Umgebung des KKW Leibstadt neu überprüft. Die Analysen brachten weder für die Gesamtbevölkerung noch für die jüngeren Altersgruppen Besonderheiten zutage, die mit der Inbetriebnahme des KKW (1984) in Verbindung gebracht werden könnten.

Melt-Structure-Water Interactions during Severe Accidents in LWR'S [8]

Das Forschungsprojekt wird von 6 Organisationen finanziert und steht unter der Leitung des Royal Institute of Technology in Stockholm. Ausser der HSK unterstützen die amerikanische (US-NRC) und die schwedische (SKI) Sicherheitsbehörden sowie verschiedene nordische Kraftwerksbetreiber das Projekt. Teile des Projektes werden auch von der EU im Rahmen eines Vorhabens mitgetragen.

Die Arbeiten im vergangenen Forschungsjahr konzentrierten sich auf 3 Teilgebiete:

a) Wärmebelastung des Druckbehälterbodens durch die Kernschmelze

Dazu wurde ein Simulationscode entwickelt, mit dem

die Auswirkung der Schmelze auf den Behälterhoden berechnet werden kann. Der Zeitpunkt des Versagens des Behälters während eines Kernschmelzunfalles kann dadurch besser ermittelt werden.

b) Wasser-Schmelze-Wechselwirkung beim Ausfliessen der Schmelze aus dem Druckbehälter

Diese Arbeiten liefern einen wichtigen Beitrag zur kontrovers geführten Diskussion über die Möglichkeit und Wirkung von Dampfexplosionen nach dem Versagen des Druckbehälters. Die Untersuchungen konzentrieren sich auf die Fragmentierung der Schmelze und werden sowohl experimentell als auch mit analytischen Modellen durchgeführt.

c) Lokales Versagen des Druckbehälters

Der Druckbehälterboden weist bei den Durchführungen potentielle Schwachstellen beim Durchschmelzen des Bodens auf. Beim Versagen solcher Schwachstellen hat die Durchflussöffnung einen wichtigen Einfluss auf die Strömungsdynamik des

flüssigen Metallstrahles und dadurch auch auf die Fragmentierung der Schmelze.

Das Verhalten solcher Schwachstellen beim Versagen des Behälterbodens wird experimentell untersucht und mit analytischen Methoden beschrieben.

"Beitrag am NESC1-Projekt über Pressurized thermal Shock [6a]"

Thermoschock-Transienten unter Druck beanspruchen den Reaktordruckbehälter (RDB) in besonderem Masse. Dies betrifft vorallem auch Behälter, die über längere Zeit einer radioaktiven Bestrahlung ausgesetzt worden sind.

Die NESC (Network for Evaluation of Steel Components) hat ein internationales Projekt gestartet mit dem Ziel, Thermoschocks experimentell zu studieren und rechnerisch zu analysieren. Die Schweiz liefert einen Beitrag zum Projekt im Bereich der bruchmechanischen Berechnungs- und Analysemethoden mit dem Ziel, die Erkenntnisse in die Praxis umzusetzen.

Im vergangenen Forschungsjahr wurde der Beitrag der Schweiz planmässig ausgeführt und die Vorausrechnungen des Versuches abgeschlossen und dokumentiert. Das Experiment bei AEA (England) wurde erfolgreich durchgeführt. Die Auswertungen des Versuchs wurden zurzeit in verschiedenen Laboratorien vorgenommen. Ein Schlussbericht wird Mitte 1998 erwartet.

"Erdbebenfestigkeit von Tragwänden in Kernkraftwerken [6b]"

Die Schweiz beteiligt sich am OECD-Forschungsprojekt zur Validierung der Erdbebenberechnungen von Tragwänden in Kernkraftwerken. Die in Japan durchgeführten Rütteltischversuche an Modellwänden lieferten dazu die Grundlagen.

Im vergangenen Forschungsjahr wurden vorallem die unterschiedlichen Berechnungsmethoden der verschiedenen Teilnehmer am internationalen Projekt verglichen und diskutiert. Dabei stand die Frage im Vordergrund, wie zuverlässig und genau die Modellrechnung im Bereich nahe dem Bruchzustand sind und mit welchen Modellierungsarten die besten Ergebnisse zu erwarten sind. Die wichtigen Erkenntnisse lassen sich wie folgt zusammenfassen:

 Das bei Stahlbeton unter dynamischen Kräften im nichtlinearen Bereich meistens angewandte Verfahren mit der Finite-Element-Methode führt oft nicht zu der gewünschten Genauigkeit, da die Erfahrung mit dieser Berechnungsmethode noch fehlt. Vorderhand bieten dynamische Modelle für das Erfassen des Bruchverhaltens von gedrungenen Stahlbetontragwänden gegenüber den statischen Modellen keine eindeutigen Vorteile.

Für die bestehenden Kernkraftwerke in der Schweiz bestätigt diese Studie, dass die bisherigen Erdbebenberechnungen für die Bauwerke mit gedrungenen, stark bewehrten Tragwänden auf der sicheren Seite liegen. Dies kann bei künftigen Nachrechnungen und Sicherheitsanalysen berücksichtigt werden. Eine weitere Anwendung der Erkenntnisse aus diesem Projekt ergibt sich auch im Falle von festgestellten oder vermuteten Schwächungen des Tragwerkes im Rahmen der Alterungsüberwachung.

Das Projekt wurde mit einem umfassenden Schlussbereicht erfolgreich abgeschlossen.

Mitarbeit im OECD-Halden Reaktor Projekt auf dem Gebiet der Software Verifikation und Validation [8]

Die HSK hat einen Wissenschafter in die Projektgruppe "Software Validation und Verifikation" im OECD-Halden Reactor Project delegiert, mit dem Ziel, einerseits Erfahrungen und Kompetenz im Bereich der formalen Software-Entwicklung zu sammeln und anderseits diese Erkenntnisse später auch praktisch umzusetzen. Im vergangenen Forschungsjahr wurde ein Software-System unter Gebrauch von formalen Techniken erstellt. Dabei konnten erste Erkenntnisse über die praktische Anwendung formaler Methoden in einem grösseren konkreten Projekt gesammelt werden.

In einem weiteren Vorhaben wurde ein Editor entwickelt, der das Erstellen von algebraischen Spezifikationen benutzerfreundlicher gestaltet.

Methodische Weiterentwicklung in Aeroradiometrie [4]

Durch periodisch wiederholte Helikopteraufnahmen wird die Umgebung der schweizerischen Kernkraftwerke und des PSI aerogammaspektrometrisch vermessen. Die Ergebnisse der Messkampagnen betreffend künstlicher Radioaktivität werden miteinander verglichen und dienen als Beweissicherung für die Beurteilung der Umgebungsbelastung der kerntechnischen Anlagen. Das Forschungsprojekt hat die Zielsetzung, die bestehenden Aerogammaspektrometrie-Messapparaturen und die dazugehörige Software weiterzuentwickeln. Insbesondere soll der Datentransfer zu einer Bodenstation und die anschliessende Auswertung in Echtzeit angestrebt werden, um die Messungen aus der Luft in Notfallsituationen schneller zur Verfügung zu haben. Zusätzlich wird durch die Teilnahme an internationalen Gemeinschaftsprojekten an der Entwicklung standardisierter Messund Auswertmethoden und an der Verbesserung der transnationalen Datenkompatibilität mitgearbeitet.

Im vergangenen Forschungsjahr konnte im Rahmen der Messflüge gezeigt werden, dass die digitale Datenübertragung vom Helikopter zu einer Bodenstation mit Natel-D prinzipiell funktioniert. Ergänzend wurden Abklärungen über den Einsatz von geographischen Informationssystemen und von Differential *Geographic Positioning System* (GPS) für eine verbesserte Positionierung der Messorte während des Flugs vorgenommen.

In einer gemeinsamen Messkampagne mit dem östereichischen Aeroradiometrie-Team wurden die Messsysteme verglichen und die Geräte aufeinander abgestimmt und kalibiert.

Mit dem englischen Aeroradiometrie-Team konnten schliesslich Absprachen im Zusammenhang mit einer Beteiligung am EU-Projekt European Coordination of Environmental Airborn Gamma-ray Spectrometry (ECEAGS) getroffen werden.

Liste der Projekte

- [1] PSI-Villigen: a) Simulationsmodelle zur Transientenanalyse der Reaktoren in der Schweiz; STARS III

 b) Leichtwasserreaktor- Kontaminationskontrolle c) Spannungsrisskorrosion von Stählen für
 Reaktorkomponten in Heisswasser d) Strahleninduzierte Spannungsrisskorrosion IASCC •
 e) Radioökologie f) Radioanalytik und Dosimetrie g) Human Reliability Analysis HRA
- [2] Institut für Medizinische Radiobiologie, Institut für Sozial- und Präventivmedizin, UNI-Zürich, PSI-Villigen: Dosis-Wirkungsbeziehungen, Molekularbiologische Untersuchungen und Untersuchung der Krebssterblichkeit in der Umgebung der Schweizer Kernanlagen
- [3] Institut für Verfahrenstechnik, ETH-Zürich: Einfluss der Naturkonvektion im Sicherheitsbehälter nach einem schweren Kernschmelzunfall auf die kontrollierte gefilterte Druckentlastung; REVENT II
- [4] Institut für Geophysik, ETH-Zürich: Methodische Weiterentwicklung in Aeroradiometrie
- [5] EAWAG, Dübendorf: Verhalten von Radionukliden in Aare und Rhein
- [6] BASLER UND HOFMANN, Zürich: Schweizer Beitrag am NESC1-Projekt über ''Pressurized thermal Shocks'' Erdbebenfestigkeit von Tragwänden in Kernkraftwerken
- [7] Royal Institute of Technology, Stockholm: Melt-Structure-Water Interactions during Severe Accidents in LWR'S
- [8] Halden, Norway: Mitarbeit im OECD-Halden Reaktor Projekt auf dem Gebiet der Software Verifikation und Validation

FUSION THERMONUCLÉAIRE CONTRÔLÉE

Rapport de synthèse sur les activités 1997 du programme de recherche

Stéphane Berthet

stephane.berthet@bbw.admin.ch

L'intérieur d'un Tokamak

L'intérieur du Tokamak à Configuration Variable TCV de l'EPF-Lausanne est recouvert de ses nouvelles tuiles en graphite. La surface de ces tuiles est analysée à l'UNI-Bâle (photo CRPP).

Centres de gravité du programme

Aussi bien au niveau international que national, le programme Fusion se place dans le contexte de la recherche énergétique. Depuis plusieurs années, le programme Fusion de l'UE, et par conséquent le programme suisse puisqu'il y est totalement intégré, est une recherche orientée vers des objectifs précis. Il s'agit dans un premier temps de doter l'Europe de la capacité de construire un réacteur expérimental (NET ou ITER), puis de faire la démonstration de la production d'électricité (DEMO) pour finalement construire des installations commerciales. Ainsi, le programme Fusion fait partie de la recherche énergétique, sans exclure une certaine composante de recherche de base.

Au niveau suisse, l'ensemble des activités nationales dans le domaine de la fusion est coordonné par le Centre de Recherche en Physique des Plasmas (CRPP/EPFL). Celles-ci sont pleinement intégrées au programme Fusion de la Communauté européenne de l'énergie atomique (EURATOM) auquel notre pays participe de plein droit depuis 1979, via l'Association EURATOM – Confédération Suisse. Ce programme couvre toutes les activités de la fusion magnétique dans les Etats-membres (Suisse incluse). Il se présente comme une seule entité vis-à-vis des autres programmes Fusion dans le monde.

Au sein du réseau des Associations européennes, les travaux suisses sont orientés essentiellement vers six domaines: exploitation d'un Tokamak à Configuration Variable (TCV) et construction de son chauffage auxiliaire; développement de nouveaux diagnostics et tubes micro-ondes; théorie et simulation numérique en physique de la fusion; technologie de la fusion; activités externes; technologie des plasmas.

Vue d'ensemble au niveau international

Aux USA, le PCAST, le President's Committee of Advisors on Science and Technology estime le budget fusion actuel trop bas. Il ne permet pas notamment aux USA de participer de manière significative dans un programme international tel que ITER (International Thermonuclear Experimental Reactor). Le budget fusion passa de 369 Mio\$ en 1995 à 232 Mio\$ en 1997. Par conséquent, le PCAST recommande une augmentation du budget annuel du Department of Energy en matière de R&D en énergie de 1 Mia de \$ sur 5 ans. Pour 2002, cela place le budget fusion à la valeur qu'il avait proposé en 1995 (320 Mio\$) comme budget constant pour les années à venir. Les restrictions budgétaires de 1996 sur la fusion ont eu pour effet la fermeture, début avril 1997, du TFTR, la plus grande machine (type Tokamak) des USA, après 15 ans de services. C'est un chapitre majeur de la fusion aux USA qui s'est ainsi terminé.

Pour le PCAST la stratégie d'un programme au budget restreint doit s'orienter autour des principes clés suivants: 1) un fort programme domestique en science des plasmas et en technologie de la fusion; 2) une expérience internationale centrée sur les objectifs cruciaux que sont l'allumage et une combustion maintenue (modérément); 3) une participation dans un programme international pour développer des matériaux à faible activation; 4) une collaboration significative avec le programme JET en Europe et le programme JT-60 du Japon. Ces collaborations doivent fournir l'expérience nécessaire pour les opérations d'une installation, telle que ITER.

Aujourd'hui, l'objectif du programme de recherche en fusion du DOE est de développer les bases scientifiques (physique des plasmas) et technologiques (matériaux à basse activation, etc.) pour la fusion en

tant qu'option énergétique à long terme. Cette "hibernation" des USA est conçue de manière à leur permettre de reprendre leur place dans les activités de fusion au niveau mondial lorsque leur situation budgétaire le permettra, en admettant que les autres programmes ne suivront pas la même voie!

Au Japon, les ambitions d'accueillir le site d'ITER pourraient être victime du plan de réforme fiscale qui appelle d'importantes coupures dans les dépenses de l'Etat. L'année passée, le Japon montrait un intérêt tout particulier pour ITER avec trois sites potentiels et un fort appui industriel et gouvernemental. Mais aujourd'hui, la situation est tout autre puisque le gouvernement japonais a indiqué en juin dernier que pour les 3 prochaines années, aucun site ITER ne pourra être proposé au Japon. En dépit de ces contraintes, l'Agence Science et Technologie qui finance la participation japonaise à ITER espère encore accueillir ITER. De son côté, la Federation of Economic Organizations, une puissante association industrielle, continue de promouvoir l'idée d'une construction d'ITER au Japon.

La Russie, depuis la désagrégation de l'URSS, est devenue le partenaire d'ITER puisque c'est à Moscou, St-Petersbourg et Novosibirsk que se concentraient les activités les plus importantes. Néanmoins, en raison des problèmes financiers actuels du pays, le programme Fusion russe ne fournit plus une contribution commensurable avec sa capacité scientifique et technique, à l'exception des activités ITER auxquelles la Russie continue de contribuer.

Le Canada qui participe à ITER, via un partenariat avec l'Union Européenne, a 2 sites potentiels pour ITER. Mais le gouvernement fédéral n'est pas en

mesure de les soutenir. Il a d'ailleurs suspendu son support financier au programme Fusion canadien au début de 1997. La promotion de ces 2 sites (près du lac Huron et Ontario) se fait aujourd'hui de manière indépendante par la société électrique Ontario Hydro.

L'objectif d'ITER est d'associer un cœur de réacteur de fusion, formé d'un plasma où se produisent les réactions de fusion en régime quasi stationnaire, et les technologies, matériaux, bobines supraconductrices, appareil de chauffage et de mesure, déjà disponibles ou proches de l'être. Ce projet a pour but de délimiter le domaine de fonctionnement accessible, de valider les technologies développées spécifiquement à cet usage et d'identifier les paramètres de fonctionnement d'un réacteur producteur d'énergie. Aujourd'hui, les principales installations de fusion de dernière génération ont atteint la plupart des objectifs qui avaient été définis il y a presque 20 ans. Il est donc important maintenant de passer à l'étape suivante, celle d'un réacteur expérimental grande échelle pour faire la démonstration technique et scientifique de l'énergie de fusion. C'est ITER dont le coût de construction est estimé à 750 MECU par année sur 10 ans.

Pour le site ITER rien n'est encore décidé. Considérant les difficultés budgétaires de l'ensemble des partenaires d'ITER (Europe, Japon, USA et Russie), il a été décidé d'étendre les activités de préparation de la construction d'ITER de 3 ans. Cette phase supplémentaire permettra la validation des sept technologies clés pour ITER identifiés dans l'Interim Design Report (central solenoid model coil; toroïdal field model coil; vaccum vessel sector; blanket module fabrication; divertor cassettes; remote handling equipment for blanket maintenance; divertor remote handling) et, sur le plan de l'organisation, de négocier et de décider les conditions de financement d'ITER. Elle permettra également de prendre contact avec les autorités compétentes pour le "licensing" des sites potentiels pour ITER (Japon, Canada et Europe) et d'adapter les dessins aux spécificités de ces sites. Mais outre le prestige, le partenaire d'accueil devra aussi endosser une grande part du coût de construction.

En Europe, la dépense globale en matière de R&D en fusion est, en moyenne sur la durée du 4ème Programme Cadre (PCRD, 1994-1998), d'environ 500 MioECU par année. La part de la Communauté est d'environ 224 MioECU par année. Dans le 4ème PCRD, le budget du programme Fusion est de 895 MioECU. La proposition de la Commission de l'UE pour le budget de l'ensemble du 5ème PCRD est de 16.3 MiaECU (3% de plus que le budget du 4ème PCRD par rapport au PIB). Pour EURATOM (Fission + Fusion, mais sans les JRC), il est prévu 1.141 MiaECU. Une estimation basée sur l'expérience du 4ème PCRD place le niveau du budget de la Fusion à 900 - 915 MECU pour 1999 à 2003.

Fin 1996, le Fusion Evaluation Board (FEB) a livré à la Commission Européenne un rapport très positif à l'égard du programme Fusion européen. Celui-ci a été bien accueilli par les hautes instances européennes. Le FEB estime qu'avec les progrès réalisés, aussi bien dans la physique que dans la technologie de la fusion, et cela tout spécialement en Europe, il est devenu aujourd'hui possible d'envisager avec un grand degré de confiance la construction et l'opération en toute sécurité d'un réacteur expérimental de fusion dans un très proche avenir. Cela devrait être ITER. Le FEB place par conséquent ITER comme première priorité du programme Fusion de l'UE et considère que cette installation, qui permettra de faire un pas important en Fusion, doit être construite et si possible en Europe, afin de maintenir la position de leader mondial qu'elle occupe actuellement.

Dans le cadre de la préparation du 5ème Programme Cadre (PCRD) (1998-2002), la Commission européenne a élaboré, à l'intention du Conseil de l'UE, 6 scénarios possibles sur l'avenir du programme Fusion et ses implications financières ont été étudiées: ① Le programme Fusion de la Communauté est arrêté; La recherche commune est poursuivie mais limitée à la recherche de base en science des plasmas et de technologie de base avec un regard sur les développements hors Europe. La stratégie orientée vers la construction d'un réacteur expéri-Les activités de préparation mental est abandonnée; de la construction d'ITER sont poursuivies au-delà de juillet 1998. Aucune décision sur la construction d'ITER n'est prise avant la fin du 5ème PCRD; Commencer la construction d'ITER hors de l'Europe;

Construction d'ITER en Europe en utilisant au mieux les investissements européens déjà réalisés et maximisant l'influence de l'UE dans le développement de la fusion; L'Europe se lance toute seule dans la construction d'un nouveau réacteur de fusion de type ITER.

Finalement le 10 novembre dernier, le Conseil des Ministres de la recherche de l'UE a choisi l'option

, la plus réaliste dans le contexte politicoéconomique actuel, qui propose une prolongation de l'étude d'ITER avec l'adaptation du design à un site potentiel et des travaux de R&D supplémentaires. Une décision de construction du réacteur expérimental ITER ne sera donc pas prise avant 2001-2002, à la fin du 5ème PCRD.

Au JET (UK), 1997 a été une année financièrement pénible (taux de change £/ECU toujours défavorable au projet). Mais malgré cette situation difficile, les physiciens du JET ont effectué un nouveau pas vers le contrôle de la fusion thermonucléaire en utilisant un mélange de deutérium-tritium (50%/50%) comme combustible. Les premiers résultats de la série d'expériences DTE1 sont excellents. En produisant une puissance de fusion de 16.1 MW, le JET a battu le record du monde détenu depuis 1995 par les USA

sur le TFTR de Princeton avec 10 MW. Ce résultat est un nouveau pas vers la maîtrise de l'énergie de fusion quasi inépuisable. Mais le tour de force de JET réside essentiellement dans l'amélioration du bilan énergétique de la réaction de fusion¹⁾. Les européens sont parvenus à un rapport (Q) entre la puissance de fusion produite et la puissance fournie de 0.9. Le JET s'est approché plus près que jamais du break-even (Q=1). Le point où un réacteur de fusion produit autant d'énergie qu'il en consomme. Néanmoins, il y a encore du travail avant d'atteindre le stade ultime vers lequel tendent tous les efforts: l'ignition ou l'allumage. Cela signifie que la puissance provenant des particules α est suffisante pour maintenir le plasma à la température voulue. L'auto-entretien de la réaction de fusion sera alors réalisé.

Outre les records mondiaux obtenus, l'aspect marquant de cette série d'expériences DTE1 est que les résultats expérimentaux ont été largement consistants avec les prédictions. C'est une exigence cruciale compte tenu du fait que le design de JET est proche de celui proposé pour ITER. Ces excellents résultats permettent

d'envisager la construction d'un réacteur expérimental comme ITER avec sérénité et confirment la position de leader de l'Europe en matière de R&D en fusion.

Depuis la fermeture du TFTR (USA), JET est maintenant la seule installation expérimentale au monde capable de travailler avec un mélange D-T (50%/50%) qui sera celui d'ITER et des futures réacteurs commerciaux. JET constitue donc un banc d'essais formidable pour ITER. Cela n'a pas échappé aux chercheurs américains qui ont émis la proposition de rejoindre le JET. Le JET de son côté a réagi prudemment aux propositions américaines de participer à ses expériences. Financièrement cette contribution serait prise sur les montants dédiés à ITER. Or les opérations de JET sont étroitement liées à ITER jusqu'en 1999 et voire même au-delà. De part et d'autre de l'Atlantique les supporters d'ITER voient dans cette suggestion américaine la tentative déguisée d'affaiblir voire même de tuer ITER en traçant un autre chemin pour la collaboration internationale si ITER n'était pas construit.

Développement en Suisse

L'installation expérimentale TCV (Tokamak à Configuration Variable), 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 cyclotron électronique par micro-ondes (83 GHz (6 tubes) et 118 GHz (3 tubes)) totalisant 4.5 mégawatts. Des plasmas toroïdaux de formes variées peuvent y être produits et maintenus dans des conditions quasi-stationnaires pendant une à deux secondes à une pression moyenne de l'ordre de 0.1 à 0.2 bar.

L'objectif stratégique de cette machine est d'explorer les régions au-delà des frontières d'opération présentes des Tokamaks, en particulier d'étudier la dépendance des performances en fonction de la forme du plasma (qualité du confinement et optimisation du système d'évacuation de la chaleur et des particules).

Parmi les faits marquants de TCV en 1997, citons:

- $-\,$ l'obtention des paramètres de plasma proches des valeurs maximales définies lors de la conception du projet: courant plasma I_p de 1.05 MA (Valeur maximale de design =1.2 MA) et élongation 2.58 (Valeur maximale de design = 3).
- les expériences de chauffage cyclotron électronique à 1 MW sont devenues routinières. C'est grâce

- à de telles expériences que la température électronique est passée de 10 millions de degrés en l'absence de chauffage supplémentaire à 40 millions de degrés avec 1 MW de puissance à 83 GHz.
- l'exploration des formes de plasma et leur influence sur le temps de confinement de l'énergie.
- la chambre à vide de TCV a été recouverte de tuiles en graphite en préparation d'expériences de plus grande élongation (maximum du design à 3).

A travers le programme de **mobilité de l'EURATOM**, les travaux sur TCV bénéficient de contributions de chercheurs et de boursiers d'autres Associations comme la *Max Planck Institut für Plasma Physik* de Garching (D), le *CREATE* de Naples (I), l'*Imperial College* (GB), la *KFA* de Jülich (D). Des accords bilatéraux ont été signés avec les Etats-Unis, l'Institut Kurchatov à Moscou et nous ont permis des échanges de personnel et de matériel.

Dans le domaine de la physique des plasmas, l'arrivée de **diagnostics nouveaux** ou améliorés est à l'origine de progrès importants dans la compréhension des phénomènes et dans la validation de nouveaux concepts de confinement.

¹⁾ D+T $\rightarrow \alpha(3.6 \text{ MeV}) + n(14.1 \text{ MeV})$. Les particules α sont des noyaux d'hélium.

Le CRPP jouit depuis longtemps d'une solide réputation en simulation numérique. Les activités du groupe de théorie et de simulation numérique comportent plusieurs volets: support à l'exploitation des expériences de fusion au CRPP (TCV) et en Europe; contribution à la définition de nouvelles grandes installations, comme le grand Stellarator W7-X en construction en Allemagne et le projet ITER; exploration de nouveaux concepts et contribution à la compréhension des phénomènes fondamentaux, en particulier le transport anormal du plasma en géométrie toroïdale et la génération de courant par absorption d'ondes électromagnétiques. Dans ce domaine de la théorie et de la simulation numérique le CRPP a des collaborations avec les Instituts Keldish (Moscou), Kurtchatov (Moscou) et Max-Planck (Allemagne).

Dans le domaine de la **technologie en matière de fusion**, le programme suisse dispose des groupes de recherche "Supraconducteur" et "Matériaux" localisés à l'Institut Paul Scherrer (PSI) mais sous la responsabilité du CRPP. Ces deux groupes, ont une place importante dans le programme européen avec leurs installations respectives SULTAN (Supraleitung Test Anlage) et PIREX (Proton Irradiation Experiment). Il convient encore de relever la contribution de l'UNI-Bâle, financée par l'OFEN, dans le domaine des **couches superficielles** des parois internes des réacteurs à fusion. Cette technique appliquée sur TCV a permis d'obtenir un plasma d'une qualité nettement supérieure.

Depuis 1992, la plupart des activités en technologie de fusion font l'objet de collaborations internationales, en particulier dans le cadre des activités R&D d'ITER.

Toutes les bobines pour ITER seront supraconductrices à des valeurs extrêmes de champ et de densité de courant, à une taille loin au-delà de tout ce qui a été réalisé jusqu'à maintenant et pour certaines d'entre elles en régime non-stationnaire. Le groupe supraconducteur est très actif dans ce domaine depuis des années. Avec SULTAN, installation de test unique en son genre, il effectue pour tous les partenaires d'ITER et pour d'autres projets européens, comme W 7-X, des essais de nouveaux conducteurs ainsi que des expériences relatives à la propagation du quench (retour à la conduction normale) et aux pertes en régime non-stationnaire. En parallèle avec ces travaux de R&D dans le domaine des supra-conductivité à basse température, le groupe développe également des applications de supraconducteurs à haute température dans les amenées de courant pour les bobines d'ITER.

Une des caractéristiques souhaitable d'un réacteur de fusion magnétique est la faible radioactivité résiduelle des éléments de structure du réacteur. Les matériaux de ces éléments sont activés par les neutrons issus des réactions de fusion. Pour atteindre cet objectif, des matériaux à moyenne et faible réactivité ont été développés. Deux familles de ce type de matériaux sont actuellement à l'étude: les aciers martensitiques à faible activation (9CrWVT - acier connu sous le nom d'OPTIMAX) et les alliages de titane. Le développement de nouveaux matériaux ayant à la fois les propriétés physiques et chimiques pour résister à l'environnement du plasma, la résistance suffisante à l'irradiation des neutrons de fusion et une faible radioactivité induite résiduelle, conditionnera à long terme l'acceptabilité écologique et la compétitivité socio-économique de ce type d'énergie.

Evaluation du programme

En Suisse, la question des moyens mis à disposition pour le programme de recherche sur la fusion a entraîné mi-1997 une évaluation de nos activités suisses dans ce domaine. On peut résumer les conclusions de cette évaluation de la manière suivante:

- Avant le premier réacteur de fusion commercial prévu pour le milieu du 21ème siècle, il faut encore résoudre bon nombre de problèmes technologiques. Notamment: l'optimisation du système d'extraction de la chaleur; le contrôle des impuretés introduites dans le plasma; l'optimisation des systèmes de chauffage du plasma; la réalisation de l'autoentretien de la réaction de fusion; le développement de matériaux à faible activation; le développement de grands aimants supraconducteurs; le développement de technique avancées de manipulation à distance.
- Si aujourd'hui, l'on parle plutôt de grands réacteurs de fusion de l'ordre du gigawatt, on ne peut

- exclure qu'il soit possible au milieu du 21ème siècle de construire de plus petites unités.
- Au sein de la CORE, la fusion ne fait pas l'unanimité. Certains membres ont des doutes quant à la compétitivité économique et au coût d'investissement de la fusion par rapport à d'autres sources d'énergie, comme notamment le solaire. Mais, qui peut connaître aujourd'hui le prix du kWh dans 50 ans lorsque, entre autres, on incluera probablement les coûts annexes. Les évaluations du coût de l'énergie de fusion, réalisées sur la base de la technologie et des matériaux d'aujourd'hui, donnent un ordre de grandeur comparable à celui de la fission ou des combustibles fossiles. Mais là encore, nul ne peut prédire ce que sera l'état des développements technologiques au milieu du 21ème siècle; d'où l'ambiguïté de telles comparaisons.
- Il n'y a aujourd'hui aucune raison fondamentale autre que budgétaire, de diminuer notre effort dans

le domaine de la fusion dans le contexte des recherches énergétiques pour le futur. A l'heure actuelle, opposer la fusion au solaire ou à d'autres sources d'énergie est un faux débat. La question qui doit être posée est celle de savoir quelles solutions proposer pour subvenir à la demande d'énergie toujours croissante. Surtout il est important de ne négliger aucune voie susceptible d'apporter une solution au problème énergétique de demain.

- Chaque Association du réseau européen est spécialisée dans des domaines bien définis. L'Association suisse, avec TCV, SULTAN, ses travaux en théorie, ses recherches sur les gyrotrons et les matériaux à faible activation, occupe une niche d'une importance fondamentale et stratégique pour l'ensemble du programme européen. Ainsi des coupures budgétaires, qui pourraient impliquer la fermeture d'installations ou la réduction des activités suisses, financées en partie par Bruxelles, auraient des conséquences fâcheuses au niveau du programme européen et au niveau d'ITER. Par conséquent, toute décision de diminution des activités suisses dans le domaine de la fusion ne peut pas être prise sans réflexion préalable sur ses conséquences.
- Du point de vue de l'industrie, l'intérêt actuel est de pouvoir participer aux développements technologiques qui accompagnent le programme Fusion européen. Les statistiques le montrent clairement, depuis notre intégration à ce programme (1979), l'industrie suisse a su être compétitive et gagner un volume de contrats (7.7% JET + Associations) nettement supérieur à

l'investissement gouvernemental (3.6%) dans ce programme européen. Néanmoins, et c'est tout-à-fait compréhensible, vu le caractère à long terme du programme, l'investissement industriel propre n'est pas encore à l'ordre du jour. Les efforts d'investissement pour les recherches et développements technologiques utiles et indispensables à la mise en oeuvre des différentes étapes de test et démonstration (ITER et DEMO) qui doivent conduire à un réacteur commercial dans 50 ans, ne peuvent être supportés que par des fonds publics au travers d'une collaboration internationale.

Notre évaluation a montré que notre pays tient – par la qualité de ses travaux - un rôle important et stratégique sur la scène internationale, qu'il serait regrettable d'affaiblir. Par conséquent, considérant l'aspect politique mais surtout les possibilités qu'offre à long terme la fusion en tant que source potentielle d'énergie électrique, il serait souhaitable de maintenir notre effort dans ce domaine. Quant à la position de la CORE à l'égard de la fusion, elle est plus nuancée. La majorité de cette commission émet des doutes sur la rentabilité et l'acceptation du grand public d'un réacteur de fusion. Néanmoins, elle est unanime sur l'excellence des travaux de recherche effectués en Suisse dans ce domaine. Par conséquent, les moyens financiers qui sont alloués à ce programme ne doivent pas, dans la mesure du possible, être diminués. Cependant, dans la phase ultérieure de construction d'ITER, la contribution suisse au programme Fusion européen devra faire à nouveau l'objet d'une prise de position de la CORE.

Buts et résultats 1997

La participation de l'OFEN, très limitée pour les activités de fusion, s'est concentrée en 1997 sur les recherches sur les matériaux (CRPP) et le conditionnement des parois de réacteur de fusion.

<u>Projet 1</u>: Surface Studies related to Fusion Reactor Material (UNI-Bâle)

Avec ce projet, le groupe de l'UNI-Bâle poursuit ses activités sur le conditionnement des parois de réacteur de fusion. Plusieurs échantillons ont été exposés à des décharges de plasma dans le Tokamak TVC (EPFL/CRPP) lors de la boruration des parois. Il a été particulièrement étudié l'influence de la température de la première paroi sur la composition chimique de la couche mince qui s'y dépose. L'étude porte spécialement sur la contamination par l'oxygène, le carbone ou l'hydrogène. La présence d'oxygène et de carbone semble avoir un effet important sur les performances du plasma dans le Tokamak. Les résultats obtenus semblent indiquer que la concentration des impuretés (C et O) augmente lorsque la température décroît. C'est donc un effet qui peut contribuer aux mauvaises performances du

plasma observées lors de faible température de la chambre de confinement pendant la boruration. Le choix des nouvelles tuiles en graphite pour le TCV a été appuyé par une analyse de surface détaillée afin de s'assurer de l'absence de toute contamination métallique qui peut nuirent aux performances du plasma. Les autres expériences conçues pour étudier la structure et la réactivité de couches minces (a-C/Li) libres d'hydrogène progressent et ces films serviront de système de référence pour étudier l'interaction du Li incorporé dans différentes matrices de carbone avec de l'oxygène et de l'eau.

Pour 1998, les objectifs sont: la poursuite de l'analyse des tuiles du TCV; l'étude de la structure et des propriétés des couches minces Li-C; l'étude de l'influence de l'hydrogène sur les couches minces et les premières expériences avec d'autres Li-alliages.

Collaboration: CRPP/EPFL, UNI-Freiburg i.B. (Allemagne).

<u>Projet 2</u>: An investigation of the microstructural stability and mechanical properties of low activation

martensic steels and Ti-alloys (CRPP/Fusion technology materials group)

L'objectif de ce projet est le développement d'alliages à faible activation pour les éléments structurels des futurs réacteurs de fusion. Ces matériaux sont activés par les neutrons issus des réactions de fusion. Deux types d'alliages ont été choisis: les aciers martensitiques à faible activation (9CrWVT - acier connu sous le nom d'OPTIMAX) et les alliages à base de titane.

Les résultats sur les propriétés mécanique et microstructurelle de l'acier OPTIMAX avec différentes proportions de W, Mn et N indiquent que de bonnes propriétés de résistance peuvent être obtenues avec seulement 1% de W en contrôlant la proportion de N et le traitement à la chaleur. La température de transition ductile-cassant pour les alliages à haute résistance se situe à -60 °C. Une irradiation aussi bien aux neutrons qu'aux protons (PIREX) a été faite sur l'acier OPTIMAX pour étudier sa résistance aux radiations et un possible effet de l'hélium.

Grâce 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 dureté 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. Les alliages Ti-5Al-2.5Sn, Ti-5Zr et Ti-5Zr-2.5Sn ont été préparés et traités thermomécaniquement. Des tests de résistance ont été effectués avec Ti-5Al-2.5Sn montrant que cet alliage avait des propriétés comparables à celles des aciers martensitiques. Néanmoins le test dit de Charpy pratiqué sur l'ensemble des alliages Ti montre qu'il ne présente pas de transition ductile-cassant.

Pour 1998, les recherches porteront, pour les aciers martensitiques, sur l'effet de l'irradiation sur les propriétés de résistance et sur la température de transition ductile-cassant ainsi que sur l'effet de l'hélium sur les propriétés mécaniques des aciers irradiés; pour les alliages de Ti il s'agira de développer des revêtements constituant une barrière à l'hydrogène et de mesurer leur stabilité mécanique et leur efficacité.

Collaboration: Forschungszentrum Karlsruhe et Jülich (D), Risø National Laboratory (DK), l'irradiation aux neutrons a été faite en collaboration avec le Stusvik Material (S), le Energy Research Foundation à Peten (NL) et le Hungarian Atomic Energy Institut. Une étroite collaboration a aussi été établie avec le PSI en particulier avec le Hot Lab.

Liste des projets

- [1] P.Oelhafen, J. Geng M. Tö we, P. Reinke, INST.F.Physik/UNI-Basel: Surface Studies related to Fusion Reactor Material (RA)
- [2] M. Victoria, Fusion Technology / CRPP / EPF-Lausanne: An investigation of the microstructural stability and mechanical properties of low activation martensic steels and Ti-alloys (RA)
 - (RA) Rapport annuel 1997 disponible

Excerpt from "ENERGY RESEARCH 1997", Editor: L. Dubal Swiss Federal Office of Energy http://www.admin.ch/bfe/

PILES À COMBUSTIBLE & ACCUMULATEURS

Rapport de synthèse sur les activités 1997 du programme de recherche

Léo Dubal

leo.dubal@bfe.admin.ch



Accumulateur "ZEBRA" sodium-chlorure de nickel

La Ville de Wil (SG) a en circulation depuis 2 ans un *bus convivial* de 27 places. Avec ces accumulateurs d'une puissance de 45 kW, démonstration est faite qu'un bus électrique ne traîne plus à la montée, récupère à la descente et au freinage, et se laisse recharger partiellement à la mi-journée, et, à fond, la nuit.

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 reformé (hydrogène) 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. Mentionnons la récente publication, en langue allemande, d'une vue d'ensemble très attractive de la gamme complète des générateurs électrochimiques [51], et, toujours en langue allemande, d'une brochure promotionnelle intitulée Signification pour la Suisse des piles à combustible [52].

Le programme de recherche *Piles à combustible & accumulateurs* complète les programmes Électricité, Couplage chaleur-force et Transport. Ce programme vise à coordonner, au plan national, l'ensemble des activités en matière de générateurs électrochimiques autour d'une stratégie cohérente, intégrée dans la

collaboration internationale, et, *last but not least*, compatible avec celle des Communautés européennes [50]. La tension minimale requise d'un générateur est de 12 VDC, la puissance d'un modèle fonctionnel de l'ordre de 1 kW et l'énergie stockée de l'ordre de 1 kWh. Les modules de puissance plus élevée sont traités comme des installations Pilote et Démonstration (P+D).

Le soutien subsidiaire de l'OFEN à la recherche en matière de générateurs électrochimiques se limite aux types de générateurs les plus prometteurs pour la politique énergétique suisse, mais, il est loin d'être suffisant. Aussi, les soutiens financiers par les fondations pour la recherche énergétique PSEL (Fonds pour projets et études de l'économie électrique), FOGA (Fonds de recherche de l'industrie gazière suisse), et FRUP (Fonds de recherche de l'Union Pétrolière) et par les programmes européens constituent d'indispensables contributions.

État de la technique

Les <u>piles au gaz naturel</u>, à <u>électrolyte d'acide phosphorique</u>, dites *PAFC*, sont actuellement les seules piles présentant un degré de fiabilité minimum (durée de vie de 40'000 heures). Leurs rejets thermiques sont à une température d'environ 100°C. Elles conviennent donc parfaitement comme installations couplage chaleur-force au gaz naturel, pour des puissance comprise entre 200 et 1000 kW₆₁. Malgré leurs atouts environnementaux, leur prix actuel (pratiqué par l'unique fabricant, ONSI, aux USA), près de trois fois plus élevé que celui d'une installation classique équivalente, ne leur a pas encore permis de s'imposer sur le marché.

Les piles à l'hydrogène, à électrolyte polymère, dites PEFC ont des rejets thermiques à une température inférieure à 80°C, une courte durée de vie, et sont donc mal appropriées au couplage chaleur-force. Malgré cet handicap, en août 1997, BALLARD, au Canada, a mis en opération un premier prototype de 250 kW équipé d'un reformeur externe de gaz naturel pour produire l'hydrogène. Fin 1997, EBM-Münchenstein a déjà annoncé son intérêt d'acquérir une telle pile, bien que le prix des répliques de ce prototype expérimental soit estimé à près de 15 fois celui d'une installation classique. En association avec DAIMLER-BENZ, BALLARD est, en outre, parvenu à comprimer un autre prototype de 50 kW, équipé d'un reformeur de méthanol, sous le capot d'une "compacte électrique", surnommée NECAR III. Un projet européen particulièrement prometteur auquel le PSI participe [42] développe un procédé de fabrication de stacks, qui, appliqué à grande échelle, rendrait compétitive la traction électrique. Pour les Powerpacks portables, U. Bossel, à Oberrohrdorf, a

déposé un brevet sur un concept séduisant intégrant un générateur chimique d'hydrogène [61]. Fin 1997, le prototype de pile H₂/O₂ du PSI à Villigen a atteint 1,4 kW. La première application envisagée est la navette lacustre à propulsion électrique pour l'Expo 2001. Le problème du reformage d'un combustible liquide n'est pas encore résolu, pas plus que celui de son coût, d'où l'importance de la collaboration internationale [56].

Les piles au gaz naturel, à électrolyte céramique, dites *SOFC*, ont des rejets thermiques à une température bien supérieure à 100°C. Si la longévité de ces piles correspond aux attentes, elles seront idéales pour le couplage chaleur-force. Précisons que le problème de la durée de vie est un des thèmes abordés par la collaboration internationale [41, 46]. Un prototype de 100 kW de WESTINGHOUSE, vient d'être installé aux Pays-Bas au centuple du prix d'une installation classique. En avril 1997, SULZER HEXIS a lancé une campagne de mesures, sur un prototype de pile au gaz naturel de 1 kW aux Services industriels de Winterthur. Cette pile de 65 éléments est un modèle fonctionnel de l'unité chaleur-force de quelques kW qu' HEXIS se propose de commercialiser d'ici 3 ans.

Les <u>accumulateurs au plomb</u> sont les plus économiques de tous les accumulateurs actuels. Le *City-Shopping-Bus* qui a circulé à Lucerne, fin 1997, était équipé de 400 kg d'accumulateurs VARTA, très performants. Une réduction importante de la masse des électrodes fait l'objet d'une collaboration européenne [43] à laquelle participe DEVEX, à Châtel St-Denis.

Les <u>accumulateurs "Ni-MH"</u> (hydrures métalliques) sont favorisés par des arguments écologiques par rapport aux accumulateurs "nickel-cadmium", mais défavorisés par leur prix. Avec un accumulateur de 450 kg, constitué de 24 modules à 12V, TOYOTA alimente le moteur à aimant permanent de 45 kW de sa voiture RAV4LEV. La collaboration européenne [44] à laquelle participe l'UNI-Fribourg et LECLANCHÉ, à Yverdon cherche, elle, à améliorer la cinétique de ces accumulateurs.

Un prototype <u>d'accumulateur "sodium-chlorure de nickel"</u> à haute-température (300 °C) ZEBRA (3 x 15,4 kWh, à C2) alimente un *Wiler Stadtbus* de 27 places (*voir en-tête*). ZEBRA, à Ulm, envisage la fabrication industrielle de ce type d'accumulateur très prometteur.

Les <u>accumulateurs</u> "zinc-air" pour la traction électrique, avec recharge mécanique exigent une infrastructure complexe, d'où l'intérêt, au PSI, de développer une filière rechargeable électriquement. Un projet européen JOULE sur cette filière devrait démarrer, début 1998.

Pour les <u>accumulateurs "ions-lithium</u>", MONTENA (anc. GROUPE FRIBOURG) développe, dans le cadre d'un projet EUREKA [45] une ligne de fabrication pilote de petits accumulateurs à partir de

sa machine à bobiner. Notons que les intérêts économiques liés à cette technologie sont tels que la collaboration internationale s'en trouve limitée; il suffit de rappeler que pour l'alimentation des *Camcorders*, le prix pour le consommateur d'un accumulateur de 10 Wh dépasse la centaine de francs (soit plus de 10'000 Fr/kWh). L'option recherche pour la Suisse, identifiée fin 1996, est celle d'un module de base de 12 V pour la traction électrique. Les atouts suisses à valoriser sont: la sécurité, les électrodes bifonctionnelles et les matériaux d'électrodes nanocristallins.

Pour les <u>supercondensateurs</u>, la filière suisse "haute fréquence" pour les locomotives, étudiée dans le cadre du programme PPM, permet déjà des bonnes charges/décharges jusqu'à 100 Hz, mais un bon fonctionnement à 1 kHz nécessite de réduire encore la résistance. La filière "basse fréquence" est suivie par PANASONIC au Japon, et PRI, aux USA. Depuis peu, MONTENA COMPONENT, à Rossens, s'est lancée dans la compétition.

Pour les <u>chargeurs intelligents</u> d'accumulateurs classiques, il reste à démontrer le gain de durée de vie, avec l'intégration dans le véhicule électrique. Pour les chargeurs intelligents de supercondensateurs, il s'agit de démontrer la recharge rapide, sans surcharge du réseau.

Buts visés pour 1997

PILES À COMBUSTIBLE

a) PAFC (Phosphoric Acid Fuel Cells):

Établir la composition détaillée du biogaz d'une installation de méthanisation des déchets et le coût de l'apprêtage du biogaz pour son utilisation dans une pile de 200 kW_{él}.

b) PEFC (Polymer Electrolyte Fuel Cells):

1) Développer une plaque bipolaire pour un stack H₂/air de vingt éléments d'une puissance de 600 W. 2) Améliorer les propriétés mécaniques et la stabilité dans le temps, des membranes greffées par électroirradiation, en vue de leur intégration dans un stack. 3) Design et construction de *Powerpacks* de 100 W

@ 12 VDC de démonstration pour une dizaine d'Écoles Techniques Supérieures.

c) SOFC (Solid Oxide Fuel Cells):

1) Comparer les avantages et inconvénients respectifs, des procédés VPS (Vacuum Plasma Spray), PVD (Physical Vapour Deposition) et AED (Aerosol Electrostatic Deposition), pour le dépôt d'un électrolyte en zircone mince et dense. 2) Optimiser le support anodique en vue d'un facteur élevé d'utilisation du combustible. 3) Tester, à moins de 820°C, deux stacks de 50 éléments de 12 cm Ø, d'une puissance de l'ordre de 500 W.

ACCUMULATEURS

a) Chargeurs intelligents:

Développement d'un chargeur universel en vue d'un projet P+D d'intégration sur voiture électrique.

b) Accumulateurs "zinc/air":

Collaboration avec l'industrie pour le développement

de modules pour la traction. Intégration dans un des programmes européens.

c) Accumulateurs ''ions-lithium'':

Etudes exploratoires pour identifier les options les plus prometteuses pour un projet national compétitif d'accumulateurs pour la traction.

Travaux effectués et résultats obtenus

PILES À COMBUSTIBLE

a) PAFC:

PROBAG, à Baden, a analysé la composition du biogaz d'une installation de méthanisation des déchets et devisé le surcoût de l'apprêtage du combustible pour une pile de 200 kW à 20 - 25%. La réalisation d'une installation est en discussion [2].

b) PEFC:

Le PSI [5] a construit un stack de 20 éléments d'une puissance, en mode H_2 /air, de 600W @ 12 VDC, atteignant ainsi l'objectif fixé. Le système de refroidissement actuel permet de maintenir une température de 60° C sur de courtes périodes. Le procédé pour la fabrication des membranes par électro-irradiation a été amélioré: leur dégradation a été réduite à 30 µvolt/heure. Des négociations avec divers partenaires potentiels ont été poursuivies.

Un *stack* de 100 W a été construit et testé (jusqu'à 240 W). Combiné avec un convertisseur de tension 12 VDC et deux bouteilles de 4 litres H₂ et O₂, il constitue un *Powerpack* de démonstration pour l'enseignement. L'ETS de Granges [6] en a produit une petite série de 10 unités, et a initié à son utilisation les ETS de Bienne, de Berthoud, de Buchs, de Winterthur, de Horw, de Sion, d'Yverdon, l'Uni-Bâle et les SI-Lausanne.

Une analyse technico-économique des systèmes avec piles polymères a menée à bonne fin à l'EPFL [62].

c) SOFC:

MEDICOAT, à Mägenwil [4], a fabriqué par projection sous vide au canon à plasma (VPS) des éléments de piles HEXIS, sur un nouveau type de support métallique fournis par SULZER HEXIS à Winterthur [3]. Ces supports ont des entretoises à la périphérie pour parer à l'écrasement à haute température du feutre de nickel sous son propre poids. SULZER HEXIS a monté un stack de 65 éléments dans la pile au gaz naturel des Stadtwerke Winterthur et a procédé à l'opération ininterrompue de la pile, la plus longue depuis la mise en fonction de l'installation, soit 1050 heures. La température maximum autorisée a été de 920°C. Le mauvais fonctionnement des 5 éléments à la base du stack a limité à 420 W la puissance délivrée au réseau, empêchant ainsi d'atteindre le milestone des 500W, et la réduction de la température d'opération.

L'EMPA-Thun [14] et MEDICOAT, à Mägenwil, ont fabriqué par VPS, des séries d'éléments de pile de 60 mm Ø sur lesquels l'EPFL [9] a effectué des mesures très systématiques. L'atelier SOFC2000 [54], qui a eu lieu à l'EMPA-Thun en novembre, a permis d'identifier la privation de combustible (fuel starvation) comme responsable du faible taux d'utilisation du combustible dans les éléments "VPS". La comparaison des mesures sur des éléments de Ø 4 et 12 cm [4] montre une rapide diminution de la tension à circuit ouvert en fonction du rayon. Une solution serait de densifier sur son périmètre extérieur le diffuseur-fuel (feutre de nickel), afin de localiser dans cette zone le gradient de la pression partielle d'hydrogène, et d'augmenter significativement le taux d'utilisation du combustible.

Avec la technologie de dépôt de couches minces PVD, il n'a certes pas encore été possible de fabriquer des stacks, mais la puissance surfacique d'éléments de 12 cm Ø atteint déjà 115 mW/cm² à 720°C, avec un collecteur de courant métallique *Low Cost*. A 800°C, des éléments de 3,5 cm Ø atteignent 1000 mW/cm². En faisant l'hypothèse que la puissance surfacique des éléments de 12 cm Ø puisse être améliorée jusqu'à 300 mW/cm², les coûts de production industrielle d'un stack seraient de l'ordre de 600 à 900 Fr/kW_{él}. [3].

Avec la technologie AED, l'Imperial College, à Londres, a déposé des électrolytes minces sur des substrats préparés par SULZER [3]. La qualité des couches n'est pas encore satisfaisante. De son côté, l'ETH-Zürich a effectué une étude exploratoire sur l'utilisation de cette technologie, et développé une technique de fabrication de substrat métallique résistant à la corrosion (Haynes 230) par photolithographie [12].

L'EMPA-Dübendorf a fabriqué des feutres de céramique de 12 cm Ø pour le diffuseur-air [14], alors que l'ETH-Zürich a fabriqué des diffuseurs-fuel mousse et leur anode par coulage de bande, puis déposé des électrolytes minces par électrophorèse. Les essais électrochimiques de ces nouveaux composants manquent.

Mentionnons encore les travaux de thèses à l'EPFL et à l'ETHZ qui ont été menés à bonne fin [57, 60].

ACCUMULATEURS

a) Chargeurs intelligents:

Les recherches, chez GLUR, à Münsingen, sur les chargeurs intelligents "universels" pour accumulateurs ont été couronnées de succès et ont été

présentées au premier atelier suisse sur les chargeurs intelligents [53], qui s'est tenu le 10 avril 1997. Ces bons résultats ont permis le lancement d'un projet de démonstration [17] conduit par l'ETS-Bienne qui vise à démontrer sur des véhicules électriques

fortement sollicités (taxis) que l'installation d'un chargeur intelligent permet réellement une amélioration de la durée de vie des accumulateurs.

En fin d'année un projet de l'ETS-Horw [18] sur un chargeur intelligent pour la charge en 3 minutes de supercondensateurs de 1,5 kWh, sans surcharge du réseau (puissance maximum de 6 kW) a pu être lancé, avec la collaboration de MONTENA COMPONENT, à Rossens.

b) Accumulateurs "zinc/air":

Le projet PSEL-OFEN sur les accumulateurs **zinc-air**, auquel participent le PSI, à Villigen, ELECTRONA, à Boudry, et LARAG, à Wil, a permis, avec des éléments de 200 cm², d'obtenir une puissance de 45 W [7]. Par l'emploi de soude (KOH) concentrée, la durée de vie a atteint 1200 h de fonctionnement.

c) Accumulateurs ''ions-lithium'':

Le programme exploratoire "3S" (*Suisse / Scale-up / Sécurité*) sur les accumulateurs **ions-lithium** en collaboration avec l'industrie a permis de mieux cerner les options les plus prometteuses pour l'effort de recherche suisse.

Le PSI [8] a développé des électrodes de graphite TIMREX stables: après une perte de charge initiale de 10%, les 200 premiers cycles n'ont causé qu'une perte de charge de 8%. Pour l'électrode positive, il s'avère qu'un spinel (oxyde de manganèse) de petite granulosité nécessite un ajout plus important, de 7%, de suie conductrice que pour une poudre plus grossière. Une pile Graphite-LiNiO₂ bobinée de 500 cm² a atteint une capacité de 450 mAh. Par ailleurs, les échantillons préparés par les autres partenaires ont été analysés.

L'UNI-Genève [16] a montré, pour l'électrode négative, que la présence d'anatase dans le composite TiO₂/graphite favorisait la décomposition de l'électrolyte lors d'une charge de l'électrode en-

dessous de 1,2 V (vs Li^+/Li). Par ailleurs, des essais de stabilisation des nanoparticules de SnO_2 dans des verres (gels de SiO_2) ont montré un comportement réversible d'une telle électrode vis à vis de l'intercalation de Li^+ .

L'EPF-Lausanne [10] a synthétisé une forme mésoscopique du spinel $LiMn_2O_4$ comme matériel d'intercalation des ions lithium, et montré les avantages de sa taille nanométrique pour la réversibilité électrochimique, et aussi pour la réduction de la température pour sa préparation. Divers électrolytes basés sur de nouveaux solvants organiques de faible volatilité et offrant une bonne solubilité des sels de lithium, ont été étudiés. Des modèles numériques ont été développés pour simuler l'état stationnaire d'une pile complète avec des couches minces mésoporeuses en vue du *scale-up* du concept *rocking-chair*.

L'ETH-Zürich [13] a étudié diverses voies pour la stabilisation de la phase spinel. Des nanopigments à base de ferrite ont permis d'obtenir une capacité très importante (500 mAh/g), bien qu'à une tension relativement basse. L'amélioration des performances par l'addition de sodium au $\text{Li}_x V_3 O_8$ a démontré l'importance du dopage. La réussite de la synthèse de nanotubes d'oxyde de vanadium de diamètre de l'ordre de 50 nm à partir de structures en couche, ouvre des possibilités entièrement nouvelles restant à explorer.

Le projet de modélisation numérique de l'UNI-Fribourg et du PSI [15], basée sur la chimie quantique, a montré son potentiel d'aide à l'industrie pour sélectionner des matériaux. Il a permis de prédire correctement entre autres le caractère faiblement métallique des spinels et le caractère isolant de l'anatase, le caractère métallique du LiMn $_2O_4$ et du LiTi $_2O_4$, et la tension pour une pile LiMn $_2O_4$ /Li.

Mentionnons encore deux travaux de thèse au PSI [58, 59].

Transferts à la pratique

PILES À COMBUSTIBLE

L'installation PAFC "GAZEL" des SI-Genève [1] termine l'année en affichant le total impressionnant de 36'000 heures d'opération à pleine puissance, soit déjà 90% du temps de vie attendu de 40'000 heures. Ce résultat, dû à un entretien rationnel, est une première européenne.

Le *Powerpack* PEFC de 100 W, développé par le PSI et multiplié par l'ETS-Granges, a permis l'entrée des piles à combustible dans le domaine de l'enseignement, une autre première européenne.

La pile SOFC HEXIS, installée aux Stadtwerke Winterthur, alimentée par le réseau de gaz naturel, fournit du courant électrique au réseau électrique. Bien que cette installation soit de taille modeste, les kWh qu'elle produit à partir du gaz naturel démontrent brillamment la fiabilité du système HEXIS et constituent une première européenne. Lors de sa période d'exploitation la plus longue (1050 heures), la pile était de fabrication suisse à 100%, car équipée d'éléments VPS, fournis par MEDICOAT.

ACCUMULATEURS

Le chargeur intelligent développé par GLUR a pu

être intégré à des véhicules électriques banalisés.

Coordination nationale & collaboration internationale

Le chef du programme représente la Suisse dans les organismes de gestion des programmes en collaborations européenne et internationale. Pour évaluer les priorités immédiates et les progrès accomplis dans la recherche, le chef du programme est secondé par des d'experts suisses et étrangers.

Dans le cadre de la collaboration AIE, deux ateliers de très haut niveau, ont été organisés, en Suisse en 1997, l'un sur les SOFC [55], l'autre sur l'apprêtage du combustible [56].

Au plan national, deux ateliers ont été organisés, l'un sur les chargeurs intelligents [53], l'autre, intitulé "SOFC 2000", sur les piles céramiques [54].

Pour la promotion des piles à combustible, le groupe constitué fin 1996, sous la direction d'un représentant de l'industrie du gaz, a élaboré une brochure d'information [52] et pris de nombreux contacts pour financer son action.

Dans le domaine des piles à combustible, SULZER HEXIS collabore à un projet JOULE [41] et s'apprête à collaborer à un autre, début 1998, les EPF à un

projet AIE [46], et le PSI à un projet JOULE [42] et deux projets AIE [47, 48]. D'autres projets de collaboration sont en préparation. Les SI-Genève participent à *l'European Fuel Cell Users Club*, qui réunit les opérateurs des PAFC installées en Europe.

Dans le domaine des accumulateurs, grâce à la participation du PSEL, le projet de recherche commun PSI et industrie sur la filière zinc-air a pu être lancé, et le PSI va collaborer à un projet JOULE. DEVEX collabore à un projet *BRITE-EURAM* [43] sur les accumulateurs au plomb allégés. L'UNI-Fribourg et LECLANCHE participent à un autre projet *BRITE-EURAM* [44] sur la cinétique des hydrures métalliques. La participation suisse à un projet AIE est en discussion [49].

Il convient de déplorer ici le rôle trop modeste joué par les fondations privées à vocation d'encouragement de la recherche énergétique. Ce rôle se limite actuellement au soutient par le FOGA du banc d'essai, à Schwerzenbach, pour les piles HEXIS, et au cofinancement, par le PSEL, du projet d'accumulateur "zinc-air".

Évaluation 1997

Pour la promotion des <u>piles à combustible</u>, les efforts du groupe de travail en vue de motiver l'économie énergétique à l'utilisation des piles en sont encore dans leur phase préparatoire.

L'Institut Paul Scherrer est parvenu a obtenir une puissance de 1,4 kW à l'aide de leur pile polymère hydrogène / oxygène. La participation des ETS à la démonstration de l'utilisation des piles à combustible est entrée dans sa phase active.

Fait marquant, un prototype de la pile HEXIS au gaz naturel a atteint la maturité suffisante pour quitter les laboratoires SULZER et être testé aux Services Industriels de Winterthur. Fin 1997, pendant plus de 1000 heures d'opération, la technologie utilisée était *intégralement suisse*.

Côté <u>chargeurs intelligents</u>, le succès de l'atelier du mois d'avril a démontré que la recherche sur l'utilisation rationnelle des accumulateurs était tout aussi essentielle que l'amélioration des performances des accumulateurs.

Pour les <u>accumulateurs zinc-air</u>, les résultats encourageants n'ont pas encore été confortés par une production pilote.

Pour les <u>accumulateurs au lithium</u>, on peut parler d'un saut décisif. Le programme de recherche exploratoire en collaboration Hautes Écoles et industries a permis de clarifier les options à suivre, tout en permettant à l'industrie de se structurer.

Perspectives 1998

<u>Piles à acide phosphorique</u>: favoriser la promotion d'installations, y compris avec du biogaz.

Piles polymères: 1) Construire des modules de 300 W / 12 VDC H₂/air pour l'enseignement dans les ETS. 2) Concevoir un module pour un projet P+D (pour l'EXPO 2001) de navettes lacustres électriques.

<u>Piles céramiques</u>: 1) Evaluer, dans le cadre de la collaboration Hautes Écoles / industrie, le rapport coût/ performances des procédés VPS, PVD et AED pour la fabrication d'éléments de 12 cm Ø fonctionnant à moins de 820°C. 2) Améliorer le design du support anodique pour augmenter le taux d'utilisation du combustible.

<u>Chargeur intelligent</u>: démontrer l'amélioration de la durée de vie des accumulateurs classiques avec l'intégration d'un chargeur intelligent dans les véhicules électriques, et démontrer la faisabilité d'une charge rapide intelligente des supercondensateurs en vue d'une application aux transports publics.

<u>Accumulateurs zinc-air</u>: poursuivre le développement, dans le cadre du programme européen JOULE, d'un modèle fonctionnel pour la traction

Accumulateurs ions-Li: mettre à profit le centre de compétence constitué par la collaboration Hautes Écoles / industries afin d'étudier les filières sélectionnées pour un module de 10 Ah @ 12 VDC de démonstration "haute-sécurité, électrode bifonctionnelle, matériel nanocristallin" pour de futures applications à la traction.

Liste des projets et sites Internet

- [1] Nguyen D.L., Services Industriels Genève : **Projet GAZEL SIG.** (FS+RA)
- [2] M.Egger & H. Schöttl, PROBAG Baden : Machbarkeitsstudie über die Industrielle Anwendung von Brennstoffzellen zur Verwertung von Biogas aus Abfallvergärunganlagen. (RA+RF)
- [3] R. Diethelm, SULZER HEXIS Winterthur: BFE / HEXIS-Projekt 1997. (RA). http://www.hexis.ch
- [4] H.Gruner & J.Moens, MEDICOAT Mägenwil: VPS-PEN-Elemente für HEXIS-Feldversuche. (RA)
- [5] G. Scherer, PSI Villigen: *Material- und Strukturaspekte von Membran-Brennstoffzellen*. (RA) http://www1.psi/www f5 hn/Electrochemistry/fuelcell.html
- [6] G. Scherer & A.Tsukada, PSI Villigen & I. Popelis, IS-Grenchen: 100 W @12V PEFC Powerpack für Lern-&Demonstrationszwecke. (RA)
- [7] S. Müller, PSI Villigen: Alkalische wiederaufladbare Zink / Luft-Batterie. (RA).
- [8] P. Novák, PSI Villigen: Komponenten fur Ionentransfer-Batterie. (RA) http://www1.psi.ch/www_f5_hn/electrochemistry/lithium.html
- [9] A. McEvoy, ICPII / EPF Lausanne : Optimisation de l'activation initiale des PEN VPS. (RA)
- [10] R. Vacassy & H. Hofmann, LDP & N.Papageorgiou & M. Grätzel, ICPII/ EPF-Lausanne: Influence of the crystallite size of electrode materials on intercalation rate & capacity, and novel electrolytes. (RA)
- [11] J. Will & A. Mitterdorfer, NMW / ETH Zürich : Integrierte Stack-Repeat Elemente für HEXIS.
- (RA)

http://lomer.ethz.ch/sofc/fuelcells.html

- [12] P. Bohac, NMW / ETH Zürich: Feasibility Study of Aerosol Electro-Deposition of large area, thin and impervious YSZ layer on porous substrates. (RA)
- [13] R. Nesper, IAC / ETH-Zürich: Mixed-Metal Oxide Compounds for Lithium Battery Electrodes. (RA)
- [14] B. Gut & K. Barthel, EMPA Dübendorf & Thun: Besondere Untersuchungen für die Herstellungsprozesse von SOFC PEN-Elementen (RA)
- [15] C. Daul, UNI Fribourg & E. Deiss, PSI-Villigen : Modélisation de cellules électrochimiques au lithium d'intercalation . (RA)

http://sgich1.unifr.ch/ac/CD.html

- [16] M. Fedurco & J. Augustynski, UNI Genève: Stabilisation de l'intercalation dans l'électrode négative. (RA)
- [17] K. Meier-Engel, IS-Biel & GLUR-Münsingen & SOLTAXI-Solothurn: VEBILA: Verbesserung der Lebensdauer von Batterien mit einem intelligenten Ladegerat. (RA)
- [18] V. Härri, ZTL-Horw: Chargeur rapide intelligent pour supercondensateurs. (FS)
 - (FS) fiche signalétique 1997 disponible
 - (RA) rapport annuel 1997 disponible
 - (RF) rapport final disponible

Projets internationaux sur Internet

[40] Commissions Européennes: A Fuel Cell RD&D Strategy for Europe up to 2005: http://www.ds-leipzig.de/fuelcell.html

	PARTICIPANTS SUISSES
_PROJI	_search.html

ouvert

	CORDIS :	http://apollo.cordis.lu/cordis/EN_PROJI	_search.html
[41]	CORDIS 37059	IT SOFC Technology	SULZER Innotec
[42]	CORDIS 36993	Development of commercially viable stacks2 nd generation SPFC	PSI
[43]	CORDIS 22868	Lightweight Pb acid batteries	DEVEX
[44]	CORDIS 31035	Fast Kinetics for MH	LECLANCHE + UNI-FR
	EUREKA:	http://www.eureka.be	
[45]	EUREKA: EU 1611	http://www.eureka.be Pilot Prod. Line: Li-ion liq. Techn.	CIM+GF
[45]		•	
[45] [46]	EU 1611	Pilot Prod. Line: Li-ion liq. Techn.	
	EU 1611 AIE:	Pilot Prod. Line: Li-ion liq. Techn. http://www.iea.org/impagr/imporg/effence	e
[46]	EU 1611 AIE: a19afc-Task VII	Pilot Prod. Line: Li-ion liq. Techn. http://www.iea.org/impagr/imporg/effend SOFC	e EPF

Références

- [51] L.F.Trueb & P. Rüetschi, Batterien und Akkumulatoren, Mobile Energiequellen für heute und morgen, Springer, ISBN 3-540-62997-1
- U. Bossel et al. Brennstoffzellen Bedeutung für die Schweiz, Groupe de promotion des piles à [52] combustible. Document disponible gratuitement c/o P. Favre, Service de l'énergie, SI-L, rue de Genève 52, 1009 Lausanne
- [53] Intelligente Ladegeräte / Chargeur intelligent, Comptes-rendus atelier avr.97, IS-Biel, Ed. OFEN.
- SOFC 2000, Comptes-rendus atelier nov. 97, EMPA-Thun, Ed. EPFL [54]
- Proceedings 10th IEA-SOFC Workshop, Les Diablerets, Jan. 97, Ed. EPFL. [55]

Adv. Batteries

- Proceedings IEA-Fuel Processing Workshop, Wislikofen, Sept. 97, Ed. PSI [56]
- [57] S. L. Widmer: Mécanismes de dépolarisation de la réduction de l'oxygène sur les interfaces structurées à haute température", EPF-Lausanne, Thèse No 1732 (1997)
- F. B. Joho: Synthesen, elektrochemische, strukturelle und spektroskopische Untersuchungen [58] zu Elektrodenmaterialien für Ionentransferbatterien" ETH-Zürich, Dissertation No.11745 (1996)
- [59] M. Spahr: "Synthese u. Charakterisierung von neuartigen Oxiden, Kohlenstoffverbindungen, Siliciden sowie nanostrukturierte Materialien und deren elektro- und magnetochemische Untersuchungen", ETH-Zürich, Dissertation No.12281 (1997)
- [60] A. Mitterdorfer: Identification of the Oxygen Reduction at Cathodes of Solid Oxide Fuel Cells", ETH-Zürich, Dissertation No. 12380 (1997)
- [61] U.G. BOSSEL-Oberrohrdorf: Vorrichtung zur Energieumwandlung mittels Brennstoffzellen mit integrierter Wasserstoffgas-Erzeugung, Patentanmeldung 2921/97 (BE 22370)
- G. Fiorito: Proton Exchange Membrane Fuel Cell Systems A Techno-Economic Analysis, Travail [62] de Diplôme Postgrade LENI-DGM/ EPF-Lausanne (1997)

[49]

a25ev-Task V

Excerpt from "ENERGY RESEARCH 1997", Editor: L. Dubal Swiss Federal Office of Energy http://www.admin.ch/bfe/

VERKEHR

Überblicksbericht zum Forschungsprogramm 1997

Martin Pulfer

martin.pulfer@bfe.admin.ch



Partnerschaft mit Leicht-Elektromobilen

In den Partnergemeinden Muttenz (Foto) (BL), Riehen (BS), Wil (SG), Ittigen (BE), Wohlen (BE) und Sion (VS) sowie der "Hauptstadt" des Grossversuches, in Mendrisio (TI), verkehrten 1997 über 200 solcher energieeffizienter und umweltfreundlicher Fahrzeuge.

Programmübersicht und Programmziele

Rund ein Drittel unseres Endenergieverbrauchs benötigt der Transport von Personen und Gütern. Dieser Energieverbrauch bleibt seit 1990 etwa konstant - die erbrachte Verkehrsleistung stieg jedoch stark an. Innerhalb der Verbrauchergruppe Verkehr benötigte der motorisierte Individualverkehr ca. 55% der Energiemenge, gefolgt vom wachsenden Luftverkehr mit ca. 21% und dem Gütertransport auf der Strasse mit ca. 17%.

Im Forschungskonzept 1996 bis 1999, ist der motorisierte Individualverkehr, trotz fehlender eigener Autoindustrie, aus folgenden Gründen als Haupt-

thema definiert:

- Einsparpotential
- Wichtige Schweizer-Zulieferindustrie
- Gute Diffusion der Resultate in die Industrie

Es werden folgende Hauptziele verfolgt:

- Verbesserung der Energieeffizienz (insb. Massenreduktion und verbesserte Wirkungsgrade der Antriebsketten)
- Reduktion der Umweltbelastung
- Wirtschaftlich umsetzbare Problemlösungen

1997 durchgeführte Arbeiten und erzielte Ergebnisse

MOTORISIERTER INDIVIDUALVERKEHR

a) Massenreduktion

Die Arbeiten am Projekt Modultec - Modul-technologie für Leichtmobile [6] der beiden Partnerfirmen HORLACHER und ESORO konnten in Zusammenarbeit mit der HTL Brugg zielführend fortgesetzt werden. Die selbsttragende, modular aufgebaute Kunststoffkarosserie ergibt, bezogen auf ein vergleichbares Kleinfahrzeug mit Metallkarosserie, eine Massenreduktion von ca. 200 kg. 100 kg Reduktion entsprechen im Leben eines Fahrzeuges (Benziner) ca. 1300 l eingesparten Treibstoffs. Am Beispiel der Kühlerhaube wurde im Teilprojekt "Modulherstellung" das Produktionsverfahren stark weiterentwickelt. Ein solches Sandwich, bestehend aus einer glatten Aussenschicht, Glasfaserfliess, gebunden in einem thermoplastischen Polyester und einem Schaumkern, konnte praktisch industriell hergestellt werden. Im Teilprojekt "Zusammenbau der Module" wurden diese für das Verkleben und in ihrem Gesamtverhalten hinsichtlich eines Crashs, weiter optimiert. Im Herbst wurde dieser Zusammenbau anlässlich Jahrestagung der Deutschen Karosseriehersteller demonstriert und weckte ein starkes Interesse der Automobilindustrie. Im Teil "Fahrwerkmodul und Faserverbund-Querblattfeder" konnten die Komponenten durch praktische Erprobung in 5 Prototypen und FEM-Analyse erprobt und in Details verbessert werden. Einzelne dieser Fahrzeug-Prototypen weisen bereits Fahrleistungen von 50'000 km auf.

An der HTL-Luzern wurde im Berichtsjahr das Projekt Innovatives Leichtbauverfahren [7] abgeschlossen. Hierbei wird mit dünnwandigen, ausgeschäumten oder hohlen Aluminiumrohren und einer speziellen Verbindungstechnik ein Fahrzeuggerüst aufgebaut. Das Gerüst ist sehr leicht und zeichnet sich durch eine extreme Energieabsorption bei der Verformung (Crash) aus. Das Verfahren ist patentrechtlich geschützt. Erste stationäre Anwendungen, in

denen Leichtbauweise ebenfalls relevant ist, befinden sich in Abklärung.

b) Antriebe, Antriebskette

Verbrennungsmotoren weisen sowohl bezüglich Schadstoffemissionen, als auch bezüglich Treibstoffverbrauch ein beträchtliches Verbesserungspotential auf. Besonders Ottomotoren haben im Teillastbereich, wegen den Drosselverlusten, einen gegenüber ihrem Bestpunkt spürbar kleineren Wirkungsgrad. Neben der Vermeidung dieser Verluste lassen sich weitere Verbrauchseinsparungen dadurch erzielen, dass der Antriebsstrang um zusätzliche Elemente erweitert wird (Leerlaufabschaltung, Rekuperation der kinetischen Energie, etc.).

Das **PALOS**-Projekt [3] der ETH-Zürich bearbeitete 1997 folgende Themen und Ziele:

- Systematische Analyse aller motorseitigen Massnahmen zur Erhöhung des Teillastwirkungsgrades.
- Systematische Analyse des Potentials und der möglichen technischen Systeme zur Rekuperation der Bremsenergie.
- Modellierung des gesamten Motorensystems für die Simulation der dynamischen Betriebszustände, inkl. der experimentellen Überprüfung der Modelle.
- Realisierung eines elektronischen Steuergerätes inkl. der entsprechenden Software für den COMPREX - aufgeladenen Ottomotor (Anwendung u.a. im SAVE-Projekt [4]).
- Beschaffung und Aufbau eines dynamischen Motoren-Prüfstandes mit der Messinfrastruktur.

Die erzielten Resultate konnten teilweise direkt in die Projekte [4] und [5] einfliessen. Interessant ist auch der Vorschlag, die Nebenaggregate (Servolenkung, ABS, Klimaanlage, etc) mit der aus den Bremsphasen rekuperierten Energie zu speisen. Dabei wird der Motor nur bei tiefem Batterieladezustand zur Ladung der Batterie herangezogen.

Das Projekt **SAVE** (Small Advanced Vehicle Engine) [4] der WENKO in Burgdorf optimierte einen aufgeladenen, kleinvolumigen 2-Zylinder 4-Takt Boxermotor. In einem ersten Teilprojekt wurde in Zusammenarbeit mit der ETHZ eine elektronische Steuerung für den Comprex-Druckwellenlader [3] entwickelt. Durch diese Arbeiten konnte eine wesentliche Steigerung des Drehmomentes bei tiefen Drehzahlen erzielt werden. Dadurch werden die energieeffizienten Zonen im Motorenkennfeld erheblich erweitert und eine sparsame Nutzung des Motors wird ermöglicht.

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.

Der optimierte Ottomotor wurde in das SMILE-Fahrzeug eingebaut. So ausgerüstet, Masse = 650 kg, Querschnittsfläche = $1.9~\text{m}^2$, c_w -Wert = 0.25, erreichte das 4-plätzige Fahrzeug auf der Autobahn, bei einer mittleren Geschwindigkeit von 80 km/h, einen Verbrauch von 2.3~l/100km. Im NEFZ-Zyklus benötigte das Fahrzeug 3.3~l/100km.

Das Projekt Twin Trak [5] der ESORO, Glattbrugg, entwickelte ein Fahrzeug mit einem Parallelhybrid-Antrieb. Hierbei wurde eine nicht aufgeladene Variante "Sauger" von SAVE [4] als thermischer Motor verwendet. Bei der konstruktiven Anordnung dieses Antriebes wurde auf eine volle Kompatibilität zum Teilprojekt Antriebsachse des Projektes Modultec [6] geachtet. Der erwartete Verbrauch von 2,8 1/100km, bei einer konstanten Geschwindigkeit von 90 km/h, eingebaut in das Testfahrzeug ESORO H301, wurde rechnerisch nachgewiesen und mit 2.6 1/100 auf der Strasse bestätigt. Bei rein elektrischem Betrieb, im Stadtverkehr, konnte ein Energiebedarf von weniger als 14 kWh pro 100 km nachgewiesen werden. Das Projekt, das auch von einer Privatperson namhaft wird unterstützt wird, im Frühjahr abgeschlossen.

Das Projekt des ZTL-Luzern Ecomotor für Leichtmobile (Leichthybrid II) [2] konnte im Berichtsjahr im Rahmen einer medienwirksamen EcoTour erfolgreich abgeschlossen werden. Das Vorhaben stellt die Entwicklung eines Serienhybridantriebes auf Basis eines Erdgas- und eines Elektromotors, verbunden mit einem Langzeitenergiespeicher (Bleibatterien), einem Kurzzeitenergiespeicher und einem intelligenten Leitsystem dar. Die Rekuperation der Bremsenergie erfolgt in einen Kurzzeitspeicher, bestehend aus den 96 in Serie geschalteten Superkondensatoren. Hierfür eine entsprechende Leistungselektronik entwickelt. Für das übergeordnete Leitsystem wurde ein CAN-Bus mit dezentral intelligenten Knoten aufgebaut. Im Frühjahr 1997 wurde dieser neuartige Antrieb in das Testfahrzeug Blue Angel eingebaut. Als

weltweit erstes bekanntes Fahrzeug mit Superkondensatoren als Zwischenspeicher für die Antriebsenergie erreichte das Leichtbaufahrzeug im FTP 75-Zyklus (Stadtverkehr) einen Verbrauch von 3.2 1/100 km und unterschritt die ULEV-Norm um einen 50%.

In einem kleineren Anschlussprojekt wurde das Fahrzeug weiter optimiert: Verbesserung der mechanischen Aufhängung, Steuerung der Rekuperation über das mechanische Bremspedal und ein Anzeigesystem für die Energieinhalte der drei Speicher. Zusätzlich wurde ein Konzept für die Integration eines GPS (Global Positioning System) erarbeitet.

Die ETH-Zürich baute nach Abschluss des Projektes, in Zusammenarbeit mit der VW-Werken, ihren **Hybrid III-Antrieb** [11] in einen VW Sharan der an der Ausstellung ExpoVEL in Mendrisio präsentiert wurde.

c) Systemanalysen, Sicherheit und Umweltschutz

Das Projekt Fussgängerschutz bei Kleinfahrzeugen [10] der Arbeitsgruppe für Unfallmechanik der ETHZ und UNI-Zürich untersucht die Kollisionsdynamik eines Fussgängers mit einem Kleinfahrzeug zur Reduktion der Verletzungsgefahr. In den neuen Mobilitätszentren, wie den gemischten "Koexistenz-Zonen", erlangt diese Problematik in Zukunft - trotz teilweise tieferer Tempolimiten - erhöhte Bedeutung: Energiesparende Kleinfahrzeuge könnten aus Gründen der erhöhten Steifigkeit und neuer geometrischer Formen zu einem ungünstigeren Aufprallverhalten führen. Bei den Versuchen mit einem Dummy und einer Kollisionsgeschwindigkeit von 40 km/h zeigte sich, dass sich für den Fussgänger, durch die verstärkte Tendenz sich zu überschlagen, die Gefahr erhöht, beim Sekundäraufprall auf der Strasse Kopfverletzungen zu erhalten. Ein Fussgänger-Airbag oder eine sich aufstellende Haubenstruktur kann als Dämpfung des Primäraufpralls und als "Rotationsbremse" gegen das Überschlagen wirken. Gleichzeitig würde eine solche nachgiebige Konstruktion den Kopfaufprall entschärfen.

In der Studie Vergleichende Ökobilanz von Elektrofahrzeugen in Deutschland und der Schweiz [8] des IFEU-Forschungsinstituts Heidelberg wurden die Umweltwirkungen eines Elektromobileinsatzes in beiden Ländern dargestellt. Die Qualität des verwendeten Stromes bildet dabei den grössten Einflussfaktor. Für die Schweiz wurden die Beeinträchtigung der Umweltqualität des Stromes durch den Importstrom berücksichtigt. Gleichwohl kann in der Schweiz eine Substitution der Verbrennungsfahrzeuge durch Elektrofahrzeuge einen hohen Beitrag zur Schonung der fossilen Energiereserven und zur Reduktion der Treibhausgasemissionen leisten. Lokal kann das Elektromobil die Umweltbelastung ganz allgemein und weitgehend unabhängig vom Ort reduzieren. Bei den regionalen und globalen Umweltbelastungen hingegen sind die Wirkung stark von der Art der Stromerzeugung abhängig. Positive Effekte durch Elektro

fahrzeuge sind vor allem in den Ländern mit einem geringen fossil erzeugtem Stromanteil zu erwarten. In der Schweiz sind diese Voraussetzungen bereits heute günstig.

Die von INFRAS erarbeiteten Kennziffern **Umwelt-indikatoren im Verkehr** [1] vergleichen die Belastungen pro Transporteinheit der verschiedenen Verkehrsträger. Beim Vergleich des **Personenverkehrs** Schiene - Strasse (Schiene = 1) ergaben sich folgende Faktoren für die Gesamtbelastung:

_	Energie	1.7	-	Lärm	0.4
_	CO_2	4	_	Fläche	0.7
_	NOx	4	_	Unfälle	10

d.h. am Beispiel der Energie: ein Personenkilometer im PW braucht, unter Berücksichtigung aller indirekten Belastungen, 1.7 mal soviel Energie wie im Personenzug.

Für den **Güterverkehr** Schiene - Strasse (Schiene = 1) sieht der Vergleich wie folgt aus:

_	Energie	2.5	_	Lärm	1
_	CO_2	5	_	Fläche	2
_	NOx	15	_	Unfälle	6

Die Verbesserungspotentiale für die Zukunft sind nach

wie vor gewaltig: Bei den Personenwagen liegt das Reduktionspotential bei den Luftschadstoffen bei ca. 80-90%. Beim Energieverbrauch können grössere Potentiale dann ausgeschöpft werden, wenn z.B. leichtere Fahrzeuge gekauft werden oder wenn der Belegungsgrad (heute im Schnitt 1.6 Personen pro Fahrzeug) erhöht würde.

Im Projekt "Impacts" [9] der Internationale Energie Agentur werden von Fahrzeugflotten mit unterschiedlicher Antriebstechnik der Energieverbrauch und die Auswirkungen auf die Umwelt berechnet. Beteiligt sind die Länder CN, D, NL, A, SA und CH. Berücksichtigt werden die auch länderspezifischen Unterschiede und der Fortschritt in der Fahrzeugtechnik. Im Berichtsjahr wurde das aufwendige Rechenmodell mit den Modulen "Öffentlicher Verkehr" und " Güterverkehr" ergänzt, damit das Modell den gesamten Landverkehr erfasst. Ferner wurde neben den Emissionen auch die Beurteilung der Imissionen in Angriff genommen. Die Wirkungen wurden jeweils auf ihre lokale, regionale und globale Relevanz hin beurteilt. Eine Hauptschwierigkeit stellte die Erhebung der Inputdaten der einzelnen Länder dar, weil sie oft mit unterschiedlichen Methoden erfasst werden. In den nun folgenden Arbeiten werden die Inputdaten vervollständigt und die erzielten Resultate auf ihre Plausibilität hin kontrolliert.

P+D-"Leichtmobile"

(U. Muntwyler, P+D-Programmleiter)

Das seit 1992 laufende Programm hat gemäss dem Aktionsplan 1993-1997 zwei Schwerpunkte:

 Flottenversuche mit Schwergewicht auf dem "Grossversuch mit Leicht-Elektromobilen (LEM) in Mendrisio". Entwicklung hocheffizienter Komponenten und Technologien für Leicht-Elektromobile sowie energieeffiziente Nischenfahrzeuge.

Die P+D-Projekte sind in der Liste erwähnt.

WELTWEITE ENTWICKLUNG

1997 wurden für die weltweite Realisierung und den Einsatz von energieeffizienteren "Leichtmobilen" wichtige Meilensteine passiert:

- Mit den neuen Modellen von MCC (SMART) und dem MERCEDES A ist Dynamik in den Automarkt gekommen. Falls diese beiden Modelle am Markt Erfolg haben, werden sie viele Nachahmer finden.
- Leichtbau ist bei den Automobilkonstrukteuren als wichtiges Thema anerkannt worden.
- Die sehr hoch dotierten staatlichen Entwicklungsprojekte in den USA und in Japan im Bereich der Hochenergie-Batterien haben überraschend schnell erste Resultate gebracht. Dies wird elektrischen Antriebskonzepten helfen.
- Die Entwicklung von Brennstoffzellen für Fahrzeuge, insbesonder die Verkleinerung, ist rasch vorangekommen.

- Mit MITSUBISHI hat der erste Hersteller ein Modell mit Benzin-Hochdruck-Einspritzmotor auf den Schweizer Markt gebracht. Weitere japanische Hersteller werden folgen. Mit dieser Motorentechnik kann der der Verbrauch gem. Herstellerangaben um ca. 20% gesenkt werden.
- Die japanischen Hersteller produzieren Elektromobile in Kleinserien mit Hochenergie-Batterien vom Typ Nickel-Metallhydrid (NiMH) und mit Lithium-Ionen-Batterien für den Einsatz in einzelnen Regionen der Welt oder speziellen Flottenversuchen (wie Mendrisio).
- Die drei grossen amerikanischen Autohersteller beginnen mit der professionellen Vermarktung von Elektromobilen.
- Mit dem Hybridmodell "Prius" produziert TOYOTA ein Fahrzeug, das die Verbrauchsreichweite auf 28 km/100 km steigert (CH-Mittelwert:

ca. 12 km/100 km). Vom "Prius" sollen in Japan 1'000 Stück pro Monat verkauft werden.

Trotz diesen im Vergleich zu früheren Jahren mar-

kanten Fortschritten, ist es auffällig, dass staatliche gesetzliche Vorgaben die wichtigste Triebfeder des technischen Fortschrittes sind.

KONTINUIERLICHE FORTSCHRITTE IN DER SCHWEIZ

In der Schweiz war das Jahr 1997 ein Jahr der kontinuierlichen Fortschritte. Die Zahl der zugelassenen Elektromobile stieg 1997 zwar langsamer als 1996 an; was auf den Produktionsunterbruch des TWIKE zurückzuführen ist. Der Markterfolg der BKTECH mit dem Elektro-Motorfahrrad FLYER konnte aber auch 1997 fortgesetzt werden. Weitere Anbieter von Elektro-Motorfahrrädern und einem Elektro-Scooter-Anbieter brachten 1997 ihre Produkte auf den Markt.

Ein Hauptproblem bei der Verbreitung elektrisch betriebener Fahrzeuge ist der ungenügende Kenntnisstand der Bevölkerung über die Möglichkeiten und Einsatzgrenzen dieser Fahrzeuge. Dass die aktuelle Fahrzeugtechnik für viele Bedürfnisse durchaus genügt, ist nahezu unbekannt. Die Erfahrungen in Mendrisio haben gezeigt, dass eine mehrtägige Probephase einer Fahrzeugbeschaffung vorangeht. Diesen Umstand gilt es mit gezielten Demonstrationsprojekten auszunutzen.

Ein weiteres Problem ist die Vertriebsstruktur im Fahrzeugverkauf. So gibt es kaum Autoverkäufer, welche sich im Verkauf von Elektromobilen engagieren. Den wenigen Ausnahmen gelingt es, trotz den noch hohen Preisen Fahrzeuge zu verkaufen. Insgesamt liegt heute die Umsetzung hinter dem Stand der Technik zurück.

FLOTTENVERSUCHE

Die weltweite Resonanz auf den "Grossversuch mit Leicht-Elektromobilen in Mendrisio" hat 1997 weiter zugenommen. Dies hat dazu geführt, dass sich HONDA entschlossen hat, fünf HONDA EV Plus, ein Elektromobil der 3. Generation, in Mendrisio zu testen. Der Abschluss der ersten von drei 2-Jahresphasen des Projektes wurde dazu genutzt, die Qualitätsanforderungen an die Fahrzeuge zu erhöhen. So wird nun generell eine 3-Jahresgarantie auf den Batterien gefordert. Das hat dazu geführt, dass viele vorwiegend ältere Modelle vom Versuch ausgeschlossen werden mussten.

Der Ausbau der Ladeinfrastruktur im Mendrisiotto ist weitgehend abgeschlossen. 1997 wurden 37 Leicht-Elektromobile in Verkehr gesetzt. Weil aber gleichzeitig durch den Rückzug von Herstellern zehn Fahrzeuge aus der Statistik gelöscht wurden, erhöhte sich deren Zahl netto nur um 27 auf 96 LEM.

In den sechs Partnergemeinden wurden 1997 mit 55 Fahrzeugen erstmals mehr Leicht-Elektromobile als in Mendrisio in Verkehr gesetzt. Damit wurde das Soll von maximal 10 Fahrzeugen pro Gemeinde annähernd erreicht. Dabei setzte jede Gemeinde 1997 eigene Schwerpunkte:

- Ittigen (BE): starke Zunahme der Vermietung von LEM nach dem Ersatz eines alten Fahrzeuges durch einen modernen PEUGEOT 106 electric. Eine Park+Charge-Ladestation wurde in Betrieb genommen. Mit einem *Elektrobus* wurden Testfahrten auf dem Regionalbusnetz gemacht. Insgesamt sind über 10 LEM im Verkehr.
- Wohlen (BE): durch aktive Verkaufsmassnahmen wurde der LEM-Bestand auf über 40 erhöht. Eine PV-Anlage zur Stromproduktion wurde errichtet. Die Gemeinde schaffte sich ein LEM an.

- Riehen (BS): Riehen hat jetzt über 20 Fahrzeuge.
 Die Einschränkung, dass ein Benzinauto ersetzt werden muss, um die finanzielle Unterstützung für ein vierrädriges LEM zu bekommen, hemmt den Absatz ein bisschen. Das neue gemeindeeigene LEM wird neu über das Wochenende als Ruftaxi eingesetzt.
- Muttenz (BL): Muttenz hat jetzt knapp zwanzig LEM und hat 1997 vor allem Informationsarbeit über die Medien und bei einer Schweizerischen Lehrerveranstaltung geleistet.
- Wil (SG): Wil hat bereits über 20 LEM-Fahrzeuge.
 Der Elektrobusbetrieb war auch im zweiten
 Betriebsjahr ein Erfolg. Ende Jahr wurde auf privater Basis ein Elektro-Taxi-Unternehmen gestartet. Es setzt zwei RENAULT "Clio"-Elektrofahrzeuge ein und ist aktuell das einzige Taxi-Unternehmen, das nur mit Elektroautos fährt.
- Sion (VS): Der Projektstart erfolgte im Sommer 1997. Aktuell sind über zehn Fahrzeuge im Betrieb. Die Ladeinfrastruktur im Zentrum von Sion funktioniert und mit der lokalen Ingenieurschule besteht eine enge Zusammenarbeit.

Die Begleitforschung ergab eine hohe Zustimmung der Bevölkerung zum Partnerschaftsprojekt zwischen 83,9% (Muttenz) bis 98,4% (Wohlen). Dabei kennt aber erst ein Drittel der Bevölkerung die Fördermassnahmen. Insgesamt fahren im Rahmen des Grossversuches nun über 200 Leicht-Elektromobile. Bei den Fahrzeugmodellen führt das Elektro-Motorfahrrad FLYER vor den Modellen "PEUGEOT 106 electric", den Modellen von CITROËN und dem "City-el". In einer Ende 1997 abgeschlossenen Studie wurde gezeigt, dass beim Elektro-Motorfahrrad FLYER etwa 50% der Benutzer Fahrten mit Benzinfahrzeugen ersetzen.

ENTWICKLUNG HOCHEFFIZIENTER KOMPONENTEN UND TECHNOLOGIEN

Ende 1997 erfolgte die Wiederaufnahme der Produktion des nun "S-LEM" genannten Fahrzeuges TWIKE in Travers. Die Trägerschaft hat eine eigene Firma gegründet (mit Risikokapital einer Pensionskasse). Die Firma TWIKE hat sich für das Konzept einer dezentralen Montage durch sogenannte TWIKE-Kompetenz-Zentren entschieden. Damit könnten pro Jahr 400 - 600 Fahrzeuge dieses Typs produziert werden.

Im Komponentenbereich ist es Firmen wie BRUSA ELEKTRONIK und SCHMIDHAUSER gelungen, von der ausländischen Automobilbranche Aufträge für Ladegeräte von Elektromobilen und für Antriebselektronik zu erhalten. In beiden Fällen auf der Basis oder im Rahmen von P+D-Projekten. Damit ist die Umsetzung des *know-hows* in grösseren Stückzahlen als in der Schweiz möglich. Das Schweizer Infrastrukturmodell für Elektromobile "Park+Charge" und das "LEMnet-Verzeichnis" haben den Sprung ins Ausland ebenfalls geschafft.

Das Thema der "Muskelkraft-Hybridfahrzeuge" wird mit den Projekten "New Flyer" von BKTECH und dem "Ultra-Leicht-Mobil ULM" der Ingenieurschule Bern weiter bearbeitet. Besonders erwähnenswert ist der vollelektrische Antriebsstrang der Ingenieurschule Bern für Muskelkraft-Antriebe. Dieser kann in verschiedensten Mobilen wie auch in stationären Anwendungen eingesetzt werden.

Die Entwicklung und Bereitstellung der Ladeinfrastruktur für Elektrofahrzeuge in der Schweiz kommt gut voran. Koordiniert vom Schweizerischen Elektrotechnischen Verband (SEV), bringt die Schweiz ihre Vorstellung in den aktuellen Normierungsprozess ein. Schweizer Industrieunternehmen wie Brusa Elektronik haben dabei die nötigen Komponenten für die 32 A/230 V-Ladung entwickelt. Die erste Ladestelle konnte in Mendrisio im Sommer in Betrieb genommen werden. Die HONDA EV-Plus Elektromobile in Mendrisio basieren auf dieser Ladetechnik. Es wird nun versucht, vorerst mit den Elektrizitätswerken im Kanton Tessin die generelle Zulassung für die Ladung

mit 32 A / 230 V zu bekommen. Im Bereich der normalen Ladestellen wurde das "Park+Charge"-Infrastrukturmodell weiter ausgebaut. Es wird nun auch im Ausland angewendet. Für die weitere Verbreitung von Ladestellen sorgt das Projekt "LEMnet", welches die vorhandenen Ladestellen verküpft und unter anderem per Internet bekannt macht. So sind im Bereich der öffentlichen Ladeinfrastuktur die wesentlichen technischen und organisatorischen Probleme gelöst.

An der Ingenieurschule Sion wird das für die Schweiz neue Gebiet der "induktiven Aufladung" bearbeitet. Dieses könnte speziell für öffentlich genutzte Elektrofahrzeuge wichtig werden.

SCHOLL SUN POWER versucht die Batterielebensdauer von Bleibatterien in Leicht-Elektromobilen hoher Batteriespannung auf drei bis vier Jahre zu erhöhen. Sie nutzt dabei Erkenntnisse der Ingenieurschule Biel, der deutschen RWE und arbeitet mit der deutschen Batteriefirma Sonnenschein zusammen.

Die Automobilabteilung der HTL-Biel arbeitet momentan speziell mit alkalischen Hochenergie-Batterien. Weiter verbessert diese Ingenieurschule Messverfahren zur Ermittlung des Energieverbrauchs von Elektrofahrzeugen auf dem Rollenprüfstand. 1997 wurden Vergleichsmessungen von Versuchsfahrzeugen aus Mendrisio gemacht. Die Messungen ergeben neben den Messwerten überraschend viele Informationen über Schwachpunkte im Energiemanagement einzelner Fahrzeuge. Weiter wurden japanische Elektrofahrzeuge zusammen mit den Herstellern gemessen. Das Problem der Messung von Elektromobilen mit hoher Reichweite (200 km) konnte gelöst werden. Die interfakultären Forschungsarbeiten der Ingenieurschule Biel zur Bestimmung der Genauigkeit der Messmethode konnten entscheidend vorangetrieben werden. Zusammen mit der Sportschule Magglingen wurde die Messmethode erfolgreich auf Elektro-Motorfahrräder ausgedehnt. Sie wird bereits intensiv für Messungen im Rahmen des "Grossversuchs Mendrisio" benutzt.

Internationale Zusammenarbeit

Im Anwendungsbereich der Elektomobile entwickelt sich Mendrisio zu einem Anziehungspunkt erster Güte, sowohl für Fachleute aus Industrie als auch Regierungskreisen. Diverse Sitzungen der Internationale Energie Agentur, als auch der Normenkommission für Elektromobil-Infrastruktur der IEC fanden in Mendrisio statt. Die Ausländischen Delegierten zeigten sich generell vom Versuch und den Leistungen der Fahrzeuge beeindruckt (z.B. LEM Fahrt auf den Mt. Generoso).

Auf Initiative des BFE wurde am 14. Electric Vehicle Symposium in Orlando erstmals ein Schweizer

Gemeinschaftsstand durch das InfoVEL Mendrisio organisiert. Dabei nahmen sechs Schweizer Firmen und Institutionen teil. Vier Schweizer Beiträge, vor allem über den Grossversuch in Mendrisio und eine Darstellung des Hybrid III-Projektes, rundeten die gelungene Präsenz der Schweiz ab.

Im April 1997 wurde an der ETH-Zürich die Schlusstagung zum europäischen JOULE-Projekt zur "Zusammenarbeit von Elektromobil-Fahrzeugflotten" durchgeführt. An diesem Projekt arbeiteten drei Schweizer Projektnehmer mit. Siehe auch Liste "Andere Forschungsprojekte".

Bewertung und Ausblick

Die letztjährigen Ausstellungen und die Aktivitäten der Fahrzeughersteller zeigen, dass als Resultat der weltweiten Forschungsarbeiten vermarktbare, energieeffiziente Problemlösungen vorliegen. Beispielsweise gelangt in Japan der TOYOTA Parallelhybrid "Prius" mit einer Losgrösse von 1000 Stück pro Monat auf den Markt. Das Elektromobil wird, in kleinen Serien zwar, von den drei grossen amerikanischen und von vielen japanischen Herstellern gefertigt und vor allem in den USA angeboten. Die drei grossen französischen Anbieter bringen eine wesentlich überarbeitete resp. neue Generationen Elektrofahrzeuge auf den Markt. MITSUBISHI verkauft energiesparende Fahrzeuge

mit Hochdruck-Benzineinspritzung. MERCEDES u.a. nehmen neu Kleinfahrzeuge mit hoher passiver Sicherheit in ihr Verkaufssortiment auf. Der PW mit Brennstoffzelle existiert bei mehreren Herstellern als Prototyp. Bei vielen dieser Entwicklungen standen unabhängige Schweizer Forscher an vorderster Front. Viele ihrer Ideen wurden von der Industrie aufgenommen, manche Firma und manches Institut konnte ihr *know-how* sogar verkaufen oder ist neuer Zulieferer der Autoindustrie.

Für die Umsetzung von besonderer Bedeutung ist eine publikumsgerechte Präsentation der Forschungs- und P+D-Resultate.

Liste der Projekte & Internet-Adresse

- [1] M. Maibach, INFRAS, Zürich: Umweltindikatoren im Verkehr (SB)
- [2] M.Chastonay, V. Härri, ZTL-Horw: Leichthybrid II Blue Angel (Serienhybrid) Leichthybrid II / Tohyco (SB) (JB)
- [3] L. Guzzella, ETH-Zürich, PALOS: Optimale Antriebssysteme für Leichtfahrzeuge (JB)
- [4] U. Wenger, WENKO, Burgdorf: SAVE, Small Advanced Vehicle Engine (SB)
- [5] D. Jaggi, ESORO, Glattbrugg: Twin Trak Parallel-Hybrid (JB)
- [6] M. Horlacher, D. Jaggi, HORLACHER / ESORO, Möhlin: Modultec Modultechnologie für Leichtmobile Panorama-Shuttle Kleinbus SAXI-Pendeldienst (JB)

http:www.horlacher.com

- [7] W. Janach, ZTL-Horw: Innovatives Leichtbauverfahren für Fahrzeugsstrukturen (SB)
- [8] T. U. Eden, IFEU, Heidelberg: Die vergleichende Ökobilanz von Elektrofahrzeugen (SB)
- [9] U. SCHWEGLER, Fischingen: Begleituntersuchung zum Grossversuch in Mendrisio IEA Electric Vehicles; Annex II Reichweiten von LEM (JB)
- [10] F. Walz, AGU UNI+ETH-Zürich: Fussgängerschutz bei Kleinfahrzeugen Präsentationsmodell für ein sicheres Leichtmobil Prüfanlage für die Sicherheit von Leichtmobilen (JB)

Andere Forschungsprojekte

- [11] P. Dietrich, ETH-Zürich: Hybrid III "Oekomobil" (SB)
- [12] P. WIDMER, Steckborn: Solarfähre Untersee (SB)
- [13] S. Schneider, JUD, Zürich: Einsatz bimodaler Gütertransportsysteme (JB)
- [14] M. Jufer, EPF-Lausanne: Schnellbahn SWISSMETRO
- [15] N. Dischinger, PROGNOS, Basel: Energetischer Vergleich unterschiedlicher Antriebe von Personenwagen (SB)
- [16] E. Meier, M. Simon, ABAY & MEIER / POLYQUEST, Zürich / Bern: Begleituntersuchung zum Grossversuch in Mendrisio (JB)
- [17] U. Haefeli, UNI-Bern: Begleituntersuchung LEM, Ittigen (JB)
- [18] R. MEIER, Bern: Begleituntersuchung zum Grossversuch in Mendrisio
- [19] Truffer, EAWAG, Dübendorf: Consumer user patterns of electric vehicles

P+D- Projekte

- E. Reinhardt, ECOPROCESS, Zürich: Verkaufsförderung "Energieeffiziente Autos" (JB)
- F. Stuker, Gemeinde Bachenbülach: Versuch mit Biogas-Fahrzeugen (JB)
- Cavegn, TCS Kanton Zürich: Informationsprojekt "Schlanke Mobilität" (JB)
- B. Liesch, Gemeinde Ittigen: LEM Partnergemeinde Ittigen (JB)
- R. BAUMANN + C58, Luzern: New Mobility: Integration of LEM-Share for business
- W. Blum, MOBILE, Zürich: Elektromobile an Ausstellungen von nationaler Bedeutung Regionale E-Mobil-Kontaktveranstaltungen (JB)
- B. Liesch, ADEV, Thun: Solartankstelle für Leicht-Elektromobile (JB)
- J. BRUSA, Gams: Kostenoptimierte Integration einer Ladearchitektur Normierung im Bereich der Elektrofahrzeuge (JB)
- M. Eisenring, STROMBOLI, Niederuzwil: Umsetzung eines hocheffizienten LEM-Konzeptes in die Serienfertigung • Statuspapier Elektrofahrzeuge (JB)
- A. Fuchs, ISBE, Bern: Mechanische Muskelkraft-Elektro-Hybridisierung Modularer Volllieterschutz für Ultraleichtmobil • Messkonzept Mechanischer Hybrid-Antriebsstrang (JB)
- P. Grau, Gemeinde Will: LEM-Partnergemeinde Wil Elektrobus Wil "Elektrobus" (JB)
- L. Griesser, ELECTROWATT, Zürich: Verbesserung der Wirkung von Katalysatoren
- D. Haefelin, INFEL, Zürich: *Elektromobile erfolgreich verkaufen* (SB)
- C. Häuselmann, BK TECH, Burgdorf: P+D-Test, Markt- und Energiesparpotential auf der Basis von muskelkraftverstärkenden Zweirädern • Elektrobike ''New Flyer''
- S. Iseli, Genossenschaft VELOBLITZ, Zürich: Veloblitz Zürich: Kurierdienst mit TWIKE-LEM (JB)
- A. Itten, SCHMIDHAUSER, Neukirch: Erhöhung der Lebensdauer des TWIKE III Akku's (JB)
- G. Juri, MES, Stabio: Field Trial Optimization of Components for VEL
- Lang, ETH-Zürich: Programme for collaboration between CEC and national programmes on electric vehicles in Europe
- C. Leu, MOBILEM, Wohlen: MobiLEM-Wohlen (JB)
- B. Liesch, Gemeinde Ittigen: LEM Partnergemeinde Ittigen (JB)
- M. Gruber, Gemeinde Muttenz: LEM Partnergemeinde Muttenz (JB)
- M. Maurer, Municipalité, Sion: Intégration de VEL en ville de Sion Recharge par induction (JB)
- I. Marty, KAIROS FILM, Zürich: Filmprojekt: Vom Ochsenkarren zu Solarmobil (SB)
- K. Meier-Engel, HTL-Biel: Messung von Leicht-Elektromobilen (96/97) Entwicklung eines Prüfgerätes für Antriebsbatterien von Elektrofahrzeugen (JB)
- U. MUNTWYLER, Zollikofen: Programmleitung "Leichtmobile" Messkampagne LEM Partnergemeinden 1997/1998 (JB)
- H. Mutter, SULZER, Winterthur: Erdgas-Tanksäule (NGV-Dispenser)
- M. Piffaretti, INFOVEL, Mendrisio: Progetto Pilota VEL Mendrisio Informationssystem Touch Screen •
 Energieverbrauchsmessungen von LEM mit EMU-Zählern BLACK-BOX per VEL (JB)
- B. Rütti, VELO+AUTOKURIER, Thun: LEM im Kleintransportgewerbe (JB)
- Schmidhauser, SCHMIDHAUSER, Neukirch-Egnach: Integrale Fahrzeugelektronik für Elektromotorfahrzeuge (JB)
- P. SCHOLL, Vernier: Augmentation de la durée de vie des batteries au plomb (JB)
- M. Umbricht, SOLTAXI, Solothurn: Feldmessung "Batterie-Managment-System" (SB)
- W. Mäschli, Gemeinde Riehen: LEM Partnergemeinde Riehen (JB)
- P. Zeller, TWIKE, Gelterkinden: LEMnet Aufbau einer flächendeckenden Lade-Infrastruktur für LEM (JB)
 - (JB) Jahresbericht 1997 vorhanden
 - (SB) Schlussbericht vorhanden

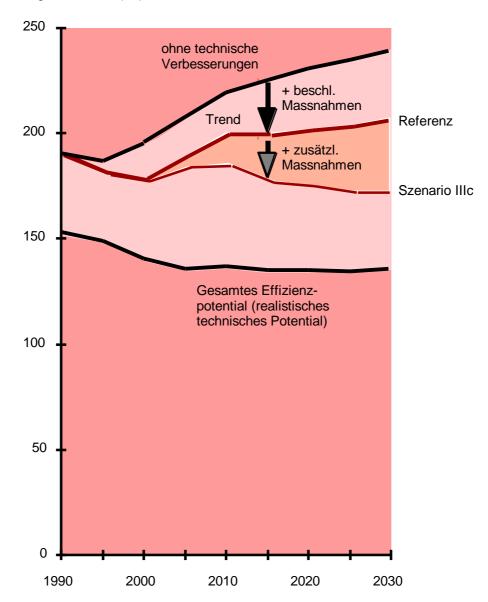
ENERGIEWIRTSCHAFTLICHE GRUNDLAGEN

Überblicksbericht zum Forschungsprogramm 1997

Ruedi Meier

ruedimeier@bluewin.ch

Energieverbrauch (PJ)



Energiesparmöglichkeiten in der Industrie

Energieverbrauch der Industrie ohne technische Verbesserungen, gesamtes Effizienzpotential und szenarioabhängige Ausschöpfung.

Schwerpunkte

Die Datenbasis konnte im Laufe des Jahres 1997 verbessert werden. Insbesondere wird es möglich, den Kantonen Indikatoren zur Beurteilung ihrer kantonalen Energiepolitik bereitzustellen.

Einen wichtigen Stellenwert nahm die Bearbeitung des Szenarios "Absenkung der CO₂-Emissionen um 60% bis zum Jahr 2030 im Vergleich zum Jahr 1990" ein. Die erarbeiteten Energieperspektiven stellten eine wichtige Grundlage für den Energiedialog dar. Mit den ergänzenden Korreferaten aus sozialwissenschaftlicher Sicht ist eine breite Diskussion zu Risiken von Energieanlagen eingeleitet worden. Die Auswirkungen von Energiemassnahmen und Vollzugsfragen sind vertieft untersucht worden. So wurden Verbesserungspotentiale in der Zusammenarbeit

Bund/Kantone im Bereich Energie gesichtet, neue Regelungen der Überwälzung der Mietkosten zur Realisierung eines Marktes von Gesamterneuerungen auf tiefem Energieniveau präsentiert und die Beschäftigungseffekte von Energie 2000 sowie des Investitionsprogramms im Detail untersucht. Weitere Massnahmenanalysen sind im Gang. Umfassende und detaillierte Antworten werden für die Marktöffnung im Elektrizitätsbereich präsentiert. Je nach Marktöffnungsszenario stellen sich unterschiedliche Auswirkungen im Bereich Energie und Umwelt ein. Zudem sind mehr oder weniger weitgehende Auswirkungen auf die Struktur der Energiewirtschaft, aber auch die Wettbewerbsfähigkeit der gesamten schweizerischen Wirtschaft und die Arbeitsplatzentwicklung zu erwarten.

Anvisierte Ziele 1997

Die Ziele sind im Schwerpunktprogramm "Energiewirtschaftliche Grundlagen - EWG" von 1995 festgelegt worden. Zudem konnte im April 1997 die EWG-Projektliste 1997/1998 publiziert werden,

welche eine Detailbeschreibung der Ziele enthält und die einzelnen Projekte konkret bezeichnet. Die angestrebten Ziele konnten in einem erfreulich hohen Ausmasse erreicht werden.

Durchgeführte Arbeiten und erreichte Ergebnisse

DATEN

Die Studie Basisdaten für die Perspektiven des Energieverbrauchs [1] ergibt für 1997 eine Zunahme der Energiebezugsfläche um 9.5 Mio m². Damit überschreitet die gesamte installierte Energiebezugsfläche erstmals die 600 Mio m²-Grenze. Mit dem Bericht Indikatoren zur Beurteilung der kantonalen Energiepolitik [2] wird eine Grundlage für die kantonale Energiepolitik geschaffen. Die Kantone können ihre Leistungen bzw. Produkte besser erfassen und gegenüber der Öffentlichkeit offensiv kommunizieren. Die Pilotphase des Projektes Energieverbrauch in Bürogebäuden [15] ist abgeschlossen worden. Es zeigt sich, dass der Elektrizitätsverbrauch nach Kategorien wie Licht, Luft/Klima, Arbeitshilfen, Elektrowärme, zentrale Dienste und diverse Techniken über mehrere Jahre hinweg eruiert werden kann. Parallel zur technischen Erfassung des Elektrizitätsverbrauches wird von der ETH Zürich eine Entscheidanalyse durchgeführt. Die Kurzexpertise Energetischer Vergleich unterschiedlicher Antriebe von Personenwagen für die Schweiz [15] weist für den klassischen Benzinmotor ein ausgewogenes Stärkenund Schwächenprofil bezüglich Energieverbrauch und Emissionen aus. Dem Antrieb mit Erdgas werden gute Marktchancen zugeschrieben und er soll sowohl ökologisch als auch energetisch attraktiv sein. Das Projekt Vorschläge zur Verbesserung der Energiestatistik in der Industrie [4] analysiert die Möglichkeiten zur Weiterführung bzw. Neuausrichtung der energetischen Industriestatistik. Ausgehend von der heutigen Situation, einer Bestandesaufnahme der Anforderungen an eine neue Industriestatistik und den zu beachtenden Schnittstellen sind drei Varianten zur Verbesserung evaluiert worden.

PERSPEKTIVEN

Im Szenario IV mit dem Titel Verschärfte und auf Nachhaltigkeit ausgerichtete CO₂-Reduktion [4, 6, 7, 10, 18] wird analysiert, inwiefern die von der Wissenschaft heute als klimaverträgliche Entwicklung mit einer Absenkung der CO₂-Emissionen bis 2030 um 60% im Vergleich zu 1990 realisiert werden kann. Unter der Annahme eines relativ optimistischen

Wirtschaftswachstums von ca. 1,5% pro Jahr zeigt sich, dass weitgehende Massnahmen wie eine Verdreifachung der Energiepreise, eine internationale Harmonisierung der energiepolitischen Massnahmen und ein beschleunigter technologischer Fortschritt inklusive einer raschen marktmässigen Umsetzung angenommen werden müssen, um die Klimaziele –

allerdings nur annähernd - zu erreichen. So müsste u.a. der Heizenergiebedarf in Neubauten um etwa die Hälfte vermindert werden. Die Sanierungshäufigkeit und der Abriss mit entsprechendem Neubau müssten erheblich gesteigert werden. Die effizientesten Heizanlagen wären vorzusehen. Im Industriesektor müssten hocheffiziente Querschnittechnologien und branchenspezifische Einspartechnologien eingesetzt werden. Im Verkehrssektor sollen die CO₂-Emissionen kräftige Effizienzgewinne durch bei Personenwagen und eine Mobilitätsverlagerung (motorisierter Individual-Verkehr zu öffentlichem Verkehr) erzielt werden. Der Luftverkehr würde international abgestimmte Massnahmen (u.a. Preiserhöhung für Kerosin) erfordern. Bei erhöhter Energieeffizienz und forcierter Umsetzung technologischer Fortschritte, ergibt sich eine Stromlücke erst nach dem Jahr 2020, falls die bestehenden Kernkraftwerke sukzessive stillgelegt werden und die

Elektrizitätsbezugsrechte nicht mehr aufgestockt werden. Die Stromlücke von 5 Terawatt-Stunden pro Jahr könnten durch regenerative Energien (Photovoltaik, Wind, Biomasse) und zusätzliche Wärmekraftkoppelungsanlagen bereitgestellt werden. Insgesamt sind die Ergebnisse des Szenarios IV als recht unsicher zu bezeichnen. Bezüglich der technologischen Entwicklung müssen relativ optimistische Annahmen gemacht werden. Es ist aber nicht ausgeschlossen, dass sogar weitergehende Technologiesprünge möglich sind. Eine internationale Abstimmung der Massnahmen ist unabdingbar.

Die Sensitivitätsanalysen mit einem verminderten Wirtschaftswachstum haben ergeben, dass bei einem 10% niedrigeren Brutto-Inlandprodukt der Energieverbrauch um rund 4% tiefer liegt. Der Energieverbrauch reagiert somit unterproportional zu Änderungen des Wirtschaftswachstums.

KOSTEN UND WIRTSCHAFTLICHKEIT VON ENERGIESYSTEMEN

Dank der Mitfinanzierung des Projektes Wirtschaftliche Auswirkungen von Reformen der Sozialversicherungen: DYNASWISS- Dynamisches Allgemeines Gleichgewicht für die Schweiz [14] konnte sichergestellt werden, dass als mögliche Finanzierungsalternativen der Sozialversicherungen ebenfalls Energieabgaben mitberücksichtigt werden können. Sie schneiden im Vergleich zu Lohnprozenten gesamtwirtschaftlich etwas weniger gut ab. Immerhin darf nicht übersehen werden, dass gleichzeitig der Energieverbrauch deutlich gesenkt werden kann. Energieabgaben verfügen über ein erhebliches Potential zur Finanzierung der Sozialversicherungen. Der Finanzbedarf für die Sozialversicherungen kann aber nicht alleine über Energieabgaben gedeckt werden. Sie stellen eine ernst zu nehmende Finanzierungsalternative dar.

Das Projekt Extension and Completion of E3ME [12] kann sich die Schweiz an einem europäischen Makromodell beteiligen, das mehrere Länder umfasst. Die Daten sind weitestgehend verfügbar. Die notwendigen Transformationen der Daten (Anpassung des Basisjahres sowie der Sektorstrukturen] konnten erfolgreich durchgeführt werden. Im Jahr 1998 werden politikrelevante Modellrechnungen durchgeführt. Im Rahmen des Projektes Introduction of Behavioral and Social Elements into Energy Analysis, Modeling and Policy Making: Discussion of specific Case Studies werden vor allem qualitative Momente der Energiemodellierung diskutiert und analysiert. Mit der Studie Energy Modeling behind Technology and **Economics** [22] sind erste Resultate publiziert worden. Für die Ausstattung der Haushalte mit Kühlschränken und Klimaanlagen sollen konkrete Fallstudien ausgearbeitet werden.

Zur Studie **Vergleichende Untersuchung von Grossunfällen im Energiebereich** [13, 23, 24] sind aus Sicht der Sozialwissenschaften Korreferate mit

konstruktive Ergänzungen erarbeitet worden. Interessante Perspektiven für eine technisch- *und* sozialwissenschaftlich orientierte Risikoanalyse werden erö ffnet.

Das Projekt "MEC": Method for integrated evaluation of benefits, costs and effects of programmes for promoting energy conservation [14] ist im Rahmen eines internationalen Expertenteams als EU-Projekt abgeschlossen worden. Technische, ökonomische und verhaltensmässige Hindernisse einer effizienten Energieverwendung sind detailliert abgeklärt worden. Es werden Grundlagen für die Wahl energiepolitischer Instrumente und die Modellierung von Energieperspektiven bereitgestellt. Vorliegende Studien zu externen Kosten im Energiebereich sind international vergleichend ausgewertet worden und es liegen Vorschläge für Minimalwerte von Umweltzuschlägen vor. Eine Neuberechnung der Kostenkurven für Sanierungen von Wohngebäuden [29] zeigt - im Vergleich zu bisherigen Ergebnissen -Mehrfamilienhaussanierungen geringere Grenzkosten und Grenzkostenzunahmen. Bei Einfamilienhäusern hingegen sind das Grenzkostenniveau und der Anstieg der Grenzkosten ausgeprägter. Die Spezialuntersuchung Energie aus Holz / Biomasse in der Surselva [25] beinhaltet Entscheidungskriterien für den Einsatz von Holz und zeigt die Möglichkeiten einer optimalen Nutzung des Einsatzes der Holzenergie. Ebenfalls werden die Beschäftigungseffekte beim Holz als Energieträger eruiert.

Die Kurzstudie Solarinitiative und Lenkungsabgabe gemäss Beschluss Nationalrat: Beurteilung der Kapazitäten der geförderten Branchen [11] zeigt, dass bei einem Fördervolumen von 840 Mio. Fr. pro Jahr für die effiziente Energieanwendung und alternative Energien keine generellen quantitativen Kapazitätsengpässe zu erwarten sind. Bei den geförderten Branchen entsteht eine zusätzliche Arbeitskräftenachfrage von weniger als 1% bis maximal 5% des jeweiligen Beschäftigungsniveaus. In gewissen Branchen sind mögliche, vorübergehende Engpässe frühzeitig durch Planung, Ausbildungs-

programme, Qualitätsstandards usw. anzugehen: Der hohe Stellenwert von flankierenden Massnahmen bei einer intensiven Förderung wird deutlich.

MASSNAHMEN

Die Evaluation der Steuererleichterungen für Massnahmen zur rationellen Energieverwendung und zur Nutzung erneuerbarer Energie [16] ergibt, dass die eidgenössischen und kantonalen Möglichkeiten von Steuerabzügen wenig bekannt, wenig beliebt und nicht unbedingt effektiv und effizient sind und auch verteilungspolitisch negative Implikationen aufweisen. Es wurde der Schluss gezogen, dass die gezielte, termingerechte Information zu verbessern ist. Einem Wechsel von Steuererleichterungen zu direkten Unterstützungen sind wenig Realisierungschancen beigemessen worden.

Das Projekt Energietechnische Gesamtsanierungen und MieterInnen-/Vermieter-Verhältnis [28] zeigt, dass bei weitgehenden Gesamterneuerungen, d.h. einer tiefen Energiekennzahl von beispielsweise unter 200 Megajoule pro m² Probleme bestehen, die Mehrkosten auf die Mieten zu überwälzen. Die heutigen Überwälzungsregelungen bevorteilen Sanierungen. Es wird deshalb eine Änderung der bestehenden Überwälzungspraxis gefordert. Entweder soll ein Sockelbeitrag von einer Überwälzung ausgeschlossen werden und die verbleibenden Kosten können zu 100% überwälzt werden oder bei der Einhaltung gewisser Mindestanforderungen kann ein pauschaler Beitrag zu 100% überwälzt werden und für den Rest wird keine oder nur eine bescheidene Überwälzung zugelassen. In jedem Fall ist von der bestehenden Pauschalregelung bei weitergehenden Energieinvestitionen abzurücken.

Im Projekt Energiepolitik in einem föderativen System, Zusammenarbeit zwischen Bund und Kantonen in der Energiepolitik [26] zeigt sich aufgrund von Expertengesprächen, dass die Zusammenarbeit zwischen Bund und Kanton in der Energiepolitik grundsätzlich als gut bezeichnet wird. Es sind aber auch klare Verbesserungsmöglichkeiten vorhanden. Im Vordergrund stehen die Zusammenlegung von Ressourcen und eine verstärkte regionale Zusammenarbeit, gemeinsame Entscheidfindung zwischen Bund und Kantonen, vermehrte Zusammenarbeit auf der Ebene des Vollzugs und vor allem bei der strategischen Festlegung von Zielen und Programmen sowie eine klarere Teilung von Aufgaben Zuständigkeiten innerhalb von Energieprogrammen. Die Evaluation CADDET [30], d.h. die Informationen der IEA über den internationalen Stand der Technik, zeigt, dass die vorgestellten Technologien nur ausnahmsweise direkt übernommen werden. Im Vergleich zu anderen beruflichen Informationsquellen werden die CADDET-Informationen als relativ bedeutungslos voranschlagt.

Die Analyse der Beschäftigungswirkungen der Ressortaktivitäten von Energie 2000 und der erneuerbaren Energien [11] zeigt, dass die mit den eingesetzten Mitteln rund 1500 Arbeitsplätze geschaffen werden. Die Beschäftigungswirkungen der einzelnen Ressorts sind recht unterschiedlich. Vor allem im Baugewerbe, in der Maschinenindustrie, der Elektrotechnik und der Planungs- und Beratungsbranche werden Arbeitsplätze geschaffen. Wesentlich geringer sind die Beschäftigungswirkungen im Bereich der herkömmlichen Energien. Die Untersuchungen sind aufgrund der Angaben der Ressortleiter von Energie 2000 mit einem partial-analytischen Modell geschätzt worden.

Die Kurzstudie Wirtschaftliche Auswirkungen des Investitionsprogramms des Bundes im Energiebereich [9] weist in einer ex ante Schätzung eine mögliche Reduktion der Arbeitslosigkeit von gegen 2% bzw. von gut 3000 Personen aus. Die Arbeitslosenkasse kann in der Grössenordnung von 100 bis 150 Mio. Franken erleichtert werden. Es werden Arbeitsplätze in zukunftsfähigen/ innovativen Branchen mit relativer geringer Importquote und guten Exportchancen geschaffen.

Das Projekt Förderstrategien Solarenergie [11] wertet in- und ausländische Erfahrungen mit alternativen Energieträgern aus. In weiteren Arbeitsschritten werden mögliche Förderstrategien untersucht. Im Rahmen der Studie Label, Vereinbarungen und Co., Voraussetzung, Anwendung und Erfolgsfaktoren [3] ist eine Bestandesaufnahme von Labels-Absichtserklärungen/Vereinbarungen durchgeführt und worden. Fördernde und hemmende Faktoren für eine optimale Wirkung werden dargelegt. Die Autoren gelangen zum Schluss, dass eine klar definierte Strategie gefragt ist, um einem Label Wildwuchs zu begegnen und eine bessere Wirkung zu erzielen. Mit der Ko-Finanzierung des Projekts Handbuch Windenergie [20] sollen die Hemmnisse für die Anwendung der Windenergie angegangen werden (Genehmigungs- und Baubewilligungsverfahren und Nachbarschaftsfragen, Akzeptanz, Natur- und Landschaftsschutz, Wirtschaftlichkeit). Es wird erwartet, dass die planerischen und wirtschaftlichen Hemmnisse mit dem Projekt Windenergie besser erkannt werden und für mindestens ein Dutzend potentieller Windstandorte bereinigt werden können. DieStudie Fachhochschulen als Träger von Forschung, Entwicklung und Diffusion im Energiebereich [21] nimmt eine Bestandesanalyse der Energieforschung vor. Es werden Vorschläge für eine bessere Koordination und Zusammenarbeit der Energieforschung an den Fachhochschulen erarbeitet. Die Studie *Innovations in Energy Efficiency* [19] wertet die Litteratur über Innovationsprozesse unter spezieller Berück-

sichtigung des Energiebereiches aus. Hypothesen zu Energieinnovationen werden mittels Expertengesprächen überprüft.

ENERGIEMARKTORDNUNGEN

Die Studie Nichtamortisierbare Investitionen als Folge der Marktöffnung im Elektrizitätsbereich (NAI) [16] zeigt, dass, je nach Zinssatz und Preisszenario, die NAI zwischen 130 Mio. Fr. und 6 Mrd. Fr. schwanken. Von Econcept wird eine Spannbreite von 740 Mio. Franken bis 2,68 Mia. Fr. als am wahrscheinlichsten bezeichnet. Gemäss Preisszenario des Verbandes Schweizerischer Elektrizitätswerke (VSE) ergeben sich nicht amortisierbare Investitionen von 4,8 bis 6 Mia. Fr. Für die Abgeltung von nicht amortisierbaren Investitionen müsste innerhalb von 10 Jahren eine Strompreisabgabe von 0,18 bis 0,45 Rp. pro Kilowattstunde, beim wahrscheinlichen Szenario von Econcept bzw. von 1,24 Rp. pro Kilowattstunde für das VSE-Szenario eingeführt werden. In der **Studie Auswirkungen** Marktöffnung im Elektrizitätsbereich [17] werden 3 Marktöffnungsszenarien angenommen: Liberalisierung gemäss EU-Verbrauchslimiten, Liberalisierung gemäss EU-Marktquoten, vollständige Marktöffnung ab 2010. Dabei werden vielfältige Auswirkungen gesichtet. Auf Produzentenseite stellen sich Anpassungsreaktionen Kostensenkungen durch Rationalisierung, Personalabbau und Optimierung der Investitionen, Senkung von Konzessionsabgaben und Steuern, Bildung von Kooperationen usw. ein. Weitere sind beschleunigte Konzentrationen und ein wachsender Einfluss ausländischer Investoren mögliche Folgen. Die Verteiler werden mittelfristig in ihrem Versorgungsgebiet ihr Gebietsmonopol behalten. Grundsätzlich können die Kosten überwälzt werden. Je nach Geschwindigkeit des Marktzugangs Wiederverkäufer und den Regelungen Preisüberwachers wird es aber auch im Verteilsektor zu einer Konzentration führen. Mit einem gewissen Arbeitsplatzabbau, aber auch der Einführung und Diversifikation neuer Produkte (Demande Side Management, Ökostrom usw.) ist zu rechnen. Die strukturellen und institutionellen Veränderungen im

Transportbereich (Hochspannungsnetz) werden als schwer prognostizierbar bezeichnet. Mit der Schaffung nationalen Netzgesellschaft verschiedene Vorteile wie Kostensenkungen, erhöhte Versorgungssicherheit, Poolung von Export und Import geschaffen werden. Die Umweltauswirkungen aufgrund einer leicht erhöhten Stromnachfrage werden als gering bezeichnet. Die Marktchancen für Solarenergie und Wärmekraftkoppelungsanlagen (WKK) erscheinen weniger gut. Bei einem Ersatz der Kernkraft durch fossile Energieträger nach dem Jahr 2000 könnten erheblich höhere CO₂-Emissionen entstehen. In den Berggebieten wird der Weiterausbau der Wasserkraft stagnieren. Die längerfristige Erneuerung der Wasserkraftwerke ist nicht sichergestellt. Die Erträge der Bergregionen geraten tendenziell unter Druck. Die Kleinkonsumenten können von einer Marktöffnung erst bei einer weitgehenden Liberalisierung profitieren. Zur Abfederung negativer Auswirkungen werden drei Massnahmenpakete vorgeschlagen, welche die Bevorzugung regenerierbarer Energien (Marktöffnung entsprechend EU-Richtlinien, Abnahmequoten für regenerierbare Energie, die Verbilligung der Wasserkraft [CO2-Abgabe, Abgeltung von nicht amortisierbaren Investitionen, Fonds für Erneuerungsinvestitionen] und Effizienzpolitik und die Umlagerung der Wasserzinsen enthalten. Die Studie Teilauftrag zur Studie zu den Auswirkungen der Marktöffnung im Elektrizitätsbereich [8] nahm eine quantitative Schätzung zu den verschiedenen Marktöffnungsszenarien vor. Das Projekt Elektrizitätsmarktöffnung: Auswirkungen Kanton Bern [14] zeigt, dass je nach Grad der Marktöffnung eine mehr oder weniger starke Strukturbereinigung bei den 120 bernischen Elektrizitätsversorgungsunternehmungen stattfinden wird. und zudem die Gewinnablieferung an die Gemeinden tendenziell unter Druck geraten dürfte.

Nationale und internationale Zusammenarbeit

Im Rahmen der einzelnen Untersuchungen und Forschungsprojekte haben äusserst rege und intensive Zusammenarbeiten mit Verwaltungsstellen, Verbänden, Organisationen und Unternehmen stattgefunden. Mehrere Projekte mit der EU sind im Gang bzw. abgeschlossen worden.

Transfers in die Praxis

Die Umsetzung der Ergebnisse des Programmes "Energiewirtschaftliche Grundlagen" findet auf mehreren Kanälen statt. Die Forschungsergebnisse werden ebenfalls im Rahmen von parlamentarischen Vorstössen verwertet. Die Energieperspektiven sind von breiten Kreisen als wertvolle Grundlage akzeptiert worden. In Fachzeitschriften und den Medien sind zahlreiche Artikel publiziert worden, die teilweise eine hohe Beachtung finden. Die Studienresultate sind an verschiedenen Tagungen (Auswirkungen der Elektrizitätstarife,Energiesparaktionen [36], Indikatoren) vorgestellt und intensiv diskutiert worden. Die Veranstaltungen wurden mit ca. 100 und mehr Personen gut besucht.

Bewertung 1997

Die Arbeiten haben gute Fortschritte gemacht. Die Energieperspektiven fanden im Rahmen des Energiedialoges hohe Anerkennung. Die Analysen zu den Daten, Kosten und Wirtschaftlichkeit sowie vor allem zu den Massnahmen werden von den verschiedenen Akteuren (Kantone, Energie 2000, Bundesstellen) positiv aufgenommen und umgesetzt. Die Ergebnisse des Programmes "Energiewirtschaftliche Grundlagen" stellen einen wichtigen Bestandteil der schweizerischen Energiepolitik dar.

Ausblick 1998

Die Arbeiten sind gemäss dem Mehrjahresprogramm 1996-1999 und der Projektliste 1997/1998 fortzuführen. Die Datengrundlagen sind weiter zu verbessern. Die Überarbeitung der Energieperspektiven ist aufgrund neuerer Rahmendaten und verbesserter Modelle an die Hand zu nehmen. Die Analysen zu Energiemassnahmen sind weiter auszubauen und zu vertiefen. Im Vordergrund stehen das Energiecontracting und Massnahmen mit positiven Be-

schäftigungseffekten. Die Untersuchungen zu den Elektrizitätsmärkten gelangen im Frühjahr 1998 in die politische Diskussion. Entsprechend dem Verlauf der politischen Diskussionen sind allenfalls weitere Ergänzungen vorzunehmen.

Die gut eingespielten Kontakte mit den Kantonen, Verbänden und Bundesstellen sind weiter zu vertiefen und möglichst umsetzungsorientiert auszunutzen.

Liste der Projekte

- [1] U. Rey, WÜEST & PARTNER, Zürich: Die Erarbeitung von Basisdaten für die Perspektiven des Energieverbrauchs (SB)
- [2] S. Frauenfelder, SUPPORT, Frauenfeld: Indikatoren zur Beurteilung der kantonalen Energiepolitik (SB)
- [3] Ch. Muggli, BASICS, Zürich: Projekt Label, Vereinbarungen und Co., Voraussetzung, Anwendung und Erfolgsfaktoren (JB)
- [4] N: Dischinger, PROGNOS, Basel: Energetischer Vergleich unterschiedlicher Antriebe von Personenwagen für die Schweiz (Kurzexpertise) (SB)
- [5] W. Baumgartner, BASICS, Zürich: Vorschläge zur Verbesserung der Energiestatistik in der Industrie (JB) Perspektiven des Energieverbrauchs für die Industrie (SB)
- [6] PROGNOS, Basel: Koordination der Modellierungs- und Perspektivarbeiten (JB)
- [7] P. Hofer, PROGNOS, Basel: Perspektiven des Energieverbrauchs in den Haushalten, Szenario IV (SB)
- [8] M. Sättler, PROGNOS, Basel: Teilauftrag zur Studie zu den Auswirkungen der Marktöffnung im Elektrizitätsbereich (JB)
- [9] R. Iten, S. Kessler, S. Mauch, INFRAS, Zürich: Wirtschaftliche Auswirkungen des Investitionsprogramms des Bundes im Energiebereich (SB)
- [10] M. Keller, INFRAS, Zürich/Bern: Perspektiven des Energieverbrauchs im Verkehr (SB)
- [11] R. Iten, S. Kessler, S. Mauch, INFRAS, Zürich: Förderstrategien Solarenergie (JB) * Kurzstudie Solarinitiative und Lenkungsabgabe gemäss Beschluss Nationalrat: Beurteilung der Kapazitäten der geförderten Branchen (SB) * Beschäftigungswirkungen der Ressortaktivitäten von Energie 2000 und der erneuerbaren Energien (SB)
- [12] R. Iten, B. Schips, M. Schnewlin, INFRAS/KOF, Zürich: Extention and Completion of E3ME (JB)
- [13] P. Zweifel, UNI-Zürich: Korreferat "Vergleichende Untersuchung von Grossunfällen im Energiebereich" (SB)

- [14] F. Walter, ECOPLAN, Bern: Elektrizitätsmarktöffnung: Auswirkungen im Kanton Bern (SB) *

 "MEC": Method for integrated evaluation of benefits, costs and effects of programmes for promoting energy conservation (SB) * Wirtschaftliche Auswirkungen von Reformen der Sozialversicherungen:

 DYNASWISS Dynamisches allgemeines Gleichgewichtsmodell für die Schweiz (SB)
- [15] R. Kröni, U.P. Menti, AMSTEIN & WALTHERT, Zürich: Energieverbrauch in Bürogebäuden (JB)
- [16] W. Ott, ECONCEPT KG & IPSO, Zürich/Dübendorf: Evaluation der Steuererleichterungen für Massnahmen zur rationellen Energieverwendung und zur Nutzung erneuerbarer Energie (SB) * Nichtamortisierbare Investitionen als Folge der Marktöffnung im Elektrizitätsbereich
- [17] ERNST BASLER & PARTNER, Zürich: Auswirkungen der Marktöffnung im Elektrizitätsbereich
- [18] B. Aebischer, D. Spreng, ETH-Zürich: Perspektiven der Energienachfrage (SB)
- [19] D. Spreng, D. Goldblatt, ETH-Zürich: Innovations in Energy Efficiency (JB)
- [20] S. Kunz, METEOTEST, Bern, ÖKOSKOP, Gelterkinden: Handbuch Windenergie (JB)
- [21] A. Fuchs, INTEC, c/o ISBE / HTL-Bern: Situationsanlayse Absichten und Möglichkeiten der Fachhochschulen als Träger von Forschung, Entwicklung und Diffusion im Energiebereich (JB)
- [22] B. Giovannini, Genf: Introduction of Behavioural and Social Elemetrs into Energy Analysis (SB)
- [23] E. Mohr, St. Gallen: Korreferat Grossunfälle im Energiebereich (SB)
- [24] S. Hirschberg, PSI-Villigen: Vergleichende Untersuchung von Grossunfällen im Energiebereich (JB)
- [25] H. BARANDUN, Davos-Platz: Spezialuntersuchung Energie aus Holz / Biomasse in der Surselva (SB)
- [26] L. Frei-Eigenmann, IPSO, S. Frauenfelder, SUPPORT, Zürich/Frauenfeld: Energiepolitik in einem föderativen System, Zusammenarbeit zwischen Bund und Kantonen in der Energiepolitik (SB)
- [27] E.O. GRAF, Basel: Energiesparaktionen (ESA) / Tagung (SB)
- [28] P. Marti, METRON, Brugg: Energietechnische Gesamtsanierungen und MieterInnen-/ Vermieter-Verhältnis (SB)
- [29] A. Nietlisbach, METRON RAUMPLANUNG, Brugg: Neuberechnungen der Kostenkurven für Sanierungen von Wohngebäuden (SB)
- [30] F.W. Gerheuser, Büro für Politikberatung und Sozialforschung, Brugg: Evaluation Caddet (SB)
 - (JB) Jahresbericht 1997 vorhanden
 - (SB) Schlussbericht vorhanden