



Bundesamt für Energie
 Office fédéral de l'énergie
 Ufficio federale dell'energia
 Swiss Federal Office of Energy

Energie - Forschung 1998

Recherche énergétique

Überblicksberichte der Programmleiter
 Rapport de synthèse des chefs de programme



ENERGIEFORSCHUNG RECHERCHE ÉNERGÉTIQUE

1998

Überblicksberichte der Programmleiter
Rapports de synthèse des chefs de programme

Vorwort / Avant-propos	3
Progrès de la Recherche énergétique en 1998	4

Forschungsprogramme – Programmes de recherche

Rationelle Energienutzung in Gebäuden	7
Rationelle Energienutzung Warmwasser	15
Solararchitektur	19
Elektrizität	27
Umgebungs- und Abwärme, Wärme-Kraft-Kopplung	35
Solaire actif: chaleur	43
Photovoltaik	51
Biomasse	59
Geothermie	67
Kleinwasserkraftwerke	73
Windenergienutzung	77
Solarchemie / Wasserstoff	85
Feuerung und Verbrennung	93
Stockage de chaleur	101
Kerntechnik und nukleare Sicherheit	109
Regulatorische Sicherheitsforschung der HSK	119
Fusion thermonucléaire contrôlée	127
Piles à combustible & Accumulateurs	133
Verkehr	141
Energiewirtschaftliche Grundlagen	149

Anhang – Annexe

Organisation de la Recherche et P+D / Forschungs- und P+D-Organisation	156
Adresses importantes / Wichtige Adressen	157

VORWORT

1998 betragen die gesamten Aufwendungen der mit öffentlichen Mitteln finanzierten Energieforschung rund 195 Mio. Franken, wovon etwa 30 Mio. Franken für Pilot- und Demonstrationsprojekte eingesetzt wurden. Eine detaillierte Zusammenstellung der entsprechenden Geldflüsse ist aus der *Liste der Energieforschungsprojekte der Schweiz* ersichtlich.

Die Energieforschung der öffentlichen Hand der Schweiz richtet sich nach dem *Konzept der Energieforschung des Bundes*. Für die Umsetzung des Konzepts ist das Bundesamt für Energie (BFE) zuständig. Es verfügt dafür über eigene Förderungsmittel, die subsidiär zu den Anstrengungen der privaten und öffentlichen Forschungsstellen eingesetzt werden. Die Betreuung der verschiedenen Forschungs-, Pilot- und Demonstrationsprogramme obliegt internen und externen Programmleitern, welche 15 Technologiebereichen zugeordnet sind. Eine Übersicht über die Organisation findet sich im Anhang.

Der vorliegende Band enthält die Jahres-Überblicksberichte der BFE-Programmler und ist für die breite Öffentlichkeit bestimmt. Beschrieben sind die Fortschritte in denjenigen Vorhaben, welche durch das BFE mitfinanziert worden sind. Enthalten sind aber auch Hinweise auf andere mit öffentlichen und privaten Mitteln durchgeführte Forschungsarbeiten, über welche ausführlicher in den Jahresberichten der entsprechenden Forschungsstätten informiert wird.

Die Übersichtsberichte der Programmler dürfen – unter Angabe der Quelle – reproduziert werden. Der ganze Bericht kann auch über die BFE-Website abgerufen werden. Die einzelnen Jahresberichte der in den Übersichten erwähnten Projekte sind jedoch nicht alle im Internet verfügbar. Sie sind bei ENET, bei der ENERGIE 2000 P+D-Infostelle und bei den zuständigen Programmlern erhältlich (siehe Adressen im Anhang).

März 1999

BUNDESAMT FÜR ENERGIE

Zur Illustration auf dem Umschlag:

Strom aus der Tiefe... bald auch in Basel ?

Dampferzeugung geothermischen Ursprungs, geeignet für Elektrizitäts- und Wärmeproduktion, ist bei der europäischen Experimentier-Anlage in Soultz, im Elsass (F), demonstriert worden. 1999 wird eine erste, exploratorische, 2'000 m tiefe Sondierbohrung beim Zollamt Otterbach, Kleinbasel, abgeteuft. Siehe auch Programm "Geothermie". (Photo: SOCOMINE)

AVANT-PROPOS

En 1998, l'ensemble des moyens attribués par les pouvoirs publics à la recherche énergétique se sont élevés à 195 MCHF, dont quelques 30 MCHF pour les projets Pilote et de Démonstration. Une revue détaillée des flux financiers peut être faite en consultant la *Liste des projets de recherche énergétique en Suisse*.

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 mise en pratique du Plan directeur est du ressort de l'Office fédéral de l'énergie (OFEN). Il dispose, à cette fin, de moyens propres qui sont engagés de façon subsidiaires à ceux des institutions de recherche tant privées que publiques. La gestion des divers programmes propres de "recherche, développement et démonstration" (RD&D) relève des responsables internes ou externes à l'OFEN. Ils sont réparti en 15 domaines technologiques. On trouvera en annexe un survol de l'organisation.

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 décrit les progrès accomplis dans les divers projets co-financés 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.

La reproduction d'extraits du présent volume est autorisée, en en indiquant la source. Les rapports de ce volume sont téléchargeables à partir du site de l'OFEN. Les rapports annuels spécifiques aux divers projets cités dans les rapports de synthèse ne sont, pour la plupart, pas accessibles sur INTERNET. Ils peuvent cependant être obtenu auprès d'ENET, d'ENERGIE 2000 P+D-Infostelle, ou auprès des chefs de programme (voir adresses en annexe).

Mars 1999

OFFICE FÉDÉRAL DE L'ÉNERGIE

Illustration de la couverture:

Électricité des profondeurs terrestres... bientôt aussi à Bâle ?

La génération de vapeur d'origine géothermique, propre à la production d'électricité et de chaleur, a été démontrée sur l'installation expérimentale européenne de Soultz, en Alsace (F). En 1999 aura lieu à proximité du poste frontière d'Otterbach, à Bâle, un premier forage exploratoire de 2'000 m de profondeur. Ces deux projets dépendent du programme "Géothermie". (Photo: SOCOMINE)

PROGRÈS DE LA RECHERCHE ÉNERGETIQUE EN 1998

Christophe de Reyff, Coordination de la recherche, OFEN

Les dépenses des pouvoirs publics consacrées à la recherche, au développement technologique et à la démonstration RD&D énergétique ont continué de décroître. Ayant pu atteindre en 1992 et 1993 une part maximale de 0,65 pour mille du PIB de la Suisse, elles ne sont actuellement plus qu'à quelque 0,50 pour mille du PIB, soit au niveau des années quatre-vingt. Ces coupures budgétaires résultent de considérations politiques générales d'assainissement des finances publiques et aussi de la disparition du NEFF. À celles-ci s'ajoutent des critiques répétées sur les dépenses en matière de recherche nucléaire, que ce soit la fission ou la fusion.

Le présent survol de la RD&D énergétique ne peut pas prétendre présenter tous les résultats intéressants engrangés par nos chercheurs en 1998. Il se concentre sur quelques aspects qui retiennent particulièrement l'attention de l'auteur de ces lignes. Ils ont été obtenus par des synergies, soit entre des institutions publiques de recherche, soit entre des industries et de telles institutions, ce qui est à même de garantir le **transfert de technologie** à la pratique. Dans le présent volume, on trouvera plusieurs exemples réussis de telles synergies que l'on souhaite toujours plus nombreuses.

- Commençons par deux cas de retombées d'intérêt non-nucléaire à l'occasion de recherches faites dans des institutions qui s'occupent de recherche nucléaire.

Dans un laboratoire de l'Université de Bâle, on analyse, par toutes les méthodes les plus raffinées, la composition et la structure des composantes (**tuiles en graphite**), contenant du carbone amorphe. Elles vont être installées ou ont séjourné dans le TCV – le Tokamak à configuration variable – qui est le nouvel outil de recherche sur la fusion nucléaire à l'EPF-Lausanne. Ce même laboratoire bâlois développe une technique de dépôt, à partir de plasma, de couches de **carbone amorphe hydrogéné** sur des substrats de cuivre. Cela est fait en vue de la réalisation de capteurs solaires thermiques, tel l'**ABSORBER 2000**, dont la fabrication en série a pu débuter. Ce développement est aussi le fruit de la collaboration avec la Haute École Spécialisée de Rapperswil, où a eu lieu en novembre 1998 un séminaire international consacré aux derniers développements en matière d'absorbeurs solaires.

D'autre part, à l'EPF-Lausanne, où se fait la recherche suisse en fusion nucléaire, on collabore activement à l'étude et au développement du dépôt de couches de **silicium microcristallin** sur de grandes surfaces. On y utilise les techniques et outils de diagnostic des plasmas – outils prévus d'abord pour des plasmas d'hydrogène, en vue de la fusion nucléaire – et on les applique aux plasmas de gaz "silane" en vue de la réalisation de **modules solaires photovoltaïques** en collaboration avec l'Université de Neuchâtel.

- La synergie, réalisée exemplairement dans les projets ci-dessus, existe encore sous une autre forme, entre diverses institutions, par exemple, les Universités de Genève, de Berne et l'EPF-Lausanne, dans le projet de **photo-dissociation solaire de l'eau en**

hydrogène et oxygène. Les compétences des trois laboratoires se complètent et ont abouti à un rendement, à ce jour de 4,2 %, pour la transformation directe de l'énergie solaire en "potentiel chimique", c'est-à-dire, principalement en hydrogène, l'agent chimique le plus énergétique. Les progrès, qu'il faut signaler ici, ont consisté en une double utilisation du spectre solaire, sa partie bleue, d'une part, et sa partie verte et rouge, d'autre part. On peut même penser aller jusqu'à la partie infrarouge et, par-là, encore augmenter le rendement global.

- Ce procédé permet aussi de décomposer d'autres molécules organiques (telles que le méthanol, l'acide acétique ou l'acide benzoïque), et cela avec une efficacité encore plus grande. **Même l'eau de mer peut ainsi être décomposée**, sans produire du chlore indésirable, comme c'est le cas par l'électrolyse classique. L'efficacité globale est encore augmentée par l'emploi "d'antennes de lumière" qui sont autant de guides de lumière, à l'image des organismes photosynthétiques de la botanique.
- Pour en rester à la chimie solaire, l'énergie reçue du soleil, concentrée pour obtenir une haute température, permet de produire de nouvelles **substances**, "à haute valeur énergétique ajoutée", entre autres, le **carbone filamenteux** et les **nanotubes de carbone**. Leurs applications possibles pour le stockage du gaz hydrogène ouvrent un marché très prometteur. Le procédé **SYNMET** du PSI permet de réaliser simultanément la réduction d'oxyde métallique et un "reformage" du gaz naturel (méthane) en "gaz de synthèse", prêt à d'autres emplois dans l'industrie chimique.
- Une retombée de ces recherches en chimie solaire est liée au gaz ammoniac, que l'on peut décomposer en azote et hydrogène dans un réacteur solaire. L'application de l'ammoniac est possible et même hautement efficace dans les **pompes à chaleur (PAC)**,

mais son emploi, potentiellement dangereux pour des PAC domestiques à ammoniac, exige un système de sécurité. Celui-ci a ainsi pu être mis au point et breveté conjointement par NEK, à Zürich, et l'Université de Hambourg. Ce dispositif absorbe et détruit toute fuite de ce gaz très toxique et permet par là son application sûre aux PAC.

- Le capteur solaire, *ABSORBEUR AS+*, développé par ÉNERGIE SOLAIRE, à Sierre, a des caractéristiques mondialement remarquables: une absorption dépassant 95 % et une émission inférieure à 7 %. Le rendement de ce type de capteur sans vitrage a subi une amélioration nette de 15 %, selon le centre de test de Rapperswil.
- Une double synergie a abouti à deux réussites qui sont à souligner dans le programme "piles à combustible et accumulateurs". Ce programme est aussi partie prenante dans 7 projets réalisés avec d'autres pays dans le 4e Programme cadre de recherche et de développement technologique (PCRD) de l'UE.

La première synergie résulte d'un consortium regroupant le PSI, une firme en Suisse romande et une autre en Suisse alémanique. Ce projet a de plus bénéficié d'un catalyseur développé par le Laboratoire fédéral d'essai des matériaux (EMPA). Il s'agit de la mise au point d'un module d'accumulateur "air/zinc" de 20 ampères-heures, sous 12 volts continus, et d'un poids de seulement 2,6 kilogrammes, représentant une capacité massique de 90 watts-heures par kilogramme. Le consortium qui a réalisé ce produit vient de recevoir l'un des *Prix Technologiestandort Schweiz*.

L'autre projet est la réalisation d'un *Powerpack* de 300 watts, constitué d'une pile à combustible, qui a résulté du concours du PSI et de la Haute École Spécialisée de Soleure, à Granges.

- À Neuchâtel, le nouveau bâtiment de l'Office fédéral de la statistique a été équipé de la plus grosse cuve de stockage de chaleur solaire en Suisse (2'370 m³), mise en service en 1998. La répartition des pertes a été prévue et est en train d'être confrontée à la situation réelle en exploitation.
- Dans le programme de "recherche réglementaire en matière de sécurité nucléaire", un projet a examiné le comportement de radionuclides rejetés par les centrales nucléaires dans l'Aar et le Rhin. Il a permis de mesurer leurs activités en régime de fonctionnement normal: ces activités sont radiologiquement insignifiantes. Les traces présentes dans les eaux rejetées par les centrales font l'objet de mesures comparatives réalisées par la Section de surveillance de la radioactivité, à Fribourg, l'Institut de radiophysique appliquée, à l'EPF-Lausanne, ainsi que l'Institut fédéral pour l'aménagement, l'épuration et la protection des eaux, à Dübendorf.

Toujours dans le même programme, la Suisse participe au projet international *PHÉBUS*, à Cadarache

(F), qui étudie les émissions de produits radioactifs durant un accident nucléaire grave d'un réacteur. Le comportement physico-chimique du Iode, présent dans ces émissions, a révélé des aspects nouveaux très importants.

- Dans le programme photovoltaïque, il est à relever l'importance des 20 projets réalisés au titre du 4e PCRD de l'UE (soit une majorité, pour un seul secteur, parmi les quelque 60 projets en cours durant 1998). Ces projets continuent d'associer avec succès sur un plan international des institutions publiques de recherche, des PME et aussi des industries, que ce soit dans le domaine des cellules, des modules ou de l'intégration architecturale. Une installation P+D est à signaler, d'une puissance de 6,3 kilowatts-crête, car elle est basée sur des cellules au silicium amorphe, intégrée au toit du bâtiment de l'Institut de Microtechnique, à Neuchâtel.
- Avec le savoir-faire en modélisation du Laboratoire de Thermodynamique en technologies nouvelles de l'EPF-Zürich, ainsi que du Laboratoire fédéral d'essai des matériaux (EMPA), YGNIS, à Ruswil, a mis au point deux nouveaux types de brûleurs à gaz, à puissance modulable, conçus comme unités intégrées: les modèles *VARINO* représentent dorénavant un nouveau standard dans la technologie des brûleurs à gaz à basses émissions.
- Le principe du moteur *Stirling*, produisant du travail mécanique à partir de la chaleur, est connu depuis 1816 déjà ! Mais les défauts de jeunesse d'une telle machine ont perduré jusqu'à nos jours. Ce n'est que tout récemment qu'a été mis au point un prototype-pilote, grâce aux efforts conjugués de l'ÖKO-ZENTRUM, à Langenbruck, et SIG, à Schaffhouse. Il est prévu que dans deux ans, il soit possible d'installer chez soi une telle machine domestique qui produira de la chaleur pour le chauffage, de l'eau chaude et de l'électricité, à partir soit du gaz naturel, soit, plus tard, de la biomasse ou du mazout.
- Le Laboratoire d'énergie solaire et de physique du bâtiment, à l'Institut de technique du bâtiment de l'EPF-Lausanne, en collaboration avec le Centre suisse d'électronique et de Microtechnique, à Neuchâtel, a mis au point, avec SAUTER, à Bâle, un système biomimétique, le *NEUROBAT*. Ce dernier permet, à la manière d'un réseau neuronal, de gérer et d'instruire un microprocesseur. Son but est d'asservir le système de chauffage domestique, en s'adaptant aux conditions particulières de la maison, de ses habitants et du climat passé et pronostiqué.

Le même laboratoire de l'EPF-Lausanne a également créé un système intelligent de gestion de lumière, de chaleur et d'électricité dans la maison, le *DELTA*, qui suit, quant à lui, une "fuzzy logic".

Ces deux nouveaux produits sont une contribution suisse au projet de coopération européen, *EDIFICIO*, auquel collaborent six pays.

- Que peut-on faire du gaz de compostage ? Sa combustion est neutre du point de vue environnemental puisque le CO₂ dégagé provient du carbone constitutif de la biomasse. Des véhicules "bi-carburant" voient maintenant le jour: leurs moteurs peuvent être alimentés soit par de l'essence, soit par du gaz. Un procédé développé par W. SCHMID, à Glattbrugg, permet de préparer du gaz de compostage de qualité équivalente au gaz naturel. Il manque encore l'équipement nécessaire dans les stations service pour s'approvisionner de la sorte, sauf dans la région zurichoise: dans le cadre du programme "The Green Hotelier", l'Hôtel ZÜRICH AIRPORT HILTON et le NOVOTEL ainsi que la chaîne EUROPCAR mettent à disposition de leur clientèle devant se rendre à l'aéroport de Zürich/Kloten des bus à moteur bi-carburant. Le fonctionnement au gaz est un peu plus silencieux et bien moins polluant. L'autonomie d'un plein de gaz est de 200 km. Ces bus roulent 365 jours par an, en bonne partie avec du gaz de compostage. À partir de 100 kg de déchets de biomasse, on produit assez de gaz de compostage pour permettre à ces véhicules de rouler durant 100 km. Ce projet s'ajoute aux essais qui sont

conduits, à Bachenbülach, où une flotte de 60 véhicules circule dans la région avec du gaz de compostage.

- Dans le programme "transport", la firme ESORO, à Glattbrugg, a achevé le développement du TWIN TRAK, un moteur hybride parallèle pour voitures légères. Après mesures des émissions sonores et polluantes par le Laboratoire fédéral d'essai des matériaux (EMPA), la voiture à 4 places ESORO H301 a obtenu sa licence de route dans le canton de Zurich en tant que première voiture hybride. Sa faible consommation d'énergie permet une autonomie de 700 km. Cette voiture démontre que le but visé d'atteindre une consommation de 1 l aux 100 km pour un véhicule à 4 places est réalisable.

Toujours dans ce programme, le projet CITY CAR de la Ville de Martigny a mis en circulation une première série de 30 voitures électriques publiques pour les déplacements individuels, une flottille gérée par les Autos Postales de Suisse, LA POSTE, à Martigny. Ce projet est intégré au programme européen UTOPIA.

Le transfert à la pratique est une activité poursuivie par chacun des chefs de programme: documents (publications, rapports annuels, intermédiaires et finals), séminaires, conférences, visites d'industries, services Internet sont les outils du transfert. Les documents sont gérés par le service ENET et par le centre ENERGIE 2000 P+D-Information qui récoltent et distribuent les rapports liés aux divers projets de R&D et aux installations P+D. La liste des Projets et publications 1998 d'ENET comprend 814 nouveaux titres donnant un total cumulé de 4'721 documents; 11'685 pages copiées représentant plus de 1'000 documents commandés durant l'année 1998. Près de 500 envois ont été faits à l'étranger et 92 CD-ROMs ont été livrés.

Sur Internet on trouve déjà 120 rapports concernant les projets P+D qui peuvent être commandés par courrier électronique. Plus de 500 documents concernant les projets P+D ont été commandés en 1998. L'OFEN a de son côté publié une nouvelle brochure présentant les Programmes par domaines – Techniques énergétiques, pour rappeler leur importance en tant que clés du développement durable.

La tenue de séminaires est aussi une activité régulière de chacun des programmes. Par exemple, un séminaire bisannuel a amené pour la dixième fois le cercle des spécialistes de l'utilisation rationnelle de l'énergie dans le bâtiment à se réunir à l'occasion du *Schweiz, Status-Seminar der Energieforschung im Hochbau*. Grâce à ces séminaires, l'état actuel des progrès réalisés dans chacun des domaines spécifiques peut être rapidement communiqué.

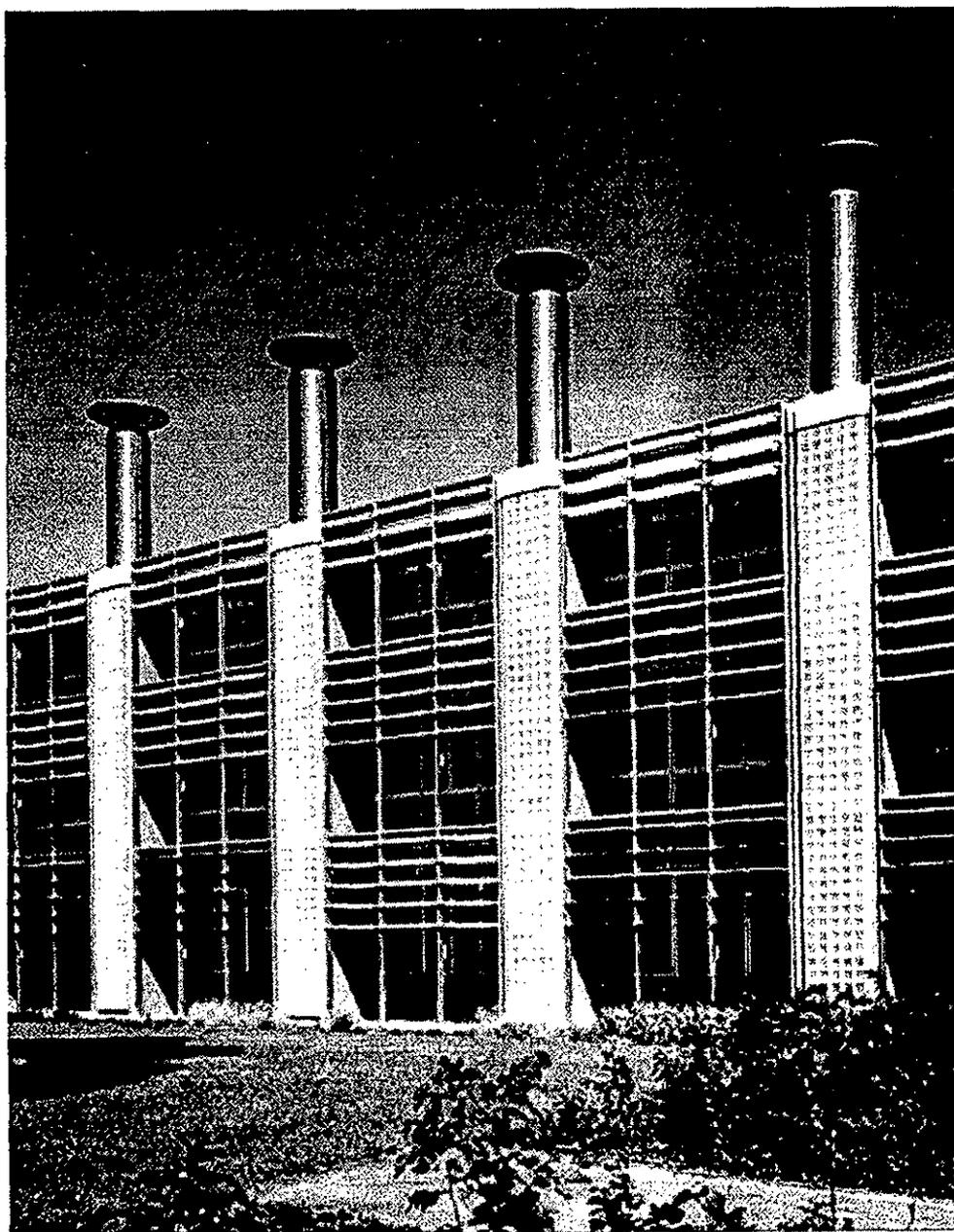
Les activités de *Technologie-Vermittlung TEVE* ont été lancées conjointement par l'OFEN et le Canton de Berne. Elles consistent à présenter certains résultats de recherche et à apporter des conseils aux partenaires industriels. Cette année, 26 nouveaux contacts ont été établis, dont 9 ont abouti à un transfert réussi.

Les Hautes Écoles Spécialisées (HES) peuvent devenir un pôle de transfert de technologie important du fait de leur rôle accru en tant que centres de recherche. C'est un thème qui occupera également la Commission fédérale pour la recherche énergétique (CORE).

RATIONELLE ENERGIENUTZUNG IN GEBÄUDEN

Überblicksbericht
zum Forschungsprogramm 1998

Markus Zimmermann
mark.zimmermann@empa.ch



Kühlen zum Nulltarif

Im Rahmen der Forschungsarbeiten der Internationalen Energie-Agentur wurden Planungsgrundlagen für die passive Raumkühlung entwickelt und neue Konzepte, z.B. beim Neubau des *British Research Establishment* mit solargestützter Lüftung, demonstriert.

Einleitung

Rund 50 % des Energieverbrauchs setzen wir zum Betreiben von Wohn-, Dienstleistungs- und Gewerbebauten ein. Dadurch hängt auch ein grosser Teil der Umweltbelastung mit der Gebäudenutzung zusammen. Aber auch die Erstellung und der Unterhalt der Gebäude tragen wesentlich dazu bei. Diese Situation wird sich nicht so schnell ändern, obwohl noch ein grosses Sparpotential bei bestehenden, älteren Bauten ausgeschöpft werden kann. 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 Sanierungsmassnahmen weiter verbessert, erprobt und damit effizienter und wirtschaftlicher gemacht werden.

Nebst der Energieeffizienz steht heute immer mehr die Umweltverträglichkeit im Vordergrund. Nachhaltiges Bauen bedeutet nicht nur Schonung der fossilen Energien, sondern auch Schonung der Ressourcen und der Umwelt allgemein. 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 Opti-

mierung 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 Minimierung 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.

Anvisierte Zielpunkte für 1998

Das Forschungs-, Pilot- und Demonstrationsprogramm "Rationelle Energienutzung in Gebäuden" [21] ist Teil **Bereichsprogramms Gebäude** [22] des BFE, welches auch die Umsetzung im Rahmen von *Energie 2000* festlegt.

Das Programm unterstützt vor allem Vorhaben, welche im öffentlichen Interesse sind, jedoch von der Privatwirtschaft nicht genügend beachtet werden und es bietet Starthilfen für Entwicklungen, die interessant, aber für private Unternehmungen im Alleingang zu riskant sind.

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

Im ersten Bereich stehen neue Techniken für hochwärmmedämmende Gebäudehüllen, die sich speziell auch bei Sanierungen eignen, im Zentrum:

- **Hochleistungs-Wärmedämmsysteme,**
- **Montagetechniken für hochwärmegedämmte,**

hinterlüftete Fassaden,

- **Sanierungssysteme für Fenster.**

In der Haustechnik stehen vor allem Planungshilfen im Vordergrund:

- **Thermoaktive Bauteilsysteme,**
- **Kostengünstige Lüftungssysteme für Sanierungen,**
- **Planungshilfsmittel für die Klima- und Lüftungsbedarfsermittlung und die Raumkühlung,**
- **Diagnoseinstrumente für Lüftung und Lüftungsanlagen.**

Die Umweltaspekte des Bauens stellen ein Querschnittsthema dar, welches auch bereichsübergreifend angepackt wurde. Hauptziel ist die Bereitstellung eines Programmes, welches es erlaubt, während der Bauplanung Kosten, Energieverbrauch und Umweltbelastungen zu optimieren.

1998 durchgeführte Arbeiten und erreichte Ergebnisse

GEBÄUDESYSTEME / GEBÄUDEHÜLLE

Die umweltbezogenen Projekte dominieren momentan diesen Bereich. Der grosse materielle Aufwand und die lange Nutzungsdauer von Gebäuden machen ökologische Aspekte des Bauens zu einem immer wichtigeren Entscheidungsfaktor. Vor allem die Baustoffhersteller sehen sich vermehrt mit umweltbezogenen Forderungen der Bauherren konfrontiert. Es ist klar, dass sich die rationelle Energienutzung ebenfalls mit diesen Fragen auseinandersetzen muss.

Im Rahmen der *Internationalen Energie-Agentur (IEA)* beteiligt sich die Schweiz an einem Projekt, welches sich mir den **umweltbezogenen Auswirkungen des Bauens** befasst [1]. Es werden vor allem die methodischen Ansätze verbessert, wie die Umweltwirkungen von baulichen Massnahmen im allgemeinen und von energetischen im speziellen zu behandeln sind. Eine Dokumentation geeigneter Beurteilungsmethoden konnte zusammen mit dem Schweiz. Ingenieur- und Architekten-Verein (SIA) herausgegeben werden [23].

Mehrere Institutionen des ETH-Bereichs haben sich zu einem **Zentrum für Ökoinventare** zusammengeschlossen und ein Konzept erarbeitet, wie zukünftig Umweltdaten für die Ökobilanzierung aufbereitet und einem breiten Anwenderkreis benutzerfreundlich zur Verfügung gestellt werden könnten. Ziel ist ein überarbeitetes, harmonisiertes Ökoinventar *ECOINVENT 2000*, welches auf dem Internet zur Verfügung stehen wird.

Um den Zustand der verfügbaren Ökoinventare besser beurteilen zu können, wurde von der Koordinationsgruppe des Bundes eine Analyse der Datenlage im Baustoffbereich in Auftrag gegeben [24]. Sie steht auch im Zusammenhang mit weiteren Publikationen über **Graue Energie**, welche vor allem vom *BUWAL* unterstützt wurden.

Einen grossen Schritt vorwärts gekommen ist das Programm *OGIP* [2], welches die **gesamtheitliche Optimierung von Energieverbrauch, Umweltbelastung und Baukosten** zum Ziel hat. Es basiert auf dem in der Baubranche weit verbreiteten Normpositionenkatalog und der CRB-Elementmethode. Die Software, welche an der Swissbau 99 eingeführt wird, erlaubt es den Planern, nebst der Baukostenberechnung mit wenig Mehraufwand auch eine Analyse der externen Kosten, der Umweltbelastung und des Energieverbrauchs für die Erstellung und den Betrieb von Gebäuden durchzuführen.

Nachdem die Fachhochschule beider Basel sich vergangenes Jahr mit Nachhaltigkeitsfragen des Bauens intensiv auseinandergesetzt hat, versucht sie nun – vor dem Hintergrund der Nachhaltigkeit – die für die Bauwirtschaft wichtige Frage zu beantworten, welche **Kriterien für einen Abbruch/Neubau-Entscheid** oder für eine Gebäudesanierung relevant sind [3].

Verschieden Arbeiten befassten sich mit der Optimierung resp. Verbesserung der Gebäudehülle:

Das Projekt **Hochwärmedämmendes Verbandmauerwerk** konnte abgeschlossen werden [4]. Die Isolationsfähigkeit der Backsteine scheint heute an ihre technischen Grenzen zu stossen. Die Ergebnisse sind letztendlich nicht nur von der Dicke der Mauerwerke, sondern auch von den Anforderungen an deren Tragfähigkeit abhängig. Bei guter Tragfähigkeit erreicht man heute bei einem 45 cm dicken Mauerwerk einen U-Wert (früher k-Wert) von etwa $0.35 \text{ W/m}^2\text{K}$. Weniger feste, hochporosierte Steine ermöglichen sogar Werte um $0.25 \text{ W/m}^2\text{K}$, was also immer noch den Bau von Niedrigenergiehäusern mit monolithischen Mauerwerken ermöglicht. Eine weitere Optimierung ist allerdings kaum mehr denkbar.

Ein bis heute wenig untersuchtes Element stellen die Unterkonstruktionen hinterlüfteter Fassaden dar. Vor allem die Metallunterkonstruktionen verursachen oft unzulässige Wärmebrücken, welche die Wärmedämmung massiv verschlechtern. Das Projekt **Punktueller Wärmebrücken hinterlüfteter Fassaden** befasste sich mit diesen oft unbeachteten Wärmeverlusten, die rasch Verluste von 20 bis 30 % verursachen. Mit der Herausgabe der Richtlinie "Bestimmung der wärmetechnischen Einflüsse von Wärmebrücken bei vorgehängten hinterlüfteten Fassaden" [25] steht nun der Praxis ein Hilfsmittel zur Verfügung, mit welchem sich dieser Einfluss abschätzen lässt.

Ganz neue Wege geht das Projekt **Hocheffiziente Wärmedämmsysteme** [5], indem es neuartige Wärmedämmstoffe (u.a. mikroporöse, teilevakuierte Schäume), welche bis zu 5 mal besser dämmen als konventionelle Dämmstoffe, untersucht. 1998 konnten vier Projekte initiiert werden, wobei sich drei auf die Entwicklung neuer Dämmstoffe mit Aerogelen resp. teilevakuierten Mineralfaserplatten konzentrieren. Ein Projekt will erste Pilotanwendungen mit teilevakuierten Schaumstoffen realisieren (Speicherisolationen, Fensterverbreiterungen, Türen, Fussbodenheizungen und Innenisolationen).

Für das Projekt **Sommerliche Wärmelasten transparenter Bauteile und Sonnenschutzsysteme** [6] wurden an der EMPA – mit Unterstützung des AFB – raumgrosse Testzellen erstellt. Mit diesen sollen 1999 als erstes Beschattungssysteme unter realen Bedingungen ausgemessen werden.

HAUSTECHNIK

In der Haustechnik stehen vor allem Planungsgrundlagen sowie verbesserte Regelkonzepte und Diagnosemethoden im Vordergrund.

Auf dem Gebiet der passiven und hybriden Kühlung von Gebäuden konnten einige Arbeiten abgeschlossen

werden:

- Im Rahmen des IEA-Projektes *Low Energy Cooling* wurde eine Reihe von Planungsinstrumenten für energiesparendes Kühlen erarbeitet [26]. Ergänzend dazu wurden die wesentlichen Erkenntnisse in einem "Handbuch der passiven Raumkühlung" [27] zusammengefasst.
- Parallel zu diesem IEA-Projekt wurden ergänzende **Messungen an einem Erdregister** der PTT im Tessin [7] durchgeführt. Sie belegen, dass Luftansaug-Erdregister durchaus auch im wärmeren Tessin für die passive Gebäudekühlung einsetzbar sind. Ein weiteres Erdregister wird im Rahmen eines Demonstrationsprojektes bei einem Bürobau in Esslingen detailliert ausgemessen. Damit stehen für diese in der Schweiz sehr populäre Technik zur Kühlung im Sommer und Luftvorwärmung im Winter sehr gute Grundlagen zur Verfügung. Mit der Erstellung eines *TRNSYS-Simulationsmodul* für Erdregister [28] und der Weiterentwicklung eines einfacheren Modelles unter Windows [29] sind auch Hilfsmittel für die Dimensionierung anspruchsvoller Fälle verfügbar.
- Ein weiteres Projekt befasst sich mit der Kühlung durch **thermoaktive Bauteilsysteme** [8]. Auf der Basis realisierter Gebäude wurde eine vereinfachte Methode entwickelt, die es erlaubt, Systeme mit gekühlter Betondecke zu konzipieren und zu berechnen. Momentan werden die Ergebnisse noch validiert. Das Projekt wird 1999 abgeschlossen.

Im Lüftungsbereich wurde zusammen mit dem SWKI ein **Berechnungswerkzeug für den Energiebedarf von Lüftungsanlagen** [10] an die Hand genommen. Das Ziel ist die Herausgabe eines einfach bedienbaren Rechenprogramms zur Bestimmung des jährlichen Hilfsenergie- und Lüftungswärmeverbrauchs für zentrale Lüftungsanlagen.

Bei Sanierungen ist der nachträgliche Einbau von zentralen Lüftungsanlagen häufig schwierig. Das Projekt **Einsatzmöglichkeiten von Einzelraum-Lüftungsgeräten** [11] untersuchte deshalb das Verhalten einfacher Lüftungsgeräte, die sich für den nachträglichen Einbau eignen. Die Untersuchungen haben gezeigt, dass die Wärmetauscher dieser Geräte einen guten Wirkungsgrad von 60 bis 70 % aufweisen und eine gute Lüftung in einem bis zwei Räumen sichergestellt ist. Die akustischen Eigenschaften dieser Geräte verursachen jedoch häufig Probleme, weshalb die Hersteller nun diesbezügliche Verbesserungen vornehmen.

Zwei Projekte aus dem Lüftungsbereich befassen sich mit der **Diagnose von Luftwechselraten (ATEMAC [13])** und **Leckagen von Lüftungsanlagen (MEDITA [13])**. Beide basieren auf sogenannten Passive Tracern, Proben, die ein Testgas passiv absorbieren. Aufgrund der Konzentration des aufgenommenen Testgases können Aussagen über den Luftwechsel in Räumen oder

über Falschluff in Lüftungsgeräten gemacht werden. Die Vorarbeiten haben gezeigt, dass mit dieser Technik ein kostengünstiges Diagnoseinstrument entwickelt werden kann. Das Ziel der laufenden Arbeiten ist es nun, die Methode soweit zu entwickeln und zu validieren, dass sie anschliessend durch Planer und Energieberater eingesetzt werden kann.

Bereits abgeschlossen ist die von der Industrie und der EMPA durchgeführte **Evaluation von Mischgasfühler**n [14]. Sie hat gezeigt, dass diese Technik in der Lage ist, Raumluftbelastungen zuverlässig zu detektieren. Damit eröffnen sich interessante Möglichkeiten für die bedarfsabhängige Regelung von Lüftungsanlagen. Eine künstliche Nase ist dieser Sensor allerdings nur bedingt, da die Geruchsintensität einer Raumluftbelastung nicht unbedingt mit der Sensitivität des Sensors korreliert.

Ein weiteres Industrieprojekt befasst sich, im Rahmen der IEA-Aktivitäten, mit **Methoden zur automatischen Fehlerdetektion in Haustechnikanlagen** [15]. In Zukunft sollen intelligente Gebäudeleitsysteme in der Lage sein, Betriebsprobleme in haustechnischen Anlagen vor dem Auftreten der Störung zu detektieren und so den optimalen Betrieb sicherzustellen. Im Projekt werden dazu weltweit etwa 12 Pilotinstallationen getestet. Die erfolgreichsten Konzepte sollen danach in der Reglerindustrie in Produkte und Software umgesetzt werden. Projektabschluss ist Ende 1999.

Im Projekt **NEUROBAT** untersuchten das CSEM zusammen mit der EPFL alternative Regelstrategien, die nicht mehr auf physikalischen Zusammenhängen basieren, sondern **neuronale Netzwerke und Fuzzy-Logic** verwenden. Die Ergebnisse der ersten Projektphase waren sehr ermutigend (Einsparungen von 10 bis 15 % gegenüber guten herkömmlichen Heizungsreglern). Nun wird ein Industriepartner die Arbeiten fortsetzen und eine Pilotinstallation in einem Gebäude realisieren und testen [16].

Zwei weitere Projekte befassen sich mit der Wärmeerzeugung selbst:

Mit Unterstützung des Forschungsfonds der Erdöl-Vereinigung wurden **neuartige, organische Kesselbeschichtungen**, welche im Rahmen eines BFE-Projektes evaluiert wurden, in einem ausgedehnten Feldversuch mit Industriepartnern getestet. Die Erfahrungen wurden nach zwei Jahren Betrieb ausgewertet und zeigen interessante Anwendungsgebiete. In einem nächsten Schritt müssen vor allem die Heizkesselhersteller ihre Kesselkonstruktionen so anpassen, dass die Beschichtungen kostengünstig und doch zuverlässig angebracht werden können.

Das andere Heizkesselprojekt befasst sich mit dem **Jahres- resp. Normnutzungsgrad für gleitende und kondensierende atmosphärische Gasheizkessel** [17]. Im Gegensatz zum Kesselwirkungsgrad, der bei Vollast

gemessen wird, berücksichtigen Jahres- und Normnutzungsgrad auch Teillastzustände, die dem realen Einsatz eines Heizkessels näher kommen. Die Bestimmung dieser Teillastwirkungsgrade ist allerdings messtechnisch kompliziert, weshalb ein geeignetes Rechenmodell erarbeitet werden musste, um aus vorhandenen Eckdaten die

gesuchten Grössen bestimmen zu können. Dieses Modell konnte 1998 im wesentlichen erstellt werden. Erste Vergleiche mit Messdaten zeigen eine gute Übereinstimmung. Nun wird das Modell anhand weiterer Kesseltypen validiert, bevor es der Heizkesselbranche zur Verfügung gestellt wird.

Nationale Zusammenarbeit

Sowohl die Zusammenarbeit mit den Fachhochschulen als auch mit der Industrie konnte ausgebaut werden.

Die Situation der verschiedenen Fachhochschulen präsentiert sich allerdings sehr unterschiedlich. Obwohl diverse interessante Kooperationen mit Fachhochschulen gestartet und durchgeführt wurden, bleibt deren Forschungskapazität in der Regel begrenzt. Sie verfügen normalerweise nicht über die personellen Ressourcen – insb. Doktoranden – um wissenschaftliche Teams formieren zu können.

Die Bauwirtschaft selbst steckt immer noch in einer Krise. Die Forschung in der Bauwirtschaft konzentriert sich allerdings vor allem auf internationale Konzerne, die von den Markteinbussen in der Schweiz weniger hart betroffen sind.

Von den 1998 laufenden 27 Forschungsprojekten wurden 6 Projekte mit Fachhochschulen und 10 Projekte der Industrie durchgeführt. An 11 Projekten waren planende Ingenieurbüros beteiligt und in 5 Projekten wurde mit Branchenverbänden zusammengearbeitet.

Bei den Bundesämtern findet vor allem im Umweltbereich eine enge Kooperation statt. Die Aktivitäten werden im Rahmen der Koordinationsgruppe des Bundes für Energie- und Ökobilanzen, in welcher nebst dem BFE das BUWAL, das BBL und das ASTRA vertreten sind, abgesprochen und teilweise gemeinsam finanziert. Zudem ist auch über die Fachhochschulen die Zusammenarbeit mit der KTI des BBT wesentlich ausgebaut worden.

Internationale Zusammenarbeit

Die internationale Zusammenarbeit konzentriert sich mit wenigen Ausnahmen auf die Programme der *Internationalen Energie-Agentur (IEA)* und der *Europäischen Union (EU)*.

Im IEA-Programm *Energy Conservation in Buildings and Community Systems* war die Schweiz 1998 an drei Projekten beteiligt.

- *Low Energy Cooling*, Mitte 1998 abgeschlossen [26]
- *Energy Related Environmental Impact of Buildings*, laufend [1]
- *Computer-aided Evaluation of HVAC Performance*, laufend [15]

Im Joule-Thermie Programm der EU wurden insgesamt 12 schweizerische Projekte unterstützt, wobei die Finanzierung jeweils über das BBW erfolgte:

- *AIRLESS*: Planung, Betrieb und Unterhalt von Lüftungsanlagen
- *DESICAIR COOLING*: Sorptionsgestützte Kühlung
- *ECOCOOL*: Umweltfreundliche Gebäudekühlung (mit Kühltürmen)
- *EDIFICIO*: Konzepte für bessere Regelung und Integration

- *EPIQR*: Kostenplanung für Wohnbausanierung
- *NATVENT*: Natürliche Lüftung von Bürobauten
- *Optimal Design of Multi-functional and Ventilated Façades*
- *Performance Optimisation of Advanced Glazing Systems in Practical Application*
- *SAVEHEAT*: Solargestützte natürliche Lüftung mit Wärmerückgewinnung
- *TOBUS*: Planungswerkzeug für Bürogebäude-Sanierungen
- *TRIPLE-SAVE*: Integrierte Systeme für Tageslicht, Lüftung und Solarheizung
- *TIP-VENT*: Optimierung mechanischer Lüftung

Darüber hinaus beteiligte sich das Forschungsprogramm zusammen mit *DIANE* Öko-Bau an der *Green Building Challenge '98* [20], welche von Kanada initiiert wurde. In diesem Projekt wurde ein umfassendes Bewertungsinstrument für den Energieverbrauch und die Umweltbelastung von Bauten geschaffen und Fallbeispiele aus der ganzen Welt danach ausgewertet und verglichen. Die Ergebnisse wurden an der *Green Building Conference* im Herbst 98 vorgestellt.

Transfer in die Praxis

Die Umsetzung von Forschungsergebnissen in die Praxis ist oft nicht nur schwierig, sondern auch stark vom Markt abhängig. Auf der einen Seite sollten technische Neuerungen wenig kosten, auf der anderen Seite sind viele Firmen gezwungen, Innovationen auf den Markt zu bringen.

Die schwierige Situation in der Baubranche führt oft dazu, dass die Umsetzung selbst von erfolversprechenden Neuerungen in neue Produkte unplanbar ist. Zu viele Faktoren spielen für die Markteinführung eine Rolle. Die Erfahrung zeigt jedoch, dass Forschungsergebnisse auch noch nach einer "Ruhezeit" die Einführung neuer Technologien unterstützen.

Wesentlich einfacher ist der Wissenstransfer unter Planern, obwohl auch hier nur ein relativ kleiner Kreis von Spezialisten (ca. 600 in der Schweiz) erreicht wird. Diese Gruppe von Spezialisten stellt jedoch meist die Pioniere, welche Neues erstmals anwenden und das Wissen in der Praxis verbreiten. Mit der Durchführung des **10. Schweiz. Status-Seminars der Energieforschung im Hochbau** durch die EMPA [30] konnte 1998 wiederum diesen Interessierten der aktuelle Stand der Projekte vermittelt werden. Nebst den projektbezogenen Veranstaltungen, Beiträgen in der Fachpresse und Berichtübermittlungen ist dies wohl die wichtigste Möglichkeit, um sich über aktuelle Forschungs- und Entwicklungsprojekte im Gebäudebereich zu informieren.

Pilot- und Demonstrationsprojekte

Pilot- und Demonstrationsprojekte leisten einen wichtigen Beitrag zur Wissensumsetzung. Im Jahr 1998 konnten diverse Projekte abgeschlossen werden. Bei der Lancierung von neuen Vorhaben war die Rezession im Baugewerbe weiterhin deutlich spürbar.

1998 konnte das letzte von vier prämierten Projekten des Wettbewerbs für **mustergültige Mehrfamilienhaussanierung** fertiggestellt werden. Das Endresultat überzeugt nicht nur wegen der Qualität der Arbeit, sondern auch wegen der hohen Wohnwertsteigerung.

In Genf wurde das Projekt *Le Pré du Camp* abgeschlossen. Es weist verschiedene neuartige Techniken auf:

- die unverglasten gewölbten Kollektoren auf dem Dach mit einer Gesamtfläche von 1450 m² für die Vorwärmung des Warmwassers und für die Heizungsunterstützung,
- die zusätzliche Wärmebereitstellung mit zwei modulierenden Gaskesseln (20 - 100 %) mit je 200 kW Leistung,
- zwei Speicher von je 51 m³ als Verteilknoten zwischen den solaren Kreisläufen und den Heizkesseln einerseits und der Heizungsverteilung (Radiatoren und Luftvorwärmung) und Warmwasserverteilung andererseits,
- die Lüftungsanlage mit WRG, welche den Wohneinheiten einen 0.4-fachen Luftwechsel und während den Essenszeiten den doppelten Wert zuweist,
- eine innovative Regelung, welche dem Energiemanagement optimal Rechnung trägt.

Im Wohnungsbau wurden verschiedene Projekte realisiert, welche die **kontrollierte Wohnungslüftung mit WRG** demonstrieren. In Greifensee entstand ein MFH, welches mit einer neuartigen Luftverteilung die bedarfsabhängige Luftförderung regelt. Die Wärmebereitstellung erfolgt mit Wärmepumpen (Grundwasser). Das Gebäude erhielt das MINERGIE-Label des Kantons Zürich.

In Lausanne ist ein Projekt im **Sanierungsbereich** gestartet worden. Von grossem Interesse ist dabei, dass bei den 137 Wohnungen des Komplexes die bestehende Abluftanlage in eine mechanische Wohnungslüftung mit Zu- und Abluft umgebaut wird.

Weitere Projekte bestätigen die Erkenntnis, dass eine Kombination von guter Gebäudehülle und innovativer Haustechnik ein wichtiger Schritt zum kostengünstigen **Niedrigenergiehaus** darstellen. **Ökologische Bauweise** wird neben der Energieeffizienz zunehmend zu einem wichtigen Kriterium.

Die bei P+D-Projekten vorgeschriebenen Erfolgskontrollen liefern in der Regel die Bestätigung für die hohe Qualität der Projekte bei vergleichsweise günstigen Kosten. Umfangreichere Messungen haben sich gegenüber früheren P+D-Projekten etabliert. Die Preise im Bausektor sind soweit gedrückt, dass nicht um eine Subvention nachgefragt wird, sondern Messungen beantragt werden. Pilot- und Demonstrationsprojekte des BFE haben einen guten Ruf, sodass die Unterstützung oft als ein Marketinginstrument oder Qualitätsausweis verwendet wird.

Bewertung 1998

Es ist grundsätzlich schwierig ein Jahr für sich allein zu bewerten. Das Programm "Rationelle Energienutzung in Gebäuden" weist eine grosse Vielfalt von Aktivitäten auf, sodass jedes Jahr neue, wichtige Ergebnisse erzielt und Meilensteine erreicht werden.

Insgesamt konnten 1998 eine grosse Anzahl Projekte abgeschlossen und für die noch laufenden Projekte gute Fortschritte erzielt werden. Besonders erwähnenswert sind natürlich Produkte, wie das Programm OGIP für die gesamtheitliche Betrachtung von Bauvorhaben, das

Programm LESOKAI 4.0 für die Bauteilanalyse, die Erdregistermodelle und das Programm SIA 382/3 für den Kühllastnachweis, die nun direkt in der Praxis eingesetzt werden können. Aber auch die Planungshilfsmittel für die passive Kühlung dürften auf ein gutes Echo in der Praxis stossen. Die Zusammenarbeit mit der Industrie konnte erfolgreich weitergeführt und diejenige mit Fachhochschulen ausgebaut werden. Die neu gestarteten Projekte basieren auf dem Forschungsplan 1996-1999. Neue grosse Projekte sind erst wieder ab 2000 zu erwarten.

Ausblick 1999

1999 ist das letzte Jahr der gegenwärtigen Planungsperiode. Deshalb soll nicht nur eine Reihe von Projekten abgeschlossen, sondern auch die Planung des Programmes 2000 bis 2003 an die Hand genommen werden. Welchen Einfluss die bilateralen Verhandlungen mit der EU sowie die Verwaltungsreform des Bundes haben, kann noch nicht abgeschätzt werden.

Wichtige Arbeiten werden sein:

- Einführung des Softwarepaketes OGIP zur **gesamtheitlichen Optimierung von Bauten** bezüglich Energie, Umwelt und Kosten, zusammen mit dem CRB.
- Fertigstellen von Planungsgrundlagen für die ökologische Beurteilung von Bauten sowie für deren **nachhaltige Erneuerung**.
- Start der Entwicklungs- und Demonstrationsprojekte für **Hochisolationstechniken** in Zusammenarbeit mit der Industrie.
- Demonstration neuer **Sanierungslösungen für bestehende Fenster**.
- **Fertigstellen der Planungsgrundlagen für thermoaktive Bauteilsysteme**.
- Erstellen einer Software zu Bestimmung des **Jahresenergiebedarfs von Lüftungsanlagen**.
- Entwicklung eines **Prototyp-Heizungsreglers** auf der Basis von neuronalen Netzwerken.
- Ausarbeitung eines **Konzeptes** für die zukünftige Förderung von Entwicklungen und Arbeiten im Bereich der **thermischen Gebäudesimulation**.

Projektliste

- [1] A. Lalive, ETH-Zürich: *IEA/BCS Annex 31: Energy Related Environmental Impact of Buildings* (JB)
- [2] H.-P. Goeggel, CRB, Zürich: *OGIP '98: Optimierung von Gesamtanforderungen für Energieverbrauch, Umweltbelastung und Baukosten* (JB)
- [3] A. Binz, FH-Basel, Muttenz: *Ökologische Beurteilung von Erneuerungsstrategien im Wohnungsbau* (JB)
- [4] H. Gubler, F. Emrich, VERBAND SCHWEIZ. ZIEGELINDUSTRIE, Zürich: *Hochwärmedämmendes Verbandmauerwerk* (SB)
- [5] H.-P. Eicher, EICHER & PAULI, Liestal: *Hochleistungswärmedämmung: Vorbereitung von Pilotanwendungen mit teilevakuierten Dämmstoffen* (SB) ♦ *Sanierung von einfach- und doppeltverglasten Fenstern*
- [6] H. Simmler, EMPA-Dübendorf: *Wärmelasten transparenter Bauteile und Sonnenschutzsysteme* (JB)
- [7] R. Sigg, R. Uetz, INTEP, Zürich: *Messprojekt Luftansaug-Erdregister Centro Tecnico Giubiasco* (SB)
- [8] M. Koschenz, EMPA-Dübendorf: *Planungshilfsmittel für thermoaktive Bauteilsysteme* (JB)
- [9] V. Dorer, EMPA-Dübendorf: *Energierachenunterstützung für Gebäude- und Haustechniksimulationen* (JB)

- [10] A. de Martin, G. Zweifel, SWKI, Bern: *Ein- und Ausgabeprogramm für Berechnung des jährlichen Energiebedarfs von Lüftungstechnischen Anlagen gemäss SWKI-Richtlinie 95-3* (JB)
- [11] H. Manz, EMPA-Dübendorf: *Einzelraumlüftungsgeräte mit Wärmerückgewinnung* (SB)
- [12] H. Huber, HTA-Horw: *Luftkanal-Wärmetauscher* (JB)
- [13] C. Roulet, EPF-Lausanne: *Programme LESOKAI 2.0* (SB) ♦ *ATEMAC, Application des traceurs passifs pour l'étude des mouvements d'air et de contaminants* (JB) ♦ *MÉDITA, Méthode de diagnostique des installations de traitement d'air* (JB)
- [14] R. Gehrig, EMPA-Dübendorf: *Verhalten und Einsatzpotentiale von Mischgasfühlern für oxidierbare organische Gase* (SB)
- [15] P. Gruber, LANDIS & STÄFA, Zug: *IEA/BCS Annex 34: Fehlerdetektion- und Diagnosemethoden* (JB)
- [16] M. Brückner, SAUTER, Basel: *Neurobat, Neurofuzzy-Heizungsregler (Phase I)* (SB)
- [17] J. Brenn, EMPA-Dübendorf: *Rechenmodell zur Bestimmung des Nutzungsgrades atmosphärischer Gasheizkessel* (JB)
- [18] R. LÜTHI, Regensberg: *Messprojekt Niedrigenergiehäuser Dielsdorf* (SB)
- [19] Ch. Filleux, BASLER & HOFMANN, Zürich: *Demonstration innovativer Technologien und nachhaltigen Bauens am Geschäftshaus Esslingen* (JB)
- [20] W. Hässig, BASLER & HOFMANN, Zürich: *Schweizer Beteiligung an Green Building Challenge* (SB)
- (JB) Jahresbericht 1998 vorhanden
(SB) Schlussbericht vorhanden

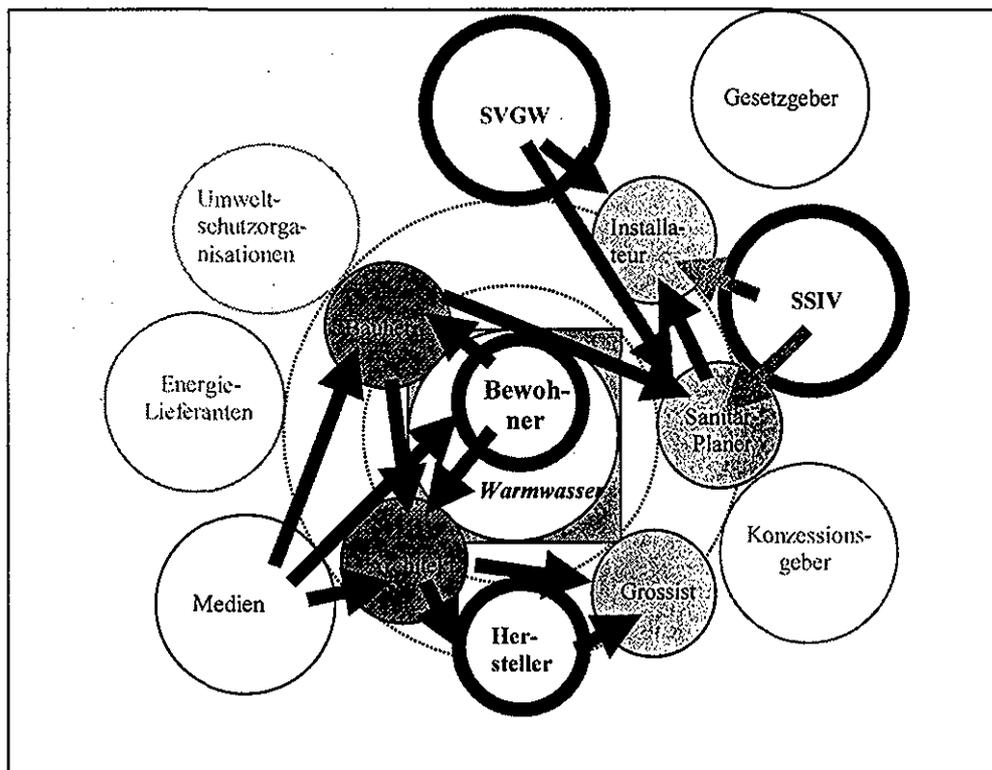
Referenzen

- [21] M. Zimmermann, EMPA-Dübendorf: *Forschungsprogramm Rationelle Energienutzung in Gebäuden*, Januar 1996, rev. Januar 1998
- [22] P. Burkhardt et al, BFE, Bern: *Hauptbereichsprogramm Gebäude 1996 – 1999*, November 1996, rev. September 1997
- [23] SIA, Zürich: *SIA Doku D0152, Instrumente für ökologisches Bauen im Vergleich – ein Leitfaden für das Planungsteam*, September 1998, Bezug SIA, Zürich
- [24] U. Kasser, M. Pöhl, BÜRO FÜR UMWELTCHEMIE, Zürich: *Harmonisierung von Grauenergiedaten im Baustoffbereich, November 1998 ♦ Graue Energie von Baustoffen*, 2. Auflage November 1998, Bezug BÜRO FÜR UMWELTCHEMIE, Zürich
- [25] SZFF et al, *Dietikon: Bestimmung der wärmetechnischen Einflüsse von Wärmebrücken bei vorgehängten hinterlüfteten Fassaden*, 1998, Bezug SZFF, Dietikon
- [26] IEA-BCS-Annex 28, Low Energy Cooling: *Selection Guidance... / Early Design Guidance... / Detailed Design Tools... / Case Study Buildings of Low Energy Cooling Systems*, Bezug EMPA ZEN, Dübendorf
- [27] M. Zimmermann et al., EMPA-Dübendorf: *Handbuch der passiven Kühlung*, Februar 1999, Bezug EMPA ZEN, Dübendorf
- [28] B. Lachal, CUEPE, UNI-Genève: *Model tube enterrés adapté à l'environnement TRNSYS*, 1998, Bezug CUEPE, UNI-Genève
- [29] A. HUBER, Zürich: *Widerstands-Kapazitätenmodell für Auslegung von Luft-Erdregistern*, 1998, Bezug A. HUBER, Zürich
- [30] M. Zimmermann, H. Bertschinger et al, EMPA-Dübendorf: *10. Schweizerisches Status-Seminar Energieforschung im Hochbau*, September 1998, Bezug EMPA ZEN, Dübendorf

RATIONELLE ENERGIENUTZUNG WARMWASSER

Überblicksbericht
zum Forschungsprogramm 1998

Thomas Lang
thomas.lang@bfe.admin.ch



Marktstruktur Warmwasser

Im Zentrum des Wirkungsnetzes stehen die Bewohner. Sie setzen mit ihren Komfort-Ansprüchen die Massstäbe. Die Akteure im innersten Kreis haben den grössten Einfluss auf das Produkt "Warmwasser". Am äussersten Kreis befinden sich die Beeinflusser, welche die Rahmenbedingungen setzen.

Übersicht

Bei energetischen Betrachtungen von Gebäuden wurde das Warmwasser bis anhin untergeordnet behandelt; Gebäudehülle und Haustechnik standen im Zentrum. Heute zeigt sich, dass mit zunehmender Qualität der Haustechnik und der Gebäudehülle das Warmwasser ein wichtiges Element wird.

Die Ziele des Programms sind:

- Reduktion des Energieverbrauchs für das Warmwasser von 10 % bis ins Jahr 2000;
- Reduktion des Energieverbrauchs um weitere 25 % (bei bestehenden Bauten) resp. 15 % (bei Neubauten) bis ins Jahr 2010.

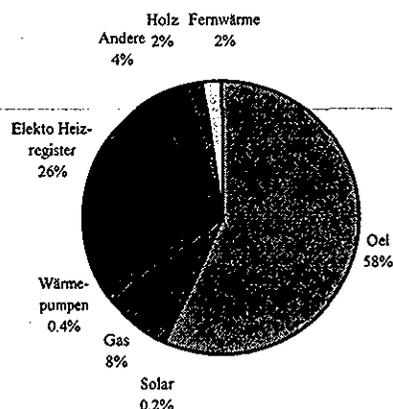
Vorerst sollen einerseits bestehende Wissenslücken geschlossen und neue Lösungen vorgezeigt werden. Dabei muss die grosse Unsicherheit, die bei den Planern und Installateuren herrscht, beseitigt werden. Andererseits müssen die heute vorhandenen Kenntnisse in die Praxis umgesetzt und die Sparpotentiale soweit als möglich ausgeschöpft werden.

ENERGIEVERBRAUCH WARMWASSER

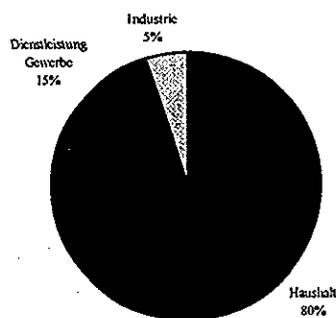
Exakte Zahlen, wieviel Energie in der Schweiz für das Warmwasser benötigt wird, existieren nicht. Es wird geschätzt, dass jährlich rund 14'000 GWh Energie für das Warmwasser aufgewendet werden. Die Aufteilung auf die Energieformen und die Verwendungszwecke sieht wie folgt aus:

- 90 % des Warmwassers wird mit Öl, Gas oder Elektrizität erzeugt; die erneuerbaren Energieträger nehmen heute noch eine untergeordnete Rolle ein.
- Das Warmwasser wird grösstenteils (80 %) im Haushalt verbraucht.

Das Sparpotential wird auf mindestens 2'700 GWh oder 20 % geschätzt und ist somit erheblich.



Abschätzung der Wassererwärmung nach Energieträger in der Schweiz.



Abschätzung des Warmwasserverbrauchs nach Sektoren

Schwerpunkte der Arbeiten

Das Warmwasserprogramm hat folgende Schwerpunkte:

1. Breite Umsetzung des vorhandenen Wissens im Warmwasserbereich mittels Social-Marketing Ansatz
 - bessere Installationen
 - besseres Verhalten
2. Bedarfsorientierte Forschung auf Grund der Erfahrung aus dem Social-Marketing Projekt
 - Schwerpunkte bei den Gebäuden sind die Haushalte (MFE, EFH)
 - Schwerpunkte bei der Wassererwärmung sind Öl, Gas und Elektro-Wassererwärmer

SOCIAL-MARKETING ANSATZ

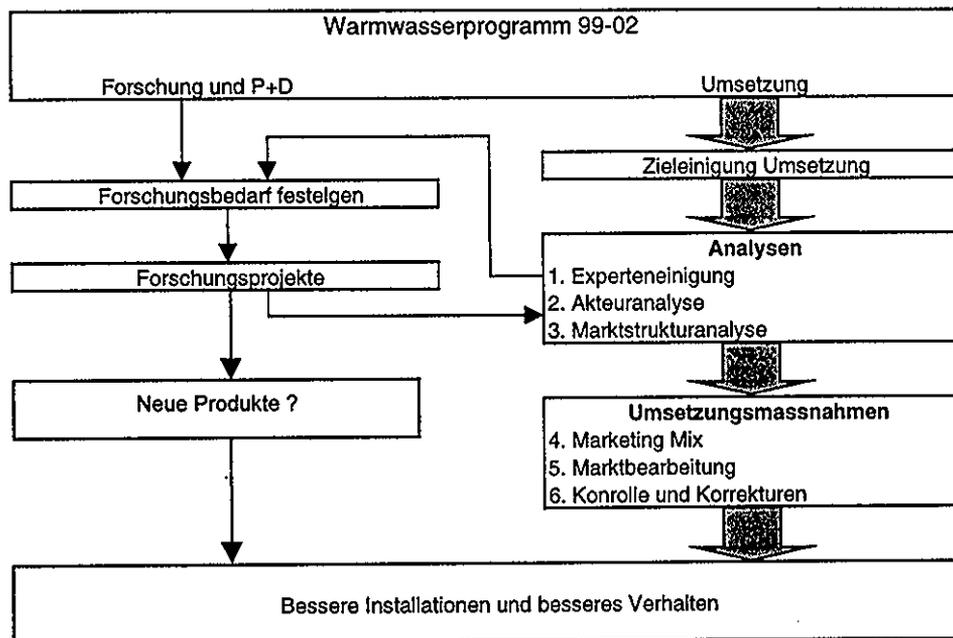
Das Programm wird von der Umsetzung geprägt. Die Idee des Social-Marketing-Ansatzes macht den Erfolg

einer breiten Umsetzung von folgenden Faktoren abhängig:

1. Die Experten müssen sich einig sein, welches die technisch richtigen Lösungen sind. Solange keine Experteneinigung stattgefunden hat, gibt das BFE keine Empfehlungen ab.
2. Damit eine Verhaltensänderung eingeleitet werden kann, müssen die Akteure erkannt und gefunden werden:
 - Wie weit werden die technisch richtigen Lösungen bereits heute angewendet?
 - Weshalb befolgen die einzelnen Akteure einzelne Empfehlungen nicht?
 - Welches sind die möglichen Motive, damit diese befolgt werden?

3. Für eine effiziente Verbreitung der neuen Erkenntnisse muss erforscht werden, über welche Kanäle die Akteure ihre Informationen und Hilfsmittel bezie-

hen. Wenn es gelingt, diese Anliegen über die bestehenden Kanäle zu verbreiten, kann die Information in einem guten Kosten/Nutzen-Verhältnis gestreut werden.



Ablauf Warmwasserprogramm: Aus den Umsetzungsaktivitäten wird der Forschungsbedarf bestimmt.

Anvisierte Zielpunkte für F, E&D

Die Ziele des Forschungs-, Pilot- & Demonstrationsprogramms "Rationelle Energienutzung Warmwasser" 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.

Bei den Pilot und Demonstrationsprojekten wird eine aktivere Programmgestaltung angestrebt.

Die technologischen Zielsetzungen konzentrieren sich auf die in der Einleitung erwähnten Schwerpunkte

Im Berichtsjahr wurden Projekte in diesen Gebieten vorbereitet, Ergebnisse liegen erst wenige vor.

1998 durchgeführte Arbeiten und erreichte Ergebnisse

SOCIAL-MARKETING

Im Rahmen der Analysen für das Social-Marketing war die Experteneinigung das zentrale Element.

Experteneinigung [1]

In einer Expertenrunde wurden vorwiegend Thesen bezüglich energetischer Optimierung von Warmwassersystemen diskutiert, zu denen es widersprüchliche Aussagen von Experten oder in der Fachliteratur gibt. Als Resultat dieser Diskussion zeigt es sich, dass zur Zeit keine eindeutige Aussage zu machen ist, was eine energetisch, ökonomisch und ökologisch gute und was eine schlechte Anlage ist. Damit klarere Aussagen gemacht

werden können, sollen mittels einem Simulationsprogramm die widersprüchlichen Aussagen geprüft werden. Sobald diese Resultate vorliegen, kann die Experteneinigung abgeschlossen werden.

Die Verhaltensregeln für einen sparsamen Umgang wurden nicht bearbeitet, da sie in anderen ENERGIE 2000 Projekten hinlänglich unter Experten diskutiert wurden. Bekannt und unbestritten sein heisst aber noch nicht in der Praxis umgesetzt. Die steigenden Wasserpreise dürften, wenn sie in den Medien thematisiert werden, eine Veränderung des Verhaltens beim rationellen Umgang mit dem Warmwasser positiv beeinflussen. Durch

die verhaltensbedingten Einsparungen wird der Energieverbrauch für Warmwasser jedoch nicht im selben Mass zunehmen wie die Komfortansprüche bezüglich Warmwasser steigen.

Marktstruktur-Analyse Warmwasser [5]

Im Wirkungsnetz "Warmwasser" stehen die Bewohner im Zentrum. Sie setzen mit ihren Komfort-Ansprüchen die Massstäbe. Diese Ansprüche betreffen in erster Linie die örtliche, zeitliche, mengenmässige und qualitative Verfügbarkeit des Wassers am Verbrauchsort.

Die Grafik (siehe Titelblatt) zeigt das Wirkungsnetz. Die Akteure im innersten Kreis haben den grössten Einfluss auf das Produkt "Warmwasser". Am äussersten Kreis befinden sich die Beeinflusser, welche die Rahmenbedingungen setzen.

Der Schweizerische Verein des Gas- und Wasserfaches (SVGW), der schweizerische Spenglermeister- und Installateure-Verband (SSIV), die Hersteller und die Bewohner sind die vier Akteurguppen welche für die weitere Marktbearbeitung einzubeziehen sind.

Simulation Warmwassersysteme [3]

Das Projektziel ist es, die widersprüchlichen Aussagen der Experten zu klären. Dazu werden die verschiedenen Warmwassersysteme dynamisch simuliert, miteinander verglichen und anschliessend in energetischer, ökologischer und ökonomischer Weise beurteilt.

Economy-Wasserarmatur [2]

Im Rahmen der Expertengespräche des Social-

Marketing-Ansatzes wurden Kriterien für eine energetisch gute Wasserarmatur definiert. Das Projekt "Markt-abklärungsstudie für Economy-Wasserarmaturen" untersucht den Markt, die Rahmenbedingungen und den Bedarf für eine ökonomische Wasserarmatur.

AUSZEICHNUNG

Mittels Entscheidungshilfen (Labels) soll die Kompetenz der Besteller zur Beurteilung von energetisch guten Komponenten auf einfache Weise verbessert werden. Es ist ein Konzept ausgearbeitet worden, wie die "Auszeichnung von energetisch guten Sanitär-Armaturen" aussehen könnte [4]. Geplant ist, Armaturen, Duschenbrausen und Durchflusskonstanthalter, welche gewisse Kriterien erfüllen, mit dem ENERGIE 2000-Label auszuzeichnen.

Wärmerückgewinnung aus Duschenabwasser [6]

Für das Duschen wird in einem energieoptimierten Neubau ein erheblicher Anteil der Energie verwendet. Die Dusche ist ein Ort, welcher sich besonders für eine Wärmerückgewinnung. Ein Konzept zeigt, wie 30 - 40 % der Energie des Abwassers zurückgewonnen werden kann. Der Lösungsansatz ist insofern interessant, weil er ohne Speicher auskommt und sich auch bei Sanierungen einfach einbauen lässt.

PILOT- UND DEMONSTRATIONSPROJEKTE

Im Jahr 1998 wurden keine Pilot- und Demonstrationsprojekte eingereicht und durchgeführt.

Ausblick 1999

Das Schlüsselprojekt 1999 ist die Simulation der "Warmwassersysteme". Basierend auf den zu erwartenden neuen Aussagen kann die Experteneinigung voraussichtlich 1999 abgeschlossen und danach die Akteur-Analyse durchgeführt werden.

Parallel wird das Projekt "besseres Verhalten" gestartet. Ziel ist es, die Benutzer zu sensibilisieren und auf eine Veränderung bei ihrem Verhalten hinzuwirken.

Des weitern wird angestrebt, erst P+D-Projekte zu starten.

Projektliste

- [1] T. Lang, R. Messmer, BFE, Bern: *Zwischenbericht Experteneinigung Warmwasser*, 1998
- [2] M. Steiner, FH-St. Gallen: *Marktklärung Economy-Wasserarmatur*, 1998 (SB)
- [3] ARGE ALPHA REAL, ARENA, CARBOTECH, IC HAUSTECHNIK, Zürich: *Simulation Warmwassersysteme*, 1998
- [4] G. Morandini, OEKAG, Luzern: *Konzept Labeling Wasserarmaturen*, 1998 (SB)
- [5] R. Messmer, K.M. MARKETING UND KOMMUNIKATION, Winterthur: *Marktstrukturanalyse Warmwasser*, 1998 (SB)
- [6] J. Ganz, AMSTEIN + WALTHERT, Zürich: *Wärmerückgewinnung Duschen-Abwasser*, 1998

(SB) Schlussbericht

SOLARARCHITEKTUR

Überblicksbericht
zum Forschungsprogramm 1998

S. Robert Hastings
hastings@orl.arch.ethz.ch



Kostengünstiger Luftkollektor an Einfamilienhaus in Trun (GR)

Praktisch die ganze Südfassade dieses Einfamilienhauses ist mit einer rahmenlosen Einfachverglasung abgedeckt. Die einfallende Sonnenstrahlung wird vom dunkel gefärbten Holz der Wand absorbiert. Dadurch erwärmt sich die Luft zwischen Wand und Glas und es resultiert ein wirksamer, kostengünstiger Luftkollektor.

Programmübersicht

Die Solararchitektur strebt an, Gebäude so zu gestalten, dass die Sonne gezielt als Licht- und Wärmequelle einbezogen wird um den Verbrauch nicht erneuerbarer Energieträger extrem tief zu halten. Orientierung und Form des Gebäudes, Verhältnis von transparenten zu opaken Teilen in der Gebäudehülle, Zonierung, Materialien und Anordnung der thermischen Masse werden so gewählt, dass einerseits möglichst viel der angebotenen Sonnenenergie aufgenommen wird und sofort oder zeitlich verzögert die energetischen Komfortansprüche der Bewohner erfüllen kann. Dabei soll im Sommer keine Überhitzung auftreten. Durch Zusammenarbeit mit Industrie, Forschungsinstituten und Schulen werden Grundkenntnisse und praktische Erfahrungen gewon-

nen, die es erlauben sollen, den Energiebedarf von Gebäuden immer weiter zu senken ohne Einbussen an Komfort hinnehmen zu müssen. Es ist Aufgabe des **Forschungsprogramms 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 in die Praxis sowie in Aus- und Weiterbildung eingebracht werden. Wegen beschränkten Mitteln ist eine starke Verknüpfung mit komplementären Forschungstätigkeiten im Ausland unerlässlich.

Schwerpunkte für 1998

Generell: Gemäss Forschungsplan 1996-1999 sind für

- die direkte Solarnutzung,
- die indirekte Solarnutzung und
- die Systemintegration

Wissenslücken zu schliessen, Planungshilfen zu erstellen und realisierte Konzepte zu überprüfen.

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 eine Voraussetzung für die Optimierung. Dazu ist das Gebäude als Ganzes zu betrachten und die Berücksichtigung aller Endnutzungen wichtig. Im Rahmen dieses Programms werden für die Optimierung Energie und Ökologie berücksichtigt.

1998 durchgeführte Arbeiten und erreichte Ergebnisse

DIREKTE SOLARNUTZUNG – WÄRME

Validierung von Simulationsprogrammen [2]

Die in der Schweiz üblicherweise eingesetzten Simulationsprogramme sollen anhand realer genutzter Bauten, von welchen Messdaten vorhanden sind, praxisnah validiert werden. Diese Arbeit wird im internationalen Rahmen eines Projektes der IEA durchgeführt. Bisherige Überprüfungen haben gezeigt, dass gewisse Modelle die Tendenz haben, Raumlufttemperaturen zu hoch auszuweisen. Notwendige Korrekturen sind in Arbeit.

Anwendung der Methode "Klimaflächen" und der dynamischen Speicherberechnung [4]

Am Lehrstuhl für Bauphysik an der ETH wurden zwei Methoden zur energetischen Analyse von Bauten erarbeitet. "Klimaflächen" ist die Bezeichnung einer Me-

thodik, die es Planenden erlauben soll, Bauten im Entwurfsstadium bezüglich der energetischen Qualitäten zu untersuchen. Die zweite Methode dient zur Analyse und Dimensionierung von Speichermassen unter Berücksichtigung des dynamischen Verhaltens. Beide Methoden wurden anhand einer realisierten Baute praktisch angewandt. Die Methode "Klimaflächen" könnte ein gutes Planungsinstrument für die Entwurfsphase abgeben, sie muss jedoch noch einfacher einsetzbar sein. Die Methode der dynamischen Speicheranalyse liefert Resultate, welche mit Messungen recht gut übereinstimmen. Allerdings setzt sie beim Anwender ein hohes mathematisches und physikalisches Verständnis voraus.

Optimisation du bilan thermique en temps réel [8]

Dieses rechnergestützte Planungshilfsmittel ermöglicht

dem Entwerfer, rasch den Einfluss von Änderungen am Gebäude auf den Wärmebedarf zu bestimmen und erlaubt eine grosse Anzahl von Varianten miteinander zu vergleichen. Dank einer umfangreichen Datenbank von vordefinierten Bauteilen können Änderungen schnell eingegeben werden. Im abgelaufenen Jahr wurde eine Beta-Version erstellt, welche zur Zeit von Architekten und Planern erprobt wird. Festgestellte Mängel werden im kommenden Jahr bei der Erarbeitung der Endversion ausgemerzt werden.

LESOSHADE und LESOCONF [7]

Zwei Computerprogramme wurden fertiggestellt, die das zur Berechnung von Monatsbilanzen verwendete Computerwerkzeug LESOSAI ergänzen. LESOSHADE dient zur Berechnung von Beschattungsfaktoren. Gebäude, Bäume oder andere polygonförmige Schattenwerfer können vorgegeben werden. Eine 3-dimensionale Darstellung erlaubt, den Verlauf des Schattenwurfes auf einer Fassade in Stundenschritten visuell zu verfolgen. Für die Weiterverarbeitung in andern Rechenprogrammen können stündliche und monatliche Beschattungsfaktoren berechnet und übergeben werden. LESOCOMFORT liefert Angaben über den thermischen Komfort für einen Zeitabschnitt mit Spitzenbelastung. Die Grunddaten des Gebäudes können aus dem Programm LESOSAI übernommen werden und sind für diese Berechnungen zu ergänzen. Beide Programme können sowohl selbständig wie auch in Verbindung mit LESOSAI eingesetzt werden. Die Arbeiten an diesem Projekt sind abgeschlossen.

Incidence de la typologie des façades double-peau sur leurs performances énergétiques [6]

Doppelwandfassaden können verschiedene Funktionen übernehmen wie thermische Isolation, Überhitzungsschutz, Lüftungskanal und Schallschutz. Es wurde der Einfluss verschiedener Parameter – Durchlassgrad, Anteil der transparenten Fläche, Abstand der äusseren zur inneren Haut – auf Energieverbrauch und Komfort untersucht. Daraus wurden Konstruktionsregeln hergeleitet. Im vergangenen Jahr wurde der dreiteilige Schlussbericht fertiggestellt. Der erste Teil enthält Planungsrichtlinien für den Praktiker; der zweite Resultate aus Versuchen und Messungen und der dritte behandelt die physikalischen und mathematischen Grundlagen.

Sonnenenergienutzung bei Gebäudesanierungen [9]

Der wachsende Sanierungsbedarf des Gebäudebestandes bietet die Chance, im Zusammenhang mit Renovationen die Nutzung der Sonnenenergie zu verstärken und so den Primärenergiebedarf weiter zu senken. Um diese Chance zu nutzen wurden auf nationaler und internationaler Ebene geeignete Konzepte erarbeitet und Informationsmaterial für die Umsetzung bereitgestellt. Insgesamt liegen von 12 Sanierungsprojekten Daten über den energetischen Erfolg sowie Angaben über Bauprojekt und Baukosten vor. Sie sollen in einer 16-seitigen Farbbroschüre ca. Mitte 1999 vorgestellt werden (englisch). Zielpublikum sind Hersteller von Komponenten und Systemen sowie Planer und Anwender von Sanierungskonzepten.

Méthode de planification pour optimiser l'utilisation de l'énergie solaire [16]

Es werden Werkzeuge und Methoden entwickelt und erprobt, die dem Planer helfen, bei der Konzipierung von Bürobauten die solaren Gewinne schon in einem frühen Stadium einzubeziehen und so eine optimale Nutzung der Sonnenenergie sicherzustellen. Das Projekt wurde erst kurz vor Jahresende gestartet und Ergebnisse liegen deshalb noch nicht vor.

DIREKTE SOLARNUTZUNG – TAGESLICHT

DIAL – Outil d'aide à la décision en éclairage naturel / Extension du programme DIAL – Etude des performances d'un dispositif anodolique [5]

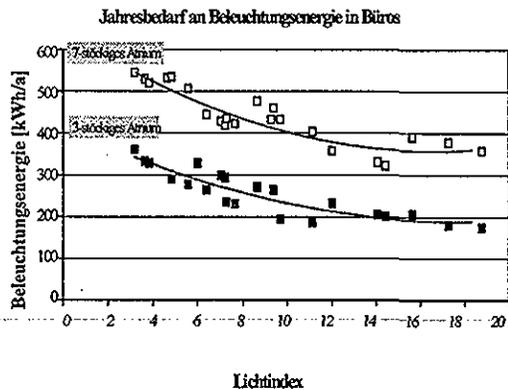
DIAL ist ein Informatikwerkzeug, das den Planer beim Untersuchen von Tageslichtsystemen unterstützt. Die Benutzeroberfläche ist so gestaltet, dass keine speziellen Kenntnisse über Tageslichtanwendungen nötig sind. 1998 wurde das Programm fertiggestellt und getestet. Das Programm wurde etwa einhundert Architekturstudenten und Fachleuten zur Erprobung überlassen. Weiter wurden die Daten von 40 ausgemessenen und 47 berechneten Räumen als Anschauungsobjekte eingespeichert. Nun liegt eine betriebsbereite Version vor. Im kommenden Jahr wird das Programm erweitert mit einem Modul zur Analyse von Atrien und angrenzenden Büroräumen, mit Daten von zusätzlichen Verglasungsmaterialien und einer Verbindung zum Simulationsprogramm ADELINÉ.

Chaîne de mesure de lumière naturelle – Analyse de bâtiment [10]

Es wurde eine Vorrichtung gebaut, mit der Tageslichtfaktoren in Gebäuden vollautomatisch gemessen werden können. Sie besteht aus acht Beleuchtungsmessern für den Einsatz im Innern und einem zur Messung der horizontalen Aussenhelligkeit. Die Messdaten werden auf einem Computer gespeichert. Im abgelaufenen Jahr wurden die elektronischen Schaltkreise entwickelt und gefertigt. Die Inbetriebnahme der Messkette ist auf Anfang 1999 vorgesehen. Es werden 1999 in zwei Gebäuden die Tageslichtverhältnisse ausgemessen.

Tageslichtnutzung in an Atrien grenzenden Räumen [1]

Hier wurde untersucht, wie verschiedene Formen von Atrien das Tageslichtangebot in angrenzenden Büroräumen beeinflussen. Die Situation Atrium-Büro wird mit folgenden Kenngrössen beschrieben: Transmission des Glasdaches τ_a , Anteil des transparenten Teils an der gesamten Dachfläche des Atriums A_a , Reflexionsgrad der Atriumwände ρ_{eff} , Transmissionsgrad der Bürofenster $t_{o,gl}$ und das Verhältnis Bürofensterfläche zu Fassadenfläche $A_{o,gl}$. Das Produkt aus diesen Grössen $\tau_a * A_a * \rho_{\text{eff}} * t_{o,gl} * A_{o,gl}$ wird als Lichtindex bezeichnet. Er dient als Variationsgrösse in einem einfachen Entwurfshilfsmittel, womit sich der Elektrizitätsverbrauch für Beleuchtungszwecke ermitteln lässt. Die Arbeiten sind abgeschlossen und die Erkenntnisse sind in einem Schlussbericht dokumentiert.



Jährlicher Energiebedarf für Beleuchtungszwecke in Abhängigkeit von den im Lichtindex zusammengefassten Atriumsparametern.

Tageslichtnutzung in Tunneln [1]

An Modellen der Tunneleinfahrt "Jonerwald" wurden für verschiedene Beleuchtungsverhältnisse im Freien Tageslichtmessungen im Bereich der Tunneleinfahrt durchgeführt und mit dem Simulationsprogramm *Radiance* wurden die gleiche Konstellation durchgerechnet. Die Übereinstimmung der Ergebnisse war zufriedenstellend. Mit *Radiance* wurde anschliessend berechnet, wieviel Tageslicht mit Lichtlenksystemen in die Tunneleinfahrt gebracht werden kann. Es zeigte sich, dass mit anidolischen Systemen bis zu einer Tiefe von 50 m der Tageslichtfaktor merklich erhöht werden kann. Diese Aussage wird 1999 noch mit Modellmessungen überprüft werden. Dann muss berechnet werden, wieviel Beleuchtungsenergie mit solchen Systemen eingespart werden könnte.

INDIREKTE SOLARNUTZUNG – KONVEKTIV

Solare Luftsysteme für Gebäude (IEA-Projekt: *Solar Air Systems for Buildings*) [3]

Durch Schaffung von Planungswerkzeugen und Prüfung zukunftssträchtiger Komponenten sollen solare Luftsysteme gefördert werden. Im vergangenen Jahr lag das Hauptgewicht der Arbeit auf der Redaktion eines Handbuchs. In einer Sammlung von Fallbeispielen werden 35 Bauten mit Luftsystemen vorgestellt. Ein Handbuch für Planer enthält Daten, Nomogramme und weitere Hilfsmittel zur Auslegung von Luftsystemen. Ein PC-Programm erlaubt, für vorgegebene Konfigurationen Parametervariationen durchzurechnen. In einem Produktkatalog sind ausgewählte Datenblätter von Komponenten für Luftheizsysteme zusammengestellt. Das Projekt wird 1999 abgeschlossen.

Messprojekt WASAG, Photovoltaik- und Luftabsaugfassade [11]

Südfassade und Dach des Lagerhauses der WASAG in Oberentfelden ist mit Photovoltaikmodulen belegt. Die Südwand ist zusätzlich als Luftabsaugfassade vom Typ "SOLARWALL" ausgelegt. Mit diesem Messprojekt ging es um die Überprüfung der Zweckmässigkeit dieser Kombination. Die Messungen zeigen, dass der Beitrag der SOLARWALL / Photovoltaik an den Wär-

meertrag gering ist gegenüber demjenigen des Solardaches. Zur Zeit wird im Raum Sarnen eine weitere SOLARWALL ohne vorgehängte Photovoltaikmodule gebaut. Ein Vergleich der Erträge der beiden Anlagen wird zeigen, ob der geringe Ertrag der Wand von "WASAG" auf Beschattung durch die Photovoltaik zurückzuführen ist. Der Schlussbericht wird anfangs 1999 fertig sein.

Auslegung von Hypokausten – Luftsysteme zum Heizen und Kühlen [13]

Das Projekt soll aufzuzeigen, wie solare Luftsysteme zusätzlich zur herkömmlichen Funktion als Heizung zur sommerlichen Kühlung von Bauten eingesetzt werden können. Es wurden Simulationsrechnungen durchgeführt und verschiedene Kühlstrategien verglichen. Kühlung durch Nachtlüftung ist eine erste, einfache aber wirksame Massnahme. Hypokausten als zweite Variante haben grosse Austauschflächen und bringen deshalb schon bei geringen Temperaturdifferenzen innen/aussen einen Beitrag an die Kühlung. In Kombination mit Nachtlüftung tragen sie wesentlich bei zum thermischen Komfort im Sommer. Als dritte Möglichkeit ist Vorkühlung der Luft in Erdkanälen dann zu empfehlen, wenn die Aussenluft zu warm ist, um direkt benutzt werden zu können. Dieses Verfahren eignet sich aber nicht für Kombinationen mit Hypokausten. Durch Kühlung der Baumasse werden Kühllastspitzen verringert, was eine Reduktion der Kühlleistung um ca. 50 % erlaubt.

Wirtschaftlich und gesamtökologische Optimierung eines konvektiven Luftsystems [14]

Praktisch die ganze Südfassade eines Einfamilienhauses wird als zweistöckiger Luftkollektor von 33 m² Fläche genutzt. Als Absorber dient die dunkel eingefärbte Holzstülpeschalung, welche durch eine eisenarme Securiverglasung abgedeckt ist. Die erwärmte Luft wird mit einem Ventilator in die massiven Böden und Innenwände des Hauses geblasen, wo sie ihre Wärme abgibt. Dieses einfache solare Luftsystem arbeitet wirtschaftlich und reduziert den Restheizbedarf auf 108 MJ/m², der problemlos über eine Holzheizung gedeckt werden kann. Das Projekt wurde 1998 abgeschlossen, der Schlussbericht liegt vor.

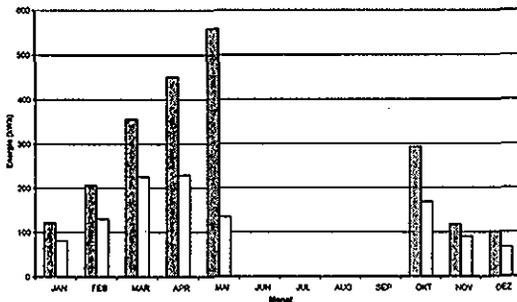
Modélisation de grands espaces vitrés [15]

Zur Modellierung hoher verglaster Räume müssen für Temperaturschichtung, natürliche Ventilation, Verteilung der solaren Gewinne und das Komfortverhalten vereinfachte Modelle zu existierenden Simulationsprogrammen erarbeitet werden. Diese Modelle wurden im internationalen Rahmen eines IEA-Projektes erarbeitet. Im nationalen Rahmen wurden Fallstudien durchgeführt, um den Einfluss der wichtigsten Parameter auf Energiebilanz und Komfort zu veranschaulichen. Im vergangenen Jahr wurden die Fallstudien abgeschlossen und ein PC-Programm für die Komfortberechnungen wurde fertiggestellt. Die Beta-Version eines Programmes zur Berechnung der Verteilung der solaren Gewinne (SUNREP) kann von Interessenten beim Projektleiter angefordert werden.

Solarluftsysteme mit geschlossenem Kreislauf für die Sanierung von Wohnbauten [13]

Mit diesem Projekt soll ein Musterkonzept für ein solares Doppelfassadensystem entwickelt werden, das sich auch bei Sanierungen einsetzen lässt. In einem ersten Schritt wurde das System theoretisch mit Simulationsrechnungen untersucht. Die wesentlichen Erkenntnisse sind (gültig für Klima im Mittelland)

- Die Kollektorfläche sollte ca. 20 % der Fassadenfläche betragen,
- In den Wintermonaten ist der Wärmeertrag bescheiden, im März und April optimal (siehe Graphik),
- Optimaler Neigungswinkel 45° bis 60° , bei vertikaler Montage resultiert ein Verlust von 20 %,
- Orientierung Süd $\pm 30^\circ$, bei 30° Abweichung und 45° Neigung resultiert eine Einbusse von 7 %,
- Die optimale Spaltdicke liegt zwischen 5 und 6 cm,
- Es soll bei einer Sanierung mit Doppelwandfassade ein höherer Wärmedämmstandard angestrebt werden als nach Musterverordnung MVO92 verlangt,
- Fassaden mit vielen Auskragungen oder Balkonen eignen sich nicht für dieses Prinzip.



Monatlicher Ertrag eines Kollektors, südorientiert, (graue Balken) und damit erzielbare Einsparung an Heizenergie (weisse Balken).

Messungen & Simulationsrechnungen an MFH [12]

In Oberdorf BL steht das Solarhaus Holinger mit vier Wohnungen. Es nutzt Direktgewinn, Luftkollektoren, Warmwasserkollektoren und Photovoltaik. Mittels Messungen und Simulationsrechnungen soll untersucht werden, inwieweit sich diese verschiedenen Systeme ergänzen oder konkurrenzieren. Im vergangenen Jahr wurden die Messvorrichtungen aufgebaut und auf Anfang der Heizperiode in Betrieb genommen. Die Messphase soll bis Ende April 1999 dauern.

INDIREKTE SOLARNUTZUNG – PASSIV

Hinterlüftete, transparent wärmedämmte Vor-

hangfassadenelemente [9]

Eine grossflächige solare Wandheizung mit transparenter Wärmedämmung (TWD) benötigt meistens eine Regelung der solaren Gewinne. Eine Möglichkeit besteht darin, den Wärmeeintrag in das Gebäude im Sommer durch Hinterlüftung der TWD zu verhindern. Ziel des Projektes ist es, den Zusammenhang zwischen den physikalischen Eigenschaften der Materialien (TWD, Absorber) und den konstruktiven Grössen (Abmessungen, Luftdichtigkeit etc.) zu klären. Zu diesem Zweck wurden Prototypen von hinterlüfteten TWD-Elementen gebaut und im Frühjahr 1998 auf einem Messstand montiert. Bisherige Messungen haben gezeigt, dass der Gesamtenergiedurchlassgrad mit dieser Methode auf 8 % bis 12 % gesenkt werden kann. Weitere Messungen werden 1999 durchgeführt.

Optimierung der Steuerung von TWD-Fassaden [17]

Ziel des Projektes ist die Optimierung der Klappensteuerung einer hinterlüfteten TWD, der Erarbeitung einer Regelungsstrategie, Verifizierung an einem Objekt und Verallgemeinerung der Ergebnisse und Erstellung von Planungshinweisen. Mit Hilfe eines Gebäudesimulationsprogramms wurden einfache Regelungsstrategien, untersucht. Als in erster Näherung brauchbar hat sich als Führungsgrösse der 24h-Mittelwert (gleitend) der Aussentemperatur erwiesen. Für 1999 ist vorgesehen, bereits begonnene Messungen weiterzuführen und komplexere Regelstrategien zu untersuchen.

SYSTEMINTEGRATION – ÖKOLOGIE

Erfassen der Energie- und Stoffflüsse der solaren Komponenten in Solar-Niedrigenergiebauten [18]

Immer wieder wird behauptet, die mit Solarhäusern während der Nutzungszeit gesparte Energie würde durch erhöhten Material- und Energieaufwand bei der Erstellung zunichte gemacht. Das vorliegende Projekt soll dies klären. Verglichen werden fünf Niedrigenergiehäuser, die überwiegend Solarenergie zur Deckung des Raumwärmebedarfs einsetzen, mit Referenzhäusern, bei welchen jeweils sämtliche Komponenten, die speziell zur Nutzung der solaren Gewinne konzipiert sind. Die Arbeiten konzentrierten sich 1998 auf die Beschaffung von Daten (Pläne, Beschriebe, mündliche Informationen) für die ausgewählten Solarhäuser. Die Ökobilanz von Bau und Betrieb der Solar- und Referenzhäuser wird mit Hilfe des EDV-Programmes ECOPRO berechnet, einem Prototyp, der am Institut für Industrielle Bauproduktion der Universität Karlsruhe entwickelt wurde (Kohler et al.). Die Betriebsenergien der Solar- und Referenzhäuser werden mittels dynamischer Gebäudesimulation (TRNSYS) für eine Standardnutzung bestimmt. Die Auswirkungen des so bestimmten Heizenergiebedarfes werden pro Solar- und Referenzhaus mit ECOPRO berechnet.

Nationale und internationale Zusammenarbeit

Alle Projekte werden mit interessierten nationalen und internationalen, privaten und öffentlichen Stellen abgesprochen bzw. gemeinsam durchgeführt. Dabei helfen die ausgedehnten, engen Kontakte der Programmleitung; die wichtigsten sind:

- Eidg. Kommission zur Förderung der Nutzung von Sonnenenergie (KNS);
- Solar Frauen Schweiz der Schweizerischen Vereinigung für Sonnenenergie (SSES);
- Solarpreis 98, Bern: Jurymitglied;
- Organisationsbeirat SUN21.
- *IEA / Solar Heating & Cooling Programme:*
 - Stellvertretendes EXCO-Mitglied der Schweiz und *Chairman* der Programmleiter;
 - Beteiligung an IEA-Programmen: *Building Energy Analysis Tools, Solar Air Systems* (Leitung), *Solar Energy in Building Retrofit* (Leitung eines Teilprojektes), *Daylighting in*

Buildings, The Optimisation of Solar Energy Use in large Buildings;

- AG Solar des Landes Nordrhein-Westfalen (D): Mitglied des Wissenschaftlichen Beirats;
- 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";
- Energy and Building Revue Editorial BOARD;
- Fachverband transparente Wärmedämmung.

Transfer in die Praxis

Die Verknüpfung Forschung / Praxis wird schon bei der Projektkonzeption eingeplant und im Vertrag verankert. Es wird u.a. gefordert, die Ergebnisse in der Fachpresse in kurzen, gut lesbaren Beiträgen zu veröffentlichen und spezielle Workshops zu veranstalten.

Im Berichtsjahr wurden mit Erfolg folgende Veranstaltungen durchgeführt:

- 1) "Energieanalysen von Gebäuden: Software für die Praxis" (Juni 1998),
- 2) "1. Statusseminar: Solararchitektur" (September 1998)

Das halbjährlich herausgegebene Bulletin SOLARARCHITEKTUR informierte etwa 950 Abonnenten über Neues im Sektor Solararchitektur sowie Neuerscheinungen von Publikationen und Tagungsankündigungen.

1998 erschienene Bücher der Programmleitung:

- Niedrigenergie Solarhäuser, Birkhäuserverlag, ISBN 3-7643-5798-3
- *Solar Air Systems: Product Catalog*, Verlag James&James, ISBN 1-873963-85-0
- *Solar Energy in Building Renovation*, Verlag James&James

Die Verknüpfung Forschung/Ausbildung geschieht auf direkteren Weg durch die Beteiligung von Hochschulen und Fachhochschulen an Forschungsprojekten. Im Jahr 1998 betraf dies insbesondere die EPFL, die ETHZ und die FH Zentralschweiz.

An der ETHZ unternahm die BFE Stelle Solararchitek-

tur 1998 folgende Ausbildungsarbeiten:

- Die wöchentlich je einstündige Vorlesung "Bauen und Sonnenenergienutzung", welche durchschnittlich von ca. 45 StudentInnen und einzelnen in der Praxis tätigen Architekten besucht wurde.
- Eine Seminarwoche im Frühjahr zum Thema "Voralberger Bauschule – Innovatives und energiegerechtes Bauen" in der Schweiz. Die Reise wurde mit 12 StudentInnen durchgeführt.
- Diplomwahlfacharbeiten: Insgesamt haben 36 StudentInnen eine Diplomwahlfacharbeit abgegeben und mit einer bestandenen Prüfung abgeschlossen.
- Nachdiplomstudium: Zwei Nachdiplomstudenten schlossen mit folgenden Themen "Wiederaufbau einer Tessiner Bergdorfruine als energieautarkes Klausurzentrum" und "Hotel mit solar-aktiver Warmwasser- und Strom-Erzeugung sowie passiv-solarer Kühlung in Südbasilien" ab. Zur Zeit arbeitet ein Nachdiplomstudent bei der Solararchitektur am Thema gesamtenergetische 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 transparent-wärmegeämmten Lehmwand wurden Erfolgsmessungen durchgeführt; als wichtige Erkenntnis kann festgehalten werden, dass Lehm keine Risse verursacht wurden.

- In Zollikofen bei Bern wurde für die **Niedrigenergiesiedlung Wydacker** eine Messkampagne abgeschlossen und ausgewertet. Die Untersuchung führte zu einer gezielten Änderung der Luftzirkulation im Wintergarten.
- In Morisson wurde ein Neubau mit einem kostengünstigen **Luftkollektorsystem**, einem einfachverglasten **Fassadenkollektor** und einer **Betonspeicherdecke** mit P+D-Mitteln unterstützt.
- In Domat-Ems wurde eine notwendige Sanierung von Klappen an **hinterlüfteten TWD-Fassaden** als P+D-Projekt ausgeführt.
- In Liestal wurde ein **Demonstrationspavillon** mit verschiedenen transparenten Materialien unterstützt, der sich in den vergangenen Jahren eines regen Interesses erfreute und nun auf das Areal der EMPA zu stehen kommt.

Bewertung 1998, Ausblick 1999

Im abgelaufenen Jahr konnten vier Forschungsprojekte erfolgreich abgeschlossen und drei neue gestartet werden. Die Erkenntnisse werden eingebaut in einfach handhabbare Planungshilfsmittel. Dadurch sollte auch für Anfänger die Hemmschwelle so tief zu liegen kommen, dass sie vor der Planung von Solarbauten nicht mehr zurückschrecken.

Umfangreiche Ausbildungs- und Umsetzungsarbeiten wurden durchgeführt. Über das P+D-Programm konnten mit fünf unterstützten Projekten wesentliche Impulse in die Praxis getragen werden.

Im Jahr 1999 wird das Forschungskonzept 1996 bis 1999 Richtlinie bleiben für die zu startenden Aktivitäten mit den gleichen Schwergewichten wie im abgelaufenen Jahr. Es muss aber schon die kommende Planungsperiode 2000/2003 in Angriff genommen werden. Deren Schwerpunkte sind bereits festgelegt:

1. Solare, nachhaltige Wohnbauten,
2. Solare Nutzung in Städten,
3. Solarfassaden
4. PC-Werkzeuge für Planer.

Im Bereich dieser Schwerpunkte werden erste Abklärungsprojekte gestartet, die auch international stark vernetzt sind, z.B.:

- Planung internationaler Zusammenarbeit mit 15 Ländern auf dem Gebiet nachhaltige Solar-Wohnhäuser (*IEA Solar Programme Task 28, Solar sustainable Houses*).
- Internationaler Workshop: Solar Cities (Zürich, April 1999)

Eine weiterhin enge Zusammenarbeit mit Fachhochschulen und Industrie wird angestrebt, z.B.:

- Im Projekt "Atrien", welches von der KTI mitfinanziert wird, beteiligen sich die Fachhochschule Zentralschweiz, die Firma Eternit und die Schweizerische Zentralstelle für Fenster- und Fassadenbau.

Spezielle Umsetzungs- und Ausbildungsaktivitäten werden sein:

- Durchführung eines nationalen Symposiums über Solare Luftsysteme (Zürich, September 1999)
- CISBAT – Präsentation von Projekten durch verschiedene Projektleiter sowie zwei Mitarbeitern der Programmleitung.
- Seminarwoche für ETH- und FH-Studenten: Solarbauten in den Niederlanden.

Liste der 1998 gelaufenen Projekte

- [1] N. Hopkirk, EMPA, 175, *Dübendorf: Tageslichtnutzung in an Atrien grenzenden Räumen (JB) ♦ Tageslichtnutzung in Tunnels (Daylighting of tunnels) (JB)*
- [2] G. Zweifel, ZTL-Horw: *Praxisnahe Validierung von Gebäude- und Haustechniksimulationsprogrammen (JB)*
- [3] Ch. Filleux, BASLER & HOFMANN, Zürich: *IEA Solar Programme: Solar Air Systems for Buildings (JB)*
- [4] W. Hässig, BASLER & HOFMANN, Zürich: *Praktische Anwendung der Methode "Klimaflächen" und der dynamischen Speicherberechnung (SB)*
- [5] J.-L. Scartezzini, LESO-PB, EPFL-Lausanne: *DIAL- Outil d'aide à la décision en éclairage naturel, (IEA Solar Programme) "Daylighting in Buildings" (JB) ♦ Extension du programme DIAL – Etude des performances d'un dispositif anodolique (JB)*

- [6] A. Faist, LESO-PB, EPFL-Lausanne: *Incidence de la typologie des façades double-peau sur leurs performances énergétique et en physique du bâtiment* (SB)
- [7] N. Morel, LESO-PB, EPFL-Lausanne: *LESOSHADE und LESOCONF* (JB)
- [8] W. Weber, CUEPE, Genève: *Outil d'optimisation du Bilan thermique en temps réel* (JB)
- [9] A. Haller, ERNST SCHWEIZER, Hedingen: *Nutzung der Sonnenenergie bei Sanierungen (IEA Solar Programme)* (JB) ♦ *Hinterlüftete, transparent wärmegeämmte Vorhängfassadenelemente* (JB)
- [10] S. SIMOS, Carouge: *Chaîne de mesure de lumière naturelle – Analyse de bâtiment* (JB)
- [11] P. BERCHTOLD, Sarnen: *Messprojekt WASAG, Photovoltaik und Luftabsaugfassade* (JB)
- [12] M. Blatter-Spaling, Energieingenieur NDS, Münchenstein: *Messungen und Simulationsrechnungen am MFH Holinger, Oberdorf BL* (JB)
- [13] K. FORT, Volketswil: *Auslegung von Hypokaustenspeichern mit Zusatzstudie Luftsysteme zum Heizen und Kühlen* (JB) ♦ *Solarluftsysteme mit geschlossenem Kreislauf für die Sanierung von Wohnbauten* (JB)
- [14] A. Gütermann, AMENA, Winterthur: *Wirtschaftliche und gesamtökologische Optimierung eines konvektiven Luftsystems* (SB)
- [15] D. Aiulfi, SORANE, Lausanne: *Modellentwicklung für grosse Atrien* (JB)
- [16] P. Jaboyedoff, SORANE, Lausanne: *Développement d'une méthode de planification pour optimiser l'utilisation de l'énergie solaire* (JB)
- [17] D. SCHWARZ, Domat-Ems: *Optimierung der Steuerung von TWD-Fassaden mit gleichzeitiger Schaltung des Wärmedurchgangskoeffizienten und des Gesamtenergiedurchlassgrades* (JB)
- [18] D. Gerber, METRON RAUMPLANUNG, Brugg: *Energie- und Stoffflüsse von Solar-Niedrigenergiebauten im Vergleich mit Standardbauweise nach SIA* (JB)

(JB) Jahresbericht 1998 vorhanden

(SB) Schlussbericht vorhanden

ELEKTRIZITÄT

Überblicksbericht
zum Forschungsprogramm 1998

Roland Brüniger

roland.brueeniger@r-brueniger-ag.ch



Neues energiesparendes Kochsystem

Mit den neuen High-Tech-Keramikplatten bei Kochherden ist gemäss einer EMPA-Studie eine zusätzliche Energieeinsparung gegenüber den bereits energieeffizienten Induktionskochherden von 15 % möglich.

Programm-Schwerpunkte und anvisierte Ziele 1998

Das Forschungs-Programm **Elektrizität** trägt mit seinen Aktivitäten kontinuierlich zu einer optimierten Handhabung der elektrischen Energie von der Erzeugung über die Verteilung bis zum rationellen Einsatz bei.

Die oberste Zielsetzung 1998 lag in der sukzessiven Ausrichtung der Aktivitäten auf die vier definierten Schwerpunkte, wobei sich alle Stossrichtungen letztendlich auf eine *effiziente und rationelle Elektrizitätsnutzung* konzentrierten. Um dabei auf bestmögliche Art und Weise die Industrie und die Hochschulen einzubinden, wurde das Ziel gesetzt, in allen Schwerpunktsbereichen – wo nicht bereits etabliert – professionell zusammengesetzte Trendwatching-, resp. Begleitgruppen aufzubauen. Ebenfalls standen in allen Bereichen verstärkt Aktivitäten für die Umsetzung und Informationsverbreitung im Vordergrund.

Neben der Festigung der bereits etablierten Begleitgruppen-Aktivitäten standen im Schwerpunktbereich **Energie- und Informationstechnik** als Ziele die Schaf-

fung eines anerkannten Kompetenzzentrums sowie das Aufgleisen erfolgsversprechender, neuer Projekte im Vordergrund.

Im Schwerpunkt **Antriebe/Motoren** waren unverändert Projekte zur Erzielung einer hohen Energie-Effizienz zu starten und zu unterstützen.

Im Schwerpunkt **Übertragung und Verteilung** stand – neben der Weiterführung der laufenden Aktivitäten – die Durchführung einer Fachtagung zur Umsetzung und Verbreitung der bisher erreichten Ergebnisse im Vordergrund.

Im Gebiet **Hochtemperatur-Supraleitung für die Energietechnik** konnte im Vorjahr die Schaffung einer geeigneten Informationsdrehscheibe im Sinne einer Begleitgruppe erfolgreich durchgeführt werden. Im Vordergrund stand deshalb die verstärkte Zusammenführung potentieller Geldgeber zum Starten neuer und erfolgsversprechender Projekte.

Durchgeführte Arbeiten und erreichte Ergebnisse

ERZEUGUNG / PRODUKTION

Das Teilgebiet *Erzeugung/Produktion* stellt keinen Schwerpunkt im vorliegenden Programm dar, zudem spricht die Privatindustrie in diesem Bereich namhafte finanzielle Beiträge. Deshalb wurden vom BFE keine entsprechenden Projekte unterstützt.

Die vom Bund im Bereich **Kleinwasser-Kraftwerke** unterstützten Projekte werden in einem separaten Programm beschrieben.

Der Projekt- und Studienfonds der Elektrizitätswirtschaft (PSEL) unterstützt mit ca. 1 Mio. Franken / Jahr Arbeiten im Bereich der Wasserkraft. Vor allem an den Hochschulen werden dabei Themen wie die *Energieverluste an Einlaufrechen von Flusskraftwerken*, *Strömungen in Saugrohren schnellaufender Turbinen* u.a. behandelt [20].

SPEICHERUNG

Die vermehrte dezentrale Erzeugung von Elektrizität durch erneuerbare Energien (Wind, Biogas, Photovoltaik) und durch Brennstoffzellen dürfte den Bedarf an Speichern verstärken. Die VDI-Fachtagung "Energiespeicher für elektrische Netze" vom November 1998 gab einen guten Überblick über die potentiellen Anwendungsgebiete von Energiespeicherungen sowie über die verschiedenen Speichertechnologien [18].

Das Programm Elektrizität beschränkt sich auf die mechanische sowie elektromagnetische/elektrostatische Speichertechnologie.

Das durch den Bund unterstützte und im Rahmen des europäischen JOULE-Programms durchgeführte Projekt **FlyWiP** (*Flywheel Energy Storage for Wind Power Generation*) [1] beschäftigt sich mit den Netzregulierungsfunktionen für dezentrale Erzeuger (Wind) durch einen Schwungradspeicher mit einem Energieinhalt von 15 kWh und einer max. Leistung von 1 MW. Das Projekt ist 1998 angelaufen, und im Rahmen einer Marktstudie wurden vorerst die Möglichkeiten der Schwungradspeicher mit konkurrierenden Technologien verglichen. Im nächsten Jahr steht die Entwicklung und Herstellung der einzelnen Systemkomponenten im Vordergrund.

Bis anhin konnte trotz diversen Abklärungen kein Interesse für das Thema *Electrical Energy Storage Technology for Utility Network Optimization* des IEA-Programms *Energy Conservation through Energy Storage* in der Schweiz gefunden werden. Die Schweiz hat deshalb vorderhand auf eine Teilnahme verzichtet.

ÜBERTRAGUNG / VERTEILUNG

In der *Hochtemperatursupraleitung* macht die Entwicklung in verschiedenen Disziplinen sukzessive Fortschritte. Da Komponenten dieser Technologie (z.B. Transformator, Strombegrenzer, Kabel) im Stromnetz Anwendung finden werden, sei an dieser Stelle auf den spezifischen Abschnitt Hochtemperatursupraleitung verwiesen.

Die *Entwicklung von systemorientierten FACTS-Elementen* (*Flexible AC Transmission System*) und deren Integration in die Netzbetriebsführung stellt die Zielsetzung des gleichnamigen Projekts dar [2]. Mit

FACTS-Komponenten kann die Steuerbarkeit sowie die Ausnutzung der bestehenden Übertragungskapazitäten vergrößert werden. Im Vordergrund stehen der *Universale Lastflussregler* sowie die *Advanced Series Compensation*, deren Integration ins Netz transformerlos erfolgen kann. Die Simulationsarbeiten sind bereits weit fortgeschritten, und die nun folgenden Arbeiten konzentrieren sich auf die Optimierung der Komponentenauslegung, die Betriebsverfahren bei gestörtem und ungestörtem Netzbetrieb sowie auf Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen.

Mit der abgeschlossenen Machbarkeitsstudie **Elektronischer Verteiltransformator** konnte nachgewiesen werden, dass die Entwicklung eines solchen Transformators mit Wirkungsgraden von 98,5 % bis 99 % möglich ist. Weiterführende Arbeiten in Richtung Umsetzbarkeit (technologisch, wirtschaftlich) sind für 1999 vorgesehen.

Das Projekt **Zuverlässigkeit von Sicherheitsschaltungen gegen Inselbildung** [3] untersucht einerseits anhand praktischer Messungen und andererseits mit theoretischen Simulationen, inwiefern die gegenseitige Beeinflussung der Detektionsschaltungen problematisch ist. Gleichermassen sind Vorschläge bezüglich geeigneten Detektions- und Sicherheitsschaltungen auszuarbeiten. 1998 konnten Untersuchungen an ausgewählten Netzen vorgenommen werden. Bezüglich Modellierung wurde eine geeignete Simulations-Software evaluiert.

VERWENDUNG / RATIONELLE NUTZUNG

a) Kraft / elektrische Motoren

Ziel für den Schwerpunkt war die Etablierung einer *Trendwatching-/Begleitgruppe*. Es war erfreulich, dass hochkarätige Vertreter aus Hochschule und Industrie zur Teilnahme bereit waren und die Begleitgruppe mit einer *Kickoff-Sitzung* im Sommer offiziell ins Leben gerufen werden konnte. Mit der Gruppe wird der direkte Kontakt zur einschlägigen Industrie und zu interessierten Forschungsstätten verstärkt.

Aufgrund diverser Umstände verzögerten sich die Vorbereitungsarbeiten für ein Folgeprojekt in der *Integraldrive-Technologie im Liftbereich*. Diese dürften nun aber soweit fortgeschritten sein, dass das Projekt Anfang 1999 gestartet werden kann.

Bedeutende Einsparungen an Energieverbrauch und Betriebskosten sind bei elektrischen Antriebssystemen durch den Einsatz von optimal an die Anforderungen des Arbeitsprozesses angepassten Motoren und Umrichtern mit hohen Wirkungsgraden möglich. Mit der **Erweiterung des Programmsystems OPAL mit Frequenzumrichtern** [4] werden Projektierende im Antriebsbereich in die Lage versetzt, eine energieoptimale und herstellerübergreifende Motorauswahl aus über 1'800 Motorentypen für drehzahlvariable Antriebe treffen zu können. Das Projekt konnte Mitte 1998 abgeschlossen werden, und im Anschluss daran wurde mit

der Vermarktung in Europa begonnen.

Der Elektrizitätsverbrauch von Kleinventilatoren beträgt in der Schweiz 1 % des Landesverbrauchs. Kleinventilatoren (unter ca. 1'000 m³/h) werden immer als Kompaktventilatoren mit integriertem Motor für unterschiedliche Anwendungen eingesetzt. Der Gesamtwirkungsgrad von meist unter 10 % kann stark verbessert werden. In der abgeschlossenen Vorstudie **Grundlagen für Forschungs- und Entwicklungsschwerpunkte für Kleinventilatoren mit hohem Wirkungsgrad** [5] wurden Schwerpunkte für weitere Arbeiten zur Effizienzsteigerung bei Kleinventilatoren identifiziert. Die definierten Massnahmen betreffen letztendlich stets den Gebäudebereich, weshalb die Weiterbearbeitung der Studienergebnisse im Programm "Rationelle Energienutzung im Gebäude" erfolgt.

Das Projekt *Compresseur hydraulique-isothermique*, in welchem ein neuartiger Kompressortyp erforscht wird, steht kurz vor seinem Abschluss.

b) Energie und Informationstechnik

Die bereits seit knapp zwei Jahren bestehende *Begleitgruppe Energie und Informationstechnik* vermittelt wertvolle Impulse und stellt eine eingeführte Informationsdrehscheibe für Forschung, Industrie und Anwender dar. Halbjährliche Treffen garantieren, dass mit dem schnellen Technologiewandel Schritt gehalten werden kann.

Ziel der Fachstelle zur **Förderung des rationellen Energieeinsatzes in der Informationstechnik und Unterhaltungselektronik** [6] ist es, Wissen über diese Thematik zu sammeln, aufzubereiten und beratend zu verbreiten. Mit der Konzentrierung der Fachstelle in Richtung Energie in EDV-Netzwerken, wird die Stelle voraussichtlich zum *Kompetenzzentrum Energie und Informationstechnik* umbenannt.

Im Projekt **Bestimmung des Energieverbrauchs von Unterhaltungselektronikgeräten, Bürogeräten und Automaten in der Schweiz** wird statistisches Datenmaterial aktualisiert.

Im Rahmen des Projekts **Energieverbrauch und Energiesparmöglichkeiten von Automaten** [6] erfolgte vorerst eine umfassende Sichtung und Analyse der internationalen Literatur. Untersuchungen im Bereich gekühlter Verpflegungsautomaten zeigten, dass die Kaltgetränkeautomaten mit Abstand die grössten Energieverbraucher unter den untersuchten Automaten darstellen. Die Schaffung eines Überblicks über den Stromverbrauch von Automaten in der Schweiz zeigte schliesslich auf, dass die Automaten zwischen 1 und 4 % Anteil am Stromverbrauch eines Dienstleistungsgebäudes aufweisen. Schliesslich wurden Handlungsalternativen für weitere Forschungsarbeiten abgeleitet. Diese werden nun im Rahmen der finanziellen Möglichkeiten sukzessive angegangen.

Mit dem Projekt **Grundlagen für Forschungsaktivitä-**

ten im Bereich TVA/PABX [7] wurde detailliert der Stromverbrauch von Telefonzentralen in der Schweiz erhoben. Da die Studie aufzeigte, dass der Gesamtstromverbrauch lediglich etwa 80 GWh pro Jahr beträgt und viele Anlagen aufgrund ihres Werdeganges energetisch bereits recht optimal ausgelegt sind, sind keine spezifischen Folgeprojekte notwendig.

Zwar wird die Entwicklung der *Power Line Carrier Technologie* [19] mitverfolgt, da dort eine starke Ausweitung von Kommunikationsendgeräten erwartet wird. Aufgrund der bereits wettbewerblichen Situation bei der Produkteentwicklung ist es leider nur beschränkt möglich, die Energieeffizienz als Thema bei der Industrie einzubringen.

c) *Diverses*

Im Projekt *Energiesparen im Hochbau* [8] wurden Vorschläge erarbeitet, um den Stromverbrauch in Baucontainern zu minimieren. Das jährliche Einsparpotential wird auf mindestens 20 GWh geschätzt.

INTERDISZIPLINÄRE PROJEKTE

a) *Leistungselektronik*

Die zwei Projekte *Vergleich von Bauelementkonzepten für MOS-kontrollierte Hochspannungs-Leistungshalbleiterschalter mit Trench-IGBT* [12] und *Analyse und Optimierung von IGBT-Modul Packages* [12] befassten sich mit der energetischen Optimierung von Leistungsbauelementen und entstanden als Umsetzungsprojekte der LESIT-Ergebnisse. Es konnte gezeigt werden, dass für Hochspannungsanwendungen keine MOS-kontrollierten Thyristorstrukturen entwickelt werden sollen, und wie Umrichter kompakter, leichter und zuverlässiger hergestellt werden können. Ferner wurde das statische und dynamische, thermische Verhalten von IGBT-Modulen untersucht, wobei gezeigt werden konnte, wie sich die Wärme statisch und transient in den Halbleitermodulen ausbreitet.

Unter Einbezug der Industrie, der Hochschule sowie Anwendern wurde im Projekt *Parameteridentifikation und Messverfahren für USV-Anlagen* [13] die Grundlage geschaffen, dass Planer und Betreiber von USV-Anlagen im Beschaffungsprozess unterschiedliche Anlagen nach gesamtheitlichen Kriterien (Qualitäts/Energiematrix) vergleichen können. Des Weiteren werden Hersteller und Planer unter Beachtung der not-

wendigen Qualitätsanforderungen betreffend des *Energieeinsparpotentials im Bypass-Betrieb* informiert und auf dessen vermehrte Anwendung hin sensibilisiert.

b) *Supraleitung*

Das Projekt *10 MVA-Hochtemperatur-Supraleiter-Transformator* [9] baut auf den Ergebnissen des Vorgängerprojekts *630 kVA-Hochtemperatursupraleiter-Transformator* auf, ergänzt um die resistive Strombegrenzer-Funktion. Die Arbeiten 1998 konzentrierten sich auf die Isolationen, die Leiterspezifikationen, das generelle Trafodesign und den Kryostaten.

Der Design-Entscheid konnte bei der Entwicklung eines *Hochtemperatur-Supraleiterkabels für die Energietechnik* [10] unter Berücksichtigung des HTSL-Materials gefällt werden. Ebenfalls wurden Grundlagen bezüglich Kühlung, Sicherheit sowie Wirtschaftlichkeit geschaffen, sodass einerseits ein Kabelmuster gefertigt und andererseits bereits mit der Prototypen-Herstellung begonnen werden konnte.

Das IEA-Programm *Assessing the Impacts of High Temperature Superconductivity on the Electric Power Sector* [10] wurde für zwei weitere Jahre verlängert. Wiederum wurden verschiedene HTSL-Berichte erarbeitet und dem interessierten Fachkreis zur Verfügung gestellt.

Die *Systemstudie Hochtemperatur-Supraleitung im Netz* [11] soll eine Grundlage für die Beantwortung der Frage schaffen, welche Gewinne für die Stromerzeugung, -übertragung und -verteilung durch die Anwendung der Hochtemperatursupraleitung in den Komponenten und deren Einsatz resultieren. Als Ergebnis soll eine Plattform für zukünftige F&E-Aktivitäten entstehen.

c) *Niederfrequente, elektromagnetische Felder*

Das europäische Kooperationsprogramm *COST 244: Biomedizinische Effekte elektromagnetischer Felder* wurde bis ins Jahr 2001 verlängert. Im Rahmen dieses Programms erfolgte Anfang 1998 in der Schweiz eine Erhebung aller sich mit diesem Thema beschäftigenden Projekte. Die Ergebnisse und andere Informationen über das Thema sind auf dem Internet [21] abrufbar.

Zur Zeit ist in der Schweiz eine *Verordnung über den Schutz vor nichtionisierender Strahlungen (NISV)* in der Vernehmlassung.

Nationale und internationale Zusammenarbeit

Die Zusammenarbeit zwischen Industrie, Hochschule und dem BFE konnte durch die Schaffung der erwähnten Begleitgruppen in allen Schwerpunktsbereichen verstärkt und institutionalisiert werden.

Zudem sind in praktisch allen Projekten die Industrie,

welche letztendlich die Forschungsergebnisse umzusetzen hat, sowie Forscher von Hoch- und Fachhochschulen eingebunden.

Ferner wurde speziell im Bereich der kostenintensiven Forschung der Hochtemperatursupraleitung ein enges

Zusammengehen der schweizerischen Geldgeber PSEL, BFE und *Commission recherche, développement, prospective de la Chambre romande d'énergie électrique* (RDP-CREE) erreicht.

Mit der Verlängerung des IEA-Programms *Hochtemperatur-Supraleitung* bleibt auch der internationale Informationsaustausch auf diesem Gebiet erhalten. Ferner wird sich die Schweiz an einem im Aufbau stehenden, internationalen *Online-Forum Supraleitung* – vorerst

für ein Jahr – beteiligen.

Im Bereich *Energie und Informationssysteme* wird unverändert ein grosser Informationsaustausch im internationalen Umfeld gepflegt. So ist der Bund aktives Mitglied der internationalen *Group of efficient Appliances*, welche auf dem Gebiet der Heimelektronik und der Bürogeräte die effiziente Stromnutzung fördert. Auch im *Labeling*-Bereich wird eine internationale Harmonisierung angestrebt.

Umsetzung in die Praxis, P+D-Projekte

ÜBERTRAGUNG / VERTEILUNG

Aufgrund der bisherigen Forschungsergebnisse auf dem Gebiet der Übertragung und Verteilung wurde im Oktober 1998 – unter Einbezug der ETH Zürich und der einschlägigen Industrie – der BFE-Workshop *Technologietrends bei der elektrischen Verteilung* in Zürich durchgeführt [19]. Über 100 Teilnehmer konnten zum Anlass begrüsst werden.

Aufgrund verschiedener Umstände erfolgte die Umsetzung der Ergebnisse des Projekts *Lastbestimmungsmodell für Verteiltransformatoren* trotz Verpflichtung einer spezialisierten Unternehmung nicht wie vorgesehen. Nachdem die Projekt-Ergebnisse aber nochmals an der BFE-Fachtagung präsentiert wurden und die beauftragte Unternehmung erneut zur Marktbearbeitung aufgefordert wurde, besteht nun berechtigte Hoffnung, dass die Forschungsergebnisse ihren Weg in die Praxis finden werden.

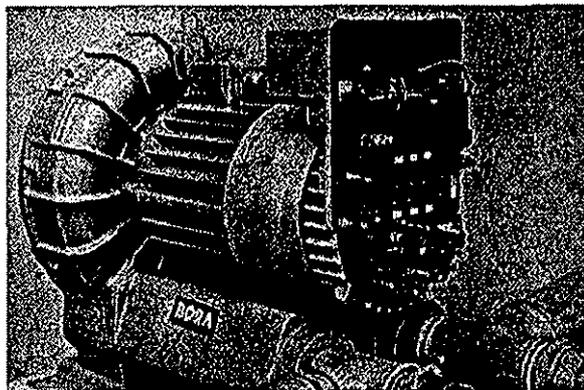
KRAFT / ELEKTRISCHE MOTOREN

Mit dem P+D-Projekt *Druckluftoptimierung in der Verpackungsindustrie* [14] soll gezeigt werden, dass mit der Sanierung alter Druckluftanlagen mittels Aufteilung in ein Hoch- und Niederdrucknetz, durch eine bedarfsabhängige Regelung sowie durch Netzabdichtungen eine wesentliche Energieeinsparung erreicht werden kann. Allein durch den Einbau einer lastabhängigen Regelung konnte 1998 im Pilotbetrieb eine Einsparung von 18 % erreicht werden.

Im P+D-Projekt *Felderprobung einer Stromspar-Kleinumwälzpumpe* [5] wurden 20 Kleinumwälzpumpen in verschiedenen Heizungsanlagen vom Einfamilienhaus bis zum 9-Familienhaus in der Schweiz installiert. Mit den mit Messmodulen ausgerüsteten Feldtest-Pumpen konnten wertvolle Erkenntnisse gewonnen werden. Die Ergebnisse des Feldversuchs sehen bis anhin positiv aus, und es wird erwartet, dass der Versuch nach der Heizperiode 98/99 im Frühling 1999 abgeschlossen werden kann.

Aufbauend auf den Ergebnissen des abgeschlossenen Projekts *Integraldrive* hat die involvierte Schweizer Firma erreicht, dass international tätige Unternehmungen

in diese Technologie investieren. Damit konnte ein substantieller Beitrag zur Effizienzsteigerung im Antriebsbereich erreicht werden.



Vakuumpumpe mit Integraldrive-Technologie

Ebenfalls sind mehrere Folgeprojekte im EU-Raum (z.B. Windgeneratoren) mit der gleichen Technologie durchgeführt worden.

BÜROGERÄTE / EDV-NETZWERKE

Im Frühling 1998 wurde eine *Liste* aller bis anhin über das Thema *Energie und Informationssysteme* verfügbaren Publikationen erstellt und mit einem Massenversand an mögliche Interessierte versandt. Das Echo war positiv und verschiedenes Informationsmaterial konnte daraufhin zielgerichtet verteilt werden.

Aus dem halbjährlichen Treffen der *Begleitgruppe Energiemanagement in vernetzten Systemen* konnten stets wertvolle Inputs für die weiteren Arbeiten gewonnen sowie Informationen ausgetauscht werden.

Im Rahmen eines Kleinauftrags wird untersucht, wie sich Server bei Netzunterbrüchen von max. 20ms verhalten. Damit soll abgeklärt werden, ob die energetisch effizienteren *Offline-USV*-Anlagen für die Absicherung von Servern ausreichen. Gleichermassen laufen Arbeiten zur Auszeichnung von Ladestationen und Stecker-netzteilen.

Im Rahmen eines neu gestarteten P+D-Projekts wird

gemeinsam mit der Industrie und einem Betreiber der Betrieb eines neuen *energieeffizienten Geldausgabeautomaten* geprüft.

In zwei parallelen P+D-Projekten wird ein neuartiger und benutzerfreundlicher *Netzwerkmanager für das Schalten von Servern und Netzkomponenten* im Betrieb getestet. Dabei wird auf einer professionellen Industrie-Software sowie auf den Funktionen einer USV-Anlage aufgebaut.

Die aus dem Projekt *Grundlagen für Forschungsaktivitäten im Bereich TVA/PABX* [7] gewonnenen Erkenntnisse wurden in mehreren Publikationen verbreitet sowie der einschlägigen Industrie zugestellt.

DIVERSE

In einer umfassenden Umfrage wurde anfangs 1998 bei vielen Zeitschriften und Publikationsorganen das Interesse der Forschungsergebnisse nach Thema unterteilt erfragt. Als Ergebnis liegt dem Programmleiter nun eine Liste der interessierten Publikationsorgane vor.

Um dem Zeitgeist der Informationsverteilung gerecht zu werden, wird eine *Internet-Home-Page* [22] zum Thema *Elektrizitätsforschung* aufgesetzt. Es soll dabei allen Interessierten Information inklusive alle Jahresberichte – verfügbar gemacht werden.



Messausrüstung des Prüfraums für Raumluf-Wärmetrockner
Raumluf-Wäschetrockner (mit Wärmepumpen) weisen im Vergleich zu Tumbler einen günstigen spezifischen

Energieverbrauch auf. Da die IEC-Wäschetrockner-Prüfnorm nur für Tumbler gilt, werden in den zwei P+D-Projekten *Ausarbeitung eines Messverfahrens für Raumluf-Wäschetrockner* [16] und *Prüfung von Raumluf-Wäschetrocknern* [16] einerseits ein Messverfahren ausgearbeitet und andererseits Messtestreihen durchgeführt. Als Resultat der beiden Projekte liegt nun ein an die EU-Deklaration für diverse Haushaltgeräte angelegtes *Label* vor, das von der betroffenen Industrie 1999 verwendet werden wird.

Die Massnahmen zum *Energiesparen bei Reisezügen* [15] wurde am Beispiel eines Reisewagens vom Typ Bpm 20-70 durch die SBB umgesetzt. Mit Messungen in der Klimakammer soll der Nachweis erbracht werden, dass mit den vorgeschlagenen Massnahmen der Energieverbrauch um mehr als die Hälfte gesenkt werden konnte. Aufgrund von Verzögerungen bei der Umrüstung können die Arbeiten erst 1999 abgeschlossen werden.

Im Projekt *Öko-Kühlschrank* konnten leider die vorgesehenen 10 Prototypen nicht fertig produziert werden. Mitte 1999 wird in einer Standortbestimmung entschieden, ob und wie das Projekt fortgeführt wird.

Aufbauend auf den Projektergebnissen *Parameteridentifikation und Messverfahren für USV-Anlagen* ist vorgesehen, ein *Qualitäts-/Energie-Label* für USV-Anlagen zu erstellen und Hilfsmittel auszuarbeiten, welche für die Dimensionierung und Wahl der Betriebsart als Planungsgrundlagen dienen sollen.

Mit der Erfindung eines neuartigen Kochsystems kann der hohe Wirkungsgrad von Induktionskochherden noch 15 % übertroffen werden. Nach längeren Anlaufschwierigkeiten konnte nun im Projekt *Feldtest von Hochleistungskochsystemen* [17] ein Funktionsmuster des neuen Kochherds gebaut werden. Leider ergaben sich Verzögerungen bei der Technologie-Bereitstellung des Kochgeschirrs, sodass diese Tests auf nächstes Jahr verschoben werden mussten.

Schliesslich wurden periodisch Ergebnisse und neue Erkenntnisse aus den Projekten an *Technologie-Vermittlungsstellen im Energiebereich* weitergereicht.

Bewertung 1998 und Ausblick 1999

Das Ziel des Etablierens von professionellen *Trendwatching-/Begleitgruppen* in allen definierten Schwerpunkten konnte vollumfänglich erreicht werden. Es gilt nun, insbesondere diese Gruppen 1999 zu konsolidieren.

Mit der Durchführung einer Fachtagung im Bereich *Übertragung/Verteilung* konnte der beabsichtigte Wissenstransfer erfolgreich durchgeführt werden.

Bei der Lancierung neuer Projekte im Bereich der Hochtemperatur-Supraleitung gelang es, die potentiellen Geldgeber zu vereinen und die Gelder damit auf er-

folgsversprechende Projekte zu konzentrieren.

Bedingt durch verschiedene Umstände verzögerte sich leider die Lancierung geplanter neuer Projekte im Schwerpunkt *Rationelle Elektrizitätsnutzung*. Ebenfalls konnte nicht wie gewünscht ein Kompetenzzentrum für den Bereich *Energie und Informationstechnik* geschaffen werden. Verschiedene Vorgepräche lassen nun aber für 1999 hoffen.

Mit dem *Aufbau einer eigenen Home-Page* für das Programm wird auch der Zielsetzung der verstärkten In-

formationsverbreitung Rechnung getragen.
Der Schwerpunkt der Arbeiten 1999 wird in der Überarbeitung des Konzepts für die Periode 2000 bis 2003

liegen. Dabei muss insbesondere auch der Umstand mit einbezogen werden, dass die zur Verfügung stehenden Forschungsgelder leider knapper bemessen sein werden.

Liste der Projekte

- [1] P. von Burg, ASPES, Zürich: *Flywheel energy storage for wind power generation FlyWip* (JB)
<http://www.flywip.com>
- [2] D. Westermann; ABB HOCHSPANNUNGSTECHNIK, Zürich: *Entwicklung neuer systemorientierter FACTS-Elemente* (JB)
- [3] M. Real, ALPHA REAL, Zürich: *Zuverlässigkeit von Sicherheitsschaltungen gegen Inselbildung* (JB)
- [4] R. Tanner, SEMAFOR, Basel: *Erweiterung des Programmsystems OPAL mit Frequenzumrichtern* (SB)
- [5] J. Nipkow, ARENA, Zürich: *Grundlagen für Forschungs- und Entwicklungsschwerpunkte für Kleinventilatoren mit hohem Wirkungsgrad* (SB) • *Felderprobung einer Stromspar-Kleinumwälzpumpe* (JB)
- [6] B. Aebischer, ETH-Zürich: *Förderung des rationellen Energieeinsatzes in der Informationstechnik und Unterhaltungselektronik* (JB) • *Energieverbrauch und Energiesparmöglichkeiten von Automaten* (SB)
<http://www.energieanalysen.ethz.ch>
- [7] A. Huser ENCONTROL, Niederrohrdorf: *Grundlagen für Forschungsaktivitäten im Bereich TVA/PABX* (SB)
- [8] M. Grueber, OECONSULT, Zürich: *Energiesparen im Hochbau* (SB)
- [9] H. Züger, ABB SÉCHERON, Genf: *10 MVA-HTSL-Transformator* (JB)
- [10] 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)
- [11] G. Schnyder, ABB SÉCHERON, Genf: *Systemstudie "Hochtemperatur-Supraleitung im Netz"* (JB)
- [12] W. Fichtner, ETH-Zürich: *Analyse und Optimierung von IGBT Modul Packages* (SB) • *Vergleich von Bauelementkonzepten für MOS-kontrollierte Hochspannungs-Leistungshalbleiterschalter mit dem Trench-IGBT* (SB)
- [13] P. Mauchle, SCHNYDER INGENIEURE, Ottenbach: *Parameteridentifikation und Messverfahren für USV-Anlagen* (JB)
- [14] K. Frei, A-Z PLANUNG, Diepoldsau: *Druckluftoptimierung in der Verpackungsindustrie* (JB)
- [15] C.U. BRUNNER, Zürich: *Enper: Energiesparen bei Reisezugwagen* (JB)
- [16] J. Nipkow, ARENA, Zürich: *Prüfung von Raumluf-Wäschetrocknern* (JB) • *Ausarbeitung eines Messverfahrens für Raumluf-Wäschetrockner* (JB)
- [17] M. Erb, ECOWATT, Basel: *Feldtest von Hochleistungskochsystemen* (JB)

(JB) Jahresbericht 1998 vorhanden

(SB) Schlussbericht vorhanden

Alle Berichte sind bei <http://www.electricity-research.ch> abrufbar.

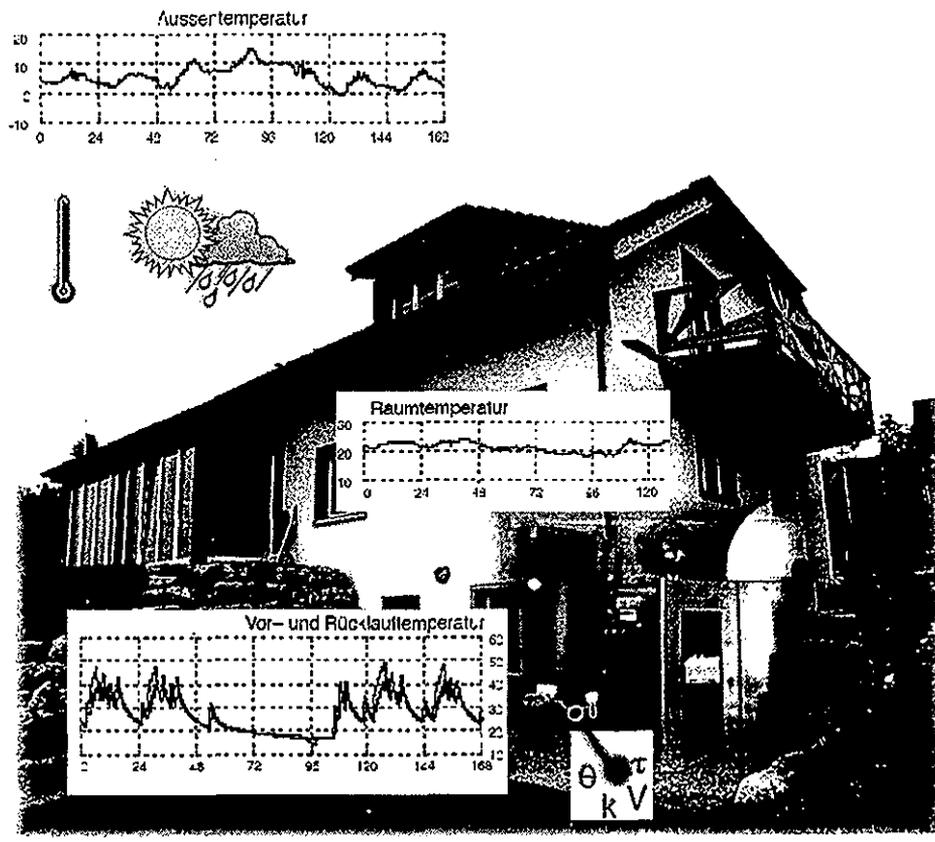
Referenzen

- [18] R. BRÜNIGER, Ottenbach: *Reisebericht über die VDI-Fachtagung Energiespeicher für elektrische Netze*, November 1998
- [19] R. BRÜNIGER, Ottenbach: *Technologietrends bei der elektrischen Verteilung (Tagungsunterlagen zur gleichnamigen BFE-Fachtagung)*
- [20] VSE, Zürich: *Tätigkeitsbericht 1997 des PSEL*
- [21] <http://www.radio.fer.hr/cost244/main/npdbase/switz/switz.htm>
- [22] <http://www.electricity-research.ch>

UMGEBUNGS- UND ABWÄRME, WÄRME-KRAFT-KOPPLUNG

Überblicksbericht
zum Forschungsprogramm 1998

Martin Zogg
martin.zogg@bluewin.ch



Systemoptimierung

Heizungsanlagen mit Wärmepumpen nutzen ihr grosses Energiespar- und CO₂-Reduktionspotential nur bei optimalem Betrieb des Gesamtsystems aus Wärmepumpe, Wärmeverteilung, Wärmeabgabe und Gebäude. Hier sind wesentliche Verbesserungen möglich. Dieses Thema ist deshalb einer der Programmschwerpunkte.

Programmübersicht und Programmziele

Über 50 % des gesamten Endenergiebedarfs der Schweiz werden als Niedertemperaturwärme für Raumheizung, Warmwasserbereitung und industrielle Prozesse benötigt. Dieses Forschungsprogramm will die Wissenslücken schliessen, um in Zukunft einen wesentlich höheren Anteil der Niedertemperaturwärme aus Umgebungswärme (Luft, Erdboden, Grund- und Oberflächenwasser) oder aus Abwärme gewinnen zu können. Durch die Kombination von Elektrowärmepumpen mit Wärme-Kraft-Kopplungsanlagen aber auch mit fortschrittlichen 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. In Zukunft sind noch deutlich höhere Einsparungen möglich [23, 26, 27].

Zur Verbesserung der Effizienz und der Betriebssicherheit und zur Reduktion der Kosten der genannten Systeme und einer energieoptimalen Konzeption industrieller Prozesse wurden im Jahr 1998 die folgenden

Hauptziele verfolgt:

- **Wärmepumpen für den Sanierungsmarkt:** Erarbeiten von Grundlagen zur Entwicklung einer kostengünstigen Wärmepumpe für hohe Temperaturhöbe,
- **Systemoptimierung:** Entwickeln neuer Methoden zum Testen, Optimieren und Regeln von Wärmepumpenheizungssystemen,
- **Blockheizkraftwerke:** Emissionsreduktion und Betriebsoptimierung,
- **Prozessintegration:** Weiterentwickeln und Umsetzen der Methoden zur Reduktion des Energiebedarfs komplexer industrieller Prozesse und haustechnischer Anlagen.

Eine ausführliche, resultatorientierte Jahresübersicht zu diesem Forschungsprogramm findet man in [29].

1998 durchgeführte Forschungsarbeiten und erreichte Ergebnisse

WÄRMEQUELLEN UND -ÜBERTRAGUNG

Für Luft als Wärmequelle für Wärmepumpen wurde ein Funktionsmuster eines stillen Verdampfers gebaut und erprobt [5]. Erdwärme ist nach Umgebungsluft die wichtigste Wärmequelle für Wärmepumpen. Die Auslegungsg Grundlagen bedürfen noch erheblicher Ergänzungen. Insbesondere fehlen oft die relevanten Stoffwerte des Erdbodens. Mit dem Vorhaben *Geothermische Eigenschaften des Schweizer Molassebeckens* [8] wurde mit dem Schliessen dieser Lücke begonnen. Das in einem früheren Vorhaben entwickelte Berechnungsmodul EWS für die Ermittlung der Soleaustrittstemperatur aus einzelnen Erdwärmesonden wird in einem neuen Projekt [11] zum Erfassen von Erdwärmesondenfeldern ausgebaut. Die Aufladung von Erdwärmesonden mit Überschusswärme von Solaranlagen im Sommerhalbjahr steht immer wieder zur Diskussion. Eine interessantere Variante für eine aktive Sommerregenerierung ist der Sommerkühlbetrieb mit Soleumwälzung (sanfte Raumkühlung). Eine Potentialstudie [1] für ein Mehrfamilienhaus und für ein Bürogebäude (grosser Sommerkühlbedarf) mit kleinen Erdwärmesondenfeldern zeigte, dass eine direkte Sommeraufladung von Erdwärmesonden über normal dimensionierte Warmwasser-Solaranlagen weder energetisch noch wirtschaftlich sinnvoll ist. Die sanfte Raumkühlung kann dagegen bei ohnehin zu deckendem Kühlbedarf interessant sein.

Die früheren Wärmetübergangsuntersuchungen an synthetischen Kältemitteln wurden auf die Verdampfung von Ammoniak-Öl-Gemischen in glatten und strukturierten Rohren ausgedehnt. Dabei wurden die bisher-

gen Korrelationen zur Berechnung des örtlichen Wärmetübergangskoeffizienten beim Verdampfen in glatten Rohren verbessert [18].

WÄRMEPUMPEN UND BLOCKHEIZKRAFTWERKE

In der Schweiz wird bereits jeder dritte Neubau mit Wärmepumpen beheizt. Im wesentlich grösseren Sanierungsmarkt wird die Wärmepumpe dagegen erst in Einzelfällen eingesetzt. Das Hauptgewicht der Forschungs- und Entwicklungsanstrengungen wird deshalb auf eine für den Sanierungsmarkt geeignete Wärmepumpe gelegt. Diese soll gegenüber den heutigen Wärmepumpen

- eine höhere Jahresarbeitszahl bei kleinerem Speichervolumen erreichen,
- den monovalenten Betrieb mit Vorlauftemperaturen bis 60°C ermöglichen und
- dank modularem Aufbau und Serieproduktion kostengünstiger werden.

Das BFE hat dazu ein Pflichtenheft aufgestellt und eine neue Ausschreibung gestartet [29]. Mit den nachfolgend beschriebenen Projekten werden Grundlagen zur Entwicklung dieser *Swiss Retrofit Heat Pump* bereitgestellt. Die grossen Temperaturunterschiede zwischen der Wärmequelle und den Wärmebezüglern im Sanierungsmarkt führen bei der üblichen einstufigen Bauweise zu geringen Wärmeleistungen und Leistungszahlen. Die Untersuchungen an zweistufigen Kreisprozessen werden deshalb fortgesetzt [17].

Als weitere Möglichkeit zur Bewältigung der hohen Vorlauftemperaturen im Sanierungsmarkt wurde das Potential eines **Kreisprozesses mit separatem Hilfskreislauf für die Kondensatunterkühlung** durch eine Computersimulation ermittelt [19]. Nach den Vergleichsrechnungen mit üblichen zweistufigen Kreisprozessen wird ein Funktionsmuster gebaut und in Betrieb genommen [20]. Die thermodynamischen Vorteile einer **Kleinwärmepumpe mit Ammoniak** als Kältemittel und einem neuen Adsorptionsmittel als "Ammoniakfalle" für den Leckagefall wurden in [4] untersucht. Für Luft/Wasser-Wärmepumpen mit Ammoniak sind gegenüber R22, Propan und R407C um rund 15 % höhere Leistungszahlen zu erwarten. In einer zweiten Projektphase [6] wird der Lösung des Überhitzungsproblems in einem speziellen Kompressor nachgegangen.

In einem grösseren Vorhaben wird ein **emissionsarmer Gasmotor** eines schweizerischen Herstellers weiterentwickelt. Er erreichte im aufgeladenen Betrieb NO_x -Emissionen von weniger als 150 mg/m_N^3 ohne nachgeschalteten Katalysator. Ohne Oxidationskatalysator werden die Grenzwerte für CO jedoch noch überschritten [16, 22]. Das Vorhaben wird künftig im Bereich "Feuerung und Verbrennung" weitergeführt. Viele BHKW-Anlagen erreichen die bei der Planung vorausgesetzte Jahresbetriebszeit nicht. In einem neuen Projekt zur **Betriebsoptimierung von Blockheizkraftwerken** [2] verdeutlichte eine Sensitivitätsanalyse den dominierenden Einfluss des oft überschätzten Wärmeleistungsbedarfs.

SYSTEMOPTIMIERUNG

Zur Anpassung der Wärmeleistung von Wärmepumpen an den variablen Wärmebedarf werden Wärmepumpen im allgemeinen taktend betrieben. Die Leistungs- und Leistungszahleinbussen können beim Wiedereinschalten von Wärmepumpen beträchtlich sein. Der Wärmepumpentest ist deshalb auf den instationären Wiederanfahrbereich auszudehnen. Eine **Modellierung des Anfahrverhaltens** von Wärmepumpen [3] soll den dafür befürchteten hohen Messaufwand in Grenzen halten und den Herstellern den Weg zur Minimierung der Verluste weisen. Heizungsanlagen mit Wärmepumpen nutzen ihr grosses Energiesparpotential nur bei optimalem Betrieb des Gesamtsystems aus Wärmepumpe, Wärmeverteilung, Wärmeabgabe und Gebäude. Um dies zu erreichen, wird eine **Kurztestmethode für Wärmepumpen** entwickelt [21], welche es erlaubt, die Abweichung der tatsächlichen Anlageparameter gegenüber den Planungsdaten, das Auffinden der häufigsten Fehlerquellen, die Auswirkungen allfälliger Fehler der Anlage auf das Jahresergebnis, die Betriebsoptimierung und -überwachung in kurzer Zeit mit möglichst preisgünstigen Messungen durchzuführen. Die neue Methode soll aber auch als Basis für das Fernziel einer neuen, modellbasierten Regelungsstrategie für Wärmepumpen dienen. Bisher wurde das gesamte Wärmepumpenheizsystem mit Gebäude unter Berücksichtigung des dynamischen Verhaltens modelliert. Die Parameter der Modelle aller Teilsysteme werden aus Messungen wäh-

rend etwa einer Woche im normalen Betrieb der Wärmepumpenanlage identifiziert. Es ist bereits gelungen, die tatsächliche Energiekennlinie eines Einfamilienhauses aus einfachen Messgrössen zu errechnen und zu zeigen, dass diese infolge der Sonneneinstrahlung und dem Benützerverhalten in der Regel stark von der nach der Planung eingestellten Kennlinie abweicht. Die Auswirkungen von ermittelten Fehlern können durch Computersimulationen beurteilt und die richtigen Optimierungsmassnahmen ausgelöst werden. Die **detaillierte Diagnose der Wärmepumpe** wird in der nächsten Projektphase [12, 24] angegangen.

Die konventionelle aussentemperaturgeführte Zweipunkt-Rücklauftemperaturregelung von Wärmepumpen weist mehrere Mängel auf. Die neu zu entwickelnde, modellbasierte **Pulsweitenmodulation** [7] soll diese beseitigen. Dabei wird die z.B. während einem Tag benötigte Wärmemenge über ein dynamisches Modell des Wärmepumpenheizsystems und dem Aussentemperaturverlauf errechnet und dem Heizungssystem durch möglichst lange, unterbruchsfreie Betriebsperioden der Wärmepumpe optimal zugeführt. Die theoretischen Überlegungen werden während der Heizsaison 98/99 an einem realen Gebäude erprobt. Fernziel ist eine Regelung, welche die massgebenden Einflussgruppen nach einer Inbetriebnahmephase von z.B. 2 Wochen selbst identifiziert und dann die Wärmepumpe mit diesen Parametern optimal regelt.

Bei **Niedrigenergiehäusern** steigt der Wärmebedarf für die Warmwasserbereitung auf 30 bis 40 % des gesamten Wärmebedarfs. Auch grosse Fensterflächen gegen Süden zur Erhöhung der passiven Solarenergienutzung wirken sich stärker aus als bei konventionellen Bauten. Um das Ziel eines hohen Komforts kostengünstig und mit möglichst geringer Umweltbelastung zu erreichen, werden im Projekt "**Kostengünstige Niedrigtemperaturheizung mit Wärmepumpen**" [13] Wärmeerzeugung, Wärmeverteilung und Gebäude als ganzes System untersucht. Im Vordergrund steht die Wärmeerzeugung durch Luft/Wasser- und Sole/Wasser-Wärmepumpen. In der nun abgeschlossenen Phase 2 wurden Computersimulationen mit ergänzenden Laborversuchen für Reiheneinfamilienhäuser in Leicht- und Massivbauweise durchgeführt. Geringe Kosten werden durch den direkten Anschluss der Wärmepumpe ohne Wärmespeicher und ohne Mischventile ans Wärmeverteilungssystem erreicht. Dies stellt an die Regelung des Heizungssystems allerdings hohe Ansprüche und kann bei der Leichtbauweise an die Behaglichkeitsgrenze führen. Ein **Wirtschaftlichkeitsvergleich** mit konventionellen Heizsystemen zeigte, dass die Luft/Luft-Wärmepumpe mit Abluftwärmerückgewinnung am kostengünstigsten ist. Die auch für die konventionellen Kesselsysteme durchgeführte **Ökobilanz** zeigte die Überlegenheit von Wärmepumpenheizsystemen gegenüber der Ölkessel- und der Elektrowiderstandsheizung klar. In Bezug auf den Treibhauseffekt sind Wärmepumpenheizungen auch deutlich besser als die Gaskesselheizungen. In weiteren Schritten werden drei reale Gebäude mit Wärmepumpenheizungen **experimentell** untersucht

[14] und die für die Planung von Wärmepumpenheizanlagen wesentlichen Erkenntnisse in einem **Handbuch** zusammengefasst.

Im Bereich der Abwärmenutzung konzentrierten sich unsere Forschungsbemühungen auf die **Prozessintegration** [28]. Für das Optimieren von Gesamtanlagen der **komplexeren Haustechnik** (z.B. Spital, Laborgebäude) wird das zweckmässige Vorgehen an einem Fallbeispiel erarbeitet [9]. In der Schweiz wird sowohl im Chemie- auch im Lebensmittelbereich häufig mit **diskonti-**

nuierlichen Prozessen (Batch-Prozesse) produziert. Deshalb wird in [15] am systematischen Vorgehen zur optimalen energetischen Gestaltung diskontinuierlicher Prozesse weiter gearbeitet. Dabei wird versucht, den noch erheblichen Aufwand bei der Anwendung zu reduzieren. Zur Verbreitung der **Pinch-Methode** [28] in die Praxis wurde ein deutschsprachiges auch zum Selbststudium geeignetes **Handbuch** ausgearbeitet und in drei gut besuchten Kursen für Energie- und Verfahreningenieure laufend verbessert [10].

Nationale und internationale Zusammenarbeit

Die Forschungsaktivitäten wurden vorab im Bereich Wärme-Kraft-Kopplung mit dem Energieforschungsfonds der schweizerischen Gasindustrie **FOGA** koordiniert. Auch der Forschungsfonds der Erdölvereinigung **FEV** und der Projekt- und Studienfonds der Elektrizitätswirtschaft **PSEL** förderten Vorhaben im WKK-Bereich.

Der **PSEL** unterstützte mit dem BFE, den Nordostschweizerischen Kraftwerken **NOK** und dem Elektrizitätswerk der Stadt Zürich **EWZ** die Qualitätssicherung bei Wärmepumpen durch Beiträge an das **Wärmepumpentest- und Ausbildungszentrum Töss**. In der Fördergemeinschaft Wärmepumpen Schweiz **FWS** [30] arbeiten das BFE, Branchenverbände von Planern und Installateuren, Hersteller von Wärmepumpen, Elektrizitätswerke und Dienststellen von Kantonen zur Verbreitung zuverlässiger und effizienter Wärmepumpenheizungsanlagen zusammen. Im Bereich der **Prozessintegration** fand die nationale Zusammenarbeit im **Swiss National Team** des **IEA Implementing Agreement on Process Integration Technologies** statt. Sie wurde durch die SIA-Fachgruppe für Verfahrens- und Chemieingenieurwesen **FVC** aktiv unterstützt. Die **internationale Zusammenarbeit** erfolgte vorwiegend 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. Das Interesse der **Electricité de France EdF** an unserer Wärmepumpentechnologie wurde durch weitere Treffen bestätigt. **EdF** erwirbt unser Planungsprogramm **WP-Calc** in einer modifizierten Form.

Eine enge internationale Zusammenarbeit erfolgte auch dieses Jahr über die schweizerische Beteiligung am **IEA Heat Pump Programme HPP**. Das **Heat Pump Centre** des **HPP** [31] informiert über internationale Fortschritte

der Wärmepumpentechnologie, Ergebnisse der **HPP-Projekte** und internationale Marktentwicklungen. Innerhalb des **Swiss National Teams** [32] fand wiederum ein reger nationaler Informations- und Gedankenaustausch statt. Die Aufgaben des **Heat Pump Centre** werden zur Zeit neu definiert. Im **HPP-Projekt Compression Systems with Natural Working Fluids** wurden unter aktiver Beteiligung der Schweiz Planungsgrundlagen für die Anwendung natürlicher Kältemittel in Wärmepumpen erarbeitet [33]. Zur Zeit läuft in der Schweiz eine Umfrage zur möglichen Beteiligung an einem auf **CO₂** konzentrierten Folgeprojekt. Die Kooperation im Bereich von Einzelraumwärmepumpen im Projekt **Heat pumps for single room applications** wurde abgeschlossen. Ziel des neuen **HPP-Projekts Advanced Supermarket Refrigeration, Heat Recovery Systems** ist die Energieeinsparung in Einkaufszentren. Eine Beteiligung der Schweiz wird angestrebt. Weiter hat das BFE die Teilnahme der Schweiz an dem für die Forschung und Entwicklung in der Wärmepumpentechnik wichtigen **International Institute of Refrigeration IIR** [34] gesichert.

Im Bereich der Prozessintegration fand die internationale Zusammenarbeit im Rahmen des **IEA-Implementing Agreement on Process Integration** statt. 1999 wird ein Übersichtsbericht zu den Methoden der Prozessintegration erscheinen [35]. Die Arbeitsgruppe in der Schweiz, das **Swiss National Team**, hat zuhanden des **Implementing Agreements** einen von der **EPFL** ausgearbeiteten Projektvorschlag **Process Integration Methodologies accounting for Sustainability Factors** zur Berücksichtigung von Aspekten der Ökobilanz bei der Prozessintegration verabschiedet. Dieser ist auf grosses internationales Interesse gestossen und dürfte 1999 unter schweizerischer Leitung gestartet werden. Ein entsprechender nationaler Projektvorschlag hat eine hohe Industriebeteiligung gefunden.

Transfer in die Praxis

Da an den meisten der ohnehin sehr anwendungsnahen Projektarbeiten private Firmen beteiligt sind, ist die di-

rekte Zusammenarbeit mit der Privatwirtschaft sehr eng. Die im Jahr 1998 bearbeiteten Forschungsarbeiten

sind gute Grundlagen für eine industrielle Weiterentwicklung zu neuen Produkten, dienen einer besseren Auslegung und einem optimaleren Betrieb von Wärmepumpenheizungssystemen. Sie tragen zu einem ökonomischeren und ökologischeren Betrieb von Blockheizkraftwerken bei und ermöglichen die Reduktion des Energiebedarfs verfahrenstechnischer Prozesse und komplexer haustechnischer Anlagen. Mit den in der Fachpresse und in der neuen Internetseite des Forschungsprogramms [29] publizierten Kurzfassungen des Programmleiters wird laufend auf die Resultate abgeschlossener Vorhaben hingewiesen. Zahlreiche P+D-Projekte helfen, das in der Forschung erarbeitete in zuverlässig funktionierende Anlagen umzusetzen. Der Umsetzung diente auch die sehr gut besuchte 5. UAW-Tagung des Bundesamts für Energie vom Mai 98 [25].

Das auch vom BFE unterstützte Wärmepumpentest- und Ausbildungszentrum Töss leistet einen erheblichen Beitrag zur Sicherung der Wärmepumpenqualität und zur Erhöhung der Effizienz der im Handel angebotenen Wärmepumpen [36]. Die von der FWS organisierte *Wärmepumpen Expo 98* in Bern bot erneut eine ausgezeichnete Gelegenheit, die Vorteile der Wärmepumpenheizung einer grossen Besucherzahl zu zeigen. Die FWS sorgt durch Ausbildung der entsprechenden Fachleute, Beratung und Verabschiedung eines Gütesiegels für eine Erhöhung der Qualität der Wärmepumpentechnik. Der immer noch geringe Bekanntheitsgrad der Methoden der Prozessintegration veranlasste uns zur Herausgabe einer weiteren Einführung [28] und zur Lancierung von zwei weiteren BFE-Kursen zur Prozessintegration [10].

Ausblick auf 1999

Dank ihrem hohen und kurzfristig realisierbaren Potential zur Reduktion der CO₂-Emission und des Bedarfs an fossilen Brennstoffen [23], [27] hat die Wärmepumpentechnologie in Kombination mit der Wärme-Kraft-Kopplung nichts an Aktualität eingebüsst. Auch die für 1999 geplanten Forschungsarbeiten dienen in erster Linie dem Ziel, die Effizienz und die Zuverlässigkeit solcher Systeme zu erhöhen und deren Preis zu senken. Prioritär werden Entwicklungen für den Sanierungsmarkt unterstützt, welche zu der bereits beschriebenen *Swiss Retrofit Heat Pump* führen. Ebenfalls hohe Priorität wird der Systemoptimierung beigemessen. Weiter

sollen die Abschätzung der geothermischen Stoffwerte im Schweizer Molassebecken, die Erweiterung des Berechnungsmoduls EWS für Erdwärmesondenfelder sowie die Anwendung der Methoden der Prozessintegration für die komplexe Haustechnik abgeschlossen werden. Neue nationale und internationale Projekte sind für das Einbringen ökologischer Aspekte in die Prozessintegration vorgesehen. Am 4. Mai 1999 führen wir die 6. öffentliche UAW-Tagung mit dem Thema "Feldanalyse von Wärmepumpen" durch. Programm und Anmeldung bei ENET.

Projets P+D

Fabrice Rognon, chef du programme P+D

CHALEUR AMBIANTE

Durant l'année écoulée, nous avons enregistré 12 demandes nouvelles, 8 ont été acceptées et 2 refusées. Pour les 2 restantes, nous attendons des compléments d'information avant de statuer définitivement. L'accroissement du nombre de nouveaux projets est réjouissant. Outre deux mandats, 30 installations se trouvent à des stades divers de réalisation. Leur répartition est décrite dans les deux tabelles figurant à la page suivante.

Les rapports suivants sont parus en 1998 et sont disponibles auprès de NovaEnergie [37]:

- Installation de pompe à chaleur simplifiée dans une maison familiale à Préles/BE (ZB)
- Le Vieux Manoir, *Kältemaschinen als Wärmepumpen im Hotelbetrieb* (ZB)
- *Messkampagne Wasser/Wasser-Wärmepumpen*,

Betrieb der Wärmepumpen in bivalenten Wärmезentralen mit Nahwärmernetzen (SB)

Plusieurs rapports prévus en 1998 sont retardés. En général, l'exécution des projets est plus lente que prévue ce qui retarde parfois d'une période de chauffage les mesures et le rapport correspondant. Afin de susciter des projets, nous avons lancé en coordination avec l'action d'Energie 2000 "Energie dans les STEP" un mandat de recherche de sites pour l'implantation de pompes à chaleur utilisant la chaleur résiduelle des stations d'épuration des eaux. Un second mandat analyse les potentiels technico-économiques des pompes à chaleur de grandes puissances. Des résultats concrets y compris des projets de réalisation sont attendus en 1999. A l'avenir, les priorités restent: la rénovation de chauffages existants, l'utilisation de fluides frigorigènes neutres pour l'environnement, l'amélioration du coefficient de performance et l'abaissement des coûts.

Sources de chaleur	air	sondes géothermiques	nappe phréatique	lac, rivière
Nombre	8	10	12	0

Systèmes principaux	CCF + PAC	air/eau monovalente	air/eau avec appoint	nappe phréatique/eau
Nombre	7	5	3	12
dont CAD	4	0	1	8
dont réseau de source de chaleur		0	0	2

COUPLAGE CHALEUR-FORCE

Durant l'année écoulée, nous avons enregistré 5 demandes nouvelles. 1 est acceptée, 2 sont refusées et 2 sont en discussion. Afin de stimuler le programme, nous avons octroyé un mandat de recherche de sites

d'implantation dans des STEP d'installations mini-cogénération (puissance électrique de quelques kW, rendement électrique inférieur à 30 %) fonctionnant au biogaz. Cette étude est menée conjointement avec l'action d'Energie 2000 "Energie dans les STEP".

Outre le mandat susmentionné, les 4 projets en cours fonctionnent tous au gaz naturel. Dans tous les cas, la chaleur est utilisée. Le rapport intermédiaire suivant est paru en 1998 et est disponibles auprès de NovaEnergie [37]:

- Couplage chaleur-force de l'école hôtelière de Lausanne, mesures et transfert.

Afin d'encourager l'utilisation de groupes chaleur-force en combinaison avec des pompes à chaleur, nous allons publier début 1999 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. Lors d'utilisation de combustibles fossiles, le rendement électrique doit être supérieur à 33 %.

Liste der Projekte

- [1] W. Hässig, D. Sutter, BASLER & HOFMANN, Zürich & Bigler, R. WERNER + PARTNER, Burgdorf & A. Huber, HUBER ENERGIETECHNIK, Zürich: *Regeneration von Erdwärmesonden, Phase 1* (SB) / ENET 9722601/1
- [2] M. Erb, EICHER + PAULI, Liestal: *Betriebsoptimierung von Blockheizkraftwerken, Phase 1: Betriebskenngrößen* (JB) / ENET 66400
- [3] M. Ehrbar, FH-Buchs: *Dynamischer Wärmepumpentest* (JB) / ENET 9720132/1
- [4] T. Boyman, Th. Schmid, FH-Horw & A. Flück, NEK UMWELTTECHNIK, Zürich: *Kleinwärmepumpen mit Ammoniak – Phase 1: Kleinwärmepumpen mit Ammoniak, Vergleich von Ammoniak mit Propan, R407C und R22* (SB) / ENET 9719746/2
- [5] P. von Böckh, FH-Muttenz: *Stiller Verdampfer für Luft/Wasser-Wärmepumpen* (SB) / ENET 97/21060/1
- [6] Th. Kopp, FH-Rapperswil, *Kleinwärmepumpen mit Ammoniak – Phase 2: Kompressor- und Ammoniakfallentest* (JB) / ENET 9719746
- [7] H.R. Gabathuler, H. Mayer, GABATHULER, Diessenhofen & E. Shafai, R. Wimmer, IMRT/ETH-Zürich: *Pulsbreitenmodulation für Kleinwärmepumpenanlagen, Phase I*, (ZB) / ENET 9723972/1♦
H.R. Gabathuler, GABATHULER, Diessenhofen: *Pulsbreitenmodulation für Kleinwärmepumpenanlagen, Phase I* (JB) / ENET 9723972
- [8] W. Leu, GEOFORM, Winterthur: *Geothermische Eigenschaften des Schweizer Molassebeckens* (ZB, JB) / ENET 9723763
- [9] R. Bendel, HELBLING INGENIEURUNTERNEHMUNG, Zürich: *Einsatz der Pinch-Methode in der Haustechnik* (JB) / ENET 9825230
- [10] R. Morand, R. Bendel, HELBLING INGENIEURUNTERNEHMUNG, 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"* (SB) / ENET 9658854/3
- [11] A. Huber, HUBER ENERGIETECHNIK, Zürich & D. Pahud, LASSEN / EPF-Lausanne: *Erweiterung des Programms EWS für Sondenfelder* (JB) / ENET 9819227
- [12] E. Shafai, IMRT / ETH-Zürich: *Kurztestmethode für Wärmepumpenanlagen – Phase 4: Modellierung und Parameteridentifikation der Wärmepumpe* (JB) / ENET 9817822

- [13] Th. Afjei, D. Wittwer, INFEL, Zürich & W. Betschart, A. Glass, M. Wetter, G. Zweifel, HTL-Horw & H.P. Geering, S. Ginsburg, E. Shafai, IMRT / ETH-Zürich & A. Huber, HUBER ENERGIETECHNIK, Zürich & R. Bircher, BIRCHER+KELLER, Sissach & G. Doka, INGENIEURBÜRO DOKA, Zürich: *Kostengünstige Niedrigtemperaturheizung mit Wärmepumpe – Phase 2: Ökologischer und ökonomischer Vergleich, Systemoptimierung, intelligente Regelung, Versuche* (SB) / ENET 9655701
- [14] Th. Afjei, INFEL, Zürich: *Kostengünstige Niedrigtemperaturheizung mit Wärmepumpe – Phase 3: Test an Funktionsmustern* (JB) / ENET 9816187; *Phase 4: Handbuch* (JB) / ENET 9816187
- [15] P. Krummenacher, LENI / EPF-Lausanne: *Intégration énergétique de procédés industriels discontinus* (JB) / ENET 9655360
- [16] R. Röthlisberger, D. Favrat, G. Leyland, C.-A. Paschoud, LENI / EPF-Lausanne: *Swiss Motor: Modification d'un moteur diesel pour le fonctionnement au gaz naturel en cogénération* (SB) / ENET 9553707/2
- [17] M. Zehnder, LENI/EPFL-Lausanne: *Pompe à chaleur biétagée à haute performance, phase 2* (JB) / ENET 9710478
- [18] O. Zürcher, D. Favrat, J.R. Thome, LENI / EPF-Lausanne: *Evaporation de mélanges d'ammoniac et d'huile dans des tubes* (SB) / ENET 9656540/1
- [19] M. Zehnder, D. Favrat, LENI / EPF-Lausanne & G. Reiner, SULZER FRIOTHERM, Rothenburg & C. Brugnoli, CRYOTHERM, Toffen: *Wärmepumpe mit Hilfskreislauf zur Kondensatunterkühlung, Phase 1: Potentialstudie* (SB) / ENET 9824787/1
- [20] G. Reiner, SULZER FRIOTHERM, Rothenburg: *Wärmepumpe mit Hilfskreislauf zur Kondensatunterkühlung, Phase 2: Funktionsmuster* (JB) / ENET 9824787
- [21] G. Reiner, SULZER FRIOTHERM, Rothenburg & E. Shafai, R. Wimmer, D. Zogg, IMRT/ETH-Zürich & H.R. Gabathuler, H. Mayer, GABATHULER, Diessenhofen & H.U. Bruderer, SATAG THERMOTECHNIK, Arbon: *Kurztestmethode für Wärmepumpenanlagen – Phase 3: Messung, Modellierung und Erprobung der Parameteridentifikation* (SB) / ENET 9657407/3

(JB) Jahresbericht 1998 vorhanden

(ZB) Zwischenbericht vorhanden

(SB) Schlussbericht vorhanden

Referenzen

- [22] R.P. Roethlisberger, G. Leyland, D. Favrat, R.R. Raine: *Study of a Small Size Cogeneration Gas Engine in Stoichiometric and Lean Burn Modes, International Fall Fuels and Lubricants Meeting*, San Francisco, California, October 19-22, 1998
- [23] F. Rognon: *50 % weniger CO₂ durch Nutzung erneuerbarer Energie mit Wärmepumpen*, SSES (98)5, 4/9; P. Suter: *Schadstoffreduktion durch Wärmepumpen in der Schweiz*, Bulletin SEV/VSE 89(98)24, 19/21
- [24] D. Zogg, E. Shafai: *Modellbasierte Fehlerdiagnose an Wärmepumpen*, Bulletin SEV/VSE 89(98)24, 33/37
- [25] M. Zogg (Hrsg.): *Wärme-Kraft-Kopplung – heute und morgen*, Tagungsband zur 5.UAW-Tagung, BFE 1998, ENET-Artikel 30743
- [26] M. Zogg: *Wann sind Kleinstblockheizkraftwerke energetisch sinnvoll ?*, Gas, Wasser, Abwasser 78(98)12, 959/966 {D}
- [27] M. Zogg: *Maximale Primärenergienutzung und CO₂-Reduktion mit Wärmepumpenheizsystemen*, BFE 1998, ENET-Art.30876 {D}
- [28] M. Zogg, R. Morand: *Mit der Pinch-Methode zu optimalen Prozessen*, Gas, Wasser, Abwasser 78(98)2, 104/111. (ENET-Nr. 9658854/1)
- [29] M. Zogg: *Jahresübersicht 1998 zum Forschungsprogramm "Umgebungs- und Abwärme, Wärme-Kraft-Kopplung (UAW)" – ausführliche Fassung*, BFE 1999, ENET-Artikel 30919; {D} Gratisdownload aus der Internetseite dieses Forschungsprogramms <http://www.waermepumpe.ch/fe>
- [30] <http://www.fws.ch>
- [31] <http://www.heatpumpcentre.org>

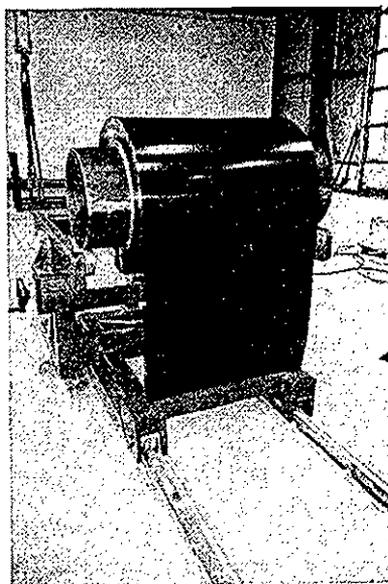
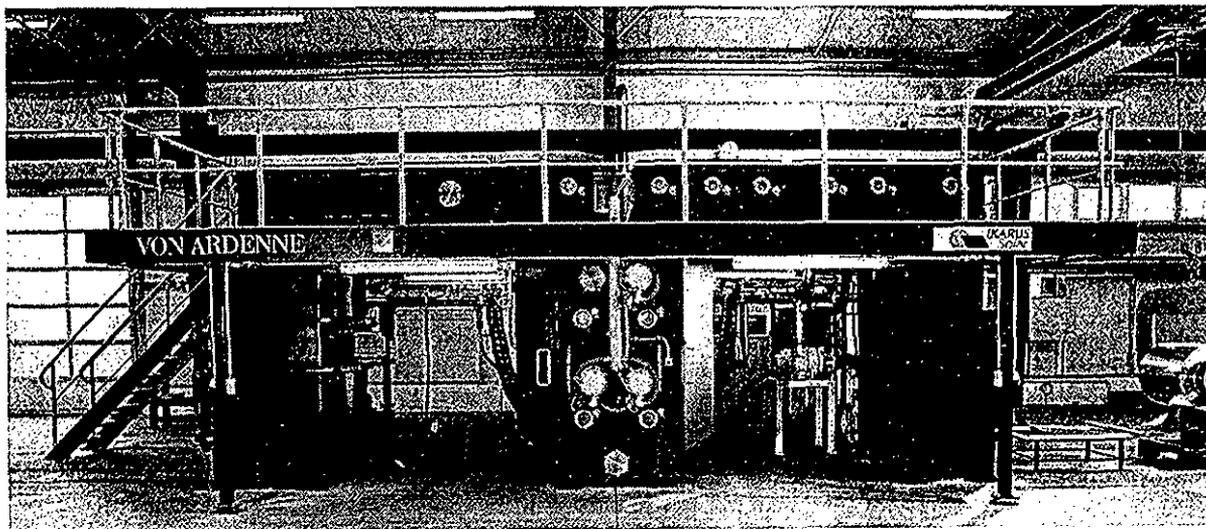
- [32] <http://www.waermepumpe.ch/hpc>
- [33] <http://www.termo.unit.no/kkt/annex22>
- [34] <http://www.iifiir.org>
- [35] <http://www.maskin.ntnu.no/tev/iea/pi/>
- [36] <http://www.wpz.ch>
- [37] http://www.infoenergie.ch/p_d/

SOLAIRE ACTIF: CHALEUR

Rapport de synthèse
sur les activités 1998 du programme de recherche

Jean-Christophe Hadorn

jchadorn@swissonline.ch



ABSORBEUR 2000

L'installation du producteur européen d'absorbeurs exploitant la technologie brevetée par l'UNI-Bâle et le SPF-Rapperswil a été réalisée en 1998 et devrait entrer en production en 1999 (Photos SPF).

Centres de gravité du programme

La recherche solaire thermique suisse reste volontairement proche du marché. Le programme vise à augmenter l'efficacité et la fiabilité des installations, avant de rechercher la performance économique, plutôt du ressort de l'industrie.

Le programme 1998 comprend les centres de gravité suivants:

1. **Amélioration continue des performances des composants solaires.** Le niveau élevé de qualité du Centre national d'héliotechnique SPF à Rapperswil est volontairement soutenu.
2. **Mesures d'installations innovantes.**
3. Recherche de critères et procédures pour garantir

la qualité des installations en fonctionnement.

4. Passage de l'analyse de chauffe-eau solaires, en mains du marché, à l'étude de **systèmes standard combinés**, chauffage et eau chaude pour villas, avec mise sur pied d'un nouveau projet AIE.
5. Projet de prototype de **mini-centrale solaire thermique "SPS"**.

Le programme est avant tout organisé autour du SPF-Rapperswil, et de l'École d'Ingénieurs EIVD-Yverdon. Il fait appel ponctuellement à divers autres groupes, ingénieurs spécialisés ou centre universitaire, et à l'EPFL-Lausanne pour le SPS. Nous essayons, dans les limites de notre budget, de garder une continuité des équipes.

Buts visés pour 1998

a) *Logistique*

La diffusion de METEONORM 3.0 au niveau mondial était à suivre. Le développement de la version 3.0 de Polysun était prévu.

Une large diffusion du premier CD-ROM "SPF Info" était planifiée.

b) *Composants*

Les installations de tests du SPF à Rapperswil doivent être maintenues à un haut niveau de qualité. Le remplacement de la chaîne d'acquisitions de données était devenu nécessaire.

La mise en production de la nouvelle couche sélective améliorée de l'absorbeur d'ÉNERGIE SOLAIRE, était attendue.

Le transfert de technologie du brevet "Absorbeur 2000" de l'Uni Bâle et du SPF devait donner lieu à la construction d'une ligne de production industrielle en Allemagne.

Les conclusions des mesures de la surchauffe estivale sur un champ de capteurs de 52 m² étaient attendues.

c) *Systèmes*

En matière de chauffe-eau solaires, il s'agissait de poursuivre les tests de kits au SPF et à l'EIVD, de réaliser les modifications proposées en 97 pour

diminuer le prix d'un kit du marché.

Les travaux dans le domaine de l'assurance qualité des systèmes en fonctionnement devait aboutir à une recommandation pour les fabricants. L'application des méthodes du contrôle optimal à un kit solaire devait aboutir à une augmentation de la performance à coût quasi nul.

L'utilisation routinière du logiciel TRNSYS par le SPF et l'EIVD pour la simulation d'installations complexes, l'identification de paramètres et leur intégration aux activités AIE étaient recherchées.

Le rapport final de deux grandes installations avec captage par absorbeurs solaires sélectifs (Saillon, Boudry) était attendu. La mesure détaillée des effets du vent sur la toiture solaire de Plan-les-Ouates était demandée au CUEPE/UNI-Genève.

Le projet de SPS (*Solar Power System*) du Laboratoire d'Énergétique Industrielle, LENI/EPF-Lausanne, et COGENER, mini-centrale électrosolaire de 10 kW_{el} devait être terminé et la construction réalisée.

d) *Installations*

Le bilan final de deux immeubles solaires à Sevelen était attendu.

Une participation de qualité à EUROSUN'98 de l'ensemble des chercheurs était souhaitée.

Travaux effectués et résultats obtenus

a) *Logistique*

La distribution mondiale de METEONORM 3.0 au prix de 500 CHF s'est poursuivie sous la responsabilité de METEOTEST. À fin 1998, plus de 330 copies ont été vendues. Une publication a été acceptée dans *Solar*

Energy [1].

Le logiciel de simulation des installations solaires POLYSUN 2.0 a été vendu à 500 exemplaires, en Suisse, en Allemagne et en Autriche. La hotline a été assurée et deux présentations publiques ont été faites

par le SPF à Zurich et à Munich [2D].

La version 3.0 a été entreprise, mais n'a pu être achevée. Les moteurs de simulation, développés en FORTRAN il y a plus de 10 ans à Burgdorf, ont été réécrits en C++ pour faciliter maintenance et extension. Le passage à Windows 95/98 a été réalisé. Le passage à NT s'avère plus délicat. Un échangeur extérieur à la cuve solaire peut désormais être simulé. Pour réduire le coût, il a été décidé que seule la traduction des menus en anglais serait entreprise.

Le premier CD-ROM "SPF Info" a été distribué gratuitement à 4'500 exemplaires avec un accueil très favorable. La traduction en français et anglais du catalogue des capteurs a été faite et sera intégrée dans la version 99, qui ne sera plus gratuite [2D].

Le site Internet dédié à la recherche en solaire thermique [17], complété en 1998, a été très fréquenté [2D].

Le système d'acquisition de données du SPF a été renouvelé après 10 ans. Un nouveau logiciel d'acquisition automatique a été réalisé. Dénommé MCPS, il est couplé à un nouveau logiciel d'analyse (Kalk 2000). Un véritable *datawarehouse* sur les mesures de tous les capteurs testés à Rapperswil est désormais disponible. Ce travail est apparemment peu spectaculaire. Mais il constitue l'infrastructure du SPF pour que les mesures de capteurs soient accomplies en un temps record avec la précision et la fiabilité requises par la certification internationale. Les tests de kits solaires et de stock peuvent être intégrés dans le processus, pour constituer la mémoire long terme du SPF [2D].

Le nouveau module logiciel du SPF, TubeCalc 1.0 permet l'évaluation des pertes de charge de tout circuit solaire et le dimensionnement de la pompe. Le module devrait être intégré à Polysun sur le CD-ROM 99 [2D].

b) Composants

Les travaux du SPF-Rapperswil sont restés de très bonne qualité, et une équipe motivée est à remercier.

Les principaux résultats obtenus en 1998 au SPF sont les suivants [2]:

- 50 tests de capteurs ont été réalisés ! Le rendement et l'effet d'incidence du rayonnement sont systématiquement mesurés en conditions réelles, avec un temps d'exposition le plus court possible. L'acquisition améliorée en 1998 a permis de compenser les mois peu ensoleillés d'automne,
- les tests de qualité des capteurs, permettant d'obtenir le label SPF, ont été accomplis en dépit de difficultés météo. Dès 1999, seuls les capteurs ayant reçu le label SPF pourront être subventionnés par l'OFEN. La mesure des capacités de séchage de l'humidité dans les capteurs a été améliorée,
- l'accréditation européenne EN 45001 des tests des capteurs a été préparée et devrait être effective en 1999 après visite du service SAS suisse,
- les essais de tests dynamiques de capteurs selon les normes européennes ont été poursuivis avec neuf

centres de recherche européens. Les résultats ont été décevants,

- les installations de tests de kits pour l'eau chaude sanitaire ont été utilisées pour de nouveaux systèmes,
- la caméra infrarouge pour l'analyse des capteurs solaires et des pertes singulières des cuves de stockage a été abondamment utilisée. Le SPF a ainsi pu quantifier les déperditions des armatures,
- la caractérisation de stocks stratifiés a débuté. La procédure de tests de stocks, non encore normalisée, a été discutée avec les partenaires danois et hollandais. L'accréditation suisse du banc d'essai de stocks est en cours,
- les travaux sur un nouveau circulateur n'ont pu être avancés faute de temps.

Dans le domaine clé des matériaux, les travaux et résultats du SPF ont été en 1998 les suivants [2C]:

- la collaboration internationale dans le groupe de l'AIE *MSTC Materials for Solar Thermal Collectors* s'est achevée en automne 1998. L'introduction de nouvelles couches sélectives conduit à une augmentation de la température de stagnation des capteurs. De nouvelles procédures de tests ont donc été définies quant au vieillissement des couches. Le rapport final des quatre ans de travail du groupe MSTC est attendu pour 1999. Une publication a été faite à EUROSUN'98.
- tous les résultats de 11 ans de tests de dégradation et de salissures des couvertures transparentes de capteurs sont désormais organisés en base de données. Ils seront disponibles dans le CD-ROM "SPF Info 1999",
- le développement d'un verre solaire avec couche antireflet conjointement avec l'ISFH de Hanovre et un industriel suisse (ERIE) a été abandonné, le partenaire allemand ayant renoncé. Cependant l'étude des voies pour réaliser un verre à basse réflexion a été poursuivie: ont été réalisées une caractérisation des éléments chimiques présents à la surface de verres spéciaux et une recherche bibliographique sur la structuration des couches de surface de verre solaire,
- l'outil de mesure simultanée de la réflexion et de la transmission spectrales a été amélioré par de nouveaux détecteurs et son usage a été simplifié, permettant en une seule mesure l'examen du spectre solaire complet de 280 à 2500 nm,
- les tests de fluides caloporteurs capables de résister sans dégradation aux hautes températures (200 °C) ont été poursuivis avec l'EMPA groupe "Corrosion". Les résultats montrent une bonne stabilité du pH des fluides propylène-glycol et éthylène-glycol jusqu'à 250 °C. D'autres mélanges se révèlent peu stables à 300 °C,
- la couche Absorbant 2000 de l'UNI-Bâle et du

SPF (brevet OFEN) est exploité par un industriel allemand. La machine de production a été construite en 1998. Le procédé de production en continu de la couche par dépôt sous plasma a été amélioré de manière à obtenir une homogénéité du dépôt sur toute la largeur de la tôle de cuivre de 800 mm (longueur de 2 km). En production prototype, l'émission de la couche déposée est bonne, l'absorption peut être améliorée. La production devrait démarrer en été 99. Le SPF agit ici comme conseiller mandaté de l'industriel, dans le but d'atteindre un absorbeur léger, de qualité et bon marché, appelé à remplacer l'importation américaine actuellement dominante. De nouvelles couches à base de Cermet ont également un potentiel solaire à étudier.

Débuté en 1996, le projet Absorbeur AS+ avait pour objectif l'amélioration de la couche sélective produite par ÉNERGIE SOLAIRE, pour le seul capteur non vitré et sélectif pouvant constituer une toiture solaire. La nouvelle couche dénommée C4-97 a été qualifiée en 1998 pour le passage en production. La ligne de fabrication a été modifiée début 1998. L'adaptation des paramètres a pris plusieurs mois du fait de l'impossibilité d'interrompre la production. Le passage de l'échantillon au produit en vraie grandeur était le deuxième objectif. Les résultats des tests effectués sur des tôles de 2 m² permettent de garantir en production une absorption dépassant 0.95 et une émission inférieure à 0.07, résultat mondialement remarquable. Les tests au SPF ont montré que le rendement du capteur sans vitrage a subi une nette amélioration, de l'ordre de 15 % par vent nul. Les résultats des tests des capteurs vitrés équipés de l'AS+ n'ont pu être obtenus en 1998. Depuis septembre 1998, tous les absorbeurs produits par ÉNERGIE SOLAIRE disposent de la nouvelle couche C4-97, plus performante et plus écologique, sans modification du prix final [3]. La collaboration OFEN-Industrie a parfaitement fonctionné dans ce projet.

c) Systèmes

À l'EIVD-Yverdon, les mesures long terme sur un kit solaire concluent à la validité de l'extrapolation des résultats à partir de mesures de quelques jours. Le chauffe-eau économique développé en 1997 a été amélioré. Les mesures en cours doivent confirmer les améliorations et conforter l'industriel dans l'intérêt d'une commercialisation. L'EIVD a instrumenté en 1998 deux installations combinées de conception très nouvelle, mises récemment sur le marché (système Arpège d'Agona), l'une dans une villa et l'autre en laboratoire. Le comportement du stock muni d'un brûleur intégré à mi-cuve sera particulièrement suivi. Ce projet fait partie du nouveau projet AIE [6].

L'étude sur les petites unités de froid solaire s'est achevée à l'EIVD. Une solution de climatisation solaire basée sur le principe de l'adsorption intermittente serait

la meilleure pour les villas. La construction d'un prototype est envisagée, hors de notre programme. Pour les bâtiments administratifs ou commerciaux, ou ceux munis d'une ventilation, la dessiccation est la meilleure technique [6].

L'amélioration d'un chauffe-eau artisanal en thermosiphon, construit par la Coopération suisse au Burkina-Faso, a été également recherchée à l'EIVD [6].

Le projet de supervision automatique des installations, une collaboration entre l'Institut d'Automatique de l'EPFL, l'EIVD-Yverdon et un industriel solaire, a utilisé deux variables qui peuvent être manipulées pour maximiser la part solaire d'un chauffe-eau: le débit dans les capteurs et la puissance de l'appoint électrique. La commande développée est basée sur un modèle validé, une prévision de l'ensoleillement par l'Institut Suisse de Météorologie et l'estimation des besoins en eau chaude sanitaire. Cette estimation pourrait être exécutée par un réseau neuronal. Un débit proportionnel à l'ensoleillement est très proche de l'optimum, mais pour un gain faible. Le nouveau concept de l'appoint à volume variable qui a été découvert pourrait faire l'objet d'un brevet. La mise en place de la nouvelle commande sur un kit solaire modifié n'a pu être réalisée en 1998. Une prolongation avec des moyens réduits doit être envisagée. La visualisation via Internet des mesures faites à Yverdon devrait être mise en fonction [7].

Le SPF-Rapperswil a analysé douze nouveaux chauffe-eau compacts du marché. Grâce à l'analyse par composants préférée à la mesure du système complet, les résultats annuels peuvent être rapidement obtenus par extrapolation. Les résultats des tests sont disponibles [17]. L'action Solkit s'est terminée avec un dernier contrôle des installations pilotes. Au total, 41 Solkit ont été suivis *in situ*: des problèmes de matériau ont été détectés et résolus en collaboration avec l'industriel [2B]. Le SPF a parallèlement commencé son implication dans le projet AIE sur les systèmes combinés, et trois fabricants suisses ont été motivés avec succès.

Le projet Économies possibles grâce aux arrêts du primaire dans les installations solaires s'est terminé en 1998 avec la création d'un limiteur de marche. Il permet de réduire la mise en marche de la chaudière pour éviter les pertes de maintien en température. Il est surtout utile dans des installations de préchauffage d'eau sanitaire à deux cuves. Un prospectus explicatif du limiteur a été distribué à tous les fabricants de matériel solaire de Suisse [8].

Le projet *Qualitätssicherung bei Solaranlagen* devait aboutir en 1998 à la définition de critère(s) de qualité d'une installation. L'idée était d'offrir une surveillance automatique permanente, à un coût faible, sans recourir à une solution de "garantie de résultats solaires" plutôt réservée aux grandes installations. Une enquête auprès des industriels suisses a été réalisée par SYNETRUM. Deux solutions ont émergé. La première est le recours à

un modèle des installations en comparaison continue avec la réalité, avec les impossibilités qu'il comporte pour des systèmes non standards. La deuxième est une solution plus simple qui est l'analyse des dysfonctionnements de la seule boucle solaire par le biais de l'analyse de réponse spectrale de la température de sortie des capteurs, grandeur aisément mesurable. Un cahier des charges a été développé [4].

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 en faible débit de 15 l/h m². L'installation a pu être modifiée pour l'étude de la surchauffe estivale du circuit de capteurs. Une méthode de dimensionnement du vase d'expansion a été développée. La fraction solaire a été de 58 % des besoins en eau chaude sanitaire et de 15 % des besoins en chaleur. Ceci est conforme à l'attente et a confirmé l'intérêt de la solution *low flow*. Un refroidissement externe des capteurs est suggéré pour l'été [5].

Les travaux de construction de la mini-centrale solaire pilote électro-thermo-solaire de 10 kWel SPS (*Solar Power System*) n'ont pas avancé aussi vite que prévu. Le capteur à concentration, dont le *design* a été revu en 1998 par COGENER suite à différents problèmes techniques, est en début de construction à fin 1998. Le collecteur sous vide, partie très critique du captage, a été finalement acheté à SOLEL en Israël, après des essais infructueux de développement d'une solution suisse. L'unité pilote de deux turbines étagées *Scroll* a été projetée et construite au LENI, EPF-Lausanne, sur un bâti transportable. Elle est en cours de test en labo avant l'installation sur le site du Parc Scientifique de l'EPF-Lausanne en 1999. Tous les éléments du projet sont maintenant définis et en commande. Le logiciel de simulation de l'ensemble a été enrichi. Un financement complémentaire de la boucle solaire a dû être trouvé au titre de projet pilote [13].

d) Installations

Le rapport final du projet Saillon 1 MW solaire a été réalisé après 3 cycles de mesures [9]. Voici les conclusions principales:

- La production annuelle des 957 m² d'absorbeurs non vitrés a été de 300 kWh/m² pour un coût de 380 CHF/m², amenant le kWh solaire à un prix d'environ 8 cts/kWh. Deux défauts ont toutefois été constatés pour cette première: la sensibilité au vent de la toiture, exacerbée par la forte corrélation entre soleil et vent en Valais, et une irrigation incomplète des capteurs posés à l'horizontal et parcourus par un débit faible de 12 l/h m²,
- le stock saisonnier en aquifère n'a pas fonctionné selon l'attente. Les causes sont triples: la taille du stock trop petite, la production insuffisante des absorbeurs et la difficulté de contrôler à bon

marché un aquifère de surface. En outre, l'échangeur principal brasé au cuivre a cédé par corrosion après quatre cycles,

- le principe nouveau de la distribution par le Calobus a fonctionné. Des problèmes de réglage n'ont pas été observés. Une corrosion des échangeurs a cependant nécessité réparation,
- la possibilité de réduire leurs charges de chauffage est difficilement utilisée par des locataires peu motivés.

Les résultats du pilote de Saillon ont contribué à un nouveau *design* de toiture solaire, mis en œuvre à Plan-les-Ouates en 1996 et à la maîtrise du fonctionnement du Calobus. Par contre le stockage saisonnier en aquifère pour des projets inférieurs à 500 MWh de demande annuelle est impossible.

Au Centre d'Entretien de Boudry, 102.5 m² d'absorbeurs en façade sont directement reliés au chauffage de sol d'un atelier depuis 1996. Il s'agit d'un "plancher solaire direct" (PSD). Le rapport final rassemble deux années de mesures et montre que:

- l'installation solaire a fourni 7 % de l'énergie thermique totale annuelle du Centre, moins que les 10 % prévus,
- l'effet du vent sur la paroi verticale est prépondérant quant aux performances, mesurées à 126 kWh/m² par an. Les pertes par convection représentent 85 % des pertes totales,
- le prix du kWh solaire s'élève à 34 cts, avec un potentiel de réduction à 28 cts pour de nouvelles installations.
- Des tables de dimensionnement de PSD avec absorbeurs ont été établies. En installant une surface d'absorbeurs égale à 35 % de la surface à chauffer, on peut atteindre un coût de 18 cts/kWh [10].

La cité solaire de Plan-les-Ouates comporte trois corps de bâtiments avec une toiture solaire intégrée de 1'400 m² d'absorbeurs sélectifs couplés à 100 m³ de stock. Le suivi de la toiture solaire est effectué par le CUEPE depuis juin 1997. La toiture a produit 120 kWh/m²/an soit une contribution de 17 % à la demande totale en chaleur. Des améliorations devraient permettre d'augmenter cet apport de 40 %. Durant l'été 98, après remplacement de sondes défectueuses, la toiture solaire a couvert tous les besoins thermiques. L'étude théorique et *in situ* de l'écoulement du vent autour des toitures a été conduite [11].

Le rapport final des mesures de deux immeubles solaires de Sevelen est attendu. 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 69 % de janvier à juin 98, et Sevelen 2 avec 110 m² et 352 l/m² de 98 % [12].

Coordination et collaboration nationale

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

- le SPF avec l'industrie solaire suisse en général et en particulier les fabricants de capteurs solaires,
- le SPF avec l'EMPA,
- l'École d'Ingénieurs, EIVD-Yverdon, avec l'Institut d'Automatique, IA/EPF-Lausanne, et l'industriel AGENA,
- le Bureau d'études Keller-Burnier avec le Service de l'énergie, Lausanne,
- le CUEPE/UNI-Genève avec le CERMA, Nantes.

Comme chaque l'année, le SPF a organisé de nombreuses visites de ses installations de Rapperswil.

Avec la SOFAS, deux manifestations nationales ont été organisées:

- en septembre 98 à Zurich, un séminaire sur l'intérêt de la garantie de résultats des installations solaires

(GRS) a rassemblé une vingtaine de professionnels et des conférenciers de France et d'Allemagne. La GRS qui s'impose dans ces deux pays pour les grandes installations n'est pas jugée souhaitable en Suisse par une majorité de professionnels.

- en novembre 98 à Rapperswil, plus de 130 personnes ont pris part à un séminaire international sur les derniers développements en matière d'absorbeurs solaires.

Par ailleurs, nous avons suivi le projet Neurobat, afin d'évaluer la possibilité d'utiliser les méthodes neuronales dans les installations solaires actives [14]. Faute de moyens, nous devons cependant renoncer à une recherche d'ampleur dans ce domaine pour le moment.

Des réunions entre responsables romands de programmes de l'OFEN et délégués cantonaux romands à l'énergie ont été organisées en avril et octobre 1998 sous l'appellation 3E.

Coordination et collaboration internationale

En ce qui concerne le programme *Solar Heating and Cooling* de l'Agence Internationale de l'Énergie, deux axes de recherche sont actifs dans notre programme:

- le groupe de recherche sur les matériaux dans les capteurs (MSTC) a terminé ses travaux. Les rapports finaux seront disponibles en 1999. Le SPF y a pris une part importante et a également beaucoup appris. La poursuite du travail a été jugée nécessaire par le Comité exécutif du programme. Un nouveau projet devrait débuter en 1999.
- Nous avons mis sur pied en 1998 un nouveau projet qui traite des systèmes combinés chauffage + eau sanitaire pour les villas. Il vise à comparer les systèmes existants dans sept pays et à améliorer leur *design*, pour atteindre des produits standard optimisés. Ce projet durera 3 ans. Nous concentrerons des moyens au SPF et à l'EIVD, avec une participation industrielle. Nous avons organisé un meeting de préparation à Genève en mars 98, et défendu avec succès ce projet devant l'AIE en avril 98. Le Büro n+1, Berne, assure la direction du sous-projet *System survey and comparison*, et le

premier meeting officiel a eu lieu à Chambéry en décembre 98. Plus de 20 systèmes concurrents présentés par 8 pays ont pu être regroupés en 5 familles génériques [15].

Nous avons suivi les préparations de deux autres projets: *Solar procurement* et *Solar cooling*. Nous ne jugeons pas une participation de la Suisse à ces deux projets comme prioritaire, compte tenu de l'état de notre marché et de nos moyens financiers. Proche des préoccupations du premier projet, nous avons cependant lancé une réflexion sur les possibilités d'introduction du solaire dans un réseau de chauffage à distance existant [16].

En 1998, le travail commun sur les méthodes de tests des stocks stratifiés entre le Danemark, les Pays-Bas et la Suisse s'est poursuivi pour établir les bases d'une norme européenne.

La distribution du logiciel *Solar Option*, issu des travaux suisses d'un groupe de travail de l'AIE a été organisée en 1998 via ENET.

Transferts à la pratique, Projets P+D

Pierre Renaud, chef du programme P+D

La recherche en solaire thermique reste une recherche appliquée. 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, standardisations.

En ce qui concerne le programme P+D, dirigé par le bureau PLANAIR, le nombre de demandes de soutien au titre de projets pilotes a encore une fois diminué en 1998 (-65 %).

L'impression que le marché solaire stagne est cependant fautive si l'on consulte les statistiques de la SOFAS. Il semble que les demandes de soutien au titre de projet P+D soient par contre moins importantes.

Des réalisations pilotes en milieu hôtelier ont été

soutenues. Deux projets ont été réalisés en *contracting*.

Dans le but d'assurer une meilleure diffusion des informations, un effort particulier a été fait pour l'élaboration de fiches techniques pour une douzaine d'installations.

Les nouveaux projets P+D 1998 ont été au nombre de 6 pour un total de 365 m² de capteurs et un investissement de 234'000 CHF. Dix projets ont été terminés en 1998 pour un total de 737 m² et 420'000 CHF. La plupart concernent du préchauffage d'eau sanitaire [18].

Évaluation 1998

Le programme s'est en général bien déroulé en 1998 selon les attentes.

Les principales difficultés rencontrées sont liées à l'insuffisance de budget qui ne nous a pas permis, soit de

concentrer des efforts sur un sujet important pour l'épuiser, soit d'avoir plus de souplesse.

Dans l'ensemble, le transfert à la pratique des résultats de la recherche est jugé satisfaisant.

Perspectives 1999

En 1999, nous attendons le développement des tests de stocks solaires et l'organisation de notre recherche autour du projet AIE *Solar Combisystems*.

Nous chercherons à concentrer nos moyens limités sur les deux centres de compétences que sont le SPF-

Rapperswil et l'EIVD-Yverdon, avec des tests de composants, des tests de systèmes et la simulation en complément, sans négliger la recherche sur les matériaux du solaire.

Liste des projets de recherche

- [1] S. Kunz, J. Remund, METEOTEST, Bern: *METEONORM Version 3.0* (Solar Energy, Vol. 62, No 5, pp. 331-344)
<http://www.meteotest.ch/meteotest/meteonorm>
- [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: *Materialien in thermischen Systemen* (RA) ♦ Teil D: *Informatik und Software* (RA)
- [3] J.-P. Rossy, ÉNERGIE SOLAIRE, Sierre: *Absorber AS+ (C4-97)* (RA)
- [4] SYNETRUM, Murten: *Qualitätssicherung bei Solaranlagen: Permanente Funktionskontrolle* (RF)
- [5] R. Eismann, FENERGY VON FELTEN, Jona: *Messprojekt 52 m² low-flow Solaranlage* (RA, RF)
- [6] P. Dind et al., EIVD, Yverdon: *Mesures long terme de chauffe-eau solaires* (RF) ♦ *Pré-étude de petites unités de froid solaire thermique* (RF) ♦ *Installations solaires combinées pour villa et test de chauffe-eau solaire amélioré* (RA)
- [7] D. Gillet, D. Bonvin, T. Prud'homme, IA/EPF-Lausanne: *Supervision automatique d'installations solaires thermiques* (RA)
<http://www.epfl.ia.ch>
- [8] L. Keller, Bureau d'études Keller-Burnier, Lavigny: *Énergie solaire: Économies possibles grâce aux arrêts du primaire. Développement d'un limiteur de marche* (RF)
- [9] Consortium Énergie, Martigny, et BSI, Lausanne: *Saillon 1 MW Solaire. Suivi du 3ème cycle* (RF)
- [10] M. Kernén, P. Renaud, PLANAIR, La Sagne, O. Graf, BSI, Lausanne: *Plancher solaire direct du Centre d'Entretien des routes nationales de Boudry NE* (RF)

- [11] B. Lachal, CUEPE, Genève: *Toiture solaire de Plan-les-Ouates: mesures, bilan technico-économique et étude de son intégration architecturale* (RA)
- [12] L. Clavadetscher, TNC, Männedorf: *Messungen an zwei Solarhäusern in Sevelen* (RA)
- [13] D. Favrat, M. Kane, LENI/EPF-Lausanne, Y. Allani, COGENER, Lausanne: *SPS1-2: mini-centrale pilote électro-thermo-solaire de 10 kWel* (RA)
- [14] CSEM Neuchâtel et LESO/EPF-Lausanne: *NEUROBAT Predictive Neuro-fuzzy Building Control System* (RF)
- [15] J.-M. Suter, Büro n+1, Berne: *IEA SH&C Task 26 Solarcombisystems – Leading of Subtask A* (RA)
- [16] S. Storelli, CREM, Martigny: *Modèles de pénétration de l'énergie solaire sur un réseau CAD*
- [17] <http://www.solarenergy.ch>

(RA) Rapport annuel 1998 disponible
 (RF) Rapport final disponible

Liste des projets P+D

- [18] PLANAIR, *La Sagne: Programme Solaire actif, Rapport annuel 1998, OFEN*
 - DISV 66240 Solar contracting für Autowaschanlage, 35 m² préchauffage ECS, 8580 *Dozwil*
 - DISV 66241 Séchage solaire de plantes aromatiques, 50 m² préchauffage ECS, 3973 *Venthône*
 - DISV 66265 Solaranlage im Hotel Leukerdab-Gemmi, 24 m² préchauffage ECS, 3954 *Leukerbad*
 - DISV 67840 Vestiaires terrain de sports, 41 m² préchauffage ECS, 1053 *Cugy*
 - DISV 69645 Solarewasservorwärmung Hotel Möwenpick, 122 m² préchauffage ECS, 8152 *Glattburg*
 - DISV 69861 ECS et chauffage Hotel Bellevue, 83 m², 6083 *Hasliberg Hohfluh*

PHOTOVOLTAIK

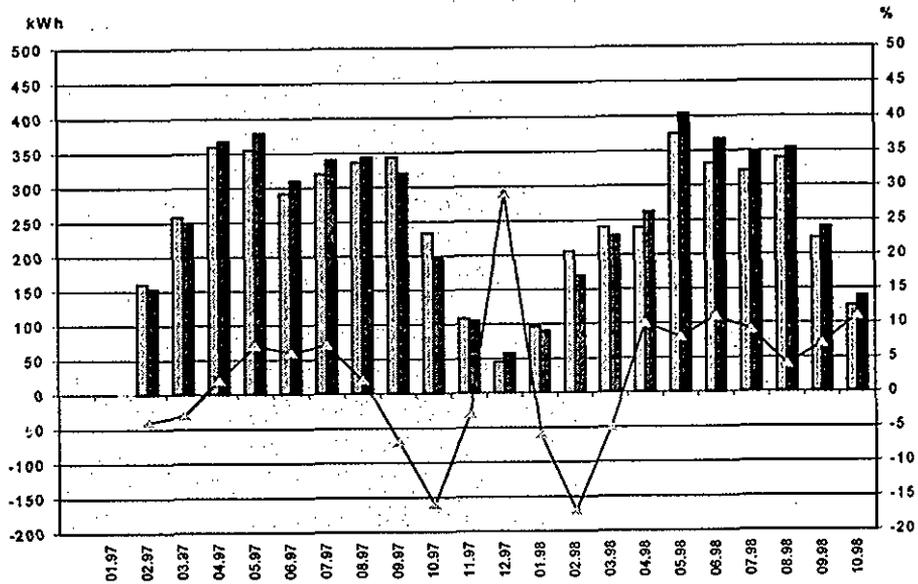
Überblicksbericht
zum Forschungsprogramm 1998

Stefan Nowak

stefan.nowak.net@bluewin.ch



Analysekunde B



Internationale Zusammenarbeit: Nutzung von Satellitendaten für die Photovoltaik

Anhand von Satellitendaten werden Strahlungskarten berechnet und das Verhalten von PV-Anlagen simuliert (EU-Projekte *SATELLIGHT* und *PV-SAT*, © WNI und ENECOLO)

Programmübersicht und anvisierte Zielpunkte für 1998

Im Jahr 1998 sollten im Programm Photovoltaik die Anstrengungen zur Umsetzung der laufenden Arbeiten in industrielle Produkte fortgesetzt werden. Hierzu wurde angestrebt, die Zusammenarbeit, sowohl mit der Industrie wie auch international, weiter zu verstärken. Im Vordergrund steht die Bearbeitung von konkreten prozess- und produktrelevanten Fragestellungen in der Konzeption von verbesserten (Kosten, Wirkungsgrad) Lösungen in allen Bereichen. Parallel dazu sollten erste Entscheidungsgrundlagen für grössere Umsetzungsvorhaben erarbeitet werden. Forschungs- und P+D-Projekte umfassen im Berichtsjahr 78 Projekte, wobei hier alle bekannten Projekte, unabhängig von ihrer Finanzierung, berücksichtigt sind.

Die 5 Programmbereiche umfassen:

Zellen: Dünnschicht-Zellen bilden den Schwerpunkt, wobei sich die Arbeiten auf Solarzellen mit dem Grundmaterial Silizium konzentrieren. Die Verbesserung der Leistungsmerkmale und die Voraussetzungen zur weiteren Umsetzung dieser Arbeiten bilden dabei die wichtigsten Ziele. Die Untersuchungen zu weiteren Formen von dünnem Silizium (Bandsilizium, dünnes kristallines Silizium) wurden verstärkt. Zudem konnten, im Rahmen von neuen internationalen Projekten, auch die Arbeiten zu anderen Materialtechnologien (insbesondere Verbindungshalbleiter, Farbstoffzellen) intensiviert werden.

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

bauten Raum bilden nach wie vor einen wichtigen Schwerpunkt. Dabei wird bei der Konzeption die Wahl der zum Einsatz gelangenden Zell-Technologien von immer grösserer Bedeutung, da diese das Systemdesign bei integrierten Lösungen entscheidend beeinflusst.

Systemtechnik: Aufgrund der langen Tradition bestehen in der Schweiz ausgeprägte Anwendungserfahrungen, sowohl in der Infrastruktur zur Beurteilung von neu entwickelten Produkten und Anlagen, wie auch in der Verfügbarkeit von langjährigen Messreihen an bestehenden Anlagen. Dies erlaubt eine kontinuierliche Qualitätssicherung sowie das Verständnis der Grundlagen für notwendige Verbesserungen, die Standardisierung sowie die Sicherheit neuer Produkte.

Diverse Projekte und Studien: In diesen Bereich fallen Arbeiten zur längerfristigen Abschätzung wichtiger Indikatoren der Photovoltaik. Neue kombinierte Nutzungsformen der Photovoltaik werden untersucht (z.B. Hybridtechnologien, Thermophotovoltaik) und fortgeschrittene Hilfsmittel (Planung, Erfolgskontrolle) erarbeitet.

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.

1998 durchgeführte Arbeiten und erreichte Ergebnisse

ZELL-TECHNOLOGIE

Das Projekt Mikromorphe Solarzellen [1] am IMT wurde erfolgreich fortgesetzt, wobei im Berichtsjahr in erster Linie verschiedene Teilaspekte dieser Dünnschicht-Tandemzelle verbessert werden konnten. Für Einfachzellen (p-i-n) aus mikrokristallinem Silizium konnte die Klemmenspannung erhöht und ein Wirkungsgrad von 8.5 % erreicht werden. Die Depositionsgeschwindigkeit, eine weitere Schlüsselgrösse des mikromorphen Konzepts, konnte für intrinsisches, mikrokristallines Silizium auf 25 Å/s erhöht werden. Ausserdem konnten transparente Oxidschichten (TCO) auf der Basis von ZnO erzeugt werden, womit auch für die Kontaktierung entsprechende Prozessschritte zur Verfügung stehen. Im ergänzenden EU-Projekt NEST [1] wurden für mikromorphe Zellen umgekehrte Schichtabfolgen (n-i-p-n-i-p) untersucht. In einem weiteren Projekt wurde mit Unterstützung des PSEL die Abscheidung von amorphen Zellen auf Kunststoff-Substraten (Polyimid) [1] untersucht. Erste Minimodule (8x8 cm) erreichten einen auf die aktive Fläche bezogenen Wirkungsgrad von 7.3 %.

Am CRPP an der EPFL wurde die grossflächige Abscheidung von mikrokristallinem Silizium und die Erhöhung der Depositionsraten [2] weiterverfolgt. Durch die Reaktorfläche von 35 x 45 cm können wichtige, für die industrielle Praxis relevante Eigenschaften der VHF-Abscheidung untersucht werden. Zu diesem Zweck werden umfangreiche und teilweise neue Plasdiagnostikmethoden erfolgreich eingesetzt.

Am PSI wurde die Übertragbarkeit der in früheren Projekten für dünne hocheffiziente Siliziumzellen gefundenen Prozessschritte auf Bandsilizium [3], einem weiteren Kandidaten für kostengünstigere Solarzellen, der EVERGREEN SOLAR (USA), untersucht. Auf 200µm dicken polykristallinen Siliziumbändern wurde die Wasserstoff-Passivierung realisiert. Durch Kombination mit dem Gettern von Verunreinigungen konnte bisher ein Wirkungsgrad von 14.6 % erzielt werden. Im EU-Projekt CRYSTAL [3] werden die Arbeiten zu dünnen kristallinen Siliziumzellen verfolgt. Im Vordergrund stehen dazu am PSI die Modellierung der Gitterstruktur zur Verbesserung des Lichteinfangs, die Analyse von TCO-Schichten (ZnO) sowie die Abscheidung

von polykristallinem Silizium auf Glas und Quarz.

Solarzellen auf der Basis von Verbindungshalbleitern werden in den EU-Projekten LACTEL und *WIDE GAP CPV* an der ETHZ untersucht [4]. Im Projekt LACTEL stehen prozessrelevante Aspekte bei der Elektrodeposition von CdTe-Zellen im Vordergrund, insbesondere metallische Gitter durch Siebdruck, das Schichtwachstum durch CdCl₂-Behandlung und Zellen auf verschiedenen TCO-Materialien. Im Projekt *WIDE GAP CPV* werden grundlegende Untersuchungen (strukturelle und optoelektronische Eigenschaften) an CuGa_xSe_y-Schichten durchgeführt.

Farbstoffsensibilisierte, **nanokristalline Solarzellen** (Grätzel-Zellen) bilden eine weitere, vieldiskutierte Materialvariante, welche im Rahmen von EU-Projekten verfolgt werden. Im Projekt am ICP der EPFL [5] geht es dabei um **grundlegende Arbeiten** zur Weiterentwicklung dieses Konzeptes, insbesondere den Einsatz von festen Elektrolyten und neuen Farbstoffen. Bei LECLANCHÉ dagegen stehen im EU-Projekt *Indoor dye PV* [6] neue Anwendungen für den Innenraum im Vordergrund. Der grundlegenden Frage nach der **Langzeit-Stabilität** [7] dieser Zelle wird in einem neuen Projekt bei SOLARONIX nachgegangen.

Mit dem Ziel einer **künstlichen Photosynthese** [8] wurden an der Universität Bern im Rahmen des Nationalen Forschungsprogramms "Nanowissenschaften" grundlegende photoelektrochemische Arbeiten zur Nachbildung natürlicher Prozesse gemacht, welche sich grundsätzlich für eine neuartige Solarzelle nutzen lassen.

Insgesamt wurde die internationale Zusammenarbeit auf dem Gebiet der Solarzellen im Berichtsjahr stark intensiviert. Durch die Einbindung von Industriepartnern in diese Projekte stehen anwendungs- und industriebezogene Fragestellungen vermehrt im Vordergrund. Gleichzeitig werden die Grundlagen für mögliche, längerfristige Optionen künftiger Zelltechnologien erarbeitet.

SOLARMODULE & GEBÄUDEINTEGRATION

(siehe auch P+D)

Das Projekt ALUCOSOL[®] zur Entwicklung eines **Photovoltaik-Fassadensystems** [9] konnte bei ALUSUISSE TECHNOLOGY & MANAGEMENT (ATM), in Zusammenarbeit mit verschiedenen Schweizer Partnern, im Berichtsjahr abgeschlossen werden. Nachdem sich die Verfügbarkeit von geeignetem Halbzeug von amorphen Siliziumzellen als eigentliche Schwierigkeit erwies, wurde das Projektziel eines Prototypen zugunsten von vorgelagerten Prozessschritten fallengelassen.

Neue Systeme für das **Flachdach** [10] wurden am LESO an der EPFL weiterentwickelt. Dabei konnten die Produkte SOLBAC[®] und SOFREL[®] mechanisch, geometrisch und bezgl. der Befestigung verbessert werden. Die Variante für Gründächer SOLGREEN[®] wurde für erste Anwendungen in P+D-Anlagen optimiert.

Am Projekt DEMOSITE [10] wurden ältere Photovoltaik-Integrationslösungen entfernt und durch neue, ak-

tuellere Systeme ersetzt. Insgesamt können nun 20 verschiedene Lösungen für Flachdächer, Schrägdächer und Fassaden einander gegenübergestellt und verglichen werden. Dazu wurde die Information und die Kommunikation dieses im IEA Photovoltaik-Programm eingebetteten Projektes überarbeitet.

SYSTEMTECHNIK

Am TISO an der SUPSI wird die **Prüfung von kommerziellen PV-Modulen** [11] unter realen Bedingungen fortgesetzt. Regelmässige Messungen inklusive standardisierte Messungen in Ispra werden zur Zeit an 11 Modulen durchgeführt. Dabei zeigt sich, dass neuere Produkte z.T. grössere, bzw. vermehrt negative Abweichungen, von ihren elektrischen Spezifikationen aufweisen als dies früher der Fall war. Es bestätigt sich zudem, dass auch für bestimmte Module aus Mono- und Polysilizium Degradationseffekte bezüglich Leistung und Energie auftreten. Das TISO hat zudem eine ausführliche Datenbank [30] mit allen wichtigen Spezifikationen von PV-Modulen publiziert. Langzeiterfahrungen werden an den zwei hauseigenen PV-Anlagen (10 kWp m-Si, 4 kWp a-Si) gesammelt.

Ergänzende Messungen dieser Art werden an der Berner Fachhochschule in Saint-Imier unter Mitwirkung der Gesellschaft Mont-Soleil durchgeführt, wobei hier auch **Produkte im Prototypen-Stadium** untersucht werden [12]. Die Messungen betreffen in diesem Fall in erster Linie die produzierte Energie. Neu werden auch verschiedene Wechselrichter-Konfigurationen geprüft und mit den Erfahrungen aus dem 560 kWp Kraftwerk verglichen. Das Kraftwerk selbst produzierte im Jahr 1998 602'000 kWh und wies eine durchschnittliche Performanz (PR) von rund 78 % auf.

Ausführliche Untersuchungen zur **Energieproduktion von PV-Modulen** [3] werden auch am PSI durchgeführt. Mit der zur Verfügung stehenden experimentellen Einrichtung und den analytischen Methoden sind Aussagen über das Teillastverhalten möglich, was besonders für die Planung von Anlagen im *Contracting-Verfahren* und in Solarstrombörsen von Bedeutung sein kann. Quantitative Messungen werden auch an Prototypen von hybriden (PV-thermisch) Modulen durchgeführt.

Die **Prüfung von PV-Wechselrichtern** [13] wird an der Berner Fachhochschule in Burgdorf fortgesetzt. Nebst den Netzverbund-Wechselrichtern besteht nun auch die Möglichkeit, Insel-Wechselrichter ausführlich zu prüfen. Die Messungen an Netzverbund-Wechselrichtern wurden durch weitere Parameter ergänzt und die Langzeit-Zuverlässigkeit wurde weiterverfolgt.

Mit der Unterstützung des PSEL werden auch **Langzeiterfahrungen mit PV-Anlagen** [13] gesammelt, indem die Betriebsdaten von 36 Anlagen verfolgt werden. Nebst den Wechselrichtern werden hier auch die sichtbaren Veränderungen bei Modulen und der Verkabelung aufgezeichnet. Die 1 kWp-Anlage auf dem Jungfrauoch erzielte weiterhin gute Werte mit mehr als 1500 kWh/kWp'a und einer PR über 86 %. In einem

neuen EU-Projekt **PV-EMI** [13] werden elektromagnetische Störungen durch PV-Anlagen, ihre Testmethoden und Richtlinien untersucht mit dem Ziel, entsprechende europäische Standards auszuarbeiten.

Ein weiteres EU-Projekt, **SCMIC**, zur Entwicklung eines **Einzellen-Wechselrichters** [14] wurde an der ETHZ in Zusammenarbeit mit ENECOLO und ALUSUISSE weitgehend abgeschlossen. Es konnte eine neue Schaltung entwickelt werden, welche die kritische DC-DC-Konvertierung zweistufig realisiert und Umwandlungswirkungsgrade bis zu 97 % erreicht.

ALPHA REAL verfolgte im Rahmen von verschiedenen EU-Projekten [15] Fragestellungen zur **Zuverlässigkeit von Systemen und AC-Modulen** sowie zu einfachen Geräten zur **Überprüfung von PV-Anlagen**. Die **Zuverlässigkeit von Sicherheitsschaltungen** gegen Inselbildung wird in einem PSEL-Projekt untersucht.

Insgesamt kann man zur Systemtechnik sagen, dass trotz des fortgeschrittenen Entwicklungsstandes der Photovoltaik weitere Verbesserungen bezüglich Zuverlässigkeit, Vereinfachung, Sicherheit und Standardisierung von Produkten und Systemen möglich und notwendig sind. Die ausgeprägte Anwendungserfahrung in der Schweiz wirkt sich hier sehr positiv aus, führt zu neuen erfolgversprechenden Lösungen und verstärkter internationaler Zusammenarbeit.

DIVERSE PROJEKTE UND STUDIEN

Die langfristige **Umweltverträglichkeit** [15] der Photovoltaik wurde von ALPHA REAL in einer dynamischen Betrachtung analysiert, wobei umfangreiche Energie- und Stoffflüsse modelliert wurden. Es konnte gezeigt werden, dass die Photovoltaik eine aus dieser Sicht sinnvolle Investition von Energie und Rohstoffen darstellt, indem keine aussergewöhnlichen Stoffflüsse auftreten und das System seinen Energieaufwand um ein Vielfaches reproduziert.

Die kombinierte Nutzung von Photovoltaik mit anderen Energietechnologien gewinnt zunehmend an Interesse, insbesondere in Kombination mit der thermischen Solarenergie. Am LESO der EPFL wird, in Zusammenarbeit mit ENECOLO und SCHWEIZER, an einem neuen **Hybrid-Kollektor** [10] gearbeitet, welcher die thermischen Vorteile des amorphen Siliziums nutzen soll. Nachdem in einer ersten Phase mögliche Konzepte erarbeitet wurden, werden in der laufenden Phase spezifische Teilaspekte bearbeitet, welche sich als kritische Elemente erwiesen hatten.

Am PSI wird im Rahmen eines FOGA-Projektes an der **Thermophotovoltaik (TPV)** [3] gearbeitet. Die Arbeiten konzentrierten sich auf die Entwicklung und Modellierung eines speziellen Emittersmaterials basierend auf Keramikgeweben aus Oxiden verschiedener Seltenerdmetalle. Der Generator (1.4 kW_{th}) wurde mit käuflichen Siliziumzellen betrieben und ans Netz gekoppelt, wobei ein Umwandlungsgrad (thermisch zu DC) von 1.1 % erreicht wurde. Der nächste Schritt wird in Zusammenarbeit mit HOVAL in einem Versuchsstand von 20 kW_{th} erarbeitet.

Das **Flächenpotential** [16] der Photovoltaik auf Gebäuden wurde durch NET im Rahmen von zwei unterschiedlichen Fallstudien, einer urbanen Umgebung (Stadt Zürich, EWZ) und einer ländlichen Region (Kanton Freiburg), sehr detailliert untersucht. Die Beschaffenheit der Gebäudesubstanz wird dabei ebenso berücksichtigt wie die solararchitektonische Eignung.

TNC untersucht im Rahmen eines EU-Projektes das **Potential der Photovoltaik auf Lärmschutzwänden** [17] entlang von Strassen und Schienen in Europa.

In zwei weiteren EU-Projekten werden unter dem Einsatz von Satelliten-Fernerkundung neue Instrumente zur Solarenergienutzung entwickelt. Im Projekt **PVSAT** [14] untersucht ENECOLO die Möglichkeit zur Bestimmung von lokalen Strahlungsdaten aus Satellitenbildern mit dem Ziel, zu erwartende Energieerträge aus PV-Anlagen zu simulieren. Im Projekt **SATELLIGHT** [18] wird an der UNI Genf an einem Strahlungsatlas auf Internet gearbeitet, welcher die zeitlichen Veränderungen von Strahlung, Beleuchtungsstärke und -richtung wiedergeben soll.

ZUSAMMENARBEIT IM RAHMEN DER IEA

Die Beteiligung am Photovoltaikprogramm der IEA, bildete auch im Berichtsjahr eine kontinuierliche Aktivität, sowohl auf der Projektebene, wie auch auf der Ebene des Executive Committee, wo die Schweiz massgeblich an der Programmleitung und -überwachung mitgestaltet.

Die **Informationsaktivitäten** [19] werden neu durch NOVA ENERGIE wahrgenommen. Im Berichtsjahr wurden Publikationen zu den Themen Einspeisetarife, Umweltaspekte, Forschungsstrategien und PV im Marktwettbewerb fertiggestellt und verteilt [31-34]. Ein nationaler Bericht über die Photovoltaik in der Schweiz bis 1997 wurde zuhanden der anderen Projektteilnehmer erstellt [35].

Die Aufgaben des Projekts **Betriebserfahrungen** [17] werden durch TNC sichergestellt. Die Datenbank enthält nun 263 Anlagen aus 8 Ländern. Erste vergleichende Analysen wurden sowohl für netzgekoppelte, wie auch für Inselanlagen, durchgeführt. Ein *Monitoring-Handbuch* wird demnächst fertiggestellt [36].

ATLANTIS vertritt die Schweiz im Projekt **Inselanlagen** [20]. Es wurden Publikationen zu den Themen *Lessons learned* mit *Showcase*-Projekten, Laderegler und Batterien vorbereitet [37-39]. Eine Dia-Sammlung von existierenden Inselanlagen in den Ländern der IEA auf CD-ROM befindet sich ebenfalls in Fertigstellung [40].

ENECOLO macht im Projekt **technischen Fragen der Netzankoppelung** [14] mit. Die Resultate aus dieser internationalen Zusammenarbeit finden ihre Verwendung bei einschlägigen Richtlinien sowie bei Herstellern von Wechselrichtern. Ab 1999 wird das EWZ die Schweiz in diesem Projekt vertreten.

Das Projekt **Integration der Photovoltaik in den bebauten Raum** [14] wird von ENECOLO betreut. Die Themenvielfalt dieses grossen Tasks umfasst alle wich-

tigen Elemente der PV-Integration. Das Projekt **DEMOSITE** (siehe oben) an der EPFL ist ebenfalls in diesen Arbeiten eingebettet. Obwohl dieses Projekt erst zwei Jahre alt ist, sind erste konkrete Resultate zu verzeichnen. So wurde eine Dia-Sammlung von realisierten Projekten zusammengestellt [41].

MINDER ENERGY CONSULTING beteiligte sich an den Vorbereitungsarbeiten für ein neues IEA-Projekt, welches sich mit der **Machbarkeit von sehr grossen PV-Kraftwerken** [21] in Wüstengebieten befassen soll.

Nationale Zusammenarbeit

Die Zusammenarbeit auf nationaler Ebene hat mittlerweile eine ausgeprägte Tradition und umfasst die Hochschulen und Forschungsinstitute (ETH, Universitäten, Fachhochschulen, PSI), die Privatwirtschaft (Industrie, Ingenieurunternehmungen) und die Elektrizitätswirtschaft. Aus diesen und weiteren Kreisen (Finanzwelt, Politik, Medien) kann ein zunehmendes Interesse an der

Technologie festgestellt werden. Auf Programmebene besteht zu zahlreichen Amtsstellen des Bundes (z.B. BBW, BBT, AFB, BAWI, usw.) und der Kantone eine gute Zusammenarbeit, welche der Koordination innerhalb des Programms und der Projektförderung zu Gute kommt.

Internationale Zusammenarbeit

Auch die internationale Zusammenarbeit, welche im Programm Photovoltaik für alle Bereiche etabliert wurde, konnte im Berichtsjahr deutlich gesteigert werden. Die Schweizer Photovoltaik beteiligt sich sehr erfolgreich an den internationalen Forschungsprogrammen der EU. Im Jahr 1998 waren es insgesamt 20 Photovol-

taik-Projekte davon 16 im Programm JOULE (Forschung) und 4 im Programm THERMIE (Demonstration). Parallel zu den Projekten im Programm der EU wurde die Zusammenarbeit innerhalb des IEA-Photovoltaik-Programms ebenfalls mit Erfolg weitergeführt (siehe oben).

P+D-Projekte

Im Jahr 1998 wurden im P+D-Programm 13 neue Projekte angefangen. Deutlicher Schwerpunkt bilden 8 Projekte im Umfeld der **PV-Integration** in Gebäude und Schallschutzeinrichtungen. Die restlichen neuen Projekte verteilen sich auf die Bereiche Studien/Hilfsmittel und Messkampagnen. Neu aufgegriffen wurde 1998 im Bereich der PV-Hilfsmittel die Qualitätssicherung beim Bau und Betrieb von PV-Anlagen.

Insgesamt waren im Berichtsjahr 39 Photovoltaik P+D-Projekte aktiv. Im Vergleich zum vorderen Jahr bleiben die Schwerpunkte

- Erprobung neuer Systemkomponenten im Bereich der **PV-Integration** in Gebäude und Schallschutzeinrichtungen,
- Erfolgskontrolle bestehender P+D-Anlagen durch detaillierte **Messkampagnen**,
- **Entwicklung** neuer Systemkomponenten für die PV-Integration

grundsätzlich bestehen. Einzig der Sektor Komponentenentwicklung ist im Verhältnis zu 1997 stärker vertreten. Zu erwähnen ist, dass bei vielen Projekten im Bereich der PV-Gebäudeintegration die Frage der Kosteneinsparungen ein wichtiges Thema darstellt, was im Hinblick auf die zukünftige Verbreitung der Photovoltaik von Bedeutung ist.

Stellvertretend für die Pilot- und Demonstrationsaktivitäten sind im folgenden einige der 1998 aktiven Projekte aus dem Segment der **PV-Gebäudeintegrationen** aufgeführt:

- 13.6 kWp Anlage integriert ins Dach des Hotels Rigi Kulm (Leitung: Solargenossenschaft Rigi-strom) [22]
- 9 kWp Flachdachanlage mit den Eternit Trägern Solbac am LESO in Lausanne (Leitung: LESO) [23]
- 6.3 kWp Anlage mit amorphen Zellen integriert ins Dach des Instituts de Microtechnique (IMT) in Neuenburg (Leitung: IMT) [24]
- 16.3 kWp Anlage mit PV-Wechselstrommodulen integriert ins Dach eines Bauernhauses in Iffwil mit zusätzlicher Warmluftgewinnung für die Heutrocknung (Leitung: ATLANTIS ENERGIE) [25]
- 11.8 kWp Anlage mit Megalinos auf dem Flachdach der UBS, Flurstrasse 65 in Zürich (Leitung: ALPHA REAL) [26]
- 1 kWp Anlage integriert mit SCIBEL-Modulen ins Flachdach der UBS, Flurstrasse 65 in Zürich (Leitung: ENECOLO) [27]
- Zwei 10 kWp Anlagen mit neuen Konzepten zur

Integration in Lärmschutzwänden: Eine Anlage mit Bifacial-Zellen und eine Anlage mit einem neuen Kassettensystem (Leitung TNC CONSULTING) [28].

- 10 kWp Anlage integriert mit der SOLGREEN-Konstruktion ins Flachdach einer Lagerhalle in Chur (Leitung: ARS SOLARIS HÄCHLER) [29].

Transfer in die Praxis

Durch das zunehmende Interesse breiter Kreise sowie einer verstärkten Zusammenarbeit mit der Industrie konnte der Transfer in die Praxis kontinuierlich weiterverfolgt werden. Dabei sind die Fördermöglichkeiten des Bundes für Anlagen und die vielerorts eingeführten Solarstrombörsen eine wichtige Triebkraft, welche die Nachfrage günstig beeinflussen, auch wenn die erforderliche Kontinuität der Förderung und ein flächendeckendes Angebot an Solarstrom noch zu wünschen über-

riglassen. Insgesamt waren Ende 1998 in der Schweiz rund 11.5 MWp Photovoltaik installiert, zu rund 75 % in netzgekoppelten Anlagen. Die langjährigen Erfahrungen und Messungen an Produkten und Systemen zeigen wichtige Tendenzen auf, welche für die weitere Entwicklung und die Qualitätssicherung von grosser Bedeutung sind, insbesondere angesichts eines weltweit anhaltenden Wachstums von 30 – 40 % Modulumsatz pro Jahr.

Bewertung 1998 und Ausblick für 1999

Das Jahr 1998 kann, trotz weiterhin anhaltender Knappheit der verfügbaren Mittel, als positiv beurteilt werden. Dazu haben drei wesentliche Faktoren beigetragen: Die erfolgreiche Beteiligung an internationalen Programmen der EU, ein zunehmendes Interesse der Industrie und die durch Kombination von Förderung und Solarstrombörsen erfolgte Marktentwicklung. Angesichts der internationalen Marktentwicklung und der gewichtigen Förderprogramme einzelner Länder kommt der Verfügbarkeit genügender Mittel für die Entwicklung und Umsetzung in industrielle Produkte eine kurzfristig immer grössere Bedeutung zu. Nur so kann der über Jahre erreichte internationale Spitzenrang in Forschung, Entwicklung und Anwendung der Photovoltaik auch in Zukunft mit Erfolg gehalten werden. Dies ist nicht eine Aufgabe der öffentlichen Hand allein, sondern vielmehr durch gemeinsamen Einsatz zusammen mit Industrie und Elektrizitätswirtschaft zu erreichen.

1998 fand in Wien die 2. PV-Weltkonferenz und zugleich 15. Europäische PV-Konferenz statt, welche ein weiteres Mal sämtliche Rekorde bisheriger Veranstaltungen zu brechen vermochte [42]. In der Schweiz fand eine nationale PV-Tagung statt, welche Gelegenheit zur Standortbestimmung und Informationsaustausch bot [43].

1999 wird es darum gehen, die Kontinuität weiter zu wahren und wo immer möglich neue, anwendungsbezogene Aktivitäten zu initiieren, eine den Erfordernissen des Technologiestandes angepasste Flexibilität der Projektförderung sicherzustellen und konkrete Schritte zur weiteren Umsetzung einzuleiten. Wie letztes Jahr, wird auch dieses Jahr im Herbst Gelegenheit bieten, Stand und Zukunftsaussichten der Photovoltaik anlässlich einer nationalen PV-Tagung zu diskutieren sowie Erfahrungen und Informationen auszutauschen.

Liste der Projekte und Internet-Seiten

- [1] A. Shah, IMT, UNI-Neuchâtel: *Mikromorphe Solarzellen* (JB) / ENET 9719431 ♦ *NEST (New enhanced silicon thin-film solar cells)* (JB) / ENET 979901 ♦ *Amorphe Siliziumzellen auf Plastiksubstrat* (JB) / ENET 9400051
<http://www-micromorph.unine.ch>
- [2] Ch. Hollenstein, CRPP / EPFL-Lausanne: *Erhöhung der Abscheideraten von mikrokristallinen und amorphen Siliziumdünnschichten für photovoltaische Anwendungen* (JB) / ENET 9400051
- [3] J. Gobrecht, PSI-Villigen: *Swiss high efficient cristalline solar cell project, using PSI process for sheet ribbon Si material* (JB) / ENET 9823463 ♦ D. Grützmacher: *CRYSTAL (Crystalline silicon thin solar cells on low temperature substrates)* (JB) ♦ W. Durisch: *Charakterisierung von PV-Generatoren* (JB) ♦ *Thermophotovoltaische Erzeugung von Strom in mit Erdgas betriebenen, wärmegeführten Kleinblockheizkraftwerken*
<http://www.psi.ch/LMN>

- [4] H. Zogg, IQE, ETH-Zürich: *LACTEL (Large Area cadmium telluride electrodeposition for thin-film solar cells)* (JB) / ENET 9799903 ♦ *WIDE GAP CPV (Wide gap chalcopyrites for advanced PV devices)* (JB) / ENET 9799902
- [5] M. Grätzel, ICP2 / EPF-Lausanne: *Cellules solaires basées sur des films semiconducteurs nanocristallins colorés* (JB) / ENET 9401231
<http://dcwww.epfl.ch/icp/ICP-2/icp-2.html>
- [6] M. Wolf, LECLANCHÉ, Yverdon: *INDOOR DYE PV's* (JB) / ENET 9799905
- [7] T. Meyer, SOLARONIX, Aubonne: *LOTS-DSC (Longterm stability of dye-sensitized solar cells for large area power applications)*
- [8] G. Calzaferri, UNI-Bern: *Photochemical and photoelectrochemical transformation and storage of solar energy* (JB) / ENET 9400111
- [9] M. Weng, ALUSUISSE-LONZA, Neuhausen: *ALUCOSOL – Entwicklung eines Fassadensystems mit integrierten Solarzellenmodulen* (JB+SB) / ENET 9554318
- [10] J.-B. Gay, LESO / EPF-Lausanne: *Photovoltaïque sur toits plats – une nouvelle approche* (JB) / ENET 9554392 ♦ *DEMOSITE and DEMOSITE FLAT ROOFS – Phase III* (JB) / ENET 9400261 ♦ *Capteur hybride d'une nouvelle génération* (JB) / ENET 9656360
<http://lesomail.epfl.ch/PV/pvintro.html#projects>
- [11] M. Camani, Dip. del Territorio, Bellinzona: *Testi di componenti e sistemi per progetti nel campo della tecnica fotovoltaica, TISO – periodo V* (JB) / ENET 9400931
<http://leee.dct.supsi.ch>
- [12] C. Briemann, EISI, St-Imier: *Programme de recherche sur des nouvelles technologies PV et sur la centrale de Mont-Soleil* (JB)
<http://www.eisi.ch>
- [13] H. Häberlin, HTA-Burgdorf: *Qualitätssicherung von PV-Anlagen* (JB) / ENET 9702744 ♦ *Langzeitverhalten von PV-Anlagen* (JB) / ENET 9619490 ♦ *PV-EMI (Development of standard test procedures for electromagnetic interference (EMI) tests and evaluations on PV components and plants)* (JB)
<http://www.isburg.ch/Abteilungen/E/pvframe.html>
- [14] P. Toggweiler, ENECOLO, Mönchaltorf: *SCMIC (Single Cell Module Integrated Converter)* (JB) / ENET 9599901 ♦ *PVSAT: Remote performance check for grid connected PV systems using satellite data* (JB) ♦ *Schweizer Beitrag IEA PVPS Task V und VII* (JB)
<http://www.solarstrom.ch>
- [15] M. Real, ALPHA REAL, Zürich: *Improving PV system reliability by a new concept including a novel arc detection Unit* (JB) / ENET 9401221 ♦ *PV Checker: Research on low cost PV system checker devices for future application in the individual PV system monitoring* (JB) / ENET 9699901 ♦ *Accelerated Reliability improvement of AC-Modules* (JB) / ENET 9799906 ♦ *Modell zur Analyse und Prognose der langfristigen Umweltverträglichkeit verschiedener PV-Technologien* (JB+SB) / ENET 9400381
- [16] S. Nowak, NET, St. Ursen: *Abschätzung des PV-Flächenpotentials in der Stadt Zürich und im Kanton Freiburg* (JB)
- [17] Th. Nordmann, TNC CONSULTING, Männedorf: *EU PVNB POT (Evaluation of the potential of PV noise barrier technology for the electric production and market share)* (JB) ♦ L. Clavadetscher: *Schweizer Beitrag IEA PVPS Task II* (JB)
- [18] P. Ineichen, GAP, UNI-Genève: *Satellight* (JB) / ENET 9699902
- [19] P. Hüssler, NOVA ENERGIE, Aarau: *Schweizer Beitrag IEA PVPS Task I* (JB) / ENET 9400991
<http://www.novaenergie.ch>
- [20] B. Bezençon, ATLANTIS ENERGIE, Bern: *Schweizer Beitrag IEA PVPS Task III* (JB) / ENET 9722579
<http://www.atlantisEnergy.com>
- [21] R. Minder, MINDER ENERGY CONSULTING, Oberlunkhofen: *Schweizer Beitrag IEA PVPS Task VIII* (JB)

(JB) Jahresbericht 1998 vorhanden
(SB) Schlussbericht vorhanden

P+D-Projekte

(Auswahl)

- [22] U. Bühler, Solargenossenschaft Rigistrom, Cham: *PV-Anlage Hotel Rigi Kulm* (JB+SB)
- [23] Ch. Roecker, J. Bonvin, EPF-Lausanne: *Nouveaux support doubles en Eternit pour panneaux photovoltaïques sur toit plat* (JB+SB)
- [24] R. Tschärner, IMT, UNI-Neuchâtel: *Integrierte PV-Anlage mit amorphem Silizium* (JB)
- [25] B. Stucki, ATLANTIS ENERGIE, Bern: *PV-Dachintegration mit Modulwechselrichtern* (JB)
- [26] M. Real, ALPHA REAL, Zürich: *PV-Anlage mit Megalinos* (JB)
- [27] P. Toggweiler, ENECOLO, Mönchaltorf: *PV-Flachdachanlage mit SCIBEL Modulen* (JB)
- [28] Th. Nordmann, TNC CONSULTING, Männedorf: *3 x 10 kWp PV-Schallschutzanlagen* (JB)
- [29] R. Hächler, ARS SOLARIS HÄCHLER, Chur: *PV-Gründachintegration mit System Solgreen* (JB)

Referenzen

(wenn nicht anders erwähnt, bei der Programmleitung zu beziehen)

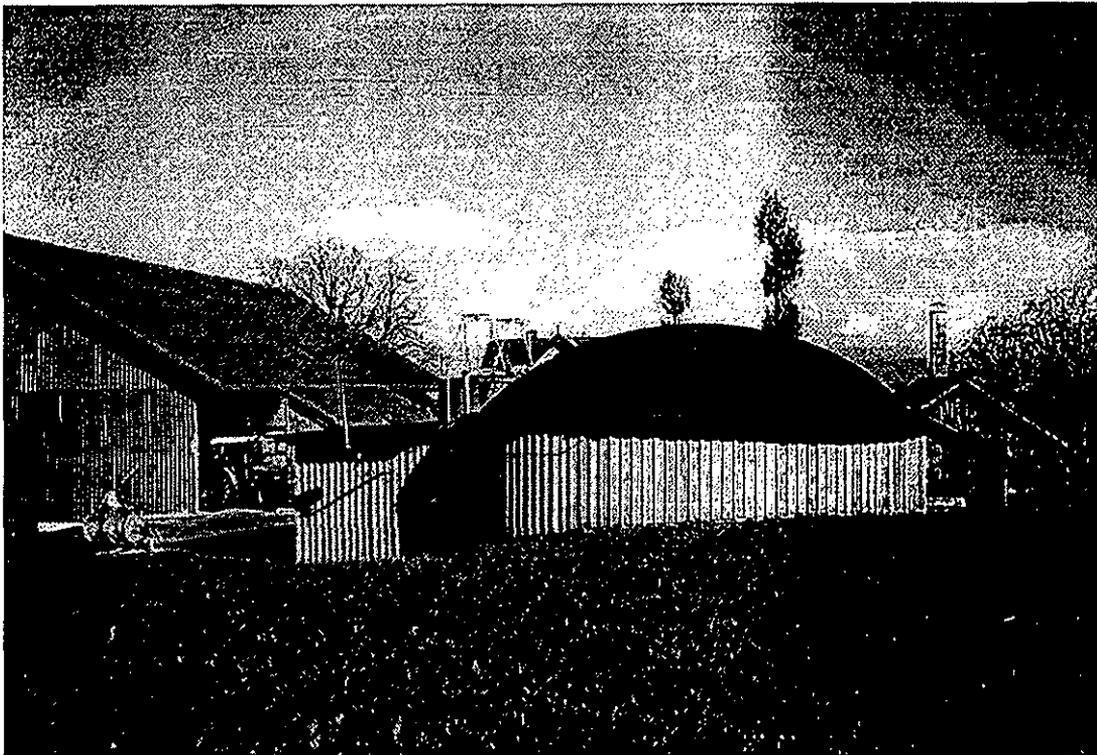
- [30] *DB TISO, LEEE, SUPSI, zu beziehen beim TISO-LEEE, SUPSI, 6952 Canobbio, Fax 091 942 88 65*
- [31] *Buy-back rates for grid-connected PV power systems, IEA PVPS Task I, 1997 2*
- [32] *Photovoltaic power systems in competitive electricity markets, IEA PVPS Task I, 1998 3*
- [33] *Environmental aspects of PV power systems, IEA PVPS Task I, 1998 4*
- [34] *Photovoltaic components and systems – Status of R&D in IEA countries 1985–1995, IEA PVPS Task I, 1998 5*
- [35] *Swiss national report on PV power applications, P. Hüsler, NOVA ENERGIE, 1998*
- [36] *Measuring and monitoring approaches, IEA PVPS Task II, 1998 2*
- [37] *Stand alone PV applications – Lessons learned, IEA PVPS Task III, 1998*
- [38] *Charge Controllers, IEA PVPS Task III, 1998*
- [39] *Batteries Guide, IEA PVPS Task III, 1998*
- [40] *Stand alone PV systems – Slide collection, IEA PVPS Task III, 1998*
- [41] *Building integrated PV systems – Slide collection, IEA PVPS Task VII, 1999*
- [42] *Die 2. PV-Weltkonferenz aus Schweizer Sicht, Ed. S. Nowak, BFE, 1998*
- [43] *Nationale PV-Tagung 1998, Unterlagen zu beziehen beim VSE, Gerbergasse 5, 8023 Zürich, Fax 01 221 04 42*

BIOMASSE

Überblicksbericht
zum Forschungsprogramm 1998

Martin Hinderling / Daniel Binggeli

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



Landwirtschaftliche Kompakt-Biogasanlage

Leistung des Blockheizkraftwerkes: 45 kWel., Jahresproduktion: 180'000 kWh Strom, Investitionskosten: rund 200'000 Franken (teilweise Selbstbau), Standort: Goldach (SG).

Programmschwerpunkte

Das Forschungsprogramm Biomasse (Holz, Pflanzen, organische Abfälle aller Art) befasst sich hauptsächlich mit der Umwandlung von Biomasse 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 1998

Die Zielpunkte 1998 lassen sich wie folgt zusammenfassen:

- Die Voraussetzungen für die Verbreitung von Holzheizungen weiter verbessern: energetischer Wirkungsgrad, Abgasemissionen, Qualitätssicherung, Wirtschaftlichkeit (Holz, Altholz).
- Entwicklung von maximal 2 Vergaser-Systemen

begleiten und unterstützen.

- Vergärungs-Technologie im Bereich landwirtschaftliche, kommunale und industrielle biogene Abfälle fördern.
- Punktuell die energetische Nutzung von Energiegras und weiteren nachwachsenden Rohstoffen fördern.

1998 durchgeführte Arbeiten und erreichte Ergebnisse

BIOMASSE UMWANDELN

a) Biomasse verbrennen und vergasen

In der vorliegenden Berichtsperiode wurden einerseits Massnahmen zur Optimierung von **Low-NOx-Holzfeuerungen** [1] mit Luftstufung untersucht und andererseits die Möglichkeit der Brennstoffstufung mit Holz in einer Versuchsanlage geprüft. Die Arbeiten zur Optimierung der Luftstufung wurden abgeschlossen und die Resultate in einem Schlussbericht zusammengestellt. Für die in einem EU-Projekt laufenden Arbeiten zur Brennstoffstufung wurde eine Versuchsanlage in Betrieb genommen. Messungen werden in den nächsten Monaten durchgeführt. Zusätzlich sollen die Mechanismen des Stickstoffabbaus modelliert und das Modell mit gemessenen Werten validiert werden.

Im Projekt **SNCR- und SCR-Verfahren bei Holzfeuerungen** [1] als Sekundärmassnahmen zur Stickoxidminderung ist je eine Demonstrationsanlage in Betrieb genommen worden, welche für Versuche zur Verfügung stehen. Als Ziel soll die Wirksamkeit der Verfahren und zusätzlich die Bedeutung von N_2O , NH_3 , HCN und $HNCO$ berücksichtigt werden. Aufgrund der gewonnenen Erkenntnisse sollen Auslegungsgrundlagen für zukünftige Anlagen abgeleitet und Einsatzgebiete aufgezeigt werden.

Das abgeschlossene Projekt **Abgaskondensation bei Holzfeuerungen** [1] liefert Richtlinien für die optimale Auslegung in Bezug auf Wirtschaftlichkeit, Energie und Verhinderung von Dampfschwaden. Unter Berücksichtigung der wichtigsten Betriebsparameter können damit

verschiedene Anlagekonzepte verglichen und Massnahmen zur Entschwadung beurteilt werden.

Im Projekt **Auslegungsgrundlagen für Holzfeuerungen** [7] wird ein numerisches Simulationsmodell des Verbrennungsvorgangs in Vorschubrost- und Unterschubfeuerung erarbeitet, welches zur optimalen Auslegung von Feuerungsanlagen eingesetzt werden kann. Das Berechnungsmodell soll sowohl die Feststoffumsetzung als auch die anschliessenden Gasphasenreaktionen erfassen. In der Berichtsperiode wurden erste Teile der Modellierung des Brennstoffbettes implementiert. Als Schwerpunkt der weiteren Arbeiten ist die Fertigstellung des Berechnungsprogrammes für den Umsatz im Brennstoffbett vorgesehen.

Das Projekt **Kleinholzfeuerung mit Feststoffspeicher als Alleinheizung** [3] beinhaltet die Entwicklung einer im Wohnbereich integrierten Feuerung für Niedrigenergiehäuser mit naturbelassenem Stückholz. In der ersten Projektphase wurde ein geeigneter Wärmeerzeuger mit konsequenter Trennung der Primär- und Sekundärluft, der Teillastfähigkeit und eines ansprechenden Sichtfeuers realisiert. Die Entwicklung eines Feststoffspeichers wurde in Angriff genommen.

Im Projekt **Partikelabscheidung bei Holzfeuerungen mit Rotating Particle Separator RPS** [1] wird die Eignung des RPS für den Einsatz zur Staubabscheidung bei automatischen Holzfeuerungen untersucht. Ziel ist die Einhaltung eines Staubgrenzwertes von 50 mg/Nm^3 . Im Berichtsjahr wurden ein RPS gebaut und erste Messungen durchgeführt. Erste Resultate zeigen im Vergleich zu einem konventionellen Zyklon verbesserte

Abscheidegrade.

Die Arbeiten im Rahmen des EU-Projekts *Development of newly designed wood burning systems with low emissions an high efficiency* [8] zeigen bei einer neuen Feuerungskonstruktion vielversprechende Resultate bezüglich Primärmassnahmen zur Partikelreduktion, tiefen NO_x-Emissionen und gutem Ausbrand des Brennstoffes.

Energetische Nutzung von Hofdüngerfeststoffen [13]: Diese Studie prüft den vielversprechenden Weg, die Hofdünger in die Phasen flüssig und fest aufzutrennen, die feste Phase gemeinsam mit Rinde und andern Zuschlagstoffen zu verbrennen (thermische Nutzung) und die flüssige Phase gezielt als Flüssigdünger zu verwenden.

Für rund einen Viertel des Mistes, der in Geflügel-Masthallen anfällt, bestehen bis heute keine befriedigenden Abnahmeverträge. Das Projekt **Energiegewinnung aus Hühnermist** [21] untersucht, ob die Verbrennung in einem angepassten Stückholzkessel möglich ist.

Einfluss von Schwermetallen und Chlor auf die Vergasung von Altholz und ähnlichen Abfällen [4]: Fremdstoffe wie Schwermetalle und Chlor lassen sich in Altholz- und Kunststoffabfällen nachweisen. Der Einfluss solcher Stoffe auf die Vergasung in Wirbelschichtvergäsern soll aufgezeigt werden.

Festbettvergaser für SGF (Standardised Gasifier Fuel) [5]: Der schweizerische Beitrag an dieses EU-Projekt testet praxisnah geeignete Gasreinigungssysteme für kleine Holzvergaser. Es zeigt sich, dass die Kosten der Waschwasseraufbereitung für die Wirtschaftlichkeit der Vergaser entscheidend sind.

Gasreinigung und Waschwasseraufbereitung für Festbettvergaser [2]: Die Gasreinigung und die Aufbereitung von Waschwasser und Kondensaten ist bei Vergasersystemen zentral wichtig, um erfolgreich Strom und Wärme aus Biomasse gewinnen zu können. Entwicklungsbedarf ist insbesondere noch für die Reduktion des Teergehaltes im Produktgas vorhanden.

Vergasungsversuche mit Biomasse geringer Dichte aus der Schweiz in einem Zyklon-Vergaser in Bangalore, Indien [6]: Nachdem die Versuche zum Vergasen von pulverförmiger Biomasse mittels eines Zyklon-Vergasers und mittels eines *Special Combined Updraft and Downdraft (SCUD) Gasifier* fehlgeschlagen haben, prüft man nun, ob sich die pulverförmige Biomasse brickettiert in einem bewährten *Downdraft Gasifier* vergasen lässt.

Production d'énergie à partir du bois (gazéificateur couplé à un moteur) [10]: Ein Vergasersystem mit der thermischen Leistung von 265 kW wurde weiterentwickelt und in einem 150-Stunden-Dauertest geprüft. Der elektrische Nettowirkungsgrad betrug 19 %. Entwicklungsbedarf bleibt für die Verbesserung der Leistung und der betrieblichen Zuverlässigkeit.

Erarbeiten eines Gas Quality Protocol für Biomasse-Vergaser [5]: Die internationale Zusammenarbeit im IEA- und EU-Rahmen drängte auf, ein "Gas Quality Protocol" zu erarbeiten, um eine Basis zum Vergleichen von Messversuchen zu legen, die an verschiedenen Orten durchgeführt werden. Der schweizerische Auftragnehmer hat hierfür einen wichtigen Beitrag geliefert. Was noch fehlt: exakte Parallelmessungen für einen Methodenvergleich.

Parallelmessung von Teer und Partikeln bei Holzvergäsern in Dänemark [2]: Die Vielzahl von Methoden, welche für die Teer- und Partikelmessung bei Biomasse-Vergäsern in Gebrauch sind, machen einen Vergleich der Messergebnisse untereinander schwierig. Um hier weiterzukommen, sind experimentelle Abklärungen mittels Parallelmessungen von Teeren und Partikeln in Holzvergäsern nötig. Die Schweiz führt diese Messungen gemeinsam mit Dänemark, Finnland und Holland durch.

Grundlagen zur Teerbildung bei der Holzvergasung [9]: Die Mechanismen der Teerbildung und die Möglichkeit zur Beeinflussung des Teergehaltes in Festbettvergäsern sind noch kaum bekannt. Sie werden im vorliegenden Projekt untersucht. Primärmassnahmen zur Minderung von Teerprodukten sollen aufgezeigt werden.

Kontinuierliche Teerbestimmung bei Holzvergäsern mittels FID [2]: In diesem Projekt wird ein neuartiges, kontinuierliches Messverfahren zur Bestimmung von Teerverbindungen im Produktgas von Holzvergäsern mittels Flammen-Ionisations-Detektion (FID) aufgebaut. Dieses Verfahren soll in Zukunft als Hilfsmittel für eine gezielte Betriebsoptimierung sowie Entwicklungsarbeiten bei Festbettvergäsern und Gasreinigungseinheiten eingesetzt werden.

b) Biogene Abfälle vergären

Einfluss der Zugabe von Sauerstoff zur Hydrolyse beim 2-stufigen anaeroben Abbau von biogenen Abfallstoffen [7]: Von der dosierten Sauerstoffzugabe erwartet man wenn nicht einen bedeutend höheren, so doch keinen reduzierten Substratabbau. Die Laborversuche dieses Projektes haben nun diesen Nachweis erbringen können, was zu gewissen technischen Vereinfachungen beim Fermenterbau führen dürfte.

Prozessverhalten von in der Schweiz eingesetzten MSW-Gärsystemen unter dem Einfluss steigender Anteile an Küchenabfällen [11]: Dieses Projekt versucht im Labor zu ermitteln, wie sich drei verschiedene, in der Schweiz erprobte Vergärungssysteme verhalten, wenn man die Fermenter mit erhöhten Anteilen an Küchenabfällen beschickt (zusätzlich zum standardmäßigen Grünabfall).

Etude de la codigestion de déchets organiques industriels [14]: Ziel dieser Studie ist, geeignete industrielle organische Abfälle gemeinsam mit Klärschlamm in Kläranlagen bzw. mit Gülle in landwirtschaftlichen

Biogasanlagen zu vergären.

Production de biogaz à partir de déchets organiques humides [15]: Dieses Projekt untersucht u.a. anhand von Schlachthof-Abfällen eine neue Verfahrenslinie mit den Teilschritten Sterilisierung, Auftrennung der Phasen, Verwendung der flüssigen Phase für Biogasproduktion, Verwertung der festen Phase als Schweinefutter.

Die 1. Phase der Studie **Stand der Technik und Einsatzmöglichkeiten von Membranverfahren bei der Vergärung von Abwässern** [16] zeigte auf, dass die *Membrantechnik international auf wachsendes Interesse stösst*, gerade auch im Zusammenhang mit der Vergärung.

Seuchenhygienische Beurteilung der landwirtschaftlichen Covergärung [12]: Die Einleitung betriebsfremder Substrate wie Schlachthofabfälle, Speiseabfälle, Fettabscheiderrückstände kann das seuchenhygienische Risiko der Biogasanlagentechnik erhöhen. Beim Erarbeiten von Richtlinien oder Vorschriften muss aber die Verhältnismässigkeit gewahrt bleiben, d.h.: Allfällig vorgeschlagenen Massnahmen müssen in einem vernünftigen Verhältnis zum damit vermeidbaren Restrisiko stehen.

Wie das Projekt **Untersuchung zur anaeroben Aufbereitung von Schlachtabfällen** [11] aufzeigte, kann aus 1 m³ Schlachtabfällen mittels Vergärung im Mittel rund 80 l Öläquivalent gewonnen werden. Die Machbarkeit dieser vielversprechenden Alternative zur Wiederverwertung von tierischen Reststoffen in Futtermitteln ist erfolgreich nachgewiesen.

c) *Energiepflanzen*

Vergärung von Extensogras-Silage in einer Feststoff-Pilotanlage und einer landwirtschaftlichen Co-Vergärungs-Biogasanlage [12]: In mehrmonatigen Praxisversuchen konnte man insbesondere nachweisen, dass die Co-Vergärung von Extensogras (Gras von extensiv genutzten Wiesen) zusammen mit Gülle in einer landwirtschaftlichen Biogasanlage technisch machbar ist. Das Potential für solche Vergärungsanlagen ist gross, die Wirtschaftlichkeit unter gewissen Voraussetzungen gegeben.

EINZELPROJEKTE

Ökologischer, energetischer und ökonomischer Ver-

gleich von Vergärung, Kompostierung und Verbrennung fester biogener Abfallstoffe [19]: Dieser Vergleich wurde anhand von Zahlenmaterial durchgeführt, das aus realisierten Anlagen stammt. Das provisorische Resultat des Vergleiches: Die Vergärung schneidet energetisch, ökologisch und ökonomisch am besten ab.

Auf welche Weise kann man aus Biomasse ökologisch und ökonomisch möglichst vorteilhaft Treibstoff erzeugen? Die Studie **Treibstoffe aus Biomasse** [20] untersucht hierzu die 4 Umwandlungswege Methan aus biogenen Abfallstoffen, Öle und deren Ester aus Ölsaaten, Ethanol aus verschiedenen Pflanzengruppen sowie Methanol aus verschiedenen organischen Abfallstoffen. Am günstigsten schneidet das Verfahren Methan ab.

Beim BUWAL läuft zur Zeit eine Studie mit verwandter Zielsetzung: Unter anderem werden für Biomasse-Treibstoffe **Ökopprofile** erstellt (Methan, Ethanol, Biogas, RME).

Energetisch nutzbares Biomassepotential in der Schweiz sowie Stand der Nutzung in ausgewählten Staaten der EU und IEA-Mitgliederländern [13]: Heute beträgt das genutzte Biomassepotential der Schweiz 42 PJ bzw. 5 % des Endenergieverbrauchs (Durchschnitt EU15: ebenfalls 5 %). Unter gewissen Voraussetzungen darf man mit einem künftig nutzbaren Potential von rund 75 PJ rechnen. Das gesamte Potential beläuft sich auf 160 bis 190 PJ (wovon 80-90 PJ Ernterückstände und 50-60 PJ Holz).

In der Phase 1 des Projektes **Projektbezogene Qualitätssicherung bei Holzheizungsanlagen** [18] wurden nach einem Kriterienkatalog mehrere Anlagen > 70 kW beurteilt, die Mängel und Schwachstellen beschrieben und ein Vorschlag für das weitere Vorgehen erarbeitet.

Ziel des Vorhabens **Vergleichende Untersuchung der CEN- und ISO-Holzfeuerstätten** [8] ist es, die Leistungsfähigkeit der CEN- und ISO-Prüfnormen (z.Zt. im Entwurfstadium) anhand eines Vertreters der Gerätetypen "Dauerbrand", "Holz", "Feuerstätten" zu untersuchen. Die nach den zwei Prüfverfahren erhobenen Daten für Emissionen und Wirkungsgrad werden verglichen. Anschliessend soll im Projekt **Messverfahren für Holz-Feuerstätten schwerer Bauart** [8] ein neues Messverfahren entwickelt werden. Das Messverfahren basiert auf der in Europa modernsten Messinfrastruktur mit Kalorimeterraum und Verdünnungstunnel (beim Ökozentrum in Langenbruck).

Nationale und internationale Zusammenarbeit

Auf nationaler Ebene spielte sich die Zusammenarbeit zwischen zahlreichen Institutionen ab: Bundesstellen (BLW, BUWAL, landwirtschaftliche Forschungsstellen, ETHZ, ETHL, PSI, EMPA), Kantone (u.a. Kant. Umweltschutzfachstelle Luzern, Fachhochschulen Aargau und Rapperswil, diverse forstwirtschaftliche Dienste),

weitere öffentliche Institutionen, Ingenieurbüros und Anlagebauer (v.a. aus der Holzheizungs- und Fermenterbranche). In solcher Zusammenarbeit werden die meisten Projektaktivitäten in den Bereichen Holz und Biomasse durchgeführt. Demgegenüber fanden relativ wenig firmeneigene Forschungs- und Entwicklungsakti-

vitäten statt. Erwähnenswert ist insbesondere auch die Zusammenarbeit, welche sich zwischen den beiden Beschleunigungsaktionen "Energie aus Vergärung" und "Energie in ARA" in Form eines gemeinsam durchgeführten Pilot-Projektes angebahnt hat.

Die internationale Zusammenarbeit erfolgt vorab im Rahmen des 4. EU/JOULE-Programmes für Forschung und Entwicklung, sowie des *IEA Bioenergy Agreement*. Im letzteren beteiligt sich die Schweiz in den Projekten *Biomass Combustion*, *Biomass Gasification* und *Biologic Digestion of MSW*. Sie stellt Experten zur Verfügung, die für den Informationsfluss in "beiden Richtungen" verantwortlich sind. Die genannten Projekte laufen noch bis 2000. Wiederum haben verschiedene Schwei-

zer Experten an wichtigen internationalen Konferenzen Fachbeiträge geliefert.

Entgegen früheren Erfahrungen funktioniert in Dänemark nun offenbar die Verbrennung von Stroh einwandfrei. Nach wie vor besteht für die Schweiz keine Veranlassung, bei der Pyrolyse-Technologie – in einigen wenigen Ländern ein Forschungsthema – F+E-Aktivitäten zu entfalten. Erwähnenswert ist die Arbeit der IEA-Gruppe, mit Schweizer Beteiligung, zum Erstellen eines gemeinsamen Protokolls für die Gasqualität bei der Vergasung von Biomasse. Mit Schweizer Beteiligung wird auch eine internationale Tagung zum Thema "Anaerobe Vergärung und Hygiene" vorbereitet (Ende März 1999, Stuttgart).

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.: technische Biogastagung in Wädenswil, Kolloquium Keinholzfeuerungen in Klus, *Biomass for Energy and Industry* in Würzburg, 5. Holzenergie-Symposium und zahlreiche Veranstaltungen im Rahmen der Beschleunigungsaktion "Energie aus Vergärung" sowie im Rahmen der Aktivitäten von Energie 2000 über das Actornetzwerk Holz der Vereinigung für Holzenergie.

Das "Biogas Forum" hat sein 1. Lebensjahr hinter sich und hat sich entsprechend etablieren können. Dessen Hauptziel besteht in der Förderung der Biogastechnologie. Vom Investitionsprogramm im Rahmen von ENERGIE 2000 konnten im vergangenen Jahr einige Biogasanlagen und mehrere Holzfeuerungen profitieren. Kaum dass diese Subventionsmöglichkeit auch für Vergärungsanlagen offen stand, war sie – aus Kreditgründen – auch schon wieder zu Ende!

Ein breit gestreuter Versand sollte den Eingang zahlreicher neuer Gesuche für den Bau von P+D-Anlagen bewirken. Das Echo war allerdings klein.

a) Biomasse verbrennen und vergasen

Im Projekt **Klein-Schnitzelfeuerungen im Praxisbetrieb** [23] wurden drei Feuerungen im Leistungsbereich von 6 – 30 kW erfasst und ausgewertet. Der Schlussbericht enthält Empfehlungen an Bauherren und Hinweise für den zukünftigen optimalen Einsatz von Klein-Schnitzelfeuerungen.

In der **Erfolgskontrolle Holzfeuerung Schulhaus Tellmatt in Stans** [22] wurden an der Holzfeuerung mit Abgasreinigungsverfahren nach dem selektiven katalytischen Reduktionsverfahren (SCR) anlagentechnische, energetische und lufthygienische Messungen über drei Heizperioden zum Nachweis der Praxistauglichkeit

durchgeführt.

Im Bericht **Auswertung der Messungen an 19 Klein-Holzfeuerungen** [8] wurden die Arbeiten der DIANE 7 P+D-Messprojekte in einer übersichtlichen Form zusammengestellt und verglichen. Als Folgerung wird gezeigt, wie Messprojekte ergänzt und optimiert werden müssen um vergleichbare Resultate zu erhalten.

Im Furnier- und Sägewerk ISELI, Lengwil, läuft seit gut einem Jahr eine **Holzbetriebene WKK-Anlage** [29]. 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 Projekt **Optimierte Holzfeuerung mit geringsten Schadstoffen** [29] zeigen die bisherigen Messungen an zwei Anlagen, dass die Emissionen Staub und NOx mit den eingebauten Geräten – Nachwärmetauscher, pneumatische Druckstossabreinigung der Kesselzüge, rotierender Zyklonabscheider, SNCR- und SCR- Entstickungsverfahren – stark verbessert werden können.

Ziel des Projektes **Optimierter Kleinkachelofen** [24] ist, Konstruktionen mit emissionsarmer Verbrennung zu gewährleisten und durch Normierung einen einfachen, kostengünstigen Aufbau zu ermöglichen. Das "Ofen-Berechnungsprogramm" des VHP soll anhand von Messungen bestätigt werden.

Im Rahmen einer Heizungssanierung wurde eine **Emissionsarme Brennkammer mit nachgeschaltetem Wasserwärmetauscher** [24] in einem Dreifamilienhaus eingebaut. Erste Erfahrungen erforderten bereits diverse Anpassungen. Der Schlussbericht ist Sommer 1999 zu erwarten.

b) Biomasse vergären

Installation régionale de traitement par méthanisation

des déchets organiques du Chablais et de la Riviera [25]: Bei dieser 1. grossen Vergärungsanlage in der Romandie schreiten die Bauarbeiten regulär voran, so dass die Anlage im Frühjahr 1999 in Betrieb genommen werden kann.

Biogasanlage für die Vergärung von Destillationsrückständen in Kombination mit Abwasserreinigung [27]: Diese Demonstrationsanlage in Sursee dient der Vergärung von Destillationsrückständen gleichzeitig der Abwasserreinigung. Daraus resultiert im Vergleich zur bisherigen Lösung (Eindampfung von jährlich 5'000 t Schlempe) eine Stromeinsparung von rund 50 % und eine Einsparung an fossil erzeugter Wärme von 280 MWh_{th}.

Internetseite [28]: Das Ende 1997 gegründete Biogas Forum hat eine Internet-Seite eingerichtet. Diese Informationsplattform dürfte direkt und indirekt dem Bau weiterer P+D-Anlagen zugute kommen und eine wichtige Rolle bei der Umsetzung der Forschungsergebnisse in die Praxis spielen.

Landwirtschaftliche Kompakt-Biogasanlagen: Enge Kontakte mit Biogas-Anlagebauern im süddeutschen Raum haben ermöglicht, eine Kompakt-Biogasanlage für schweizerische Verhältnisse zu entwickeln. Dieser Anlagentyp – teilweise im Eigenbau erstellt – kommt bis 30 % billiger zu stehen als bisherige, grössenmässig vergleichbare Anlagen (vgl. Titelfoto).

In einer von den Beschleunigungsaktionen "Energie in ARA" und "Energie aus Vergärung" gemeinsam durchgeführten Studie werden Standorte für eine **Covergärungs-Pilotanlage auf einem ARA-Gelände** gesucht.

c) *Nachwachsende Rohstoffe umwandeln*

Rapsmethylester-Anlage in Etoy [26]: In technischer Hinsicht läuft diese Anlage anstandslos. Gewisse Sorgen bereitet die neue Landwirtschaftspolitik, welche zahlreiche Landwirte dazu verleiten könnte, vom Rapsanbau weg zu neuen und attraktiveren Bewirtschaftungsformen überzugehen.

Beurteilung 1998 und Perspektiven für 1999

Das Programm Biomasse konnte gemäss Plan durchgeführt werden. In der Verbrennungsforschung Holz gehört die Schweiz zu den führenden Staaten. Das Schwergewicht liegt bei der Demonstration und der Marktunterstützung; insbesondere bei der Förderung von Holzfeuerungen. Bis heute wurden ca. 360 Anlagen unterstützt, die ca. 40 Tonnen fossile Brennstoffe ersetzen. Bei der Vergasung (Holz und übrige Biomasse) sind wiederum Fortschritte in Richtung Realisierung der ersten Pilotanlage erfolgt. Trotz langwierigen Verhandlungen konnte vorerst noch kein Standort für eine Praxisanlage gefunden werden. Auch für die Verbrennung von Energiegras bzw. landwirtschaftlichen Abfällen liess sich noch keine Pilotanlage realisieren. Im Teilbereich Vergärung von Biomasse zeichnet sich eine *renaissance* des Baus von landwirtschaftlichen Biogasanlagen ab. Zwei Gründe sind hierfür zu nennen: Anlageneverbilligung (Verbilligung bei den Komponenten und infolge grösserer Leistungseinheiten), Co-Vergärung

von Gülle und Grünabfällen, welche Zusatzeinnahmen ermöglichen.

Angesichts der herrschenden Strom- und Erdölschwemme mit entsprechend tiefen Marktpreisen kann von einem Durchbruch bei der Biomasse keine Rede sein. Dabei bewegen sich sektoriell die Gesteungskosten keineswegs "jenseits von gut und böse". Angesichts dieser ungünstigen Randbedingungen soll weiterhin Forschung und Entwicklung 1. Priorität haben, während sich die Umsetzung hauptsächlich auf Holzfeuerungen und den Biogasanlage-Bau konzentriert, wo dieser, mit oder ohne Hilfe der Ökostrombörse, wirtschaftlich mithalten kann.

Die Arbeiten im Jahre 1999 werden die Konzeptziele gemäss Plan weiterverfolgen: Kontinuität ist nötig. Die verfügbaren finanziellen Mittel sind allerdings leider rückgängig.

Projektliste

F+E-PROJEKTE

- [1] Th. Nussbaumer, VERENUM, Zürich: *Low NOx-Holzfeuerung* (JB) / ENET 9853890 und 9853891 • *SNCR- und SCR-Verfahren bei Holzfeuerungen* (JB) / ENET 9755082 • *Abgaskondensation bei Holzfeuerung* (JB) / ENET 9858108 • *Partikelabscheidung bei Holzfeuerungen mit Rotating Particle Separator RPS* (JB) / ENET 9866320
- [2] Ph. Hasler et al., VERENUM, Zürich: *Gas Cleanig and Waste Water Treatment for Small Scale Biomass Gasifiers* (SB) • *Parallelmessungen von Teeren und Partikeln bei Holzvergaseren in Dänemark* (JB) / ENET 9868980 • *Kontinuierliche Teerbestimmung bei Holzvergaseren mittels FID* (JB) / ENET 9868502

- [3] P. Rüegg, RÜEGG CHEMINEE, Zumikon: *Kleinholzfeuerung mit Feststoffspeicher als Alleinheizung* (JB) / ENET 9865547
- [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 9855229
- [5] R. Bühler, HOVERGA, Maschwanden: *Festbettvergaser für SGF (Standardized gasifier fuel)* (JB) / ENET 9854959 • *Erarbeitung eines Gas Quality Protocol für Biomassevergaser* (JB) / ENET 9865502
- [6] H. SHARAN, Seuzach: *Vergasungsversuche mit Biomasse geringer Dichte aus der Schweiz in einem Zyklon-Vergaser in Bangalore, Indien* (JB) / ENET 9858819
- [7] C. Bruch u. Th. Nussbaumer, LTNT / ETH- Zürich: *Auslegungsgrundlagen für Holzfeuerungen* (JB) / ENET 9858890
- [8] Ch. Gaegauf, ÖKOZENTRUM, Langenbruck: *Vergleichende Untersuchung der CEN- und ISO-Holzfeuerstätten* (JB) / ENET 9868200 • *Messverfahren für Holz-Feuerstätten schwerer Bauart* (JB) / ENET 9868865 • *Development of newly designed wood burning systems with low emissions an high efficiency* (JB, BBW) • *Auswertung der Messungen an 19 Klein-Holzfeuerungen* (SB)
- [9] Ph. Morf u. Th. Nussbaumer, LTNT / ETH-Zürich: *Grundlagen zur Teerbildung bei der Holzvergasung* (JB) / ENET 9868380 und 9868381
- [10] P. Giordano, Centre de Compétence Châtel-St-Denis c/o MONNARD, Châtel-St-Denis: *Production d'énergie à partir du bois* (SB, JB) / ENET 9853313
- [11] A. Wellinger, NOVA-ENERGIE, Ettenhausen: *Prozessverhalten von in der Schweiz eingesetzten MSW-Gärsystemen unter dem Einfluss steigender Anteile an Küchenabfällen* (JB) / ENET 9861159 • *Untersuchungen zur anaeroben Aufbereitung von Schlachtabfällen* (SB, GRIEDER)
- [12] U. Baserga, FA-Tänikon: *Vergärung von Extensograss-Silage in einer Feststoff-Pilotanlage und einer landwirtschaftlichen Co-Vergärungs-Biogasanlage* (SB) • *Seuchenhygienische Beurteilung der landwirtschaftlichen Co-Vergärung* (SB)
- [13] J-L HERSENER und R. BÜHLER, Wiesendangen: *Energetische Nutzung landwirtschaftlicher Biomasse, Band 2, Energetische Nutzung von Hofdüngerfeststoffen* (SB) • *Energetisch nutzbares Biomassepotential in der Schweiz sowie Stand der Nutzung in ausgewählten Staaten der EU und IEA-Mitgliedern* (SB)
- [14] M. Glauser, BIOL-CONSEILS, Neuchâtel: *Co-digestion de déchets organiques* (JB) / ENET 9862379
- [15] Y. Membrez, EREP, Aclens: *Production de biogaz à partir de déchets organiques humides* (JB) / ENET 9863366
- [16] H. ENGELI, Neerach: *Stand der Technik und Einsatzmöglichkeiten von Membranverfahren bei der Vergärung von Abwässern, Phase I* (JB) / ENET 9863369
- [17] A. Joss u. W. Edelmann, ARBI, Maschwanden: *Influence of oxygen addition to the hydrolytic step in two step anaerobic digestion of municipal solid wastes* (JB) / ENET 9858427
- [18] R. Bühler, INGENIEURGEMEINSCHAFT BÜHLER ARDENS GABATULER SFIH, Maschwanden: *Projektbezogene Qualitätssicherung bei Holzheizungsanlagen* (SB)
- [19] W. EDELMANN und K. SCHLEISS, Maschwanden: *Ecologic, energetic and economic comparison of composting, digestion and incineration of biogenic household wastes* (JB) / ENET 9863662
- [20] F. Dinkel, CARBOTECH, Basel: *Treibstoffe aus Biomasse* (SB, JB) / ENET 9862900
- [21] B. Salerno, Langenbruck: *Energiegewinnung aus Hühnermist* (JB) / ENET 9867581

P+D-PROJEKTE

- [22] F. Kühnis, E+P, Liestal: *Erfolgskontrolle Holzfeuerung Schulhaus Tellmatt in Stans* (SB)
- [23] A. Jenni, P. Schweizer, Liestal: *Klein-Schnitzelfeuerungen im Praxisbetrieb* (SB)
- [24] K. Imbach, VHP, Olten: *Optimierter Kleinkachelofen* (SB) • *Emissionsarme Brennkammer mit nachgeschaltetem Wasserwärmetauscher* (JB) / ENET 9865500
- [25] 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)
- [26] E. HERGER, Etoy: *Projet Eco Energie Etoy* (JB)

- [27] H. Rudolph, COLENCO-HOLINGER, Zürich: *Biogasanlage für die Vergärung von Destillationsrückständen in Kombination mit Abwasserreinigung* (JB) / ENET 9868284
- [28] W. Edelmann, BIOGAS FORUM, Maschwanden: <http://www.biogas.ch>
- [29] H.J. Schmid, SCHMID, Eschlikon: *Holzbetriebene WKK-Anlage* (SB), *Optimierte Holzfeuerung mit geringsten Schadstoffen* (JB) / ENET 9860986

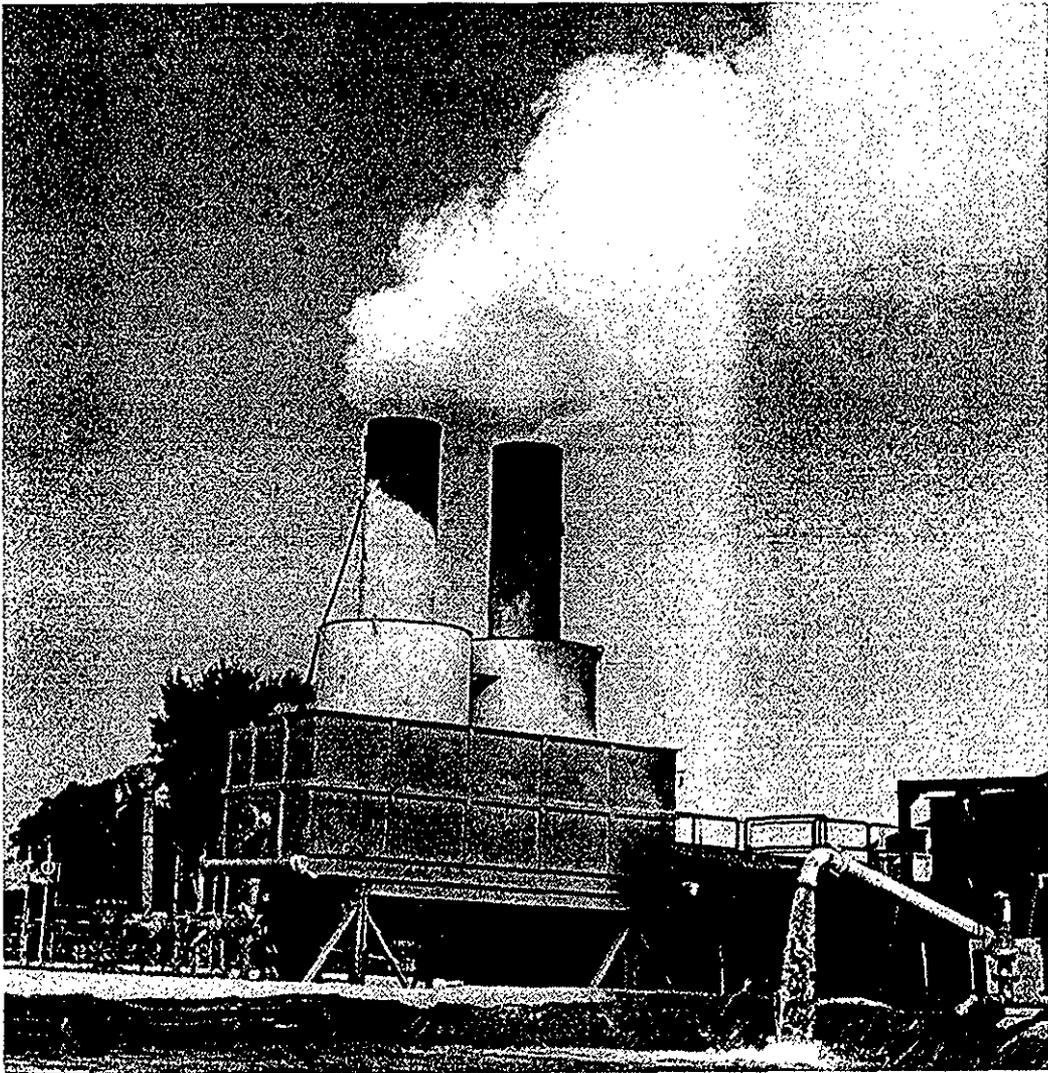
(JB) Jahresbericht 1998 vorhanden

(SB) Schlussbericht vorhanden

GEOTHERMIE

Überblicksbericht
zum Forschungsprogramm 1998

Harald L. Gorhan
harald.gorhan@ewe.ch



Produktionstest der Hot-Dry-Rock-Pilotanlage in Soultz-sous-Forêts (Elsass)

Künstliche Heissdampferzeugung mit einer Temperatur von über 140 °C. Das abgekühlte Wasser wird in ein Sammelbecken zurückgespeist. Die über vier Monate kontinuierlich erhaltene thermische Leistung beträgt ca. 11 MW.

Prämsschwerpunkte

Schlüsselprojekt in der geothermischen Forschung bildet die Anwendung der *HOT-DRY-ROCK* Technologie zur Strom- und Wärmeproduktion in der Schweiz. Durch Teilnahme am *Geothermal Implementing Agreement* der *International Energy Agency (IEA)* konnten rasch und effizient internationale Erfahrungen und Technologien in das Schweizer *Hot-Dry-Rock* Projekt

eingetragen werden.

Weitere Programmschwerpunkte sind: Verbesserungen der Wirtschaftlichkeit von mitteltiefen Erdwärmesonden sowie Untersuchungen über den Einfluss von Temperaturschwankungen auf die Standfestigkeit von Energiepfählen.

Anvisierte Zielpunkte für 1998

Hauptziele der eingangs erwähnten Forschungsprojekte waren 1998:

- einen Standort für die erste *Hot-Dry-Rock* Pilotanlage in der Schweiz festzulegen;
- die für eine geothermische Tiefbohrung nötigen finanziellen Mittel zu finden;

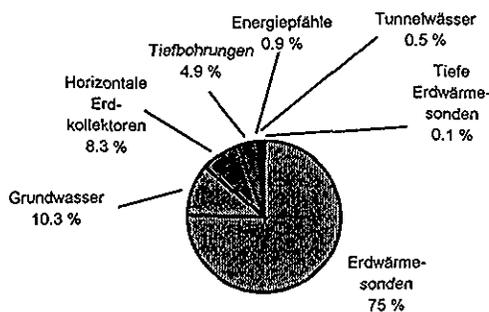
- kostengünstige Bohrverfahren und neuartige, leistungsfähigere Erdwärmesonden-Typen zu entwickeln und auszutesten;
- theoretische Überlegungen über die Standfestigkeit von Energiepfählen bei einer thermischen Belastung nun auch in der Praxis zu überprüfen.

1998 durchgeführte Arbeiten und erreichte Ergebnisse

UNTIEFE GEOTHERMIE

a) *Inventaire des installations géothermiques en Suisse* [1]

Angaben über die jährliche geothermische Energieproduktion beruhen in den vergangenen Jahren in erster Linie auf generellen Statistiken und Schätzungen. In der nun vorliegenden Arbeit, galt es, die produzierte Erdwärme (siehe Graphik), den Stromverbrauch von Wärmepumpen und die totale Wärme/Kälteproduktion von sämtlichen Arten von geothermischen Anlagen festzustellen. In dieser Studie wurde ab 1990 der jährliche Zuwachs ersichtlich gemacht und des weiteren eine Prognose bis ins Jahr 2000 erstellt.



Totale Wärmeproduktion aus sämtlichen geothermischen Anlagen: 387 GWh (Stand 1997)

Anteile der verschiedenen geothermischen Energiequellen an der totalen Wärmeproduktion (d. i. vor Temperaturerhöhung durch eine Wärmepumpe)

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

Bei neuen EWS-Installationen geht die Tendenz eindeutig zu grösseren Sondenlängen hin. Sonden über 200 m Länge sind bereits keine Seltenheit mehr. In solchen Tiefen ist die Druckbelastung beträchtlich, was besondere Anforderungen an die Dichtigkeit des Zirkulationssystems stellt und auch die Lebensdauer der Anlage beeinflussen kann. An einem kommerziell erstellten EWS-System (EWS-Länge 260 m) werden gezielte Begleitmessungen durchgeführt und ausgewertet. Dabei ist eine Messdauer von zwei Heizsaisons (98/99 und 99/00) vorgesehen.

Bei vielen Anlagen werden die Erdwärmesonden überlastet. Bei einer Überlastung gefriert die Hinterfüllung um die EWS ein. Dabei wird vermutet, dass die Hinterfüllung durch die Gefrier-Tau Zyklen schrumpft. Durch das Absacken der Hinterfüllung wird die Leistungsfähigkeit der EWS stark reduziert und kann im Extremfall sogar zum Versagen der Anlage führen. Bei einer kurzen EWS (Länge 70 m) wird der Druck über die Gefrierzyklen erfasst.

Verschiedene Hinterfüllungen sind auf Wärmeleitfähigkeit, Wärmekapazität, Wasserdurchlässigkeit und Temperaturstabilität untersucht worden. Dabei zeigt es sich, dass sich das Gefrieren ungünstig auswirkt.

Im nächsten Jahr wird zusätzlich zur kurzen EWS (70 m) die oben erwähnte tiefe EWS (260 m) in Betrieb genommen.

c) Test en conditions réelles du comportement statique d'un pieu soumis à des sollicitations thermo-mécaniques [3]

L'utilisation de pieux échangeurs représente une solution simple et élégante d'utiliser l'énergie de façon rationnelle. Plusieurs installations de ce type existent déjà en Suisse et à l'étranger. Mais l'étude du comportement statique d'un pieu soumis à des sollicitations thermo-mécanique n'a encore jamais été menée, et ceci représente un handicap quand il s'agit de convaincre un maître de l'ouvrage du bien-fondé d'une telle technologie. C'est d'ailleurs à la demande du responsable des fondations des futurs bâtiment de l'EPFL, que ce test a été prévu.

Les premiers résultats de mesure permettent d'affirmer que, malgré les conditions très difficiles de travail (i.e. sur un chantier en pleine activité), cette première phase a bien fonctionné; cette phase initiale a permis de montrer que l'expérience dans son ensemble fonctionne de manière satisfaisante, laisse ainsi bien augurer de la récolte d'informations nécessaire pour apporter une réponse scientifiquement étayée concernant la problématique de l'effet de sollicitations thermiques sur la structure et le milieu avoisinant des pieux de fondation.

d) Innovative Bohrtechniken: ein Weg zur Erhöhung der Wirtschaftlichkeit geothermischer Bohrungen [4]

Zentraler Kostenpunkt für die Erstellung geothermischer Erdwärmesonden-Anlagen sind die unumgänglichen Bohrarbeiten. Sowohl aus der Erdölindustrie als auch vom Untertagebau steht eine grosse Anzahl unterschiedlicher Bohrwerkzeuge und -methoden zur Verfügung.

In der vorliegenden Studie wurde eine Auswahl solcher Werkzeuge anhand einer Fragebogenaktion sowie laut Produkt- und Literaturinformationen und auch aufgrund eigener Erfahrungen näher durchleuchtet. Diese theoretischen Untersuchungen konnten mit Hilfe von ausgiebigen Feldversuchen untermauert werden. Im Zuge dieser Arbeiten hat sich der hydraulische Imloch-Hammer des Typs "Wassara" als wegweisend herauskristallisiert. Weitere interessante Möglichkeiten für Kostensenkungen werden ebenfalls in dem nun vorliegenden Schlussbericht aufgezeigt.

TIEFE GEOTHERMIE

a) Geothermische Eigenschaften der Schweizer Molassebecken [5]

Geothermische Kennwerte (Wärmeleitfähigkeiten, spezifische Wärmekapazitäten und Gesteinsdichten) sollen durch flächendeckende Messungen erfasst werden. Diese Daten werden als Input zur Entwicklung eines einfach zu bedienenden PC-Programmes für Planer von Erdwärmesondenanlagen benötigt (siehe Programm Abwärme).

Am Institut für Geophysik der ETHZ wurde von einer

Forschergruppe die in der vorangegangenen Pilotstudie entwickelte Wärmekapazitäts-Apparatur durch eine neue Konstruktion ersetzt und kalibriert. Damit sind effiziente und zuverlässige Messungen von Gesteinsproben, sogenannten *Cuttings* möglich.

b) Anwendung der Hot-Dry-Rock/Hot-Wet Rock Technologie zur Strom- und Wärmeproduktion in der Schweiz [6]

Wasserdampf aus geothermischen Feldern wird seit Jahrzehnten weltweit in Ländern mit hohen Temperaturgradienten (Wärmeanomalien) zur Strom- und Wärmeproduktion genutzt. *Deep Heat Mining* (DHM) 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.

1998 konnten – im Hinblick auf die Realisierung einer entsprechenden Anlage – die folgenden "Meilensteine" erreicht werden:

- Festlegen von zwei potentiellen Anlagestandorten im Raum Basel;
- Mitfinanzierung des laufenden Projektes seitens des PSEL und der Industriellen Werke Basel (IWB). Gute Chancen auch für die Finanzierung einer ersten Tiefbohrung durch das IWB;
- von Regierungsseite des Kantons Genf wurde der Wunsch geäußert, auch im Kanton Genf einen potentiellen Standort für eine DHM-Anlage zu prüfen;
- im Bereich der Systemtechnik wurde ein Pflichtenheft für eine Parameterstudie erarbeitet. Diese soll eine Grobbeurteilung der verfügbaren Technologien ermöglichen um geeignete Energieumwandlungs-Systeme definieren zu können.

c) IEA Hot-Dry-Rock Project [7]

The overall aim of this IEA-Project is to provide an information framework for the construction of the first commercial hot-dry-rock plants, including project planning, availability of special tools and services and an overview of data (data analyses and experiences) gained in the course of major hot-dry-rock projects world-wide:

- production of a handbook for the project index database and for the data archiving technique;
- continuation of the setting up of archives and index databases for Soultz (F) and Rosemanowes together with the respective project teams and including the Swiss contribution to the European hot-dry-rock effort;
- instruction and guidance of the other project teams world-wide to achieve a status of auto-capability;
- collection of information on services, tools and techniques suitable for use during the design and construction of a hot-dry-rock power plant;
- software selection for database on tools, equipment

and services for use in the generic project development and construction plan and initialisation of the design of this database;

- seeking methods of linking this database with a generic project planning tool, a key instrument under development.

Den Vorsitz bei diesem IEA-Projekt hat die Schweiz (L. Rybach). Es wird damit gerechnet, dass weitere in der Geothermienutzung führende Länder (Italien, Island) dem Projekt in kürze beitreten werden. Damit kann sich die Schweiz internationales *Know-how* sichern.

d) *Projets et développements géothermiques – Workshop Suisse-Yaroslavl (Russie)* [8]

In Russland bzw. in gewissen Staaten der ehemaligen USSR ist beachtliches *Know-how* auf dem Gebiet der Tiefbohrtechnik vorhanden.

Anlässlich eines ersten Treffens in Zürich mit Direktoren der *State Scientific Industrial Enterprise on Super-deep Drilling and Comprehensive Studies of the Interior of the Earth* (GNPP "NEDRA") wurden Möglichkeiten einer Zusammenarbeit diskutiert, die in Hinsicht auf geplante geothermische Tiefbohrungen für das oben erwähnte *Hot-Dry-Rock* Forschungsprojekt [6] von speziellem Interesse sind.

Seitens der Russen bestand des weiteren grosses Interesse am Schweizer *Know-how* betreffend der geothermischen Wärmenutzung von nicht mehr gebrauchten Tief-

bohrungen sowie an modernen Wärmepumpen-Technologien.

e) *Machbarkeitsstudien mit Kostenschätzung zur Nutzung von Tunnelwärme aus dem Ascona-, Grenchenberg- und Vereina-Tunnel, so wie aus dem (Lötschberg) Sondierstollen Frutigen* [9]

Die durchgeführten Machbarkeitsstudien konnten zeigen, dass eine praktische Nutzung der warmen Bergwässer aus drei untersuchten Tunnels ohne besondere Probleme technisch machbar und ökologisch sehr sinnvoll ist (aus politischen Gründen scheiterte die Machbarkeitsstudie für den Ascona-Tunnel). Obschon die Wärmegebungskosten für Heizung und Warmwasserproduktion über diejenigen von konventionellen Ölheizungen zu liegen kommen, sind sie dennoch mit den Kosten anderer alternativer Heizsysteme vergleichbar.

Leider besteht beim Vereina-Tunnel mangels fehlender Wärmeabnehmer zur Zeit kein ausreichendes Bedürfnis für eine Realisierung, was sich jedoch in Zukunft ändern könnte.

Beim Grenchenberg-Tunnel und Sondierstollen Frutigen bestehen dagegen berechnete Hoffnungen, dass das Bergwasser in Zukunft als Wärmequelle für eine Wärmepumpe genutzt werden könnte (d.i. mittels Fernwärmenetz).

Voraussetzung für die Realisierung einer Tunnelwärmenutzungsanlage sind allerdings Subventionen an die nicht amortisierbaren Mehrkosten seitens Bund und Kanton bzw. Eigenleistungen von Dritten (Trägerschaft).

Nationale Zusammenarbeit

Auch in der jetzigen Berichtsperiode fand eine intensive Zusammenarbeit mit Bohrfirmen, Erdwärmesonden-Herstellern, Besitzern von Kur- und Thermalbädern, mit Bundesstellen wie dem BUWAL und BBW, mit Hochschulen und Höheren Technischen Lehranstalten statt. Dies sowohl in der deutsch-, (romanisch-) als auch in der französisch-sprachigen Schweiz. Im Tessin erfolgten Kontakte mit der Behörde und diversen Ingenieurbüros. Sämtliche durch das BFE subventionierte P+D-Anlagen wurden besucht, mit zusätzlicher Unterstützung bei der Erstellung und Auswertung begleitender Erfolgskontrollmessungen.

Eine Präsentation vor der CORE gab Gelegenheit, Stellenwert und Zukunftsperspektiven der Geothermie ins rechte Licht zu rücken.

Des weiteren erwähnenswert sind mehrere Vorträge, die von Projektnehmern in verschiedenen Orten der Schweiz gehalten wurden bzw. die Teilnahme an diversen Tagungen (z.B. Frühjahrstagung 1998 des SVG in Lavey-Bains, Tagung Airolo). Von diversen Projektnehmern wurden zudem Presseartikel und geothermische

Beiträge für Fachzeitschriften verfasst.

Von besonderem Interesse ist die Erstellung der BFE-Broschüre mit dem Titel: "Geothermie, praktische Nutzung von Erdwärme", die Mitte Jahr einem breiten Publikum bekanntgemacht werden konnte. Unter Mitwirkung von erfahrenen Praktikern und ausgewiesenen Wissenschaftlern wird in dieser Broschüre der *state of the art* von sämtlichen heutige gängigen, sowie von zukünftigen geothermischen Nutzungsmöglichkeiten für die Schweiz dargelegt.

Im Programm *Technology Assessment* des Schweizerischen Wissenschaftsrates fand im Mai die Veranstaltung "Publiforum: Strom und Gesellschaft" statt, wobei die Alternativ-Energie Geothermie im Bericht des Bürgerpanels als sehr positiv beurteilt wurde.

Mitte des Jahres wurden Ausschreibungsunterlagen und ein Pflichtenheft zur Erstellung einer Homepage für das Programm Geothermie erarbeitet. Mit Hilfe eines Auftrites im Internet soll nun Bekanntheitsgrad und der Informationsfluss sowohl für die breite Öffentlichkeit als

auch für Planer, Architekten, Bauherren, Entscheidungsträger, Investoren und Heizungstechniker gezielt gefördert werden. Eine erste Pilotphase (Detailkonzept bzw. *Prototyping*) soll anfangs nächsten Jahres abgeschlossen sein.

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 Französischen Fachverbänden im Jahr 1999 durchgeführt werden soll.

1998 wurden vom SVG drei Bulletin-Nummern veröffentlicht, die auch im Ausland Beachtung fanden.

Internationale Zusammenarbeit

Regel internationaler Informationsaustausch erfolgte im Rahmen der bereits erwähnten Mitarbeit beim *IEA-Geothermal Implementing Agreement* [7] so wie bei den EU-Projekten "*European Concerted Action for the Support of the Hot Dry Rock Geothermal Energy R&D Activities 1998-2000*". Es handelt sich hier um zwei Forschungsprojekte, die vom Institut für Geophysik der ETHZ und dem *Centre d'hydrogéologie der Université de Neuchâtel* durchgeführt werden.

Auch im Jahre 1998 waren Schweizer Geothermiker an diversen internationalen Tagungen mit Vorträgen präsent:

- 2nd *Stockton International Geothermal Conference (Stockton/USA)*

- *Jahrestagung der Geothermischen Vereinigung e.V. (Straubing/D)*
- *International Geothermal Days Azores'99 (Ponta Delgada/PT)*
- *Geothermal Resources Council 1998 Annual Meeting (San Diego/USA)*
- *4th International Hot Dry Rock Conference (Strasbourg/F)*

Bereits erwähnt wurde die Zusammenarbeit mit Fachleuten aus Russland (*Projets et développements géothermiques – Workshop Suisse-Yaroslavl* [8]) wo ein intensiver Erfahrungs-Datenaustausch mit dem Institut für Geophysik der ETHZ in die Wege geleitet wurde.

Transfer in die Praxis, P+D-Projekte

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

Verbesserungen und Neuentwicklungen auf dem Gebiet Bohrtechnik und Erdwärmesonden:

- *Etude de faisabilité d'une nouvelle méthode de forage: Mudair;*
- Demonstrationsprojekt zum Effizienzvergleich zwischen konventionellen (tiefen) Erdwärmesonden und der Neuentwicklung "Regenschirm-Erdwärmesonde".

Erstellung und Erfolgskontrolle von Energiepfahlanlagen:

- Energiepfahl-Anlage PHOTOCOLOR, Kreuzlingen.
- Erfolgskontrolle Energiepfahl-Anlage PAGO;
- Beheizung von Wohn- und Geschäftshaus ohne fossile Brennstoffe im Kanton Schwyz (Kombination der Wärmenutzung von Sonnenenergie, Außenluft und aus Energiepfählen).

Innovative Nutzungen von bereits bestehenden Tiefbohrungen:

- Machbarkeit der Nutzung ausgewählter Tiefbohrungen für geothermische Pilotanlagen (Phase 2)

- Energetische Nutzung der Thermalwasserbohrung Tiefenbrunnen (nur Machbarkeit);
- Nutzung des warmen Wassers der Bohrung Berlingen-3 als Trink/Tafelwasser und zur Wärmerückgewinnung (Konzessionsgesuch zur Nutzung beim Kanton eingereicht).

Hydrothermale Tiefbohrung, Heat Contracting für eine grössere Überbauung:

- Geothermie *Contracting* Siedlung *Solar One*, Itingen (BL).

Nutzung von Tiefbohrungen, die in vergangenen Jahren mit Hilfe der Risikogarantie des Bundes abgeteufelt wurden:

- Demonstrationsprojekt Erdwärme-Tiefensonde Weissbad (Mitfinanzierung NOK);
- Wärmegewinnung ("Kaskadennutzung") aus Thermalwasser (Bad Schinznach);
- *Exploitation du forage géothermique JAFE de Saillon;*
- Geothermische Wärmepumpe, Schulhaus Egelsee, Kreuzlingen;
- *Forage géothermique d'Yverdon-les Bains F5* (Abschluss).

Erstellung und Erfolgskontrolle von geothermischen Anlagen, die Tunnelwasser oder -luft nutzen:

- Messprogramm für das Projekt "Wärmenutzung aus dem Ricketunnel" (Mitfinanzierung NOK);
- *Studio preliminare di fattibilità per lo sfruttamento dell'energia calorica dell'acqua proveniente dalla galleria di base del S. Gottardo (Machbarkeit)*;
- Tunnelwassernutzung Mappo-Moretina;

- *Géothermie Grand-St-Bernard* (Nutzung der warmen Tunnelluft);
- Geplant für das nächste Jahr: "Gewinnung geothermischer Energie aus dem Hauenstein Basistunnel" (Mitfinanzierung durch die ATEL).

Alle vom BFE subventionierten P+D-Anlagen werden laufend messtechnisch überwacht um nach mindestens zwei vollen Heizperioden schlüssige Aussagen über Wirkungsgrad und Wirtschaftlichkeit machen zu können.

Bewertung 1998 & Ausblick für 1999

Sowohl bei der uniefen 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 1999 wieder bei der *Deep Heat Mining* Forschung liegen, wobei für das kommende Jahr eine erste Tiefbohrung von ca. 2 km im Raum Basel vorgesehen ist. Dieses Forschungsprojekt tritt somit in eine entscheidende Phase, da die für die Bohrarbeiten nötigen finanziellen Mittel durch Dritte aufgebracht werden müssen.

Gespannt darf man den Ergebnissen der oben erwähnten Forschungs- und P+D-Projekte bezüglich Steigerung

der Wirtschaftlichkeit und Effizienz von neuartigen Erdwärmesonden-Typen entgegensehen.

Ähnliches gilt für den 1 zu 1 Feldversuch mit einem Energiepfahl in der EPFL, der wichtige Aussagen über die Auswirkung von thermischen Belastungen von Energiepfählen auf deren Standfestigkeit (Mantelreibung) liefern wird. Dies ist insofern von grosser Bedeutung als der Einsatz von derartigen Energiepfählen für zukünftige Grossprojekte (z.B. Erweiterung Flughafen Kloten) geplant ist.

Des weiteren ist für das kommende Jahr die Realisierung von einigen Erdwärmesonden P+D-Grossanlagen sowie die geothermische Nutzung von bereits bestehenden Tiefbohrungen (z.B. Berlingen 3) vorgesehen.

Liste der 1998 gelaufenen Projekte

- [1] SOCIÉTÉ SUISSE POUR LA GÉOTHERMIE SSG, *Bienne: Inventaire des installations géothermiques en Suisse* (SB)
- [2] GRUNDAG, *Gossau: Lebensdauer von Erdwärmesonden in Bezug auf Druckverhältnisse und Hinterfüllung* (JB)
- [3] LMS-LASEN, EPF-Lausanne: *Test en conditions réelles du comportement statique d'un pieu soumis à des sollicitations thermo-mécaniques* (JB)
- [4] FORALITH, *Gossau: Innovative Bohrtechniken; ein Weg zur Erhöhung der Wirtschaftlichkeit* (SB)
- [5] GEOFORM, *Winterthur: Geothermische Eigenschaften der Schweizer Molassebecken (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 II (a)-Machbarkeit* (SB)
- [7] Arbeitsgemeinschaft POLYDYNAMICS – ETH-Zürich – CHYN, *Neuchâtel – HÄRING GEOPROJECT, Zürich: Teilnahme am IEA-Projekt Hot Dry Rock, Subtask C* (SB)
- [8] SOCIÉTÉ SUISSE POUR LA GÉOTHERMIE SSG, *Bienne: Projets et développements géothermiques-Workshop Suisse-Yaroslavl (Russie)* (JB)
- [9] Arbeitsgemeinschaft ARGE ZEWI, *Zürich: Machbarkeitsstudien mit Kostenschätzung zur Nutzung von Tunnelwärme aus dem Ascona-, Grenchenberg- und Vereina-Tunnel, so wie aus dem (Lötschberg) Sondierstollen Frutigen* (SB)

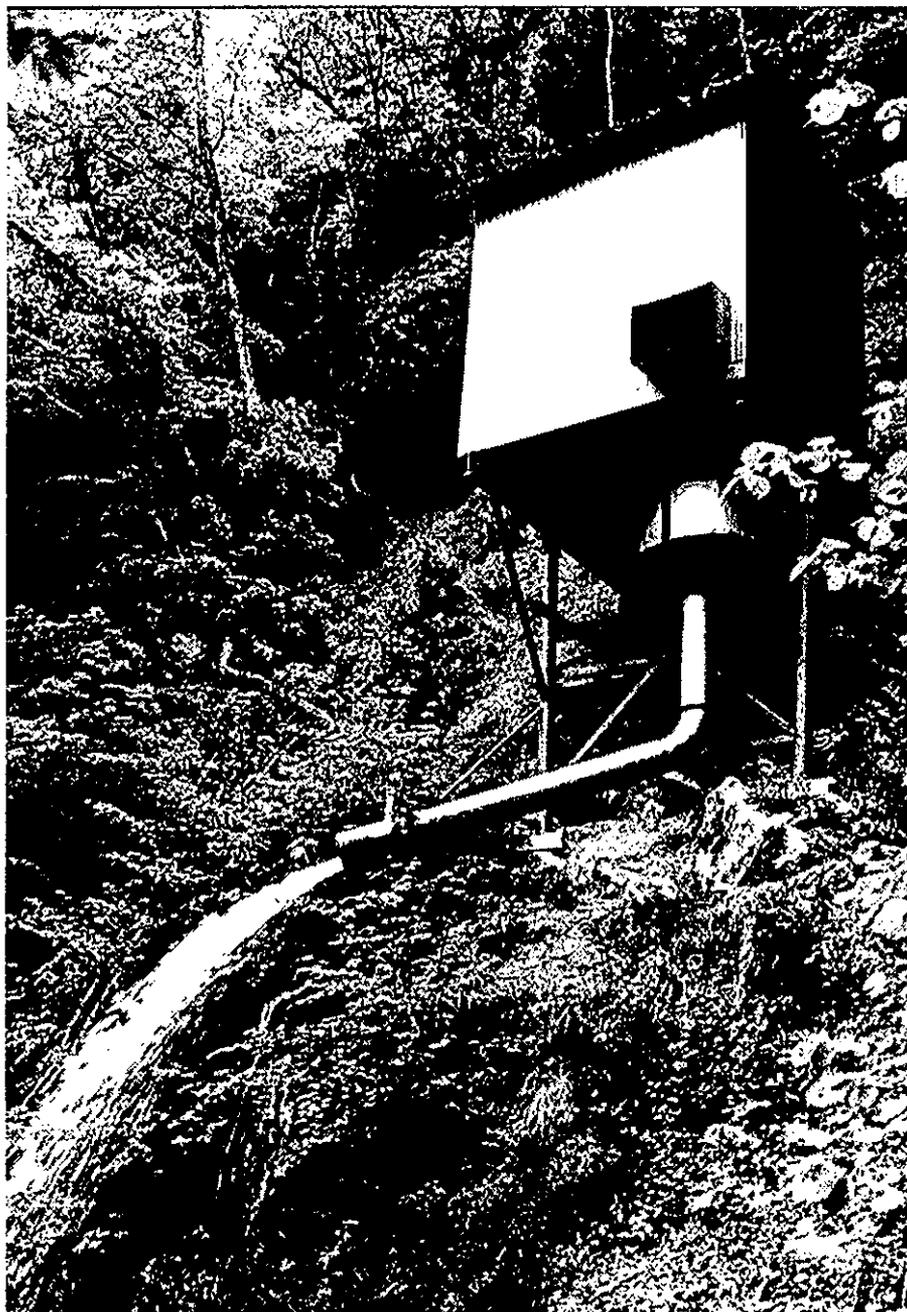
(JB) Jahresbericht 1998 vorhanden

(SB) Schlussbericht vorhanden

KLEINWASSERKRAFTWERKE

Überblicksbericht
zum Forschungsprogramm 1998

Hanspeter Leutwiler
iteco@iteco.ch



Nebennutzungen von Leitungssystemen

Trinkwasser, Abwasser, Berg- und Drainagewasser, Kühl und Reinigungswasser – in sehr vielen Systemen fällt Überdruck an, welcher "vernichtet" werden muss. Die abgebildete Abwasserkraftanlage von Leysin stellt ein Energieäquivalent des Verbrauchs von 60 Haushalten her.

Schwerpunkte 1998

Im Berichtsjahr haben sich die Rahmenbedingungen für Kleinwasserkraftwerke wegen der sich konkretisierenden Sanierung gemäss revidiertem Gewässerschutzgesetz verschlechtert, und die Verunsicherung der Investoren wegen der kommenden Marktöffnung ist gewachsen. Die politische Spannung zwischen Ökologisierung der Energieproduktion und dem Druck auf Kostensenkung im Hinblick auf die Strommarktöffnung hat im Wasserkraftsektor faktisch einen Projektstopp bewirkt. Sie steht im Gegensatz zu den positiven Signalen für erneuerbare Energien aus Politik und seitens der neuen Ökostrombörsen. Eine Auswertung von Presseauschnitten über Kleinwasserkraftwerke zeigte auf, dass der Einbruch der Investitionen bereits 1995 begonnen hat. Ausnahmen bilden energetische Nebennutzungen bestehender Wasserleitungen und aus Idealismus gebaute Pico-Kraftwerke.

Das Programm Kleinwasserkraftwerke ist als einziges Förderprogramm für Kleinwasserkraftwerke auf Bundesebene übriggeblieben. Auf kantonaler Ebene sind Fördermittel für Kleinwasserkraftwerke auch kaum mehr vorhanden. Das Programm Kleinwasserkraftwerke musste deshalb auf vielen Seiten präsent sein, als Ansprechstelle dienen und reagieren, andererseits wegen der eigenen Budgetknappheit seine Kräfte bündeln.

Es wurden die folgenden Schwerpunkte verfolgt:

- Aktives Fördern innovativer Technologien für den Niederdruckbereich, vor allem für Kompaktanla-

gen und für Einfachbauarten. Im Fokus stehen der Ersatz der aufwendigen Turbinenöffnungsregelung durch eine Drehzahlregelung mit Umrichtertechnologie und der Abschlussorgane durch Hebertechnologie.

- Suchen nach Technologien, welche die Nutzung vieler kleiner Potentiale in Trink- und Abwasseranlagen sowie anderen Rohrsystemen wirtschaftlich machen können. Es wurde ein vielversprechendes Pilotprojekt für den Einsatz einer neuen Technologie für die Druckerhöhung von Wasser aus Nebenfassungen abgeklärt (Doppelkonus-Technologie).
- Unterstützung ausgewählter Pilot- und Demonstrationsanlagen in Segmenten höchsten Kostendrucks: bei kleinsten Anlagen und im Niederdruckbereich und für die Anwendung neuer Technologien zur Kostensenkung.
- Weiterführen der erfolgreichen Vorstudienförderung aufgrund von Gesuchen.
- Hilfestellungen an Projektinteressierte und allgemein an engagierte Personen und Institutionen.
- Aufbau der Internetpräsenz.

In der Westschweiz wurde für die Umsetzung der Anliegen der Förderung eine Pressekonferenz durchgeführt. Es zeigte sich wieder einmal, dass ein beträchtlicher Aufwand notwendig ist, um das Interesse der Presse für Kleinwasserkraftwerke zu wecken.

Arbeiten und Ergebnisse

Die **Information & Beratung** von DIANE wurde weitergeführt. Zwei Stellen in der Deutschschweiz, eine im Tessin und eine in der Westschweiz geben regional Auskunft und bieten standardisierte Kurzberatungsleistungen an. In der Deutschschweiz wurde eine Pilotveranstaltung zur Einführung von öffentlichen Energieberatern durchgeführt.

Die **Internet-Site** wurde weiterentwickelt. Der Prototyp wurde erstellt und ab Mitte Dezember 1998 unter der Adresse öffentlich zugänglich gemacht [1]. Die Site bietet in erster Linie Promotoren, Planern, Lieferanten, Bauherren und anderen Machern der Szene einschlägige Informationen und den Zugang zu Fördermitteln. In zweiter Linie ist sie für die Information des interessierten breiten Publikums gedacht, insb. auch für Schulen, Politiker, Journalisten usw. dotiert. Auf der Site wird die Anlagenstatistik publiziert, welche 1999 ergänzt werden soll. Es wurden Methoden zur effizienten Bearbeitung und Aktualisierung gesucht, und passwortgeschützte Seiten werden der programminternen Kommunikation dienen. Originaldokumente sollen bereits im "Internet-Approach" verfasst werden, so dass der Redaktionsaufwand für die *Homepage* kleiner wird. Die Projektleitung wurde instruiert, damit sie kleine Aktua-

lisierungen direkt vornehmen kann. Dies soll 1999 auf den westschweizer Sachbearbeiter der *Homepage* ausgedehnt werden, um ein effizientes Aktualisieren zu ermöglichen. Die französischsprachige Version soll möglichst vollständig sein. Die italienischsprachige Version ist mit reduziertem Inhalt geplant. Vor allem im Hinblick auf die Exportförderung soll es auch eine Kurzpräsentation in Englisch für ausländische Zielgruppen geben. Der Aufbau der Versionen und die Bekanntmachung und Anmeldung bei Suchmaschinen erfolgen 1999.

Eine Arbeitsgemeinschaft hat ein Konzept zur periodischen Durchführung eines "*Swiss Hydropower Forum*" verabschiedet. Es soll einen Beitrag an die langfristige Konkurrenzfähigkeit der Schweizer Wasserkraftbranche liefern. Zu diesem Zweck soll in geraden Jahren ab 2000 jeweils eine 3-tägige Veranstaltung in Anlehnung an das Davoser Weltwirtschaftsforum durchgeführt werden, welches sich zu einem Marktplatz für *Know-how* und Projekte entwickeln soll.

Die vom DIANE-Projekt Klein-Wasserkraftwerke beauftragte **Presseauswertung und Umfragen über Kleinstwasserkraftwerke bis 300 kW** [5] über den

Zuwachs der Kleinwasserkraftwerke seit der letzten Erhebung des Bundesamtes für Wasserwirtschaft 1985 bis 1997 wurde fertiggestellt. Mit den vorliegenden Zahlen kann der heutige Bestand an Kleinwasserkraftwerken und deren Produktion abgeschätzt werden. Es wurde ein namhaftes Investitionsvolumen in Kleinstkraftwerke aufgezeigt, d.h. ein Erfolg der Förderpolitik nachgewiesen. Die Auswertung wies den bereits wahrgenommenen kleinen Boom bei den Trinkwasserkraftwerken zahlenmässig nach. Andererseits wurde jedoch ein bedenklicher Einbruch der Investitionstätigkeit nach 1995 festgestellt – eine Deutung dieses Ergebnisses wird weiter unten gegeben. Die Resultate werden vom Programm Kleinwasserkraftwerke umgesetzt. 1999 soll das Jahr 1998 ausgewertet werden, und die Daten sollen mit Hilfe von Bundesstellen und der Kantone korrigiert und ergänzt werden. Der Bericht wird über E2000-P+D-Infostelle veröffentlicht und auf der Internet-Site [1] zusammengefasst.

Das Kleinturbinenlabor Stiftung MHyLab in Montcherant [2] setzte seine Entwicklungstätigkeit fort. Die Entwicklung der Peltonturbinen wurde abgeschlossen und die Entwicklung einer Typenreihe von Niederdruckturbinen (doppeltregulierte und einfachregulierte Achsialturbinen) wurde gestartet. Bei den "klassischen" Turbinentypen fehlt somit nur noch die Francisturbine. Die Peltonturbinen haben bereits erste Anwendungen gefunden, so dass das MHyLab erste Einnahmen aus Tantiemen verbuchen kann. Noch fehlt allerdings die Restfinanzierung zur Fertigstellung der Entwicklung des dritten etablierten Turbinentyps (Francis).

In der Westschweiz wurde eine **Pressekonferenz** zum Thema Kleinwasserkraftwerke durchgeführt, an welcher die Resultate von DIANE, das MHyLab und das Programm Kleinwasserkraftwerke vorgestellt wurden. Dank dem persönlichen Engagements des (von DIANE beauftragten) Journalisten konnten sieben Medienvertreter mobilisiert werden. Das Medienecho war mittelmässig und zeigte wieder einmal auf, dass die Kleinwasserkraftwerke nur wenig im Interessen der Medien stehen.

Gesuche um Vorstudienbeiträge: Nach dem Unterbruch der Vorstudienförderung 1996 hat sich die Nachfrage wieder auf den ursprünglichen Pegel eingestellt. Das Förderinstrument bringt gute Feedbacks und scheint sich weiter zu bewähren. Nach verschiedenen Anläufen ist es gelungen, eine Vorstudie über ein Kühlwasser-Kraftwerk zu fördern, um ein Signal für die Nutzung von Energierückgewinnung-Potentialen in der Verfahrenstechnik zu setzen (zwei weitere Standorte werden verfolgt).

Gesuche für P+D-Anlagen: Es konnten nur wenig P+D-Anlagen unterstützt werden. Die Gründe sind in den folgenden Verhältnissen zu suchen:

- Bei den notwendigen Investitionssummen von fünf- und sechstelliger Höhe wird der Betrag nichtamortisierbarer Kosten zu hoch, welcher den Bauherren verbleibt – die Projekte bleiben in der Schublade.

- Angesichts der Unsicherheit der politisch-wirtschaftlichen Rahmenbedingungen werden fast nur noch Projekte mit gesicherter Rentabilität realisiert, d.h. solche ohne Notwendigkeit zur Förderung (höhere Prozentsätze an die nichtamortisierbaren Kosten könnten knapp unter der Rentabilitätsschwelle stehende Projekte mobilisieren, und ein Investitionsbonus könnte die Realisierung knapp rentabler Projekte erheblich beschleunigen).
- In den meisten Fällen erweist sich eine konventionelle Bauweise heute noch als ökonomischer und langlebiger als eine innovative Bauweise – die traditionelle Bauweise ist hochentwickelt und schwierig von einer "Einsteigertechnologie" zu schlagen.

Mangels Finanzhilfe bleiben namhafte Projekte in der Schublade. Für eine breitere Förderung von P+D-Anlagen genügen die Programmmittel nicht. Im folgenden Jahr soll deshalb eine Konzentration auf wenige Projekte mit guter Wirkung angestrebt werden.

Die wichtigsten P+D-Projekte waren 1998:

Als ein Projekt, welches eine Schlüsselbedeutung erhalten kann, wurde eine Pilotanlage für eine **drehzahlvariable Achsialturbine** mit fixen, nabenfreien Beschaukelungen und Aussenkranzgenerator gestartet. Ziel ist eine kostengünstige, kompakte, wenig Bauaufwand erfordernde Turbine mit geringen Wartungskosten und einigermaßen zufriedenstellendem Wirkungsgrad für den Einsatz im Niederdruckbereich für kleinste Leistungen, vor allem in Abwassersystemen, für Renovationen/Reaktivierungen, Dotierturbinen und die Nutzung von Wasserbauschwellen.

In der Papierfabrik **Perlen** wurde mit dem Bau einer Pilotanlage von 1 MW begonnen. Es handelt sich um die Reaktivierung einer ausser Betrieb gefallenen Anlage. Es ist das erste **Ultraniederdruck-Kraftwerk** in dieser Grössenordnung in der Schweiz mit konsequenter Einfachtechnologie, jedoch ohne Kompromisse auf der Seite der Wirkungsgrade und Anlagenqualität. Kern der Innovation sind drei einfachregulierte vertikalachsige Kaplansturbinen mit Saugheberanordnung ("Syphon") zur Einsparung von teuren Abschlussorganen. Die Einsparungen sind erheblich. Die Anlage wird Ende 1999 in Betrieb gehen.

Das 1997 begonnene Projekt für eine Pilotanlage mit **Coanda-Rechen** [4] wurde abgeschlossen und ein Bericht für die Medienumsetzung erstellt. Der Rechen hat sich bisher sehr bewährt, z.B. sind auch im Winter keine Verklausungen durch Eis vorgekommen.

Das Projekt **Revita** [6] vom Ökozentrum Langenbruck, welches mit Arbeitslosenprogrammen "arbeitslose Wasserkraft" reaktivieren will, wurde gestartet. Es wird zusätzlich vom kantonalen Amt für Industrie und Gewerbe (KIGA) des Kantons Bern und von der Energieförderung des Kantons Bern unterstützt. Die Schwierigkeiten mit den Bewilligungsverfahren wurden jedoch offenbar unterschätzt: das erste Reaktivierungsprojekt musste aufgegeben werden, das zweite stagnierte zeitweise.

Perspektiven

Mit dem Durchbruch der politischen Akzeptanz einer Energieabgabe und einer ökologischen Steuerreform scheinen sich die Bedingungen für erneuerbare Energien und somit auch für die Kleinwasserkraftwerke mittelfristig markant zu verbessern.

Bei einer genaueren Betrachtung stellt man jedoch Versuche fest, die Förderung der Wasserkraft, einschliesslich der Kleinwasserkraftwerke, auf den Schutz bestehender Werke und deren Ökologisierung zu beschränken. Eines der ökologisch und wirtschaftlich interessantesten Segmente droht zwischen Stühle und Bänke zu fallen: der Neubau von Kleinwasserkraftwerken in bestehenden Rohrsystemen des Siedlungswasserbaus, der Verfahrensindustrie usw. Die Kantonalisierung der Förderung im Jahr 2000 bringt weitere Unwägbarkeiten.

Die in Beratung stehenden Gesetze und der Vollzug bestehender Gesetze werden im folgenden Jahr die Spirale Unsicherheiten für Investoren in Kleinwasserkraftwerke weiterdrehen. Der **Gegensatz zwischen dem Druck zur Ökologisierung der Energieversorgung und dem Druck zur Kostensenkung wegen der kommenden Strommarktöffnung** gesellt sich zum bereits bestehenden Spannungsfeld von Nutzen und Schützen.

Das revidierte eidgenössische Wasserrechtsgesetz und die gemäss Gewässerschutzgesetz erstellten Sanierungspläne für Wasserentnahmen bringen eine Welle von Liquidationen von Wasserrechten, welche im Gegensatz zu den Förderzielen für erneuerbare Energie steht.

Zwar verspricht das in Kraft tretende Energiegesetz den unabhängigen privaten Produzenten die Weiterführung der bisherigen Rückliefertarife, aber die Gegner dieser Lösung vertreten den Standpunkt, dass dieser geschützte Nischenmarkt bei einer Marktöffnung der Elektrizität nicht haltbar sein werde. Zudem nützt die Vergütungsregelung nur unabhängigen privaten Produzenten und nur bei einem hohen Anteil an Rücklieferstrom – Anlagen zur weitgehenden Selbstversorgung. Anlagen im Besitz von Elektrizitätsverteilunternehmen fallen deshalb

unter den weitgehenden Investitionsstopp infolge der kommenden Marktöffnung.

Da die langfristigen Karten der Kleinwasserkraftwerke intakt sind, hilft das Programm Kleinwasserkraftwerke die momentane Krise zu überbrücken. Angesichts der Unsicherheit der politischen Rahmenbedingungen, der langen Projektdurchlaufzeiten und der Kapitalintensität der Anlagen soll die Förderung möglichst **Kontinuität** wahren. Projektinteressenten und Betreibern soll weiterhin dauerhaft individuell geholfen werden. In der Öffentlichkeit sind positive Signale zu setzen. Wichtig ist, dass die Zielgruppen langfristiges Vertrauen in die Politik und den Gesetzesvollzug des Bundes gewinnen, damit sie weiterhin in die äusserst langlebigen Kleinwasserkraftwerke mit generationenlangen Amortisationszeiten investieren.

Die knappen Mittel sind ein Grund zur Konzentration auf wenige Aufgaben und Pilot- + Demonstrationsprojekte. Der Fokus wird verstärkt auf industrielle Partner gerichtet. Ein Schwerpunkt gilt **Kompaktanlagen im Niederdruckbereich**, wo sowohl die Fördernotwendigkeit als auch das Potential am grössten ist. Die Suche nach industriellen Partnern für die Weiterentwicklung der Ergebnisse der Umrichtertechnologie der HTL Sion und für Kompaktbauweisen/Kits wird im Hinblick auf Fördergelder durch den Energieabgabebeschluss intensiviert. Als Beitrag zur politischen Diskussion wird die **Informationsbasis über Kleinwasserkraftwerke** weiter verbessert und zugänglich gemacht, vor allem über Internet.

Neben den bereits genannten laufenden Projekten MHyLab, Niederdruckturbine ECOPOWER und Ultraniederdruck-Kraftwerk PERLEN zeichnet sich ein weiteres vielversprechendes Projekt ab:

- Doppelkonustechnologie – Entwicklung des Rheologiellabors der Universität Bern für fremdenergie-lose Druckerhöhung mit Pilotanlage bei den Kraftwerken Oberhasli.

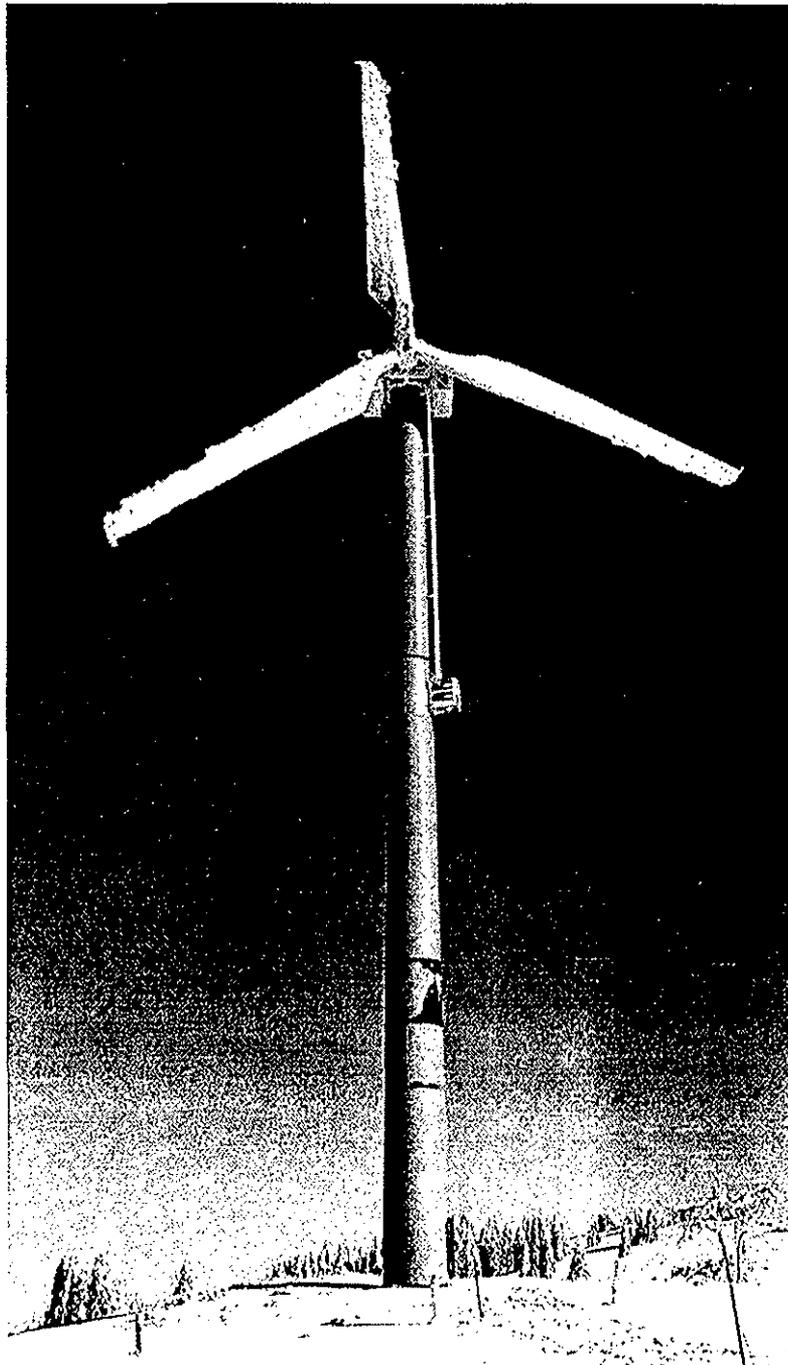
Liste der Projekte und Internet-Seite

- [1] <http://www.smallhydro.ch>
- [2] *Laboratoire de mini-hydraulique de Montcherand – MHyLab, Mise en service du laboratoire et première phase du programme de recherche, rapport final, octobre 1998*
- [3] *ALTENO: Kleinwasserkraftwerk, Kühlwasser WAR Ciba SC Kaisten, Vorstudie, Dezember 1998*
- [4] U. Meier, ENTEC: *Pilotprojekt Coanda Feinrechen in Hinterrhein, Dezember 1998*
- [5] F. Bieri, H. Leutwiler, ISKB, *Affoltern am Albis: Zuwachs Kleinstwasserkraftwerke bis 300 Kilowatt 1985 bis 1987* (Presseauswertung und Umfrageergebnisse), DIANE-Projekt Klein-Wasserkraftwerke
- [6] U. Wieser, ÖKOZENTRUM, *Langenbruck: Revita Kleinwasserkraftwerke, Revitalisierung von Kleinwasserkraftwerken im Rahmen von Beschäftigungsprogrammen für Erwerbslose* (ZB siehe [1])

WINDENERGIENUTZUNG

Überblicksbericht
zum P+D-Programm 1998

Robert Horbaty
enco@spectraweb.ch

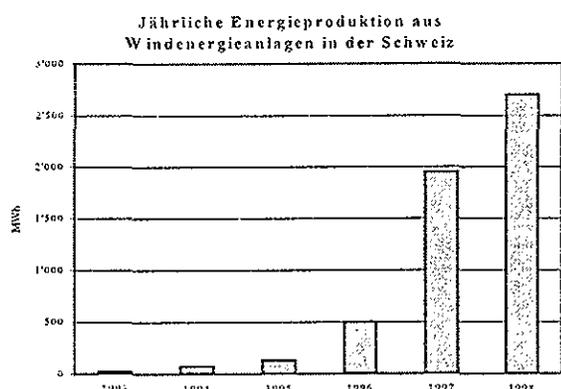


Reifansatz an einer 150 kW-Windenergieanlage auf dem Grenchenberg (SO)

Im Rahmen des EU-Projektes WECO (*Wind Energy in Cold Climate*) wurde untersucht, wie Eis- und Reifansatz das Leistungsverhalten von Windenergieanlagen beeinflussen.

Übersicht und Programmschwerpunkte

Windenergie ist die weltweit am stärksten expandierende Energiequelle. Mit 9'600 MW hat sich die installierte Kapazität innerhalb der letzten 3 Jahre mehr als verdoppelt [17]. Diese Dynamik hinterlässt auch in der Schweiz ihre Spuren, wo heute 14 Windkraftanlagen mit einer installierten Leistung von 2.805 MW rund 2.7 GWh Elektrizität pro Jahr generieren.



Das in einer Studie [18] aus dem Jahr 1996 ermittelte Potential für die Nutzung der Windenergie liegt bei 1'600 GWh oder rund 3.5 % des Stromverbrauchs von 1995. An sehr gut bewindeten Standorten ausserhalb von landschaftlichen Schutzgebieten könnten rund 500 Windkraftanlagen Elektrizität in der Grössenordnung von 270 GWh im Jahr erzeugen.

Sämtliche Aktivitäten und Projekte des Programms Windenergie sind dahingehend ausgerichtet, diese Standorte kurz- und mittelfristig zu erschliessen.

Absicht des Programmes ist es:

- bis 2000: 10-30 GWh Elektrizität pro Jahr, und
- bis 2010: 30-50 GWh Elektrizität pro Jahr mit Windenergie zu erzeugen.

Angesichts der heutigen Projekte und Projektideen durchaus realistische Zielsetzungen, die durch vielfältige Unterstützung (Informationen, Teilfinanzierung von Standortabklärungen und Anlageninstallation, etc.) nachhaltig verfolgt werden. Im Mittelpunkt der Tätigkeiten stehen die Optimierung der Rahmenbedingungen für die Windenergienutzung, die Unterstützung von Standortabklärungen (Windmessungen, Umweltverträglichkeitsberichte, etc.) und der eigentliche Anlagenbau.

Im Rahmen des Programms werden keine F+E-Aktivitäten durchgeführt. Das Schwergewicht liegt beim *Know-how*-Transfer von Betriebserfahrungen an Anlagenbetreiber, Projektentwickler und Investoren.

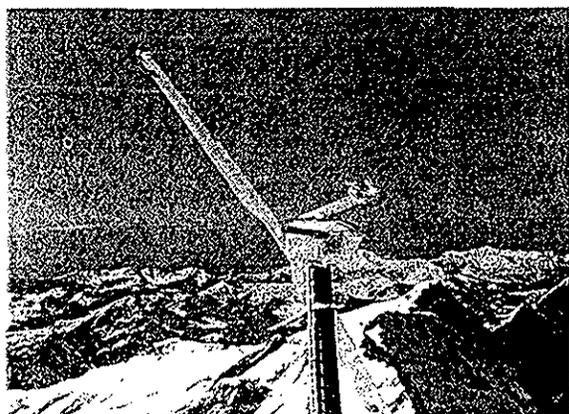
Bezüglich marktbezogenen Aktivitäten stehen die Weiterführung von Informationsstellen, die Ausarbeitung eines Projektleitfadens für Planer und Bewilligungsbehörden sowie die Erstellung einer Datenbank für Windmessungen im Vordergrund.

Mit der Gründung der schweizerischen Vereinigung zur Förderung der Windenergie *SUISSE EOLE* [19] im Jahre 1998 hat sich die Windenergie auch auf der energiepolitischen Ebene eine Plattform geschaffen. Sie ist heute ein Actor-Netzwerk innerhalb des Ressorts Regenerierbare Energien von ENERGIE 2000 und ist im Vorstand der Agentur für erneuerbare Energien AEE vertreten.

1998 durchgeführte Arbeiten

WINDKRAFTANLAGE IM HOCHGEBIRGE [5]

Die 1,5 Jahre Betriebserfahrungen auf dem "Chli Titlis" zeigen, dass der Betrieb einer 30 kW Windenergieanlage auf 3000 m.ü.M. mit diversen Schwierigkeiten verbunden ist. Die extrapolierte Jahresproduktion von 13'500 kWh liegt deutlich unter den erwarteten



35'000 kWh. Dies liegt an der häufiger als angenommen auftretenden Vereisung der Anlage, was durch die markanten Windgeschwindigkeitsunterschiede zwischen beheiztem und unbeheiztem Anemometer belegt werden kann.

STANDORTABKLÄRUNGEN

a) Kleinwindpark Obergrenchenberg [2b]

Auf dem Grenchenberg (1'300 m.ü.M.) – am Standort einer bestehenden 150kW-Windkraftanlage – wurden die Ausbaumöglichkeiten für einen Kleinwindpark, entsprechend dem "EU-Leitfaden zur Errichtung von Windkraftanlagen", abgeklärt. Die Fragen der Zuwegung und der Nachbarschaft scheinen am bestehenden Standort keine Probleme darzustellen. Demgegenüber strebt die Grundeigentümerin keinen weiteren Ausbau an und versteht das bisherige Baurecht als Hilfe für eine Pilotanlage. Aus diesem Grunde wurden keine weiteren Abklärungen vorgenommen. Der Standort Ober-

grenchenberg muss aber als grundsätzlich geeigneter Standort nicht aufgegeben werden. Es wäre möglich zwei Anlagen der 600 kW-Klasse zur bestehenden Anlage hinzuzufügen.

b) Windkraftwerk Frémont [7]

Ziel der Arbeit war die Analyse der Rahmenbedingungen zum Bau eines Windkraftwerkes auf dem Frémont, einem relativ gut erschlossenen Standort am Nordhang des Chasserals im Vallon de St. Imier, auf dem Gemeindegebiet von Courtelary.

Als Hauptergebnis der Windmessungen resultierte die im Jahresmittel zu erwartende Windgeschwindigkeit von 4,5 m/s auf der Messhöhe von 10 m. Die strassen-seitige Erschliessung des Standortes begrenzt die maximal mögliche Anlagengrösse auf Aggregate der 200-300 kW-Klasse (Rotordurchmesser ca. 30 m). Die am Standort vorbeiführende Mittelspannungsleitung würde eine relativ einfache elektrische Netzanbindung erlauben.

Die Grundeigentümer haben keine grundsätzlichen Einwände gegen einen allfälligen Bau einer Anlage, welche im Baurecht bzw. gegen eine entsprechende Pacht erstellt und betrieben würde.

Die Bau-Voranfragen bei der Gemeinde und beim zuständigen, kantonalen Amt ergaben negative Antworten zu einem Windkraft-Bauvorhaben. Es wird argumentiert, dass einer nötigen Ausnahmegewilligung gemäss Raumplanungsgesetz überwiegende Interessen entgegenstünden. Als überwiegendes Interesse wird der Landschaftsschutz erwähnt, wobei mit der Nähe (ca. 550 m) zum BLN-Schutzgebiet *Combe-Grède* argumentiert wird. Die Möglichkeiten werden weitergeprüft.

c) Parc d'éoliennes à Sainte-Croix [10]

Ziel ist es, die rechtliche, technische, wirtschaftliche und umweltrelevante Machbarkeit eines 9 bis 11 MW-Windparks in Sainte-Croix (VD) zu ermitteln. An vier Standorten wurden Windmessungen auf drei verschiedenen Messhöhen durchgeführt und mit den Chasseral Daten von METEO SCHWEIZ (ehem. Schweizerische Meteorologische Anstalt) korreliert. In Zusammenarbeit mit den Gemeindebehörden von Sainte-Croix und dem regionalen Elektrizitätswerk Romande-Energie wurden die Aufwendungen für die notwendige Infrastruktur zur Installation und für den Betrieb der grössten auf dem Markt erhältlichen Windenergieanlagen (1.65 MW) erhoben.

Alle Baubewilligungsinstanzen und einspracheberechtigten Organisationen wurden kontaktiert, der Einfluss auf die Fauna ermittelt und ein Lärmgutachten erstellt. Mittels Fotomontagen wurde die landschaftliche Beeinträchtigung dargestellt.

Grundeigentümer, Anstösser und Einwohner von Sainte-Croix; lokale, regionale, kantonale und eidgenössische Behörden und Organisationen sowie die Presse wurden regelmässig über den Projektverlauf orientiert.

Unter Berücksichtigung aller rechtlichen und umweltrelevanten Aspekte ist es möglich, in Sainte-Croix 7 Anlagen mit einer Leistung von je 1.65 MW zu installieren. Die Auswertungen der Windmessungen und deren Korrelation mit langjährigen Daten zeigen, dass auf 40 m mit mittleren Windgeschwindigkeiten von 5 m/s und auf 67 m (Nabenhöhe der Anlagen) mit 6 bis 6.7 m/s gerechnet werden kann. Dies entspricht einer Energieproduktion von rund 13'600 MWh/a oder einem Kapazitätsfaktor von 13.4 %. Die Stromgestehungskosten kämen zwischen 13.5 und 16 Rp./kWh zu liegen – je nach finanziellen Parametern.

Die einzige Schwierigkeit während der Projektarbeiten lag in der Vereisung der Windmesser, wodurch Datenverluste, welche anschliessend korreliert werden mussten, resultierten.

Obige Werte zeigen, dass die Machbarkeit eines Windparks an diesem Standort gegeben ist. Die nächsten Schritte werden nun in der Bildung einer Betreiber-gesellschaft liegen. Die Realisation dieses Projektes würde einen wichtigen Schritt in der Zielerreichung von ENERGIE 2000 bedeuten und könnte neue Möglichkeiten und Synergien für die Gemeinde Sainte-Croix und die ganze Region bieten.

d) Windpark Flumserberge [12]

Bei der Standortsuche wurde ein ideal erschlossener Standort gefunden. Auch alle Abstimmungen mit Gemeinden, Naturschutz, Behörden, Energieversorgern sowie Grundstückseigentümern sind positiv verlaufen. Die Schlussergebnisse der Windmessungen sind allerdings negativ.

Aus dem Schlussbericht der Windpotentialstudie, welche auf der Prodalp durchgeführt wurde, wird ersichtlich, dass eine mittlere Windgeschwindigkeit von 2,6 m/s bei ca. 10 m über Grund vorhanden ist. Für 50 m über Grund ist eine mittlere Windgeschwindigkeit von ca. 2,9 m/s zu erwarten. Es ist jedoch eine mittlere Windgeschwindigkeit von minimal ca. 5 m/s Voraussetzung für eine minimale Rentabilität. Auf den höhergelegenen Bergstationen Prodkamm und Maschgenkamm ist zwar die Erschliessung etwas schwieriger, dafür dürfte 30 bis 40 % mehr Windpotential vorhanden sein. Entsprechende zusätzliche Untersuchung werden in Erwägung gezogen.

e) Diverse

Weitere Standortabklärungen haben auf der *Vue des Alpes* [4] (NE), auf den *Montagne de Moutier* [16] (BE), bei *Feldmoos* [15] (LU) und auf dem *Schaber* [1] (BE) begonnen.

MESS- UND DOK-PROGRAMM (MUD) [2a]

Die Grundlagen für ein einheitliches Konzept der Messdatenerfassung und Auswertung für Windenergieanlagen in der Schweiz wurden erarbeitet – in Anlehnung ans wissenschaftliche Mess- und Evaluationsprogramm WMPE von Windenergieanlagen in Deutschland.

Momentan sind Abklärungen noch im Gange, inwieweit Aktivitäten in das Programm in Deutschland sinnvoll integriert werden können.

PROJEKT WECO-CH [3b]

Ein Grossteil der Potentialgebiete in der Schweiz liegen in Regionen, welche durch Reifansatz, Eis und Kälte stark beeinflusst werden.

Das Projekt WECO (*Wind Energy Production in Cold Climate*) ist ein Forschungsprojekt im Rahmen des EU-Programmes JOULE. Wesentlicher Inhalt dieses Projektes ist die Erforschung und Verringerung der klimatischen Einflüsse auf die Windenergieerzeugung in kalten Gebieten.

Basierend auf einer Analyse der Informationen von 20 Messstationen der Schweizerischen Meteorologischen Anstalt können folgende Aussagen gemacht werden:

- Im Jura und in den Voralpen muss an Standorten zwischen 1000 und 1500 m.ü.M. an 30 und 60 Tagen pro Jahr mit vereisenden Bedingungen gerechnet werden.
- In den Alpen muss an Standorten um die 2000 m ü.M. an 10-30 Tagen pro Jahr mit vereisenden Bedingungen gerechnet werden.

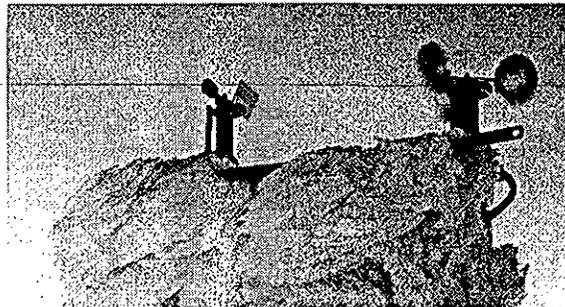
Die detaillierten Auswertungen der Datenerfassungen und Beobachtungen an den beiden Standorten "Grenchenberg" (150 kW-BONUS) und "Titlis" (30 kW-HSW) sowie Informationen von weiteren Standorten erlauben folgende Aussagen:

- Die Leistung von Windkraftanlagen wird durch Vereisung beträchtlich reduziert. Gründe sind: Veränderung des aerodynamischen Profils der Rotorblätter; Vereisende Anemometer liefern der Anlagensteuerung falsche Winddaten; zu geringe Leistung wegen vereister Rotorblätter.
- Augenbeobachtung zeigen, dass sich kompaktes Eis sehr selten ansetzt, der Ansatz geschieht meist in lockerer Form als Reif. Die Gefährdung von Personen und Gütern durch wegfliegendes Eis ist deshalb gering.

An den Messstandorten "Grenchenberg" und "Titlis" wurden – parallel zu ungeheizten Messinstrumenten – geheizte Anemometer eingesetzt. Mit schweizerischen Herstellern von Windmessgeräten und Eisdedektoren erfolgte eine Kontaktaufnahme. Nachfolgend einige Erkenntnisse:

- Der gleichzeitige Einsatz von geheizten und ungeheizten Anemometer erlaubt eine mehr oder weniger zuverlässige Feststellung von Eisbildung.
- Die heute auf dem schweizerischen Markt erhältlichen Eisdedektoren sind für den Einsatz im Rahmen von Standortabklärungen relativ teuer, jedoch im Rahmen von Ent- und Anti-Eis-Systemen in Windparks allenfalls gut geeignet.

- Die SMA (Schweizerische Meteorologische Anstalt) entwickelt ein Heizdrahtanemometer, welches für den Einsatz in der Windenergienutzung grosse Marktchancen besitzen dürfte. (Die EU geht bis ins Jahr 2010 von folgenden jährlichen Verkaufszahlen aus: 16 Mio Fr. /a für Eisfreie Anemometer und 1.1 Mio Fr. /a für Eisdedektoren.)



Geheizte Windgeschwindigkeits- und -richtungsgeber der Anlage Grenchenberg – nach einer Woche Reifansatz!

SITES DANS LE CANTON NEUCHÂTEL [14c]

Basierend auf den im Rahmen der Potentialstudie erarbeiteten Karten wurden 20 möglichen Gebiete für Windenergienutzung im Kanton Neuenburg genauer unter die Lupe genommen, um sie in den kantonalen Energierichtplan zu integrieren.

Nach energietechnischer Bewertung dieser Standorte und Konsultationen der Landschafts- und Naturschutzorganisationen WWF, Pro Natura und der "Société faitière pour la protection du patrimoine naturel neuchâteloise" wurden 16 Standorte in vier Qualitätskategorien klassiert und über die mögliche Realisierung ein Konsens gefunden.

In der ersten Kategorie sind die vier besten Standorte aufgeführt, die zunächst von keiner der beteiligten Organisationen, Unternehmen und Körperschaften bestritten sind und in erster Priorität realisiert werden könnten. In einer zweiten Kategorie sind drei Standorte aufgeführt – allesamt gut geeignet für die Nutzung der Windkraft und ohne Beeinträchtigung des Landschaftsbildes, die aber erst nach Fertigstellung der Standorte der ersten Kategorie angegangen werden sollten. Ebenfalls nur Ersatzstandorte sind die fünf Zellen der Kategorien 3, während vier weitere Standorte ganz fallengelassen wurden.

In einer dritten Phase sind die Standorte der ersten und zweiten Kategorie zusammen mit den betroffenen Gemeindebehörden und weiteren Experten besucht und Windmessungen vorbereitet worden. Heute sind im Kanton Neuenburg insgesamt fünf Standorte für Windparks in breiter Vernehmlassung.

Anlässlich der Windenergietagung vom 10.11.1998 wurde durch den Leiter der kantonalen Energiefachstelle eine Ausschreibungsverfahren eingeleitet, indem sich Interessenten um die vorevaluierten Standorte bewerben können.

HANDBUCH WINDENERGIE [8, 9]

Die Herausforderungen, im komplexen Terrain, mit schwierigen Zufahrtsbedingungen, mit turbulenten Winden und unter vereisenden Bedingungen Windkraftanlagen zu betreiben, sind um einiges grösser als an den Küstenstandorten. Auch die planerischen Anforderungen in der dicht besiedelten Schweiz mit vielen Gebieten mit landschaftlichem Reiz sind anspruchsvoll. Die föderalistische Struktur konfrontiert die Planer je nach Standortkanton mit wechselnden Rahmenbedingungen. Wichtig sind hohe Planungssicherheit, genaue Kenntnisse der Windressourcen, klare Anforderungen des Natur- und Landschaftschutzes, ein klar festgelegtes Baubewilligungsverfahren und positive raumplanerische Voraussetzungen – zum Beispiel über einen (Energie-) Richtplan.

Die bestehenden Hemmnisse will der Leitfaden "Planung von Windenergieanlagen" überwinden helfen, indem er den Beteiligten Grundlagen und Anleitungen zu einer effizienten Planung und Beurteilung von Projekten zur Verfügung stellt. Der neu erarbeitete Leitfaden richtet sich

- an nationale, kantonale, regionale und kommunale Fachstellen, welche sich mit konkreten Projekten und Richtplanung beschäftigen,
- an Kapitalgeber, Landbesitzer, Infrastrukturbesitzer, welche mit der Realisierung von Windkraftanlagen und Windparks direkt in die Realisierung involviert sind und
- an Ingenieure, Planer und Fachleute, welche die Standortabklärungen, Kosten/Nutzenberechnungen, Prüfung der Umweltverträglichkeit, etc. im Auftrag einer Trägerschaft durchführen.

Die Publikation ist in zwei Teile aufgeteilt. Das Hauptdokument gibt in knapper Form Antwort auf wichtige Fragen im Zusammenhang mit Standortabklärungen.

Anhänge dokumentieren die Teilaspekte "Kantonale Rahmenbedingungen" und "Wind-Klima":

- Die aufgrund von 13 Besuchen erarbeiteten Kantonsdossier zeigen in einer detaillierten Momentaufnahme die Situation in den einzelnen Kantonen mit wesentlichen Windenergiepotentialen.
- Tabelle und Karten verfügbarer Windmessungen, Darstellung der Resultate, weiterführende Informationen zu Windmessungen und zu Erstellen eines Windgutachtens.

Der Leitfaden ist ab März 1999 deutsch und französisch erhältlich.

INFRASTRUKTUR ARMEE / WEK [3c]

Mit dem Projekt "Evaluation von Standorten für Windkraftanlagen im Bereich von militärischen Anlagen" werden folgende Ziele verfolgt:

- Ermittlung optimaler Standorte für die Nutzung der Windenergie bei Bauten und Installationen der

- Schweizer Armee – unter Berücksichtigung der Windressourcen, der Landschaftschutzaspekte, der Zufahrtsmöglichkeiten und der elektrischen Erschliessung.
- Praxisnahe Verifizierung der neusten Windenergie-Potentialabklärungen des Bundesamtes für Energiewirtschaft.
- Darstellung der Umsetzungsmöglichkeiten dieser Resultate für Installationen bei Bergbahnen, Kraftwerken oder in der Berglandwirtschaft – im Sinne eines Multiplikationseffektes.

Für die aus Sicht der Armee relevanten Gebiete (v.a. Gotthard, Grimsel, Nufenen, Bex, Jurabogen) wurden Detailkarten der Potentialstudie erstellt. Ein Fragebogen zur Ermittlung von Standorten zuhanden der Organe der Armee wurde erarbeitet. Diese haben rund 30 relevanten Standorte ermittelt, von welchen – nach einer Vor-Selektion – zehn mit der Programmleitung begangen wurden.

Für die fünf am besten geeignete Gebiete (Gotthard, Bätzberg, Oberalp, Furka, La Braye) wurden detaillierte Unterlagen erarbeitet und bei den Kantonen, Gemeinden, Grundeigentümern und den EW in Vernehmlassung geschickt. Bei positiven Rückmeldungen sollen diese so vorevaluierten Standorte möglichen Investoren und Betreibern von Windkraftanlagen angeboten werden.

SUISSE EOLE [3d]

Am 28.5.1998 wurde in Biel von rund 30 engagierten Personen die Vereinigung zur Förderung der Windenergie in der Schweiz, die *SUISSE EOLE* [19] gegründet.

Aufgaben dieser Vereinigung sind:

- Bündeln und Verstärkung der Aktivitäten aller an der Windenergienutzung interessierten Kreise und Organisationen.
- Verbesserung der Rahmenbedingungen für den Einsatz der Windenergie.
- Organisation des Erfahrungsaustausches aller Windenergie-Interessierten.
- Vertretung der Windenergieinteressen in politischen und technischen Gremien.

Bisherige Aktivitäten sind:

- Integration als Actor-Netzwerk in das Ressort regenerierbare Energien von ENERGIE 2000.
- Einsitznahme im Vorstand der Agentur für erneuerbare Energien AEE.
- Ausarbeitung eines kompletten Erscheinungsbildes mit Logo, Briefschaften, Kurzportrait und *Homepage* [6].
- Durchführung einer Fachtagung für Windenergie [11b] am 10.11.1998 (75 TeilnehmerInnen).
- Publikation eines *Newsletter*.

INFOSTELLEN

a) Windenergie Suisse Romande [14b]

Die Infostelle in der Romandie wird geführt durch PLANAIR in La Sagne. Im Berichtsjahr wurden 85 Anfragen beantwortet, 82 mal Unterlagen verschickt, 5 Beratungen und 2 Standortevaluierungen durchgeführt.

b) Windenergie Deutschschweiz [11a]

Die Infostelle in der Deutschschweiz wird geführt durch NOVA ENERGIE in Aarau. Im Berichtsjahr wurden 70 Anfragen beantwortet, 70 mal Unterlagen verschickt und 4 Standortevaluierungen durchgeführt. Drei internationale Tagungen wurden besucht.

Nationale Zusammenarbeit

In der **Begleitgruppe** und an **Workshops** zur Ausarbeitung des **Leitfadens** haben VertreterInnen von folgenden Institutionen und Organisationen Einsitz genommen: Bundesamt für Raumplanung; BUWAL; Stiftung für Landschaftschutz; METEO SCHWEIZ (ehem SMA); EPF-Lausanne; Verein Schweizerischer Elektrizitätswerke, VSE; WECO. Die Ausarbeitung dieser Publikation wurde gemeinsam mit dem Programm "Energiewirtschaftliche Grundlagen" durchgeführt.

Windkraft und Landschaftschutz: Parallel zur Ausarbeitung des Leitfadens wurden 13 **Kantone** mit relevantem Windenergiepotential besucht und die für den entsprechenden Kanton ausgearbeitete Potentialkarte [8a] erläutert und überreicht [13]. Eingeladene Amststellen waren jeweils: Energiefachstellen, Amt für Orts- und Raumplanung sowie Amt für Natur- und Landschaftschutz.

Durch die Durchführung des Projektes *Infrastruktur*

Armee kamen folgende Stellen mit der Nutzung der Windenergie in Kontakt: Amt für Bundesbauten; Gruppe Rüstung, Schweizerische Unternehmung für Flugzeuge und Systeme; Festungswachtkorps sowie Gemeinden und Kantone der Standorte.

Mit dem **BBW** fanden Kontakte im folgenden Zusammenhang statt: EU-Forschungsprojekt WECO (*Wind Energy in Cold Climate*) und Beurteilung des Flywip-Forschungsprojektes.

Im Kontext mit der möglichen Entwicklung eines eisfreien Anemometer fand eine erste Kontaktnahme mit der **Kommission für Technologie und Innovation (KTI)** statt.

Die Programmleitung hat intensiv an der Ausarbeitung einer Strategie für Ökostrom, bzw. eines Labels für "*Green Power*" im Rahmen des **Ressorts Regenerierbare Energien von ENERGIE 2000** mitgearbeitet.

Internationale Zusammenarbeit

Ein intensiver Erfahrungsaustausch fand im Zusammenhang mit der Projektgruppe des **EU-Forschungsprojektes WECO** statt. Die Resultate der schweizerischen Aktivitäten konnten als wertvolle Beiträge in das Gesamtprojekt integriert werden.

Am internationalen **Workshop** zur Windenergienutzung im arktischen Klima in Hetta, **Finnland**, wurde durch die Programmleitung ein Referat zur Entwicklung der Windenergie im alpinen Raum gehalten.

An einer Sitzung in Kassel wurden mit dem **deutschen Institut für solare Energieversorgungstechnik** eine mögliche Zusammenarbeit diskutiert [3a].

Die im Rahmen des WECO-Projektes etablierte Zusam-

menarbeit mit dem **Deutschen Windenergieinstitut, DEWI**, fand ihren Niederschlag in einer engeren Zusammenarbeit, z.B. Expertise zum Schwachwindkonzept.

Das durch die Programmleitung Wind [3a] erarbeitete Papier "*Development of Wind Energy in Alpine Regions*" wird an der **EWEC'99 (Europäischen Windenergiekonferenz in Nizza)** im Rahmen einer Postersession präsentiert.

Der **BWE (Deutsche Bundesverband WINDENERGIE)** hielt an der Gründungsversammlung der **SUISSE EOLE** ein Referat.

Bewertung 1998

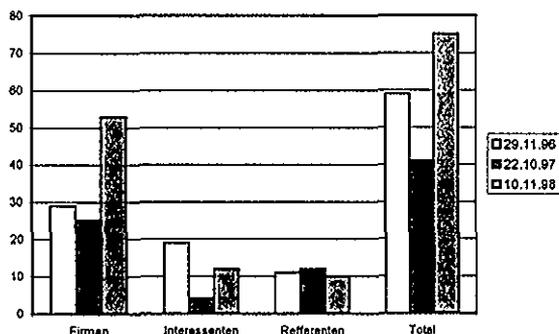
POSITIVE ASPEKTE

- Im Berichtsjahr hat die Energieproduktion aus Windenergieanlagen um rund 40 % zugenommen.

- Generell positive Zusammenarbeit mit den Kantonen, v.a. VD, NE, SG

- Gute Zusammenarbeit mit BUWAL und Natur- und Landschaftschutzorganisationen im Rahmen der Projekte "Leitfaden" und "Standorte bei Infrastruktur Armee".

Anzahl TeilnehmerInnen an Windenergietagungen



- Immer noch stark wachsendes Medienecho; 1998 wurden 244 Artikel zur Windenergienutzung in der Schweiz veröffentlicht, 109 davon in der Romandie

(1996 = 22, 1997= 113). Mit ganz geringen Ausnahmen waren sämtliche Artikel der Windenergie gegenüber positiv gestimmt.

- Integration von *SUISSE EOLE* im Ressort regenerierbare Energien und Agentur für erneuerbare Energien AEE.
- Das gesteigerte Interesse an der Windenergienutzung in der Schweiz zeigt sich auch in der Tatsache, dass die Windenergiepotentailstudie der "Renner" unter den P+D Berichten ist (1998 erneut mehr als 30 verkaufte Exemplare inkl. Karten).
- Die Fachtagung [11b] fand v.a. bei interessierten Firmen ein grosse Echo (siehe Grafik links).

NEGATIVE ASPEKTE

- Schwierige Projektentwicklung in Frémont (Landschaftschutz) und Flumserberge (wenig Wind).
- Negative Haltung der "Energistadt" *La Chaux de Fonds* zu Windenergieanlagen auf ihrem Gebiet.

Ausblick 1999

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

- Standortabklärungen mit einer Gesamtleistung von 8 MW.
- Das Thema Windenergienutzung und Landschaftschutz muss mit allen Betroffenen vertieft und sachdienlich behandelt werden.
- Alle marktbezogenen Aktivitäten des Programms (z.B. Information, Tagungen, Publikationen, Internet, etc.) sollen über die *SUISSE EOLE* abgewickelt werden – als Actor-Netzwerk im Rahmen des Ressorts Regenerierbare Energien von ENERGIE 2000.

- Möglichkeiten prüfen, eine Test-Site für die Windenergienutzung unter klimatisch extremen Bedingungen zu errichten – evtl. als Teil eines Kleinwindparks.
- Der Leitfaden soll allen Interessierten zugänglich gemacht werden – mit einem möglichst hohen *Know-how* Transfer aus bisherigen Projekten.
- Schaffen von optimalen Bedingungen zur Errichtung von Anlagen an den positiv evaluierten Standorten.
- Intensivierung der "Ökostrom-Strategie".

Projektliste 1998

- [1] ADEV, Bern: *Windmessungen Schaber*
 - [2] ADEV, Liestal: a) *Mess- und Dok-Programm* (SB) ♦ b) *Kleinwindpark Grenchenberg* (SB)
 - [3] ENCO, Langenbruck: a) *Programmleitung Wind* (JB) ♦ b) *Projektleitung WECO Schweiz* (SB) ♦ c) *Infrastruktur Armee / WEK* (SB) ♦ d) *Aufbau SUISSE EOLE* (SB)
 - [4] EOLE TECHNOLOGIE, France: *Vue des Alpes*
 - [5] EW NIDWALDEN, Stans: *WKA Hochgebirge Titlis* (JB)
 - [6] GT.VENT, Biel: *S-Eole: Medien/Kommun* (SB)
 - [7] INTERPLAN, Laupen: *Windkraftwerk Frémont* (SB)
 - [8] METEOTEST, Bern: a) *Produktion Kantonskarten* (SB) ♦ b) *Übersetzung Handbuch*
 - [9] METEOTEST, Bern; OEKOSKOP, Gelterkinden: *Handbuch Windenergie* (SB)
- <http://www.meteotest.ch>

- [10] Municipalité de la Commune de *Sainte-Croix*: *Windpark St.Croix* (SB)
<http://www.interwind.ch>
- [11] NOVA ENERGIE, *Aarau*: *a) Infostelle Wind DCH* (JB) ♦ *b) S-Eole: Tagung Wind* (SB)
- [12] C+N, *St. Gallen*: *Windpark Flumserberg* (SB)
- [13] OEKOSKOP, *Gelterkinden*: *Vorst.Karte Windkraft+LS* (SB)
- [14] PLANAIR, *La Sagne*: *a) Etude install. Cant. NE* (SB) ♦ *b) Eole-Info* (JB) ♦ *c) Parc d'eoliennes NE* (SB)
- [15] R. AREGGER, *Rengg*: *Windmessungen Feldmoos*
- [16] SERVICE TECHNIQUES, *Moutier*: *Montagne de Moutier*

(JB) Jahresbericht 1998 vorhanden

(SB) Schlussbericht vorhanden

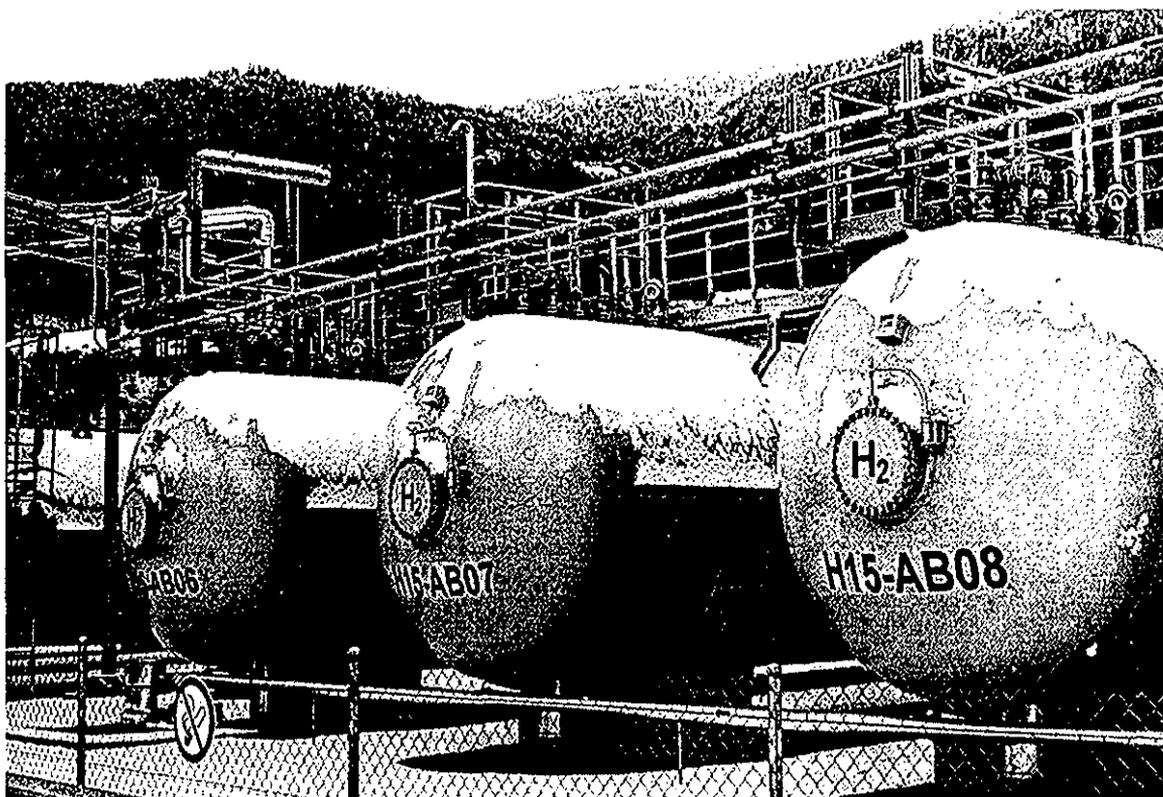
Referenzen

- [17] Ch. Flawin, WORLDWATCH INSTITUTE: *Windpower sets new record in 1998*
- [18] H. Buser et.al.: *Windkraft und Landschaftschutz, BFE, Bern (1996)*
- [19] <http://www.suisse-eole.ch>

SOLARCHEMIE / WASSERSTOFF

Überblicksbericht
zum Forschungsprogramm 1998

Armin Reller
btwag@dial.eunet.ch



Drucklager für Wasserstoff

Durch das neue Drucklager für H₂ und O₂ bei der Firma DJEVAHIRDIJAN, Monthey, konnte die Effizienz der Hochdruckelektrolyseanlage stark gesteigert werden.

Programm-Schwerpunkte

Im Programm **Solarchemie / Wasserstoff** werden Forschungs-, Entwicklungs- und Umsetzungsarbeiten ausgeführt, deren Ziele die effiziente und ökologisch verantwortbare Umwandlung von Strahlungsenergie in nutzbare Prozesswärme, chemische Energieträger (insbesondere Wasserstoff), Werkstoffe (wie Metalle und Synthesegas) oder aber elektrisches oder mechanisches Potential sind. Neben der so bezweckten Substitution fossiler Energieträger werden zusätzliche Anstrengungen unternommen, die Produktion bzw. Emission von Kohlendioxid mittels solarchemischer Prozesse zu reduzieren oder Kohlendioxid als Grundchemikalie für die Synthese von synthetischen Energieträgern oder von anderen wertschöpfenden Materialien und Produkten umzusetzen.

Dem Zusammenhang zwischen Energietechnologien und den damit notwendigen chemischen Stoffumwandlungen wird angemessen Rechnung getragen. Dies bedeutet insbesondere, dass die Material- und Werkstoffwissenschaften mit all ihren gegenwärtigen und zukünftigen Aspekten sowie verfahrenstechnische Entwicklungen in den Projekten eine zentrale Rolle spielen, teilweise geradezu Gegenstand eines Projekts sind. Es wird ebenfalls auch nicht nur einzelne Teilschritte oder Teilaspekte für zukunftsfähige Energiesysteme zu bearbeiten, sondern vermehrt realisierbare Prozessketten zu strukturieren. Dieses Bestreben führt vermehrt zur Situation, dass Projekte programmübergreifend sind. Die

Arbeiten sind grossenteils in die Programme der Internationalen Energie-Agentur IEA eingebunden.

Ein wichtiges Ziel 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 überschaubaren Zeiträumen zielgerichtete Arbeiten ausführen. Konsequenterweise werden vorrangig Projekte gefördert, für die geeignete Industriepartner gefunden werden, und bei denen in absehbarer Zeit (ca. 5 Jahre) verwertbare Produkte oder Prozesse zu erwarten sind. Neben den mit Projektnehmern vereinbarten *Milestones* gelten auch Abbruchkriterien, wenn nachlassendem Interesse und / oder Eigenleistung der Industriepartner oder neuen Erkenntnissen, die das Hauptziel des Projektes relativieren, Rechnung getragen werden muss. 1998 wurden einige Projekte, welche diese Kriterien erfüllten, in entsprechender Weise restrukturiert. Insgesamt wurde das Programm weiter gestrafft. Um jedoch das Potential wissenschaftlicher und technischer Innovationen nicht einzudämmen, wurden und werden in ausgewählten, vielversprechenden Segmenten mit mittelfristigen Zielsetzungen und gut abgesicherter Infrastruktur weiterhin grundlagenwissenschaftlich orientierte Projekte unterstützt.

Durchgeführte Arbeiten und erreichte Ergebnisse 1998

PROZESSWÄRME

Die effiziente Umwandlung von Sonnenenergie in Prozesswärme unterschiedlicher Temperatur bedingt alterungsbeständige, möglichst umweltneutrale und selektive, industriell günstig herstellbare Absorbermaterialien und Trägersysteme. Je nach erforderlichem Prozess-temperaturbereich werden mehr oder weniger konzentrierende Systeme eingesetzt. Die einfachste der im Berichtsjahr untersuchten Varianten besteht darin, einen mit absorbierenden Keramikgestrickten ausgerüsteten volumetrischen *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, elektrischer und/oder mechanischer 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 sind. Da dieses Funktionsmaterial extremen Belastungen – wie sehr kurzfristigen Temperaturschwankungen von mehreren hundert Grad – ausgesetzt ist, wurden weitere Versuche zur Beschichtung von Keramikfasern unternommen. Die bis anhin erzielten Resultate sind für einen technischen Einsatz noch nicht genügend.

Im Nieder- und Mitteltemperaturbereich konnte die Entwicklung effizienter Absorbermaterialien erfolgreich vorangetrieben werden: im Projekt *ABSORBER 2000* [2, 3] konnte die Qualität der effizientesten Absorbermaterialien und deren technische Aufbringung auf Kupferträger soweit optimiert werden, dass aufgrund des erarbeiteten *Know-hows* im Berichtsjahr in Cottbus (D) eine grosstechnische Herstellungsanlage zur Beschichtung von Kupferblechen mit sog. a-C:H/Cr-Filmen für thermische Sonnenkollektoren im Nieder- und Mitteltemperaturbereich (Warmwasseraufbereitung, Nieder-temperatur-Prozesswärme) eingeweiht werden konnte. Die Zusammenarbeit grundlagenwissenschaftlich orientierter Forschung, technischer Umsetzung und Prüfung,

sowie industrieller Fertigung eines voraussichtlich konkurrenzfähigen Warmwasserkollektors hat sich in diesem Projekt als sehr erfolgreich erwiesen. Im Sinne einer zeitlich gestaffelten Weiterentwicklung wurde mit der Herstellung von analogen Absorberschichten mit dem gegenüber Chrom weit umweltverträglicheren Titan als Metallkomponente begonnen. Sollten diese Entwicklungen in den kommenden Jahren ähnlich erfolgreich verlaufen, wird in absehbarer Zeit ein gut zu vermarktendes, zukunftsfähiges Kollektorsystem angeboten werden können.

Ein internationales P+D-Projekt befasste sich im Berichtsjahr mit der Machbarkeit eines **24-Stunden-Solar-Kraftwerks**, welches auf einem thermochemischen Solarspeicherkonzept basiert [4]: Im reversibel arbeitenden Haber-Bosch-Verfahren wird die endotherme Spaltung von Ammoniak im Solarreaktor als Tag-, die Bildung von Ammoniak aus dem erzeugten, speicherfähigen Wasserstoff / Stickstoffgemisch als Nachtreaktion eingesetzt. Das aus Industrie- und Universitätspartnern zusammengesetzte Projektteam konnte die technische Realisierung dieses Konzepts eindeutig belegen, indem beinahe durchwegs auf technisch erprobte Komponenten, Materialien und Prozesse zurückgegriffen wurde. Kostenschätzungen zufolge könnte für ein Kraftwerk mit einer Leistung von 10 MW_{elektrisch} – als Standort steht Zentralaustralien zur Diskussion – mit Stromgestehungskosten von unter 20 Rappen pro Kilowattstunde gerechnet werden. Da in einigen Ländern – wie z.B. in Australien oder in Kalifornien – jetzt schon regenerative Energieträger bzw. Systeme durch finanzielle Unterstützung oder zumindest durch fiskalische Vorteile gefördert werden, ist der weiteren Entwicklung dieses Projekts mit Spannung entgegenzusehen.

Im P+D-Projekt **Kleinwärmepumpen mit Ammoniak** wurde ein Sicherheitssystem, d.h. eine im Schadenfall eventuell austretenden Ammoniak absorbierende Komponente entwickelt. Zur Zeit läuft ein internationales Patent [5]. In Zusammenarbeit mit einem Konsortium wird so die Realisierung eines neuartigen Wärmepumpensystems vorangetrieben. Es ist auch vorgesehen, das Einsatzpotential dieser Wärmepumpe für unterschiedliche, insbesondere solar betriebene Energiesysteme zu prüfen.

Die Bereitstellung solarer Prozesswärme in unterschiedlichen Temperaturbereichen sowie entsprechender verfahrenstechnischer Komponenten wurden vom Programmleiter mit Regierungsstellen und interessierten Unternehmen für den Einsatz in sonnenreichen Ländern diskutiert. Es besteht ein grosses Interesse zur Verwendung derartiger Systeme für die Trocknung von Nahrungsmitteln und anderen Agrarprodukten, aber auch für die Warmwasseraufbereitung und weitere Alltagsbedürfnisse. Ein grosses Problem stellt jedoch die Anschubfinanzierung entsprechender internationaler Aktivitäten dar.

CHEMISCHE ENERGIETRÄGER UND TECHNISCH NUTZBARE MATERIALIEN

Die direkte und effiziente Umwandlung von Sonnenenergie in speicherfähige und transportierbare chemische Energieträger stellt eines der Hauptziele des Programms dar. Dafür werden in den am PSI aufgebauten Solaröfen bzw. Reaktoren mittels konzentrierter Solarstrahlung thermochemische Prozesse durchgeführt. Aus der Spaltung von Wasser gewonnener Wasserstoff ist ein wichtiges Zielprodukt dieser Aktivitäten [6,7]. Andere Produkte mit hoher Wertschöpfung, die auch durch solarthermochemische Prozesse hergestellt werden, sind Metalle und Synthesegas, aber auch Hochleistungskeramik oder spezielle Kohlenstoffmodifikationen wie z.B. *Filamentous Carbon* oder *Carbon Nanotubes*. Die Strategie ist so konzipiert, dass neben rein regenerativen Energieträgern in einer Übergangphase Solarenergie und konventionelle Energieträger – also z.B. die wirtschaftlich konkurrenzfähige Kombination von Solarenergie mit Erdgas oder Biogas – dazu verwendet werden, synthetische Treibstoffe oder aber Materialien und Produkte herzustellen. Die folgenden, solar betriebenen Prozesse wurden untersucht:

- Die solarthermischen Reduktionen von Eisenoxid, Manganoxid und Zinkoxid wurden als Teilschritte eines zwei- oder mehrstufigen **Wasserspaltungsprozesses zur Produktion von Wasserstoff und Sauerstoff** untersucht. Aufgrund der vorliegenden Resultate, insbesondere der detaillierten Studien der Zinkabscheidung aus der Gasphase, erscheint das Zinkoxid / Zink-System für die Entwicklung einer technisch realisierbaren und wirtschaftlich konkurrenzfähigen Wasserstoffproduktion am vielversprechendsten.
- Im Sinne eines Energiemix-Szenarios wurde die solar unterstützte Reaktion zwischen Zinkoxid und Methan, der sog. SynMet-Prozess, weiter untersucht. Es konnte gezeigt werden, dass die kombinierte solarthermochemische Reduktion von Zinkoxid und die Reformierung von Erdgas Zink und Synthesegas als Produkte mit hoher Wertschöpfung liefern. Dieses SynMet-Verfahren wurde **patentiert**. Verhandlungen mit der Industrie werden die Machbarkeit und Wirtschaftlichkeit dieses Prozesses abklären.
- Die Bestrebungen, ein solares Zementwerk zu konzipieren, d.h. in erster Linie Kalk solarthermisch zu brennen, wurden weiter vorangetrieben. Da jedoch die Industriepartner HOLDERBANK und KRUPP POLYSIUS ihre Aktivitäten einstellten, wurde mit BOMIN SOLAR eine engere Zusammenarbeit vereinbart, deren Ziel der **Bau einer kleinen solaren Zementpilotanlage** ist. Es wurden Sondiergespräche mit Vertretern anderer Bundesstellen und kantonaler Ämter geführt mit dem Ziel, die Möglichkeiten von Mitfinanzierungen abzuklären. Gegen

Ende des Jahres konnten in den USA neue Industriepartner gefunden werden, die das Projekt auf internationaler Ebene unterstützen wollen.

- Die solarchemische, mit Metallen wie Nickel und Cobalt katalysierte Herstellung von faserartigem Kohlenstoff, sog. *Filamentous Carbon* und *Carbon Nanotubes*, wurde zusammen mit dem *Borshkov Institute of Catalysis, Novosibirsk* (Russland) weitergeführt. Es wurde auch versucht, die im **Sonnenofen produzierten Kohlenstoffphasen als Wasserstoffspeicher** einzusetzen. Diese Anwendung wurde in der Literatur vor kurzer Zeit erstmals behauptet. Die internen Studien fielen negativ aus. In der Zwischenzeit scheinen auch die in der Literatur genannten Resultate stark bezweifelt zu werden. Trotzdem darf festgehalten werden, dass die genannten Kohlenstoffprodukte Materialien mit einem breiten Anwendungspotential sind und deren solarchemische Herstellung interessant bleibt.
- Die **photochemische Reduktion von Kohlendioxid** an Titanoxidoberflächen wurde im μ -Photoreaktor im Detail analysiert. Massenspektrometrische Studien zeigten, dass Spuren von Methan, eventuell auch Peroxidfragmente gebildet werden. Um die möglichen Reaktionsmechanismen aufzuklären, wurden neben den Experimenten im Sonnenofen quantenchemische Rechnungen durchgeführt. Diese grundlagenwissenschaftlichen Arbeiten sind von erheblicher Bedeutung, da sie für die Entwicklung einer adäquaten Messtechnik wichtige Kenngrößen liefern.

Zur Erforschung der genannten solarchemischen Prozesse wurden am PSI weitere Fortschritte in der Verfahrens- und in der Messtechnik erzielt:

- Das erste Betriebsjahr des neuen **Sonnenofens** verlief sehr erfolgreich. Es konnten die geplanten Leistungen realisiert werden, so dass diese Anlage nun als sehr zuverlässiges, gut kontrollierbares Werkzeug zur Durchführung von Hochtemperaturprozessen im Dauerbetrieb läuft.
- Der **Pulverwolkenreaktor CAIRO** wurde hinsichtlich Rückvermischungsgrad und Verweilzeit von Gasen bzw. Pulverwolken vermessen. Es konnten quantitative Daten über den Einfluss der gewählten Reaktorgeometrie auf das *Quenchverhalten* und die Dynamik der jeweiligen Gasatmosphäre gewonnen werden, die für die verfahrenstechnische Optimierung der solarthermochemischen Reduktion der obengenannten Metalloxide grosse Bedeutung haben.
- Ein weiterer **Reaktor (sog. TREMPER)** wurde mit dem Ziel konstruiert, heisse Proben sehr schnell abkühlen d.h. Reaktionsschritte einfrieren zu können. Dadurch liessen sich wichtige Einblicke in den Verlauf der solarthermochemischen Reduktion von Metalloxiden gewinnen.

- Der schon bestehende μ -Photoreaktor wurde weiter verbessert. Durch die Optimierung der Abdichtung des Gasraums konnten erhebliche Fortschritte bei der Erfassung von kleinen, photochemisch gebildeter Gasmengen – z.B. Methan aus Kohlendioxid – erzielt werden.
- Das **Emissiometer** zur Bestimmung der Oberflächentemperaturen von intensiv bestrahlten Proben konnte gemäss den Vorgaben aufgebaut werden. Ein Farbstofflaser zum Aufheizen der Proben auf hohe Temperaturen wurde in die Apparatur eingekoppelt. Die ersten Messkampagnen zeigten, dass mit diesem Gerät verlässliche Temperaturmessungen an heissen Oberflächen vorgenommen werden können.

Insgesamt wurden im Berichtsjahr wichtige Schritte zu einer Schwerpunktbildung der PSI-Aktivitäten vollzogen. In den beiden gut koordinierten Projekten **Direkte Umwandlung von konzentrierter Sonnenenergie in chemische Energieträger** [6] und **Entwicklung und Untersuchung von Reaktoren zur chemischen Umwandlung pulverförmiger Stoffe mittels konzentrierter Solarstrahlung** [7] wurde die vermehrte Einbindung von Industriepartnern und die Fokussierung auf realisierbare Prozesse erfolgreich vorangetrieben.

PHOTOELEKTROCHEMISCHE PROZESSE UND SPALTUNG VON WASSER

Das zwischen der Universität Bern [8], der Universität Genf [9] und der EPFL Lausanne [10] laufende Verbundprojekt zur photochemischen Spaltung von Wasser lieferte wichtige Resultat. Die Entwicklung einer sog. **Tandemzelle**, welche mit zwei gekoppelten Photosystemen arbeitet, wurde erfolgreich weitergeführt. Diese Zelle erlaubt die Spaltung von Wasser in Wasserstoff und Sauerstoff mit sichtbarem Licht. Dabei werden zwei Photosysteme eingesetzt: das eine basiert auf einer dünnen, polykristallinen Wolframtrioxid-Schicht, die den blauen Spektralanteil der Solarstrahlung absorbiert, den Sauerstoff des Wassers oxidiert und 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 4,2 % reproduzierbar abläuft. Im Berichtsjahr wurde ein neuer Sensibilisator-Farbstoff entwickelt, der eine erhebliche Erweiterung der spektralen Empfindlichkeit in den nahen Infrarotbereich hinein aufweist. Dies könnte der Schlüssel zu einer weiteren Erhöhung des Gesamtwirkungsgrades

sein, da mit dieser verbesserten Elektrode günstigere Materialien, d.h. Metalloxide mit geringeren Bandlücken wie nanokristallines Eisenoxid an Stelle des Wolframtrioxids eingesetzt werden können.

Die Herstellung der Wolframtrioxid-Beschichtungen konnte soweit verbessert werden, dass die Sättigungsphotospannung der entsprechenden Photoanode weiter erhöht werden konnte. Das Beschichtungsverfahren wurde patentiert. Mit den zur Verfügung stehenden Photoanoden konnte neben der Wasserspaltung die photochemische Zersetzung von organischen Molekülen wie Essigsäure, Benzoesäure und insbesondere Methanol, mit hohen Wirkungsgraden gezeigt werden. Die Erzeugung von Wasserstoff durch die Spaltung von Meerwasser gelang ebenfalls mit guten Wirkungsgraden und – was sehr wichtig ist – mit vernachlässigbarer Bildung von elementarem Chlor.

Elektrochemisch aufgebrauchte Ag^+/AgCl -Schichten auf goldmodifizierten Zinndioxid-Glas-Elektroden erwiesen sich als geeignete Photoanoden für die photokatalytische Oxidation von Wasser zu Sauerstoff. Die Auswahl einer geeigneten Photokathode wurde in Angriff genommen.

Das der natürlichen Photosynthese in Blättern nachvollzogene Konzept der **Antennen-Solarzellen** wurde mit vielversprechenden Beobachtungen und Messungen weiterbearbeitet. Dabei wurden mit Pyronin und an den Enden ihrer Kanäle mit Oxonin beladene Zeolith-Mikrokristalle mit geeigneten Morphologien synthetisiert, auf einem Substrat in kristallographisch definierter Ausrichtung als Mono-Mikrokristallschicht aufgebracht. Es konnte gezeigt werden, dass diese Systeme als Lichtleiter eingesetzt werden können, also die Funktion der Antennensysteme in photosynthetisch aktiven Pflanzenorganismen imitieren. Diese Erkenntnis eröffnet vielversprechende Anwendungen.

STORAGE, TRANSPORT AND USE OF HYDROGEN

Eine Hauptaktivität des Programms **Solarchemistry / Wasserstoff** stellt die zukunftsfähige Herstellung, Speicherung und Nutzung von Wasserstoff dar. Im Berichtsjahr wurde die Struktur dieses Teilprogramms weiter verändert, indem einerseits langjährige Projekte abgeschlossen, andererseits mit Unternehmen und Industriepartnern praxisorientierte Probleme der Wasserstofftechnologie angegangen wurden. Insgesamt wurde verstärkt Wert darauf gelegt, Wasserstoff nicht nur als potentiellen Energieträger, sondern auch als "chemischen Rohstoff" zu betrachten und einzusetzen. Diese Strategie verfolgt das Ziel, bestehende Nischenanwendungen der Wasserstoffnutzung zu verstärken und neue, (energie-)wirtschaftlich attraktive Einsatzmöglichkeiten zu eröffnen.

Die Herstellung von Wasserstoff wird bis anhin mit dem Teilprogramm Solarchemistry abgedeckt. Eckpfeiler der Programmaktivitäten betreffend der **Wasserstoffspei-**

cherung sind die Entwicklung und Charakterisierung von Metallhydriden (Universitäten Genf [11] und Fribourg [12]) sowie der Einsatz von Metallhydridsuspensionen (Fachhochschule Burgdorf [13]), 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 Metalllegierungen, die bei vergleichsweise tiefen Temperaturen reversibel Wasserstoff speichern bzw. abgeben können, ist das zentrale Problem.

Im Teilprojekt der Universität Genf wurden in breitangelegten *Screening*-Verfahren neue **Metalllegierungen** synthetisiert und hinsichtlich einer wirtschaftlichen und technischen Eignung als Wasserstoffspeicher charakterisiert [11]. Die Resultate zeigen, dass nicht die Speicherkapazität, sondern die Charakteristik der jeweiligen Hydrierungs- und Dehydrierungsprozesse für einen technischen Einsatz noch verbessert werden muss.

Die Arbeiten an der Universität Fribourg [12] führten im Berichtsjahr zu neuartigen, für die **Metallhydrid-technologie** vielversprechenden Legierungen. Auf dem Weg zu noch kostengünstigeren Systemen, die einen Wasserstoffanteil von über 5 Gewichtsprozent und eine möglichst tiefe Dehydriertemperatur aufweisen, konnten wichtige Teilziele realisiert werden.

Das Projekt **Quasi-flüssige-Metallhydride (QLMH)** der Ingenieurschule Burgdorf [13] fand im Berichtsjahr einen vorläufigen Abschluss. Es konnte gezeigt werden, dass die Speicherung, der Transport und die effiziente Be- und Entladung von Wasserstoff in suspendierten Metallhydriden prinzipiell möglich ist. Der Bau einer technischen Anlage mit einer Leistung von 100 kW_{th} wurde abgeschlossen und deren Funktionsfähigkeit bewiesen: Mit einer verdünnten Metallhydridsuspension (13.9 Gew. % Magnesium) wurde eine Spitzenleistung von 50 kW erzielt. Bei Vollbelastung kann also mit der vorgesehenen Leistung von 100 kW_{th} gerechnet werden. Ein wesentliches Problem stellte aber das Trägeröl dar, in dem die Suspension gepumpt werden kann: Die Wechselwirkung mit den Metallhydriden führte zu Zersetzungerscheinungen, die eine hohe Zyklenzahl von Hydrierung und Dehydrierung nicht erlauben. In einem Folgeprojekt soll dieses Phänomen identifiziert werden, um gegebenenfalls in einem späteren Zeitraum mit entsprechend geeignetem Trägeröl Versuche mit Vollbelastung durchführen zu können.

Im Projekt **Hydrogen Supply from Liquid Energy Carriers** des PSI wurde die Wasserstoffspeicherung in organischen Hydriden als Alternative zu den genannten Metallhydriden sowie die partielle Oxidation von Methanol zu Wasserstoff untersucht [14]. Der Aufbau und die Inbetriebnahme einer Pilotanlage für die Dehydrierung von Methylcyclohexan im 3 kW_{th}-Massstab mit und ohne Einsatz einer den entstehenden Wasserstoff separierenden Membran konnten abgeschlossen

werden. Die Verwendung der Membran nützte nur marginal. Um eine weitere Optimierung von Dehydrier-Reactoren zu erzielen, wurden intensive Modellrechnungen durchgeführt. Eine Pilotanlage für die partielle Oxidation von Methanol wurde in Betrieb genommen. Die autotherme Konversion von Methanol in Wasserstoff wurde mit einem industriellen Katalysator bestimmt. Dabei wurden Konversionsraten von 8000 – 16000 Litern Wasserstoff pro Stunde und Liter Reaktorvolumen gemessen (dies entspricht 24 – 48 kW_{th} pro Liter Reaktorvolumen). Für die partielle Oxidation von Isooctan konnte eine Ausbeute von 40 % Wasserstoff erreicht werden. Der Einsatz von neuartigen, strukturierten Katalysatoren ergab keine signifikanten Verbesserungen der Dehydrierungsraten. Die Trennung von Kohlenmonoxid aus Gasgemischen mittels Membrantechnologie erwies sich für den geplanten Einsatz in der Brennstoffzellentechnologie als ungenügend.

Das P+D-Projekt **Drucklager für Wasserstoff und Sauerstoff** von DJEVAHIRDIJAN in Monthey entwickelte sich sehr erfolgreich [15]: Durch den Bau eines neuen Drucklagers konnte die Effizienz der gesamten Hochdruckelektrolyseanlage signifikant gesteigert werden. Die abschliessenden Berechnungen der erzielten energetischen bzw. finanziellen Einsparungen werden im kommenden Frühjahr vorliegen.

Wenn Wasserstoff in Zukunft als Energieträger für mobile Systeme eingesetzt werden soll, so stellt dessen schnelle Umfüllung von stationären Speichern in Druckgasflaschen eine entscheidende Rolle. In einem P+D-Projekt wurden neuartige **Kohlefaserkomposit-Druckgasflaschen** mit Hilfe eines patentierten Spülsystems in sehr kurzer Zeit (<30 Sekunden) gefüllt und die dabei entstehenden Temperaturen gemessen [16]. Es konnte in Zusammenarbeit mit PANGAS in Winterthur gezeigt werden, dass das Spülsystem sehr erfolgreich arbeitet, d.h. die thermische Belastung bei der schnellen Füllung nicht kritisch und der Prozess energetisch effizient erfolgen kann. Da die Verfügbarkeit derartiger leichter und sicherheitstechnisch den Stahlflaschen weit überlegener Kunststoffdruckgasflaschen von grosser technischer Bedeutung ist, wurde die getestete Druckgasflasche vom TÜV Saarland für diagnostische Zwecke einem Berstversuch unterzogen. Es konnte ein Berstdruck von 526 bar gemessen werden, wobei beim Bersten keine gefährliche Splitterbildung festzustellen war. Die nun vorliegenden Ergebnisse sind von entscheidender Relevanz für die Verwendung der genann-

ten Speichertanks für die Druckluftspeicherung, die Erdgasspeicherung, und in Zukunft für die Wasserstoffspeicherung.

KATALYTISCHE REDUKTION VON KOHLENDIOXID

Die an der ETH Zürich laufenden Projektarbeiten bestätigten, dass **Kohlendioxid als ausgezeichnete Grundchemikalie** für die katalytische Herstellung von Methanol oder für Amine verwendet werden kann [17]: Mit Kupfer- bzw. Silber-Aerogelkatalysatoren (Aerogele auf Zirkonoxid-Basis lieferten die besten Resultate) konnten sehr hohe Raten für die Umsetzung von Kohlendioxid und Wasserstoff zu Methanol erreicht werden. Mit Katalysatoren auf Talcit Basis konnte Kohlendioxid mit Wasserstoff und Ammoniak mit hoher Selektivität zu Monomethylamin, einer Grundchemikalie mit hoher Wertschöpfung umgesetzt werden. Schliesslich erwies sich, dass katalytische Prozesse in überkritischem Kohlendioxid – hier wirkt Kohlendioxid als Reagens und als Lösungsmittel ! – sehr attraktive Produkte wie Ameisensäuremethylester, etc. liefern. 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 ein geschlossenes Stoff- und Prozess-System formuliert werden, das unterschiedliche, zukunftsfähige Energietechnologien, Energieträger und Grundchemikalien mit Hilfe der direkten oder indirekten Umwandlung von mehr oder weniger konzentrierter Solarstrahlung bereitstellen vermag.

ÖFFENTLICHKEITSARBEIT

Die Vermittlung von entscheidenden Zusammenhängen des verantwortbaren Umgangs der Menschen mit Energieträgern, Energietechnologien und Rohstoffen ist ein bedeutender Faktor für das Verständnis der Notwendigkeit von Energieforschung und gegebenenfalls Veränderungen der Energienutzung und der Energiepreise. Im internationalen Medienprojekt *Prometheus' Diary* wird versucht, mit unterschiedlichen Kommunikationsmitteln, insbesondere mit Filmen und Internet-Dokumenten diese Zusammenhänge aufzuzeigen und für ein breites Publikum zu einem Diskussionsforum aufzubauen [18]. Das Projekt wurde an der Auftaktveranstaltung für die EXPO 2000 in Hannover zusammen mit der Niedersächsischen Energieagentur lanciert.

Nationale Zusammenarbeit

Die Aktivitäten des Programms **Solarchemie / Wasserstoff** sind grossenteils durch aktive Zusammenarbeiten zwischen unterschiedlichen Projektpartnern geprägt. Als Beispiele können die Projekte *ABSORBER 2000*, *Schnelle Umfüllung von Gasen* sowie *Drucktanklager*

für Wasserstoff genannt werden, in denen durch gut abgestimmte Kooperationen zwischen Hochschulinstituten und Industrieunternehmen Aufgaben definiert, verteilt und gelöst wurden. Ähnlich gute Erfahrungen konnten beim Projekt *Sicherheitssystem für Ammoniak-Anlagen* gemacht werden.

Im Verbundprojekt *Photochemische Wasserspaltung* wurden wertvolle Resultate erarbeitet, die wohl in absehbarer Zeit auch zu Umsetzungen in die Praxis führen. Die Koordination der Forschungs- und Entwicklungsarbeiten muss nach dem Ausscheiden des bisherigen Supervisors neu und zielgerichtet konzipiert werden. Dasselbe gilt für die Arbeiten an den Metallhydrid-Wasserstoffspeichersystemen.

Obwohl die Arbeiten am PSI vor allem grundlagenwissenschaftlichen Charakter haben, konnte im Berichtsjahr eine Verstärkung der Zusammenarbeit mit anderen Institutionen bzw. Partnern erreicht werden. Diese erwünschte Entwicklung ist durchaus auch im Zusammenhang mit den Forschungsthemen zu verstehen, die vermehrt Problemstellungen mit praktischer Relevanz gewidmet sind.

Internationale Zusammenarbeit

Die internationalen Aktivitäten waren sehr zahlreich und vielfältig:

Folgende IEA-Aktivitäten wurden mit Mitteln des Programms *Solarchemie / Wasserstoff* gefördert:

- IEA-Programm *SolarPACES*
- IEA Wasserstoff-Forschungsprogramm
- Internat. Leitung des Projekts *Solar Chemistry (SolarPACES)*
- Internat. Leitung des Projekts *Photoproduction von Hydrogen und Case Studies of Integrated Systems (IEA-Wasserstoff-Programms)*

Wissenschaftliche Zusammenarbeiten erfolgten mit mehreren Partnerinstitutionen. Als wichtigste sind zu nennen:

- *Australian National University*, Canberra
- Deutsche Forschungsanstalt für Luft- und Raumfahrt (DLR), Köln

- Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme, Freiburg, Deutschland
- Institut für 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 Almería*, Tabernas, Spanien
- *Sandia National Laboratories*, Albuquerque, USA
- NREL, Golden, USA
- AG Solar, Nordrhein-Westfalen, Deutschland
- Niedersächsische Energieagentur, Hannover, Deutschland

Bewertung der Ergebnisse

1998 wurden dank langsam greifender Konsequenzen der Schwerpunktbildung, der Initiierung von Zusammenarbeiten und der Fokussierung auf praxisorientierte Problemstellungen einige erfolgreiche Aktivitäten begonnen und teilweise auch abgeschlossen. Daneben wurden auch in Einzelprojekten bedeutende Resultate erzielt, wie z.B. die Erfolge bei der katalytischen Umwandlung von Kohlendioxid. Insgesamt konnte sicher eine Verbesserung der Grundlagen und eine Steigerung des Zukunftspotentials hinsichtlich der Bereitstellung regenerativer Energietechnologien und Materialien erzielt werden.

International hat sich das Programm *Solarchemie / Wasserstoff* durch Präsentationen an Symposien und Fachtagungen, aber auch durch sehr intensive Publikations- und Vortragsaktivitäten weiter profiliert (an der *XII World Hydrogen Energy Conference* in Buenos Aires (Argentinien), am *9th International Symposium on Solar Thermal Concentrating Technologies* in Odeillo (F), an der *Fourth International Conference on Greenhouse Gas Control Technologies* in Interlaken, etc.). Die im Zusammenhang mit der Einweihung des neuen Sonnenofens am PSI präsentierten wissenschaftlichen

Beiträge wurden in zwei Spezialausgaben der internationalen Zeitschrift *SOLAR ENERGY* publiziert. Aber auch die in nationaler und internationaler Zusammenarbeit erfolgten Umsetzungen von Forschungsergebnissen in technische Prozesse oder Produkte deuten daraufhin, dass das Konzept der Bildung von Projektteams und die bewusste Öffnung des Spektrums von programmübergreifenden Zusammenarbeiten mit klar definierten Aufgabenteilungen die zur Verfügung stehenden, knapp bemessenen Finanzmittel wirksam machen. Die am Programm beteiligten Personen sind dank ihrer Kompetenz und ihrer Motivation die "tragenden Säulen", die am PSI zur Verfügung stehenden Solaranlagen, aber auch die an Hochschulen und in Industrieunternehmen eingesetzten Untersuchungs- und Produktionsmethoden, entsprechen dem internationalen Niveau, und sind teilweise als führend einzustufen. Diese im internationalen Vergleich relativ günstige Konstellation sollte zumindest erhalten bleiben, was aber in Anbetracht der teilweise herrschenden, strukturell bedingten Planungsunsicherheit und durch stetig schrumpfende Budgets fraglich ist. Grosse Probleme bestehen bei der Neuaquisition und bei der Anschubfinanzierung von – insbesondere internationalen – Projekten.

Ausblick auf das Jahr 1999

Im kommenden Jahr sollen die laufenden und geplanten Projektarbeiten noch klarer in ein Gesamtkonzept integriert werden, dessen Ziele die Entwicklung und Realisierung von regenerativen Energietechnologien in einer zukunfts- und wettbewerbsfähigen Stoffkreislauf-

Wirtschaft sind. Es wird von der Programmleitung noch verstärkt Wert darauf gelegt werden, Forschungs- und Entwicklungsarbeiten in nationale und internationale Verbundprojekte einzubinden. Dieses Konzept wird im Mai 1999 der CORE zur Prüfung vorgelegt werden.

Liste der Projekte

- [1] H. Fricker, *Rickenbach: KEREK, keramisches Absorber-/Receiver-System* (JB)
- [2] P. Oelhafen, J. Geng, A. Schüler, *UNI-Basel: Meattloxide, keramische Materialien und Verbundwerkstoffe in der Solartechnologie* (JB)
- [3] U. Frei, P. Gantenbein, 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: Sicherheitssystem für Ammoniak-Anlagen* (P+D-Projekt)
- [6] I. Alxneit, M. Sturzenegger, H.R. Tschudi, *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* (SB)
- [8] G. Calzaferri, *UNI-Bern: Photochemische und photoelektrochemische Umwandlung und Speicherung von Sonnenenergie* (JB)
- [9] J. Augustynski, M. Ulmann, *UNI-Genève: La photolyse de l'eau et la production d'hydrogène et d'oxygène au moyen de l'énergie solaire* (JB)
- [10] M. Grätzel, *EPF-Lausanne: Photolyse von Wasser, solare Herstellung von Wasserstoff* (JB)
- [11] K. Yvon, *UNI-Genève: Synthese und Charakterisierung von neuartigen ternären und quaternären Metallhydriden* (JB)
- [12] A. Züttel, L. Schlapach, *UNI-Fribourg: Entwicklung von Niedertemperatur-Hydridlegierungen hoher Speicherkapazität* (JB)
- [13] T. Bücherer, K. Marti, *HTA-Burgdorf: Quasi-flüssige Metallhydride (QLMH) als Wasserstoffträger für Automobile* (JB)
- [14] T. Schucan, *PSI-Villigen: Hydrogen Supply from Liquid Energy Carriers* (JB)
- [15] M. Arnold, *DJEVAHIRDJIAN, Monthey: Drucktanklager für Wasserstoff und Sauerstoff* (P+D-Projekt, JB)
- [16] I. CYPHELLY, *Cudrefin: Schnelle Umfüllung von Gasen* (P+D-Projekt, SB)
- [17] R. Köppel, A. Baiker, *ETH-Zürich: Katalytische Synthesen ausgehend von mineralischen Kohlendioxid-Quellen* (JB)
- [18] J. Altekruse, A. Reller, *Hamburg: Prometheus' Diary* (JB)

(JB) Jahresbericht 1998 vorhanden

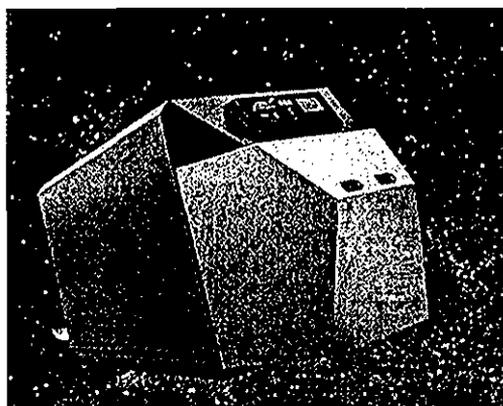
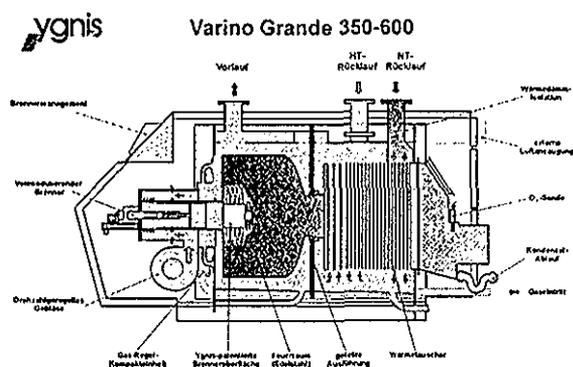
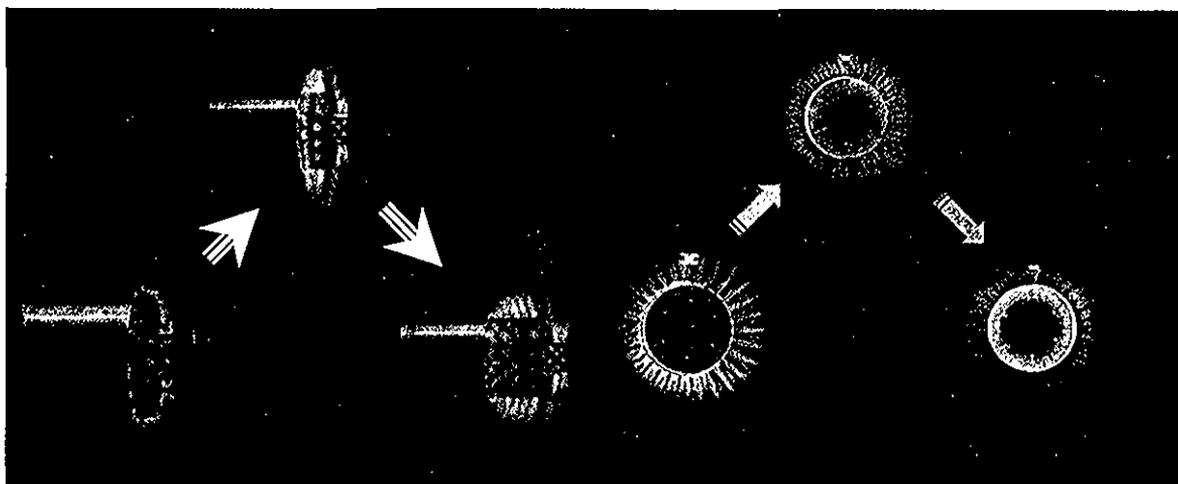
(ZB) Zwischenbericht vorhanden

(SB) Schlussbericht vorhanden

FEUERUNG UND VERBRENNUNG

Überblicksbericht
zum Forschungsprogramm 1998

Alphons Hintermann
alphons.hintermann@bfe.admin.ch



Moderne Gasheiztechnik

Dank ETH-Zürich- und EMPA-Know how ist YGNIS mit ihren leistungsmodulierten und als Einheit entwickelten Gasbrennern "Varino" (40 – 300 kW) und "Varino Grande" (350 – 600 kW) an vorderster Front am Markt. An ihrem einzigartigen Entwicklungsstand müssen sich alle anderen Geräte auf dem Markt messen.

Programmübersicht und anvisierte Ziele

Im Programm **Feuerung & Verbrennung** [29] werden seit 1988 die **Grundlagen der Verbrennungsprozesse** in stationären atmosphärischen Feuerungen (inkl. Abfallverbrennungsanlagen), der motorischen Verbrennung sowie in Gasturbinen erforscht und gefördert.

Das Fachwissen ist an der **ETH-Zürich** im Laboratorium für Verbrennungstechnik und Verbrennungsmotoren (LKV) und im Laboratorium für Thermodynamik in neuen Technologien (LTNT) sowie am PSI konzentriert. Die Forschungsschwerpunkte **Numerische Simulation** und **Optische Messmethoden** bedingen sich gegenseitig, der eine dient zur Validierung des andern. Beide sind einem raschen Technologiewandel unterworfen und setzen daher die Forscher vor immer neue Herausforderungen. Der dritte Schwerpunkt beinhaltet **Schadstoffreduktion und Schadstoffanalytik**, wobei die Schadstoffbildungsmechanismen während der Verbrennung im Vordergrund stehen.

Die neu erarbeiteten Einsichten in die Verbrennungsvorgänge sollen auch der Klärung von Fragen aus der Privatwirtschaft dienen. Insbesondere sollen sie gangbare Lösungsvorschläge zur Effizienzsteigerung der motorischen Verbrennung und zur Schadstoffreduktion in der stationären Verbrennung liefern. 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 europaweit weiter verschärft werden kann.

Erfolge vermelden und mit zum Teil marktfähigen Produkten aufwarten können einige P+D-Projekte: Im

Bereich der instationären (motorischen) Verbrennung zeichnet sich das Projekt *Swiss Common Rail* unter Beteiligung des LKV und dreier Industriefirmen durch grossen Erfolg aus. Es konnte nämlich nachgewiesen werden, dass mit dem neuen Einspritzsystem die zukünftigen EURO-III-Emissionsvorschriften für LIEBHERR-Motoren erfüllt werden können. Darauf gestützt, wird vom Industriepartner die Einführung dieser Technologie in die Serie möglichst innerhalb der nächsten 2 Jahre angestrebt. Eine internationale Zusammenarbeit des LKV mit *GENERAL MOTORS* und zusätzlicher Unterstützung der Erdölvereinigung befindet sich kurz vor dem Abschluss.

Die beiden Hauptziele für 1998: Starke internationale Anerkennung unserer Forschungsergebnisse und die Verstärkung der P+D-Aktivitäten durch vier neue Zusammenarbeitsprojekte der Hochschulgruppen mit der Privatwirtschaft **wurden vollumfänglich erreicht**. So wurden an nationalen und internationalen Konferenzen (*Clean Diesel Conference, Combustion Symposium*, zwei SAE-Kongressen, CIMAC-Kongress und COMO-DIA Kongress u.a.) insgesamt 10 Papers vorgestellt, die grosse Beachtung erzielten. Ausserdem wurde eine Dissertation [30] mit dem 1. Preis der *European Motor Association* ausgezeichnet. Als weiteres Zeichen für den heute etablierten Ruf unserer Verbrennungsforschung im Ausland ist die Vergabe eines grossen Projektes über "DI-Otto-Verbrennung" der Forschungsvereinigung Verbrennungskraftmaschinen (FVV) in Deutschland an die *ETH-Zürich*, dies im Wettbewerb mit führenden deutschen Forschungsstellen.

1998 durchgeführte Arbeiten und erreichte Ergebnisse

GRUNDLAGEN DER VERBRENNUNG

Die Erarbeitung von physikalischen Modellen der turbulenten Verbrennung ist Gegenstand der dritten Phase des Projekts **Turbulenzparameter von Motorströmungen** [1]. Der Schwerpunkt im Berichtsjahr lag in der Evaluation des Potenzials und der Möglichkeiten der **Direkten Numerischen Simulation (DNS)** zur Beschreibung der fundamentalen Effekte der Wechselwirkung zwischen der turbulenten Strömung und der chemischen Kinetik. Mit einem eigens dazu entwickelten Algorithmus ist das LKV nun in der Lage, die erwähnten Phänomene für mehrerer Konfigurationen von Vormisch- und Diffusionsflammen modellfrei zu quantifizieren [33, 34]. Die Ergebnisse lösten am *Combustion Symposium* [33] ein beträchtliches Echo aus. Damit sind nun die Voraussetzungen gegeben, die Erkenntnisse aus der DNS in die Entwicklung technischer Verbrennungsmodelle für höhere Reynoldszahlen umzusetzen und mit den am LKV verfügbaren technischen Codes zu verknüpfen. Sie sollen u.a. in die Simulation der techni-

schen Verbrennung und damit direkt in laufende und künftige P+D-Projekte einfließen.

Ein Testreaktor zum Studium der katalytisch stabilisierten Verbrennung von Methan und Wasserstoff unter turbulenten Bedingungen wurde im Vorhaben **Tiefemperaturverbrennung bei hohen Drücken** [2] fertiggestellt. Eine Dissertation [31] über die laminare, katalytisch unterstützte Verbrennung von Methan wurde mit der ETH-Medaille ausgezeichnet. Das am *Combustion Symposium* vorgestellte Simulationspaket für die turbulente katalytische Verbrennung [36] stiess auf besonders starkes Interesse, vor allem als effizientes Auslegungswerkzeug bei der chemischen Industrie. Erste Hochdruckversuche wurden Ende 1998 am PSI-Prüfstand erfolgreich durchgeführt.

In den letzten Jahren ist am LKV und am PSI eine **Konstantvolumen-Hochtemperatur- und Hochdruckzelle (HDTZ)** entwickelt worden. Im Projekt **Anwendung laseroptischer Messmethoden in der Hochdruckverbrennung** [3] wurden im Berichtsjahr vorwiegend die

konstruktiven Massnahmen zur Erhöhung der Leistungsgrenzen der HTDZ abgeschlossen. Sie ist jetzt neu auf Betriebstemperaturen von 450 - 500 °C bei einer Gastemperatur von mindestens 600 °C ausgelegt. Nachdem seit 1996 nur die LVV-HTDZ zur Verfügung stand, ist nun auch diejenige am PSI voll einsatzfähig. Somit stehen für die nächsten Jahre zwei wesentliche Versuchsträger zum Studium der Grundlagen der Verbrennung zur Verfügung, die auch wertvolle Beiträge zur Lösung industrierelevanter Fragen liefern können.

Die LVV-HTDZ ist Hauptversuchsträger zum Thema **Dieselmotorische Gemischaufbereitung** [4], insbesondere zur Hydrodynamik von technischen Sprays und der Validierung von komplexen Simulationsalgorithmen für die instationäre Hochdruckverbrennung. Trotz der aufgetretenen technischen Probleme bei hohen Temperaturen gelang es 1998 mit einer neuen Konstruktion einen zuverlässigen Betrieb bei hohen Drücken und Gastemperaturen bis knapp unter 550 °C zu erreichen. In der PSI- und der LVV-HTDZ wird in den nächsten Monaten eine Ausdehnung zu noch höheren Temperaturen angestrebt. Inzwischen liegen Anfragen zweier ausländischer Motorenhersteller betreffend Untersuchung von neuen Gemischaufbereitungsanlagen an den HTDZ vor.

OPTISCHE MESSMETHODEN

Im Vorhaben **Thermochemische Charakterisierung und spektroskopischer Nachweis von Sauerstoffverbindungen im Zusammenhang mit der Verbrennung sauerstoffhaltiger Brennstoffe** [5] sind Azetale wie Methylal und Buthylal als Brennstoffzusätze für Dieselfahrzeuge in Untersuchung. Beimischungen im Bereich von 10 - 20 % von Azetalen im Dieseltreibstoff bewirken eine wesentliche Reduktion des Russausstosses. Die zur Beschreibung der Verbrennung von DME und Methylal gültigen Reaktionsschemata sind noch nicht optimiert. Zudem fehlen zum Teil die thermochemischen Daten wichtiger Zwischenprodukte. Mit einer pyrolytischen Radikalenquelle in einem Molekularstrahl werden daher Pyrolyseprodukte von Azetalen präpariert und anschliessend mit spektroskopischen Methoden identifiziert und quantifiziert. Auskünfte über die Dynamik transienter Pyrolyseprodukte können am PSI mit einer Zeitauflösung von bis zu 100 fs erhalten werden. Zielsetzung ist Berechnung der relevanten Flammenparameter durch Bestimmung der Verteilung von Zwischenprodukten und der Reaktionswege typischer Flammen.

In den letzten Jahren haben die wachsenden Besorgnisse der Bevölkerung um die gesundheitlichen Auswirkungen der Partikelemissionen aus Verbrennungsvorgängen die Erforschung neuer Messverfahren beschleunigt. Die Russpartikel können nur dann effizient reduziert werden, wenn deren Entstehungsgeschichte während des Verbrennungsprozesses verstanden ist. Eine neue, berührungsfreie Messtechnik für zeitaufgelöste Messungen von Wechselwirkungen zwischen Laser-Licht und Russpartikeln in Flammen wurde im Projekt **Laserspektroskopische Methoden zur Analyse von Flammen und Brennstoffsprays** [6] entwickelt. Abweichungen zwischen Messungen und Rechnungen deuten

darauf hin, dass die bestehenden Modelle für die Wechselwirkung zwischen Laserstrahlung und Flammenruss ergänzt werden müssen.

NUMERISCHE SIMULATION VON VERBRENNUNGSVORGÄNGEN

Im Vorhaben **NO_x-Modellierung mittels PDF-Transportgleichungen** [7] wird die Gasverbrennung von Wasserstoff und Methan untersucht. Während bei der Wasserstoffverbrennung die Bildung des thermischen Stickoxids im Vordergrund steht, spielt bei der Verbrennung von Methan ebenso die Bildung von prompt Stickoxid eine wichtige Rolle. Die Erweiterung der bestehenden Programm-Module durch die erforderlichen Reaktionsmodelle soll es ermöglichen, Vorhersagen zu treffen, die später bei der Entwicklung von realen Brennern Anwendung finden können.

Teilvormischung hat Vorteile gegenüber den konventionellen Verbrennungsmethoden wie Vormischeverbrennung und Diffusionsverbrennung: Bei der Teilvormischung werden Brennstoff und Luft so gemischt, dass das Gemisch noch ausserhalb der Zündgrenze liegt. Ein solches System verhält sich in Bezug auf NO_x-Reduktion ähnlich wie Vormischflammen, allerdings ohne die Gefahr einer Rückzündung. Im Projekt **Schadstoffreduktion durch Teil-Vormischung** [8] werden solche Teilvormischsysteme numerisch betrachtet. Dabei soll das am LTNT entwickelte Flamelet-Modell für Diffusionsverbrennung erweitert werden. Im Berichtsjahr wurde die sogenannte "Flamelet-Bibliothek" mit Gegenstrom-Konfiguration erzeugt. Die Ergebnisse der Berechnungen lieferten im fetten Bereich unphysikalische Ergebnisse, weshalb im nächsten Jahr eine detaillierte Analyse der Reaktionskinetik durchgeführt werden soll.

Modellierung und Messung turbulenter Verbrennungsvorgänge sind eine grosse Herausforderung an den Ingenieur. Die Simulierung der Turbulenzphänomene, unter Einbezug einer detaillierten Verbrennungsschemie ist äusserst komplex. Da stets an den Grenzen der heutigen Computerkapazitäten gerechnet wird, ist sie immer noch unbefriedigend gelöst. Neue numerische Ansätze werden im Projekt **Struktur turbulenter Diffusionsflammen** [9] unter Berücksichtigung der Tatsache, dass die Verbrennung in sogenannten Flamelets stattfindet und einer genügend detaillierten Verbrennungsschemie, untersucht. Das Ziel ist, die entsprechenden Verteilungen von Temperatur und Spezies mit hinreichender Genauigkeit zu ermitteln, sodass daraus auch realistische Schadstoffkonzentrationen berechnet werden können.

Zur Validierung der Modellierung ist der Einsatz einer neuen Messmethode geplant, die eine zeitlich hochauflösende LDA-Anlage mit einer 1D-Raman-Spektroskopie kombiniert, um räumliche Informationen entlang einer Linie zu erhalten. Diese Messmethode wird im Vorhaben **Experiment turbulente Gegenstromflamme** [10] realisiert. Die Experimente sollen möglichst genaue Informationen zur Flammenstruktur in der Teil-Vormischverbrennung liefern. Vormischverbrennung ist ein Konzept für die Reduktion von Stickoxiden, stellt aber

ein Sicherheitsproblem dar, da sich ein zündfähiges Gemisch in Breichen befindet, wo keine Verbrennung stattfinden sollte. Teilvormischung stellt ein Kompromiss dar, bei dem die Vorteile der vorgemischten Verbrennung ohne das Sicherheitsproblem genutzt werden können. Die hiermit geschaffenen Grundlagen sind für die Brennerindustrie von Bedeutung und sollen in naher Zukunft in P+D-Projekten umgesetzt werden.

Large Eddy-Simulation in der turbulenten Verbrennung [11] heisst das gemeinsame Projekt des Seminars für angewandte Mathematik (SAM) der ETH-Zürich und dem Institut für Computeranwendungen (ICA) der Universität Stuttgart. Die Simulation der hochkomplexen turbulenten Verbrennungsprozesse soll durch Einbezug substantieller Turbulenzmodelle und effizienter numerischer Methoden verbessert werden. Das am SAM entwickelte *Large Eddy Simulation* (LES)-Modell wurde erweitert und die Untersuchungen für den Fall zweidimensionaler Strömungen abgeschlossen. Weiterhin wurde das numerische Verfahren auf drei Raumdimensionen erweitert und mit den Untersuchungen für dreidimensionale turbulente Strömungen begonnen. Am ICA wurden verschiedene LES-Modelle samt zugehörigen Routinen eingebaut und die Approximationsordnungen der Finiten Volumen Diskretisierung verbessert. Diese Änderungen wurden dann für laminare Strömungen getestet.

SCHADSTOFFREDUKTION UND -ASPEKTE

Obwohl in der stationären Verbrennung eine Verbesserung des Wirkungsgrades nur noch geringfügig möglich ist, liegt noch ein grosses Verbesserungspotenzial bei der Schadstoffminimierung und im Gesamtwirkungsgrad von Verbrennungsanlagen. Während bei den Schadstoffen noch Forschungsarbeiten an den Hochschulen notwendig sind, ist die Erhöhung des Gesamtwirkungsgrads eindeutig Sache der betreffenden Industrie.

Der Dieselmotor erlebt zur Zeit vor allem im Bereich der Schadstoffreduktion eine starke Zunahme der F+E-Arbeiten. Mit direkter Dieseleinspritzung und innermotorischer Abgasrezirkulation können der Wirkungsgrad weiter gesteigert und die Emissionen weiter gesenkt werden. Er gilt als aussichtsreichstes Antriebskonzept für ein 3 Liter/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 NO_x -Emissionen) – umgesetzt. Inzwischen wurde von WÄRTSILÄ NSD, Winterthur, der weltweit erste 2-Takt Grossdieselmotor mit der innovativen COMMON-RAIL Technik (sogar schweröltauglich) angekündigt, was international enormes Aufsehen erregte. Damit umfasst die Schweizer F+E auf diesem Gebiet sowohl am LVV als auch in der Industrie inkl. Zulieferer (LIEBHERR, HYDROMAG, SIG, Wärtsilä NSD) den gesamten Grössen- und Anwendungsbereich von Dieselmotoren und steht international an vorderster Stelle.

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 stationärem Betrieb, bessere Eigenschaften aufweisen sollten. In Labortest konnte 1997 mit neuen, beschichteten Katalysatoren die Leistung der besten Vollkatalysatoren bei Temperaturen über 3000°C erreicht werden [37]. Die im Berichtsjahr hergestellten Katalysatormodule zeigten jedoch auf dem Dieselmotorprüfstand deutlich schlechtere Resultate als die kleineren Labormodule. Die aufgetretenen Schwierigkeiten bei der Beschichtungstechnik konnten behoben werden. Zur Zeit werden Verbesserungen bei der Hochtemperaturbeständigkeit durch geführt ($T > 550^\circ\text{C}$). Das PSI-Fachwissen fliesst direkt in das Verbundprojekt "GD-Kat" der deutschen Automobilindustrie ein, das die Weiterentwicklung von Harnstoff-SCR für den PKW-Dieselmotor zum Ziel hat. In Zusammenarbeit mit LIEBHERR MACHINES, Bulle soll im Rahmen eines gemeinsamen P+D-Projekts die Entwicklung eines Harnstoff-SCR-Systems, welches die Emissionsanforderungen der EURO-4 für schwere Nutzfahrzeuge erfüllt, angestrebt werden.

Im Projekt **Ermittlung des geometrischen Aufbaus von Russ-Primärpartikeln und Validierung der Simulation des Russbildungsmechanismus** [13] zeichnet sich zur Beschreibung von in Flammen generierten Russpartikeln ein Erfolg betreffend zuverlässiger Charakterisierung der Brechungsindizes und teilweise in Bezug auf die Partikelgrössenverteilung ab. Es zeigte sich jedoch, dass für eine Grösse entsprechend den primären Russpartikeln und darunter die entwickelte Technik an Aussagekraft verliert. An entsprechenden Verbesserungen sowie an der Erfassung der Partikelform bei agglomerierten Partikeln wird intensiv gearbeitet.

Mit dem Ziel, den zuständigen Fahrzeugzulassungsbehörden Entscheidungsgrundlagen für die Bewertung von Abgasemissionen von Erdgasfahrzeugen zu liefern, wurde das Vorhaben **Wirkungsorientierte Bewertung von Automobilabgasen** 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. Der Schlussbericht [14] weckte im In- und Ausland grosses Interesse.

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** [15]. CO_2 ist immer noch die wichtigste Komponente beim Treibhauseffekt. Die atmosphärische CO_2 -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. Im Berichtsjahr ist es den Berner Forschern und ihren Partnern in den USA, welche die Kernbohrungen durchführten, dank sehr guter Reproduzierbarkeit der Eisprobenmessungen erstmals

gelingen, den Verlauf der atmosphärischen CO₂-Konzentration während der letzten 10'000 Jahre zu rekonstruieren [38]. Es gibt nur noch wenige Wissenschaftler, die in Abrede stellen, dass sich die atmosphärische Konzentration der Treibhausgase, und insbesondere von CO₂, durch menschliche Tätigkeit erhöht, und

dass diese Erhöhung eine globale Erwärmung zur Folge hat. Sobald die Treibhausproblematik aber einschneidende Massnahmen für die Wirtschaft oder eine steuerliche Belastung zur Folge hat, bekommen die wenigen ein grosses Gewicht. Die in diesem Projekt erarbeiteten Grundlagen helfen, deren Argumente zu entkräften.

Nationale und internationale Aktivitäten und Zusammenarbeit

Folgende nationale Ereignisse und viele wichtige internationale Konferenzen förderten 1998 den Erfahrungsaustausch unter Forschern und Industrievertretern und dienten als Kontaktbörse für Zusammenarbeitsprojekte:

Die erste Generalversammlung der **Schweizerischen Vereinigung für Verbrennungsforschung (SVV)** fand am 5. Juni 1998 am PSI statt. 8 Firmen und 11 Vertreter von Behörden und Hochschule waren vertreten.

Mit einem Festkolloquium zu Ehren von Prof. Reh der ETH-Zürich wurden am 3. Juli 1998 seine weit über die Landesgrenzen hinaus bekannten Arbeiten über Verfahrens- und Wirbelschichtverbrennungstechnik gewürdigt.

Der Aufbauvorphase einer *European Special Interest Group* on "Turbulent Single and Two Phase Combustion" war eine Spezialausgabe des ERCOFTAC-Bulletins dem Thema "Turbulent Combustion in Engines" gewidmet. Je ein Artikel kam aus dem LVV und dem PSI und die Beteiligung der Industrieforschung stellte einen Rekord für das Bulletin dar. Darauf gestützt wird ein europaweites *Thematic-Network* angestrebt.

Das sechste Jahrestreffen der **ERCOFTAC-Kompetenzzentren "Messtechnik" und "Verbrennung und Schadstoffbildung"** fand am 27. August 1998 mit rund 50 Teilnehmern aus Industrie und Hochschule statt.

Dem Motto **Aktuelle Projekte mit Zusammenarbeit Hochschule und Privatwirtschaft** war am 28. August 98 die dritte Jahrestagung der SVV in Zürich gewidmet. Zehn aktuelle Zusammenarbeitsprojekte, die je aus der Sicht des Hochschul- und des Industriepartners präsentiert wurden, stiessen bei den über 50 Anwesenden der Privatwirtschaft und Hochschule auf grosses Interesse.

Das zweite Symposium *Towards Clean Diesel Engines* fand am 14. – 15. Mai 1998 am PSI statt. Das PSI bot 80 Teilnehmern aus Industrie und Hochschule ein qualitativ hochstehendes Programm.

Der COMODIA-Kongress (*Combustion Modeling and Diagnostics*) fand vom 20-23 Juli 98 mit mehreren hundert Teilnehmern in *Kyoto, Japan*, mit Schwerpunkt Verbrennungskraftmaschine statt (2 CH-Papers).

Die im Rahmen des IEA-Projekts *Energy Conservation and Emissions Reduction in Combustion* [32] geschaffenen Kontakte beginnen sich zu vervielfältigen. Wertvolle Kontakte der PSI-Gruppe Reaktionsanalyse konkretisieren sich nun auch mit Japan.

Highlight des Jahres war das **27th International Symposium on Combustion** in *Boulder, USA*. Alle eingereichten Schweizer Beiträge bestanden die hohen Anforderungskriterien des Selektionskomitees. Mit 4 mündlichen Präsentationen und 3 Postern waren wir noch nie so gut vertreten [33 - 36].

Nationale und globale Konzepte zur Bewältigung der Klimaproblematik beschäftigten die 500 Teilnehmer aus 49 Ländern der **4th International Conference on Greenhouse Gas Control Technologies, Interlaken**. Wie soll das Kyoto-Protokoll, das bis 2010 eine weltweite Reduktion der Treibhausgase vorsieht, umgesetzt werden? Technische Lösungsansätze und -wege der Zukunft wurden unter Einbezug politischer und wirtschaftlicher Aspekte sowie nuklearen und erneuerbaren Energietechniken vorgestellt und diskutiert, aber auch die Grenzen der heutigen Möglichkeiten wurden dargestellt.

P+D- Projekte und Transfer in die Praxis

Das Vorhaben **Swiss Common Rail** [16] hat sich zu einem Vorzeigeprojekt im Sinne der gezielten und umfassenden Kooperation und des Technologietransfers zwischen Industrie (LIEBHERR, SIG, HYDROMAG) und Hochschule (LVV/ETHZ) entwickelt. Die Demonstration am 1-Zylinderprüfstand zeigte, dass der LIEBHERR-Motor mit der Common-Rail-Einspritzung grundsätzlich die *EURO III*-Normen (gültig ab 2000) erfüllt. Im Folgeprojekt werden daher am LVV die Verbrennungssystem-optimierung und bei LIEBHERR die Implementierung der Technik auf einen Vollmotor mit dem Ziel einer baldigen Einführung in die Serie in Angriff genommen.

Zur Sicherung der industriellen Serienproduktion wurde die SIG mit dem Projekt **Entwicklung einer Hochdruckpumpe mit Regelung** [17] (Teil 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.

Nach zweijähriger Modellentwicklungszeit geht ab

1999 das Vorhaben **Einsatz der rechnergestützten Simulation für die turbulente Verbrennung in der industriellen Produkteentwicklung** [18] mit starker, fi-

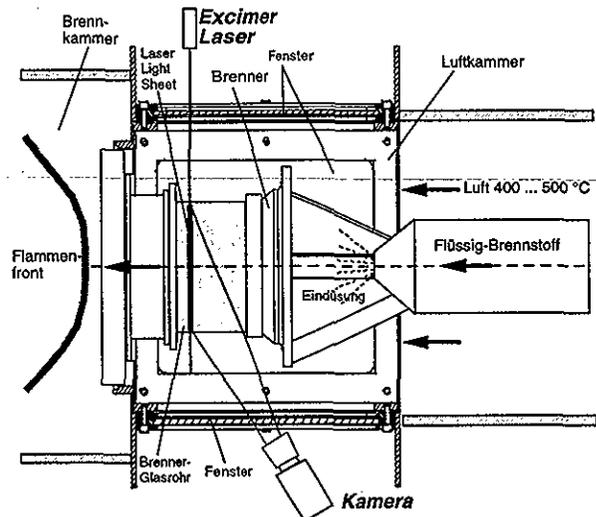
nanzieller Unterstützung des Industriepartners WÄRTSILÄ NSD in die "produktive" Phase über. Es sollen gezielt Berechnungen zur Wiedergabe resp. Vorhersage des Einflusses von neuen Auslegungskonzepten auf eine "Low-NOx"-Zielsetzung durchgeführt werden. Man konzentriert sich dabei auf die ganz grossen 2-Takt-Dieselmotoren, was die Pflege einer wichtigen Nische im internationalen F+E-Markt ermöglicht. Die künftige Kopplung dieses CRFD-Konsortiums mit der Produkteentwicklung (Stichwort: *Common-Rail Technologie*) stellt einen weiteren Erfolgsausweis für die gezielt unterstützte Zusammenarbeit von Hochschule und Industrie dar.

Um die Leistungsfähigkeit zirkulierender Wirbelschichten (ZWS) zu erhöhen, ist eine gute 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* [19] besteht die einmalige Gelegenheit, Feststoffgeschwindigkeits- und -konzentrationsmessungen in Anlagen unterschiedlicher Grösse durchzuführen. Die dazu notwendige Entwicklung und Erprobung der Messsonde sind nahezu abgeschlossen.

Im Programm *Umgebungs- und Abwärmenutzung, Wärme-Kraft-Kopplung* wurde das Projekt *Swiss Motor* [20] wesentlich vorangetrieben. Die Arbeiten an der EPFL führten zur Darstellung eines Magermotors, der die Schweizer-LRV-Grenzwerte für Biogas erfüllt und diejenigen für Erdgas ohne Katalysator nur knapp verfehlt. Am LVV wurde 1998 in zweifacher Hinsicht ein Durchbruch erzielt. Es wurde einerseits ein "AGR+Mager"-Motor dargestellt, der ohne Katalysator erstmals die Schweizer-LRV-Grenzwerte auch für Erdgas erfüllt. Am Prüfstand wurde zudem nachgewiesen, dass das in der Simulation als vielversprechend vorausgesagte Konzept mit Aufladung, AGR, $\lambda = 1$ und 3-Weg-Kat. tatsächlich Rekordwerte für solche Motoren ermöglicht. Es sind ein Wirkungsgrad von (39 %) und ein Schadstoffemissionenniveau mindestens so gut wie bei einer Gasturbine und unterhalb der Zürich-Normen erreicht worden. Beim FOGA wurde jetzt vom LVV und der Industrie (*LIEBHERR* und *DIMAG*) ein abschliessendes Vorhaben zur Feinoptimierung des Konzeptes – im Hinblick auf eine zukünftige Markteinführung – eingereicht.

Als P+D-Vorhaben mit starkem Grundlagenanteil ist die enge Zusammenarbeit von Gruppen bei ABB, des PSI und des LVV zu bezeichnen. Bei Gasturbinen lassen sich durch die Vormischverbrennung wesentlich tiefere Schadstoffwerte erreichen. Dabei ist jedoch noch wenig über die vorgemischte Verbrennung von flüssigen Brennstoffen wie Dieselöl bekannt. Zur Entwicklung entsprechender Brenntypen benötigt man Kenntnisse über die lokalen Konzentrationsverhältnisse des verdampften Brennstoffs, welche im PSI-Projekt *Mischung und Verdampfung von Brennstoffsprays in Gasturbinen-Vormischbrennern* [21] mittels laserop-

tischen Methoden (LIF) mit hoher Genauigkeit unter Betriebsbedingungen von Gasturbinenbrennern untersucht werden. Dazu wurden von ABB Brenner-Prototypen entwickelt, welche mit Quarzglasfenstern ausgestattet sind (s. Bild).



Die PSI-Messungen ergaben gute Übereinstimmung mit Modellierungen und Simulationen, die im LVV-Projekt *Flammenstruktur und NOx-Bildung in turbulenten Vormischflammen* [22] durchgeführt werden. Zur numerischen Simulation wurde ein verbessertes Modell für die Spraytropfenverdampfung entwickelt. Das neue Modell wurde im KIVA-Code implementiert und validiert.

Das Fachwissen der ETH und der EMPA in Sachen numerische Simulation kommt im Industrieprojekt *Grundlagen der Skalierung von Gas-Brennwert-Units im Leistungsbereich um 1MW* [23, 24] zum Tragen. Aus dem Prototyp 450kW wurde das Null-Serienprodukt Varino Grande 450kW entwickelt. Die Arbeiten zur Dauerbetriebssicherheit des Brenners wurden erfolgreich abgeschlossen. Das Konzept hält den auftretenden thermischen und mechanischen Belastungen stand und ist geräuscharm. Mit rund einem Dutzend in Betrieb befindlichen Anlagen wurde die volle Funktionstauglichkeit überzeugend demonstriert. Die parallel vom LTNT durchgeführten numerischen Simulationen führten zu einem vertieften Verständnis der ablaufenden Vorgänge und zeigten ein weiteres Emissionsreduktionspotenzial, welches allerdings derzeit aufgrund der harten Marktsituation (Kostendruck) nicht implementierbar ist.

Um in Müllverbrennungsanlagen eine konstante Energieerzeugung sicherzustellen, sind sehr hohe und konstante Dampfströme nötig. Die traditionellen Regelsysteme werden diesen Anforderungen nicht gerecht. Im Projekt *Effiziente Energienutzung durch intelligente Regelung des Verbrennungsvorgangs in Müllverbrennungsanlagen* [25] will die UNI-Freiburg in Zusammenarbeit mit VON ROLL die komplexe Regelungstechnik von KVA's durch Einsatz neuer Messtechniken und *Fuzzy Logic*-Methoden effizienter gestalten und eine Senkung des NOx-Ausstosses erreichen.

Neu gestartet wurde im Jahr 1998 das Vorprojekt De-

monstration eines optischen Sensors zur Unterstützung der Entwicklung von schadstoffarmen motorischen Verbrennungssystemen [26] in Zusammenarbeit zwischen KISTLER und dem LVV mit dem

Ziel, die vorhandene Druckindizieretechnik des Industriepartners mit geeigneten lichtleitergestützten optischen "in-situ" Methoden für die Verbrennungsanalyse zu ergänzen.

Bewertung 1998 und Ausblick 1999

Das positive Echo auf die 1998 an nationalen und internationalen Konferenzen präsentierten Forschungsarbeiten bestätigt unsere internationale Kompetitivität, die nur dank der Kontinuität in der Forschung und dem vorhandenen guten Forscherpotential aufrecht erhalten werden kann.

1998 konnte die Zusammenarbeit zwischen dem LVV und dem PSI weiter vertieft werden. Dies zeigt sich an den gemeinsamen Publikationen u.a. am *Combustion Symposium*, aber auch an der zunehmend gemeinsamen Bearbeitung von Projekten mit Industriepartnern zu den Themen Hochdrucksprays, neue Brennstoffe, magere Hochdruckverbrennung u. a.

Plangemäss konnte die im Berichtsjahr verstärkte Umsetzung des Grundlagenwissens in die Privatwirtschaft durch Abschluss neuer P+D-Projekte erreicht werden. Mit LAMBIOTTE in Belgien im Projekt *Investigation of Soot and NO-Production in Spray Combustion of Acetal/Diesel Mixtures* [27] und im Vorhaben Modellbildung *Direct Injection (DI) Ottomotor* [28] mit dem FVV, der Mitglieder (Automobilhersteller und -zulieferer) im gesamten EU-Bereich vereint, hat sich der Kreis der Industriepartner erstmals auf den europäischen Raum ausgedehnt. Die Koordination der Verbrennungsforschung am PSI und an der ETH ist umso

wichtiger geworden. Es besteht die berechtigte Hoffnung, dass sich die in den letzten Jahren erfolgreiche nationale Zusammenarbeit zwischen Hochschule und Privatwirtschaft auch in diesen europäischen Projekten wiederholt.

1999 soll der Ausbau der P+D-Aktivitäten mit einigen neuen Projekten vorläufig abgerundet werden. Weitere Aktionen betreffen den Ausbau der Kontakte mit anderen Forschungsförderungsorganen (FEV, KTI, FOGA) und Projekteinreichungen für EU-Forschungsprogramme. Miz diesen Perspektiven soll im Rahmen des SVV das Terrain ausgelotet werden, mittelfristig in Zusammenarbeit Hochschule – Privatwirtschaft in Bezug auf die schadstoffarme stationäre Verbrennung einen neuen Quantensprung ($< 9 \text{ ppm NO}_x$) zu erreichen.

Die Vorbereitungsarbeiten für die Neuauflage (März 2000, Stuttgart) der erfolgreichen ersten Europäischen Kleinbrennerkonferenz (vom LTNT initialisiert und in Zürich 1996 durchgeführt) werden unsere Forscher 1999 beschäftigen. Betreffend Öffentlichkeitsarbeit ist neben dem Forschungsprogramm 2000-2003 zusätzlich eine Broschüre über die Resultate der letzten 12 Jahre CH-Verbrennungsforschung – und damit verbunden eine Darstellung der Verbrennungsforschungsaktivitäten auf dem Internet – geplant.

Liste der Projekte

- [1] T. Steiner et al. LVV/ETH-Zürich: *Turbulenzparameter von Strömungen* (JB)
- [2] I. Mantzaras et al. PSI-Villigen: *Tieftemperaturverbrennung bei hohen Drücken* (JB)
- [3] K. Herrmann et al., PSI-Villigen: *Anwendung laseroptischer Messmethoden in der Hochdruckverbrennung* (SB)
- [4] K. Boulouchos et al., LVV/ETH-Zürich: *Flammenfront- und Schadstoffvisualisierung* (SB)
- [5] T. Gerber et al. PSI-Villigen: *Thermochemische Charakterisierung und spektroskopischer Nachweis von Sauerstoffverbindungen im Zusammenhang mit der Verbrennung sauerstoffhaltiger Brennstoffe* (JB)
- [6] W. Hubschmid et al. PSI-Villigen: *Laserspektroskopische Methoden zur Analyse von Flammen und Brennstoffsprays* (JB)
- [7] A. Obieglo und J.Gass, LTNT/ETH-Zürich: *NO_x-Modellierung mittels PDF-Transportgleichungen* (JB)
- [8] P. Bajaj und J.Gass, LTNT/ETH-Zürich: *Schadstoffreduktion durch Teil-Vormischung* (JB)
- [9] M. Muhasiloviv und J. Gass. LTNT/ETH-Zürich: *Struktur turbulenter Diffusionsflammen* (JB)
- [10] L. Blum et al., LTNT/ETH-Zürich: *Experiment turbulente Gegenstromflamme* (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] B. Ineichen, LVV/ETH-Zürich: *Ermittlung des geometrischen Aufbaus von Russ-Primärpartikeln und Validierung der Simulation des Russbildungsmechanismus* (JB)
- [14] Ch. Bach, EMPA, Dübendorf: *Wirkungsorientierte Bewertung von Automobil-Abgasen* (SB)
- [15] B. Stauffer, UNI-Bern: *Zuverlässigkeit der Rekonstruktion der atmosphärischen Kohlendioxidkonzentration anhand polarer Eiskerne* (JB)

Liste der P+D-Projekte

- [16] R. Schubiger et al., LVV/ETH-Zürich: *Demonstration eines besonders schadstoffarmen Verbrennungssystems für direkteingespritzte Dieselmotoren im "off road" Betrieb* (JB)
- [17] F. Spinnler, SIG, Neuhausen: *Entwicklung einer Hochdruckpumpe mit Regelung*, Phase I und Phase II (JB)
- [18] K. Boulouchos et al., LVV/ETH-Zürich: *Einsatz der rechnergestützten Simulation für die turbulente Verbrennung in der industriellen Produkteentwicklung (CRFD)* (JB)
- [19] Y. Caloz und L. Reh, IVUK/ETH-Zürich: *Messung von Scale-up Parametern energieeffizienter und umweltfreundlicher zirkulierender Wirbelschichtanlagen* (JB)
- [20] 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)
- [21] W. Hubschmid et al. PSI-Villigen: *Mischung und Verdampfung von Brennstoffsprays in Gasturbinen-Vormischbrennern* (JB)
- [22] Th. Gradinger et al., LVV/ETH-Zürich: *Flammenstruktur und NO_x-Bildung in turbulenten Vormischflammen* (JB)
- [23] J. Gass et al. LTNT/ETH-Zürich: *Grundlagen der Skalierung von Gas-Brennwert-Units im Leistungsbereich um IMW, Phase I* (JB)
- [24] H. Dreher, IGNIS, Ruswil, J. Gass et al. LTNT/ETH-Zürich: *Grundlagen der Skalierung von Gas-Brennwert-Units im Leistungsbereich um IMW, Phase II* (JB), *NO_x-Reduktion beim Ygnis Varinobrenner* (JB)
- [25] R. Berksun, IUF, UNI-Freiburg: *Effiziente Energienutzung durch intelligente Regelung des Verbrennungsvorgangs in Müllverbrennungsanlagen* (JB)
- [26] B. Ineichen et al., LVV/ETH-Zürich: *Demonstration eines optischen Sensors zur Unterstützung der Entwicklung von schadstoffarmen motorischen Verbrennungssystemen*
- [27] Th. Gerber, PSI-Villigen: *Investigation of Soot and NO-Production in Spray Combustion of Acetal/Diesel Mixtures* (JB)
- [28] M. K. Eberle, LVV/ETH-Zürich: *Modellbildung Direct Injection (DI) Ottomotor* (JB)
- (JB) Jahresbericht 1998 vorhanden
(SB) Schlussbericht vorhanden

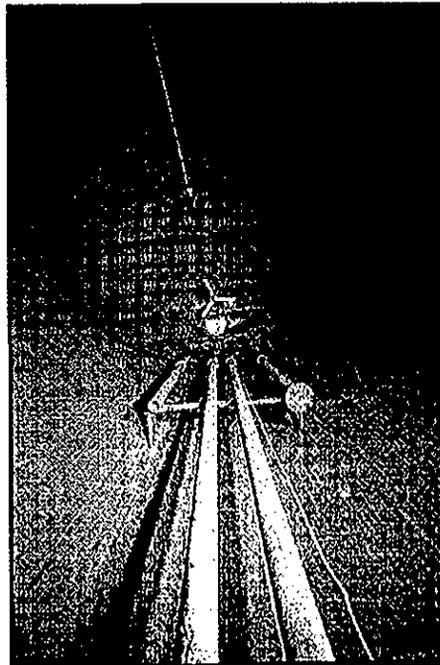
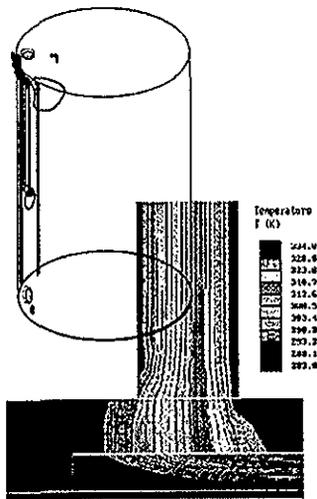
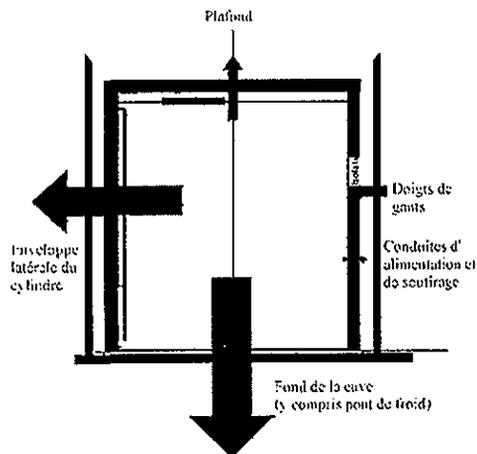
Referenzen

- [29] A. Hintermann: *Forschungsprogramm 1996-99 "Feuerung&Verbrennung"*, BEW, zu beziehen bei ENET
- [30] H. Stebler: *Luft- und brennstoffseitige Massnahmen zur internen NO_x-Reduktion von schnellaufenden direkteingespritzten Dieselmotoren*, Dissertation ETH-Zürich No. 12954, (1998)
- [31] U. Dogwiler: *Experimentelle und numerische Untersuchungen zur katalytisch stabilisierten Verbrennung von Methan*, Dissertation ETH-Zürich No. 12648, (1998)
- [32] G. B. Drummond, Ed.: *XX Task-Leaders-Meeting*, Proc. IEA-Conf. Ottawa, August 1998
- [33] E. Frouzakis et al.: *Two-Dimensional Direct Numerical Simulation of Opposed-Jet Hydrogen/Air Diffusion Flame*, Proc. 27th Int. Symposium in Combustion, Boulder, Colorado (1998)
- [34] A. Tzannis et al.: *Application of Resonant Holographic 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 (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 (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 (1998)
- [37] M. Koebel und M. Elsener: *Oxidation of Diesel-Generated-Volatile Organic Compounds in the Selective Catalytic Reduction Process*, Ind. Eng. Chem. Res., 37 (1998), 3864-68
- [38] A. Indermühle et al.: *High Resolution Holocene CO₂-Record from the Taylor Dome Ice Core*, to appear in Nature (1999)

STOCKAGE DE CHALEUR

Rapport de synthèse
sur les activités 1998 du programme de recherche et du programme P+D

Jean-Christophe Hadorn
jchadorn@swissonline.ch



Stockage solaire saisonnier

Les pertes thermiques de la cuve de 2'370 m³ de stockage de chaleur de l'Office fédéral de la Statistique, à Neuchâtel, ont été mesurées et comparées à un modèle avant de mettre en service l'installation (SORANE).

Centres de gravité du programme

Le programme de recherche "Stockage de chaleur" est organisé pour la période 1996-1999 autour de trois types de stockage saisonnier. Le "stockage saisonnier" est le problème le plus utile à résoudre, soit pour la densification du recours à l'énergie solaire ou à celle du sous-sol pour les pompes à chaleur, soit pour la cogénération.

Les centres de gravité ont été en 1998:

1. d'analyser deux situations pour lesquelles on

pourrait proposer une installation solaire avec un **stock souterrain diffusif**,

2. de mieux comprendre les limites de taille encore viable de **stocks diffusifs**.
3. de comprendre les limites du stockage en **aquifère**.

Le stockage solaire à court terme en cuve fait l'objet d'essais de portée limitée par les fabricants eux-mêmes et par le laboratoire SPF-Rapperswil dans le programme "Solaire actif: Chaleur".

Buts visés pour 1998

a) Stockage en cuve à eau

La plus grosse cuve de stockage de chaleur de Suisse, celle de l'installation de l'Office fédéral de la Statistique à Neuchâtel, a été mise en service en 1998.

La mesure des pertes thermiques de la cuve de 2'370 m³ faite avant exploitation, devait être confrontée au modèle pour détecter les éventuels défauts d'isolation.

En outre, le bilan de l'installation RENOVA était attendu.

b) Stockage diffusif

Les résultats de l'optimisation d'installations solaires avec stockage diffusif pour 100 logements étaient attendus.

La confirmation par la mesure de l'amélioration de l'installation du bâtiment THALI était souhaitée.

Le bilan final du Collège de Peseux équipé d'un stock diffusif de 23'000 m³ était attendu.

La reprise des mesures du stock SERSO était planifiée, afin de capitaliser les trois années précédentes de mesures et de tirer toutes les conclusions utiles pour réaliser d'autres systèmes de dégivrage de revêtement routier.

L'évaluation de deux petits stocks diffusifs expérimentaux pour des villas était à faire.

c) Stockage en aquifère

L'explication du comportement décevant du stock de Saillon était souhaitée, avec des propositions d'amélioration.

La recherche de nouveaux projets P+D était également un objectif en 1998, l'année 1997 ayant été pauvre à cet égard. Le secteur du bâtiment, déprimé, est cependant resté très peu novateur en matière de nouvelles installations de production d'énergie. La tendance a été à l'économie d'énergie et au choix d'une production classique, gaz ou mazout.

Travaux effectués et résultats obtenus

a) Stockage en cuve

A Neuchâtel, les pertes de la cuve de stockage saisonnier de l'installation solaire du nouveau bâtiment de l'Office fédéral de la Statistique (30 MJ/m² an) ont été mesurées par un procédé original, après réparation d'un désordre dû à une inondation. La mesure a fourni une valeur de 9'220 W, ramenée à 7'200 W après corrections, soit un k moyen de 0,19 W/m² · K. La répartition des déperditions selon les surfaces a été approchée au mieux par un modèle nodal simple, et a fourni la valeur théorique de 6'580 W. La répartition des pertes est de 47 % par le fond, siège d'un pont de froid difficile à éviter, puis 35 % par les côtés, 12 % par le plafond et 6 % par les armatures. La constante de temps du stock est de 467 jours, ce qui est à notre avis la limite inférieure pour un stockage saisonnier efficace [1].

Le logiciel *Solar option*, outil de pré-dimensionnement d'une solution solaire avec stockage saisonnier en cuve, a été diffusé via ENET.

A Chambésy près de Genève, le projet RENOVA comporte une cuve de 11 m³ chargée par 31 m² de capteurs solaires, ainsi qu'un stock souterrain diffusif de 7 sondes de 7 m placées sous la maison. Les mesures faites depuis juin 1997 par le CUEPE/UNI-Genève montrent que le rendement journalier de la toiture dépasse 50 %, en été avec une cuve maintenue à moins de 60 °C, grâce au stockage souterrain. Il se maintient entre 30 et 40 % en automne avec une cuve à plus de 60 °C, résultat excellent. Le stock souterrain était chargé à 40 °C à fin septembre, et a permis d'éviter toute surchauffe estivale des capteurs. Mais il a rapidement perdu son énergie par diffusion dans le terrain encaissant (stock à 20 °C, à mi-

novembre 98), rendant impossible un apport direct au chauffage. Un apport indirect par le sous-sol de la cave durant l'hiver existe mais semble faible. Sur une année, le rendement moyen de captage a été de 40 %. La grande partie du solaire (55 %) a été introduite, en été, dans le stock souterrain. Les pertes de la cuve ont été importantes poussant à une meilleure isolation des armatures. L'appoint au gaz n'a pas été utilisé du tout ! Seule la cheminée de salon a été sporadiquement utilisée. L'indice chauffage (bois) a été très bas: 58 MJ/m² · an. Les données de cette réalisation exemplaire à divers points de vue pourraient être valorisées par une simulation a posteriori, si les moyens financiers le permettent [3].

b) Stockage diffusif

Le bâtiment de la société **THALI** à Hitzkirch est chauffé par une pompe à chaleur utilisant un stockage souterrain de 10 sondes coaxiales de 100 m, rechargé en été par le dégagement de chaleur de la salle d'informatique. L'installation a été optimisée à la suite de la première année de mesures qui a montré un sous-dimensionnement des équipements: diverses améliorations ont permis de satisfaire le confort estival au prix d'une augmentation de 30 % de l'énergie injectée dans le stock. Le débit dans le stock a été divisé par deux et des circuits ont été dédoublés avec un choix optimal de circulateurs. La consommation annuelle de la pompe à chaleur a été réduite de 21 %. Cependant aucune économie d'électricité totale n'est constatée, car les prestations fournies ont notablement augmenté.

La température moyenne du stock n'a plus augmenté en 1998 (+1 K en 97) et le stock ne descend pas au-dessous de 4 °C à fin décembre. Le bilan du stock n'est pas complètement équilibré. En 1997, 26'096 kWh ont été injectés, soit 2.85 W/m · an, et 32'928 repris soit 4 W/m · an). De plus, l'installation photovoltaïque présentait différents défauts, détectés et corrigés: la production annuelle a augmenté de 18 % ! Ce projet a valeur d'exemple: une installation innovante n'avait pas été correctement dimensionnée, puis mal mise en service. Le propriétaire était mécontent. Une ré-optimisation subséquente, certes coûteuse mais efficace, a permis d'aboutir à un projet nettement meilleur. La démarche et la description des erreurs constatées feront l'objet d'un article technique en 1999, ainsi qu'une comparaison avec les installations P+D analogues que sont Wollerau (3.3 W/m · an injectés, 8.45 W/m · an repris) et Buchrain (9.6 W/m · an injectés, 9.3 W/m · an repris), et les recherches menées à Burgdorf sur les sondes terrestres entre 1995 et 1997 [2, 15].

À l'École d'Ingénieurs de Winterthur (TWI), le projet de recherche sur la réduction du coût du **stockage souterrain diffusif** et l'analyse des conditions optimales d'une réalisation dans la région de Zurich a abouti sur des recommandations [4]. Les résultats obtenus sont les suivants:

1. un nouvel échangeur pour des sondes de 20 m enfoncées dans des sols meubles par vibration a été

testé avec succès. Il s'agit de 3 sondes en U en polybutène, formant un diamètre de sonde de 173 mm.

2. La cartographie de zones géologiques favorables à ce type de sondes dans la région de Zurich est prête.
3. Deux groupes de bâtiments, l'un existant, l'autre neuf, ont été choisis et étudiés pour constituer les références de l'étude de cas.
4. L'étude des cas a été réalisée: un schéma hydraulique consensuel a été élaboré. La minimisation des pertes et la simplicité du concept ont été recherchées.
5. Une recherche d'optimum de système par simulation avec TRNSYS a été réalisée. Dans le cas du groupe de bâtiments existants (Wettswil, 550 MJ/m² · an), rénovés pour atteindre 348 MJ/m² · an, une fraction solaire espérée de 60 % nécessiterait 2'890 m² de capteurs, un stock tampon de 290 m³ et un stock saisonnier de 20'000 m³. Une telle surface de captage ne peut être libérée dans le cas réel. Investir dans des mesures d'isolation renforcée est préférable. Avec une demande totale réduite, une fraction solaire de 46 % est possible avec 1'440 m² de capteurs, un tampon de 114 m³ et un stock saisonnier de 5'760 m³. Dans une telle configuration, l'apport du stock saisonnier est cependant faible (46 % solaire avec contre 40 % sans), et il semble économiquement préférable de surdimensionner quelque peu le tampon et d'abandonner le stockage diffusif. Le surcoût de charges pour le locataire d'un appartement de 104 m² serait de 225 CHF/an pour une telle solution.
6. Dans le cas d'un projet de logements neufs (cas de Stiglenstrasse, 120 appartements, 230 MJ/m² · an), une fraction solaire de 60 % demanderait 1'620 m² de capteurs, un tampon de 162 m³ et un stock saisonnier de 9'720 m³. Une solution avec isolation renforcée du bâtiment conduirait à une fraction solaire de 50 % avec 1'200 m² de capteurs, un tampon de 120 m³ sans stock saisonnier ! Le surcoût de charges serait alors faible, de 150 CHF/an par appartement, soit + 15 % seulement.

Le document final attendu à mi 99 comprendra nombre d'informations sur le stockage saisonnier diffusif dans les conditions suisses. Les conclusions générales de ce travail ne sont cependant pas encourageantes pour le stockage saisonnier: atteindre dans de nombreux cas, une fraction solaire de 35 à 50 % sans stock saisonnier paraît un objectif plus intéressant que de réaliser quelques pilotes à plus de 60 ou 70 % solaire avec stock saisonnier.

À l'aéroport de Zurich sera prochainement construit un grand bâtiment nécessitant 350 pieux de fondation, dont 300 avec échangeurs. Le bâtiment **Dock Midfield** pourrait ainsi être chauffé et climatisé en utilisant le sous-sol [6]. Pour lever des incertitudes quant aux paramètres du sol, un test de réponse de deux sondes a été effectué en 1998. Les résultats ont donné après calage d'un modèle une valeur de conductibilité moyenne du

sol de 1.8 W/m K. L'appareillage développé a ensuite été cédé au TWI. Pour la simulation de l'installation, le logiciel PILESIM a été mis au point par le LASEN-EPFL, et en utilisant les résultats d'un projet de recherche du programme "Géothermie". Il permet de calculer le bilan énergétique heure par heure d'une installation de chauffage et refroidissement avec des pieux échangeurs. PILESIM sera disponible publiquement début 99 via ENET. Les premières simulations pour Dock Midfield ont livré les valeurs de dimensionnement suivantes: 74 W/m et 110 kWh/m · an en extraction, et 60 W/m et 80 kWh/m · an en injection. Le projet de construction et donc la fin des travaux de recherche sont retardés suite à une opposition des riverains.

Le projet **SERSO** consiste à dégivrer la chaussée d'un pont d'autoroute près de Spiess grâce à la chaleur accumulée dans un stock saisonnier chargé en été par un collecteur situé dans la chaussée. Le système fonctionne depuis 1994 et a été mesuré durant 3 cycles avec un financement cantonal. Sollicité pour mettre en valeur les résultats de ces mesures, l'OFEN a accepté de participer à 2 nouveaux cycles. Le HTA-Burgdorf a repris les mesures en 1998. Les résultats montrent que l'installation a encore un potentiel d'amélioration: elle peut remplir son rôle avec moins d'électricité grâce à un réglage fin. L'efficacité du captage solaire par la route a été de 15 % en été 98 (78 kWh/m² · an). Le potentiel

d'économie restant concerne le stock saisonnier et sera analysé en 99. Le stock apparaît comme nettement surdimensionné, sa température n'atteignant que 14.5 °C à fin septembre 98 [7]. Ce projet devrait être complété en 99 par une simulation qui seule permet la valorisation des mesures pour d'autres projets. Plusieurs demandes d'information émanent de l'étranger pour SERSO dont le brevet est suisse.

c) Stockage en aquifère

Dans le projet **Faisabilité générale du stockage de chaleur en aquifère**, le laboratoire de Géologie de l'EPFL a tenté de fournir une explication du fonctionnement décevant de l'aquifère de Saillon. La méthode est la modélisation sur la base des mesures. Les résultats ont montré que même sous des conditions très favorables, la bulle de chaleur créée à la charge ne peut être utilisée plus de 20 jours avec une température de 30 °C. Les pertes thermiques par convection naturelle sont importantes. Les pertes principales résultent du volume trop réduit et de la température de charge trop basse. La situation du stock de Saillon de 7'000 m³ s'avère ainsi impossible à améliorer [5].

Cette étude se poursuivra avec la recherche des limites de faisabilité de stocks en aquifère dans les conditions hydrogéologiques courantes suisses.

Coordination et collaboration nationale

La coordination avec les programmes "Géothermie" et "Chaleur de l'environnement" est fréquente.

Dans notre programme, les simulations d'installations avec stock diffusif sont effectuées par le même spécialiste à l'EPFL. Nous obtenons des collaborations efficaces, sans coût d'apprentissage, avec transfert d'information, malgré des moyens financiers limités.

Le transfert d'information vers le TWI dans le projet de recherche de solutions optimales solaire + stock diffusif a fonctionné selon notre attente: en trois ans le TWI s'est formé une « culture » du stockage diffusif et de l'utilisation du sous-sol à température dépassant 40 °C, méconnue en Suisse alémanique auparavant.

Coordination et collaboration internationale

Nous suivons les projets d'ampleur en exploitation en Allemagne, dont Friedrichshafen (cuve béton de 12'000 m³), Hambourg et Neckarsulm (stock diffusif de 5'000 m³, pilote d'un stock de 100'000 m³ à terme). Les résultats sont techniquement très positifs, l'intégration architecturale est réussie, mais le coût de la chaleur solaire reste élevé (entre 0,30 et 0,40 DEM/kWh).

En ce qui concerne l'AIE, nous suivons à distance le projet intitulé *Underground Thermal Energy Storage*, et regroupant une dizaine de pays. La Suisse a décidé de

ne pas participer activement faute de moyens financiers. Les participants recensent les enseignements des nombreux projets de stockage souterrain réalisés depuis 1980, dont SPEOS. Un livre bilan devrait en sortir. Le marché fait cependant défaut, mis à part les stocks de froid en aquifère dont le développement économique se poursuit dans les pays du Nord de l'Europe.

En outre, la Suisse ne participe pas aux travaux du projet AIE sur la chaleur latente, faute d'intérêt d'industriels.

Transferts à la pratique, Projets P+D

Le programme est très orienté vers la pratique. Le test de réponse effectué pour le projet de Kloten en est une démonstration.

Les résultats des recherches du TWI et les travaux suisses en matière de stockage saisonnier ont été présentés à Winterthur en novembre 98 devant 90 ingénieurs et architectes. L'accueil a été mitigé: un petit intérêt, mais pas vraiment d'élan spontané.

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 recours à une pompe à chaleur, ont désormais été testées sans succès valable: on ne peut constituer un stock saisonnier de petite taille ($< 5'000 \text{ m}^3$) dans le sol sans recourir à une isolation massive, non justifiable.

Au cours de 1998, la plupart des projets initiés il y a quelques années sont arrivés à terme, avec des résultats positifs pour les grosses installations.

Les plus remarquables ont été ceux de l'installation du Collège de Peseux, Neuchâtel [10]. Le stock de $29'000 \text{ m}^3$ fonctionne selon l'attente depuis deux cycles. Les 306 m^2 d'absorbeurs ont fourni $851 \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{an}$, 30 % de plus que la valeur de projet. L'évaporateur de la pompe à chaleur a absorbé 58 % de la chaleur solaire, le reste a été injecté dans le stock. La pompe à chaleur a fonctionné $3'100 \text{ h/an}$ avec un COP moyen annuel de 3.35. Le COP dépend de la température du stock (3.52 en octobre 97, 3.31 en février 98). Le rendement moyen annuel de la chaufferie a été de 1.28, à comparer à une valeur classique de 0.8.

Le stock a évolué entre 1 et $28.1 \text{ }^\circ\text{C}$. Il s'est réchauffé d'environ $1.5 \text{ }^\circ\text{C}$ par an durant les deux premiers cycles, du fait d'un excédent de charge.

Sur le plan comptable, le propriétaire a fait une opération blanche hors les risques: ses investissements moins les subventions couvrent les frais financiers et d'entretien. Et l'économie d'énergie primaire réalisée se monte à 620 MWh/an . Un prix du gaz à $0,7 \text{ CHF/kWh}$ au lieu de $0,05$ rendrait l'opération rentable.

BMIC, à Montezillon, tire les enseignements suivants du projet:

1. une amélioration sensible de performances aurait pu être faite si le chauffage de sol avait été choisi,
2. la réduction du coût du captage solaire constituerait la mesure la plus intéressante: modules préfabriqués de 12 m^2 , ou véritable toiture solaire, avec connections simplifiées et rapides à installer. Notons que depuis le projet, le fabricant propose une véritable toiture solaire,
3. sur le plan du calcul financier, c'est la durée d'amortissement qui joue le plus grand rôle,

4. l'installation fonctionne sans problème depuis deux cycles et la couverture de 35 à 40 % des besoins thermiques d'un bâtiment par le solaire avec un stock saisonnier à basse température et une pompe à chaleur est une opération techniquement faisable et économiquement supportable.

Le rapport final comprend tous les détails nécessaires pour réaliser une installation semblable. Le suivi se poursuivra de manière allégée durant deux ans, afin de surveiller l'élévation de température du stock et ses effets.

Dans le projet de Wollerau, le stock est constitué par 32 sondes de 135 m de profondeur espacées de 9 m . Les résultats 1998 ont été les suivants [8]:

- la chaudière d'appoint n'a pratiquement pas fonctionné,
- au cours du deuxième cycle, la pompe à chaleur a soutiré plus d'énergie du sous-sol qu'auparavant,
- de même, plus d'énergie en *free-cooling* a pu être soutirée en été, du fait d'une régulation améliorée,
- les températures de soutirage du stock en hiver se situent entre 15 et $17 \text{ }^\circ\text{C}$.

Le rapport final des deux années de mesure est attendu. Nous déciderons ensuite d'une éventuelle simulation de l'installation pour recherche d'optimum.

L'installation de démonstration de Buchrain a utilisé les premiers enseignements de Wollerau. Elle comporte 19 sondes en double-U de 40 mm de diamètre, de 200 m de profondeur, espacée de 7.90 m et disposées sur deux rangées distantes de 10 m . Les résultats des mesures 1998 indiquent que le système fonctionne globalement comme attendu et de manière semblable au cycle 1. La régulation semble cependant n'être pas totalement correctement en service [14]. Le rapport final est attendu.

Le projet pilote du bâtiment de la Caisse d'assurances cantonales de Lucerne, Buchenhof, à Aarau comporte 20 sondes de 120 m . Le stock devrait permettre de couvrir 70 % des besoins en chaleur et froid du bâtiment par la pompe à chaleur. Une fuite du circuit des groupes de froid puis du circuit du stock a décalé la mise en service des mesures de près de 10 mois et a entraîné une marche importante de la chaudière d'appoint. Les premières mesures indiquent que le stock tend à se recharger correctement [16].

Le projet pilote de la Hochschule St. Gallen comporte également un groupe de sondes délimitant un stock de $20'000 \text{ m}^3$, utilisé en hiver par une pompe à chaleur et régénéré en été par les rejets de climatisation de l'école. Les résultats de mesures depuis 1996 ne nous ont toujours pas été fournis, le bureau d'ingénieurs responsable ne répondant pas à nos sollicitations. Les paiements d'honoraires finaux ont été suspendus et un délai d'action fixé au bureau [11].

Un nouveau projet a débuté en 1998. Un bâtiment au standard Minergie dénommé **Plan-Léman** de 40 logements est projeté à Renens, dans un ensemble de près de 10 bâtiments à terme. Une distribution par dalle active a été choisie, avec des capteurs solaires en toiture. Pour ce projet pilote, dans lequel la structure du bâtiment va jouer le rôle de stockage, notre programme finance une optimisation par simulation. Les outils de calculs sont disponibles, mais difficiles à manier pour les bureaux d'étude. Un logiciel simple d'emploi, tel PILESIM, pourrait être mis sur le marché à la suite de ce travail. En outre, à terme de 3 à 5 ans si les bâtiments projetés autour de Plan-Léman se développent, un stock saisonnier diffusif central deviendrait possible et son intérêt est à évaluer. Les travaux de la recherche menée par le TWI en 96-99 seront ici pleinement exploités sur un objet concret [17].

Les projets précédents concernaient des bâtiments collectifs. Nous suivons quelques projets qui concernent l'habitat individuel.

L'installation de **Les Brenêts** comporte un stock saisonnier sous forme de 50 fûts de récupération de 200 l remplis d'eau. Il doit être chargé par une façade de captage solaire à air de 80 m². En 1998, les gaines de ventilation ont été étanchées avec difficulté, mais la couverture de la façade en polyester dont la transparence est dégradée n'a toujours pas été changée, en attente d'autorisation communale. La température du stock n'a pas dépassé 30 °C en fin d'été, alors que 50 °C sont nécessaires pour qu'une contribution significative

au chauffage soit observable. Le suivi se poursuivra en 1999 [13].

La maison solaire **SOLERI**, à Unterseen, a un stockage dans le sol environnant les fondations. Les excédents d'été de 40 m² de capteurs solaires à air y sont injectés. Le rapport final montre que l'indice énergétique est 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 [9]. L'apport du stock saisonnier a cependant été faible par rapport aux gains solaires directs et s'est accompli par maintien d'une température de 2 à 3 °C supérieure à la température naturelle autour du sous-sol de la villa. Il est démontré que l'intérêt d'un tel stock est très limité.

Une villa familiale à **Épalinges** est dotée de 36 m² de capteurs solaires plans sélectifs qui chargent en été un stock en molasse de 360 m³ constitué par 7 forages de 70 m. En 1997, l'énergie injectée dans le stock avait été insuffisante pour observer un réchauffement. À l'origine 60 m² de capteurs avaient été recommandés. En 1998, lors du cycle 2, toute l'énergie solaire captée a été injectée dans le stock en été, sans usage pour l'eau sanitaire. Diverses pannes mineures et une météo moins favorable n'ont pas permis une injection de plus de 13 MWh, valeur identique à celle de 1997. Le stock n'est donc pas monté en température. Un écoulement souterrain parasite éventuel n'a pas non plus pu être mis en évidence. Il est prévu de simuler les 60 m² de capteurs prévus par la chaudière à gaz en été 99, de manière à fixer l'avenir du stock [12].

Évaluation 1998

En ce qui concerne la recherche, les progrès sont notables: on connaît mieux l'intérêt des solutions solaires avec stockage diffusif pour des logements neufs ou anciens dans les conditions météo de Zurich. On connaît également les causes d'un fonctionnement inopérant du stockage en aquifère de Saillon.

En ce qui concerne les projets pilotes, on peut affirmer que les stocks diffusifs de grande taille exploités avec des pompes à chaleur et une recharge estivale sont désormais une technologie qui fonctionne. Les coûts de l'énergie qui en découlent sont comparables avec d'autres solutions alternatives. Les progrès à venir quant aux performances des pompes à chaleur devraient rendre encore plus intéressante la solution d'une source froide de qualité et relativement constante durant l'hiver. La question est de savoir comment réduire le coût de chaque élément si l'on veut concurrencer les agents énergétiques fossiles.

Les difficultés de développement de la technologie sur le marché sont dues à la faiblesse du secteur du bâtiment en Suisse, au faible intérêt de la solution "stockage saisonnier" dans des situations de rénovation, et au prix de l'énergie fossile particulièrement bas.

Les solutions qui sont à comparer dans le cas d'un grand projet (plus de 200 MWh de demande en chaleur) où l'on désire atteindre 50 à 60 % de renouvelable nous paraissent désormais les suivantes:

1. Absorbeur solaire sur stock diffusif avec pompe à chaleur (solution type Collège de Peseux).
2. Pompe à chaleur sur l'environnement (lac, rivière, nappe, air) en bivalent avec appoint mazout (problème de bruit dans le cas de l'air).
3. Capteurs solaires à haute performance sur stock à court terme en cuve à eau.
4. Chaudière à bois.

Dans tous les cas, l'isolation renforcée de l'enveloppe du bâtiment est requise, et la mise en place d'une aération douce contrôlée avec récupérateur est à évaluer de cas en cas.

Le climat et le sous-sol sont enfin les deux paramètres essentiels pour la décision finale.

Pour les villas individuelles, les résultats 1998 montrent que le stockage souterrain à l'échelon de la villa n'est pas vraiment faisable.

Perspectives 1999

Les travaux du TWI vont aboutir sur un rapport final très complet, qu'il faudra utiliser pour motiver un projet pilote.

L'expérience accumulée dans SERSO devrait aboutir à des règles de dimensionnement des installations.

Les limites des possibilités de stockage en aquifère devraient être précisées.

Enfin, il convient de préparer une nouvelle orientation du Programme pour 2000-2003. Compte tenu des résultats décevants sur le stockage saisonnier 1991-1998 et nos trop faibles moyens financiers pour de grands projets, nous souhaitons orienter le travail de recherche vers le stockage solaire court terme dans le but de réduire son coût et son volume. Ceci permettra

en outre de renforcer un pôle de compétence en matière de stockage, dans une Haute École Spécialisée.

Le programme P+D subira encore un manque de projets lié à la crise du bâtiment neuf. Toutefois un projet de grande ampleur se dessine à Root pour la SUVA, qui pourrait absorber tous les moyens financiers à notre disposition. Un stock de plusieurs dizaines de milliers de m³ pourrait être réalisé. Un test de réponse *in situ* devrait être réalisé début 1999 avec deux forages pilotes. Une étude d'optimisation selon une méthodologie analogue au projet *Dock Midfield* devrait être effectuée.

Les solutions de stockage diffusif pour une villa sont peu convaincantes et ne seront plus soutenues à l'avenir.

Liste des projets de recherche

- [1] P. Jaboyedoff, SORANE, *Lausanne: Mesures et calcul des pertes de chaleur de la cuve de stockage de l'installation solaire de l'Ofs à Neuchâtel* (RF)
- [2] P. Stähli, IEM, *Konolfingen: Dienstleistungsgebäude mit Niedrigenergiehausstandart. Gebäude der Firma Thali in Hitzkirch. Messkampagne der EWS Speicher Anlage* (RF)
- [3] B. Lachal, CUEPE, *Genève: RENOVA: Installation solaire active avec injection de chaleur ensous-sol* (RA)
- [4] H. Juzi, TWI, *Winterthur: Saisonale Speicherung von Sonnenenergie im Erdboden zur Wärmeversorgung von grösseren Überbauungen* (RA)
- [5] S. Dupasquier, EPFL-Lausanne: *Faisabilité du stockage de chaleur en aquifère en Suisse* (RA)
- [6] D. Pahud, EPFL-Lausanne: *Energiepfähle für Dock Midfield des Flughafens Zurich. Detaillierte Simulation und Optimierung der Anlage* (RA)
- [7] M. Sommer, HTA, *Burgdorf: SERSO, Sonnenenergie rückgewinnung aus Strassenoberflächen, Messkampagne und Simulation des saisonalen Erdspeichers* (RA)

(RA) Rapport annuel disponible

(RF) Rapport final disponible

Liste des projets P+D

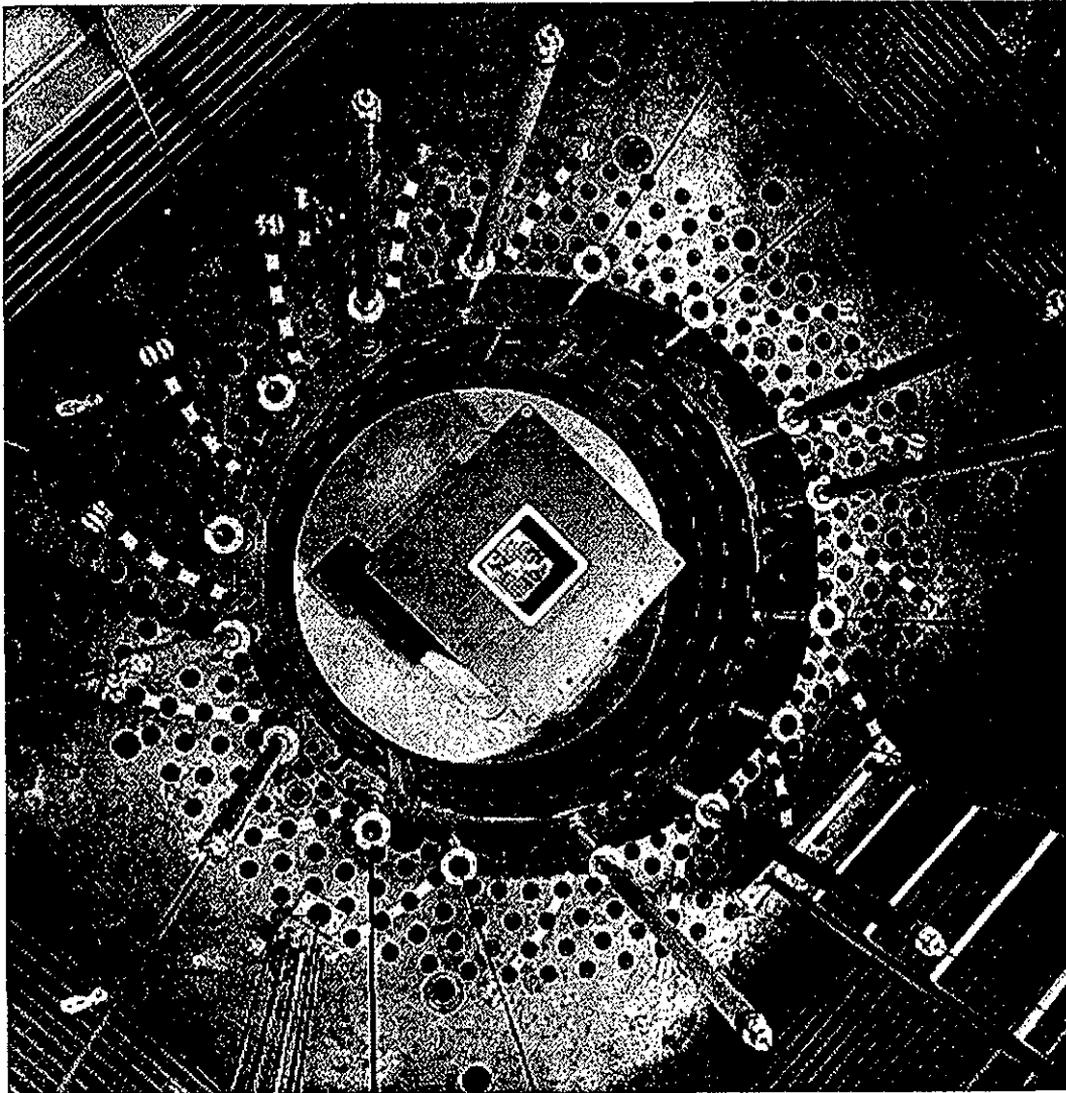
- [8] C. Kapp, NEK UMWELTTECHNIK, *Zurich: Erdwärmesondenfeld (Heizen- Kühlen- Speichern) für den Produktions-Neubau Meister + Co., Wollerau SZ* (RA)
- [9] A. Hemmi, *Unterseen*, M. Blatter-Spaling, *Münchenstein: SOLERI: Erdspeicher für Wohnhaus Hemmi, Unterseen* (RF)
- [10] B. Matthey, BMIC, *Montezillon: Installation solaire pour le collège des Coteaux à Peseux avec stockage saisonnier par sondes verticales et pompe à chaleur à gaz* (RF)
- [11] H. SCHÄR, *St Gallen: Erdspeicheranlage für das Weiterbildungszentrum Hochschule St. Gallen*
- [12] F. Fleury, *Epalinges: Villa solaire avec stockage saisonnier en molasse* (RA)
- [13] P. Léchaire, *Les Brenêts: Maison solaire avec stockage saisonnier central chauffé par capteurs à air* (RA)

- [14] M. Morath, C. Kapp, NEK UMWELTTECHNIK, *Buchrain: EWS-Anlage Tschannland, Buchrain* (RA)
- [15] P. Stähli, IEM, *Konolfingen: Optimierung Gewerbehäus THALI* (RF)
- [16] J. Willers, JOBST WILLERS ENGINEERING, *Rheinfelden: Verwaltungsgebäude Buchenhof, Aarau. Messkampagne des saisonales Erdspeichers* (RA)
- [17] D. Pahud, EPF-Lausanne: *Optimisation d'un stockage de chaleur en dalle active* (RA)

NUKLEARE SICHERHEIT UND ENTSORGUNG

Überblicksbericht
zum Forschungsprogramm 1998

Wolfgang Kröger
kroeger@psi.ch



LWR-Experimente am Nullleistungsreaktor "PROTEUS"

In der umgebauten kritischen Anlage PROTEUS werden ab Herbst 1998 moderne SWR-Brennelemente gemessen. In der offenen Reaktorkaverne ist der quadratische Tank zu sehen, in welchem bis 9 Brennelemente Platz finden. Ringsherum sind die Sicherheits- und Abschaltstäbe angeordnet.

Programmziele

Forschung auf dem Gebiet der nuklearen Sicherheit und Entsorgung in der Schweiz leistet Beiträge zum sicheren Betrieb bestehender Kernkraftwerke (KKW) und zur Entsorgung radioaktiver Abfälle. Im Zentrum des Interesses stehen dabei das Verhalten eingesetzter Materialien und Komponenten mit zunehmender Einsatzdauer sowie Rückhalte-mechanismen eines zukünftigen-Endlagers. Ferner werden neue Anforderungen bis hin zur Nachhaltigkeit an zukünftige Kernanlagen, Brennstoffkonfigurationen und -zyklen aktiv verfolgt: diesbezügliche technische Lösungen werden evaluiert.

Dabei ist die Kompetenz in Schlüsselbereichen an vorderster Front des internationalen Standes von Wissenschaft und Technik zu halten; der Ausbildung von fachlichem Nachwuchs in Kooperation mit den Hochschulen wird besonderer Gewicht beigemessen. In dem genannten Rahmen werden auch wissenschaftliche Fragestel-

lungen bis hin zu Expertisen bearbeitet und wissenschaftliche Dienstleistungen erbracht; der sichere Betrieb der dazu notwendigen Anlagen ist zu gewährleisten.

Der geographische Schwerpunkt dieser Forschung liegt im Bereich "Nukleare Energie, Sicherheit" (NES) des Paul Scherrer Institutes (PSI). Die Hochschulbeiträge konzentrieren sich auf die Lehre; Doktoranden und Diplomierende führen aber ihre Forschungsarbeiten meist am PSI durch. Etwa 50 % der direkten Kosten (Saläre, Investitionen) werden durch die Elektrizitätswirtschaft (UAK und NAGRA), das BfE (bzw. die HSK) sowie dem BBW für die EU-FTE-Rahmenprogramme (für Forschung und technische Entwicklung) gedeckt. BfE/HSK steuern ca. 7 % der Drittmittel bei; darauf geht der nachfolgende Jahresüberblick "Regulatorische Sicherheitsforschung der HSK" nochmals gesondert ein.

Arbeiten und Ergebnisse 1998

SICHERHEITSBEZOGENE BETRIEBS-PROBLEME VON SCHWEIZER KKW

STARS [1]

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

a) Dienstleistungen

Die für die Kernausslegung der Kernkraftwerke Gösgen (KKG), Mühleberg (KKM) und Leibstadt (KKL) eingesetzten reaktorphysikalischen Methoden wurden kritisch begutachtet. Dabei entstand auch ein detailliertes Profil dieser Methoden, das half, die STARS-Methodik im wechselnden kommerziellen Umfeld zu positionieren. Ferner wurde für eine Notfallübung ein hypothetisches Szenario mit RELAP5 analysiert. Aus den Simulationsergebnissen wurden ausgewählte Parameter extrahiert und derart formatiert, dass sie in das ANPA-System eingegeben werden konnten; in einem Notfall übermittelt dieses System dieselben on-line gemessenen Parameter vom KKW an die HSK.

b) Codeimplementierung /-validierung

Das RETRAN-3D Anlagenmodell für KKL wurde vervollständigt. Zur Demonstration seiner Leistungsfähigkeit wurden Simulationsergebnisse mit Messdaten von ausgewählten KKL-Start-up Experimenten verglichen. Die empirischen Modelle zur Dampfgehalt-Berechnung beim unterkühlten Sieden, wie sie als Option in RETRAN-3D und in TRAC-BF1 implementiert sind, lieferten bei grosser und kleiner Unterkühlung gute

Übereinstimmung mit dem gemessenen Dampfblasengehalt (*Void*). Auch das mechanistische Modell für unterkühltes Sieden, des Unterkanal-Moduls VIPRE02 des Codes CORETRAN, lieferte gute Ergebnisse. Das mechanistische Modell von RETRAN-3D (im 5-Gleichungs-Modell) hingegen überschätzte tendenziell den unterkühlten *Void*.

Für typische SWR-Brennelemente wurden in einer Testanlage der japanischen NUPEC Voidverteilungen gemessen und mit dem Unterkanal-Modul von CORETRAN analysiert. Generell stimmen Mess- und Rechenwerte gut überein. Auch die Berechnung der Voidverteilung in Brennelementtypen mit teillangen Brennstäben war ziemlich erfolgreich. CORETRAN erwies sich für die Analyse moderner SWR-Brennelemente als geeignet. Als Mangel wurde die systematische Unterschätzung des Dampfanteils in der Nähe leistungsloser Wasserstäbe identifiziert; er konnte auf ungenügende Modelle der turbulenten Durchmischung wie auch der lateralen *Void-Drift* zurückgeführt werden.

c) Forschungsorientierte Arbeiten

In Zusammenarbeit mit dem Codelieferanten wurde die Formulierung des Massentransfers zwischen den beiden Phasen im 5-Gleichungs-Modell von RETRAN-3D verbessert und somit dessen Anwendungsbereich erweitert. Das Modell basiert neu auf der Berechnung des Wärmetransports zwischen den Phasen, woraus der Massentransfer abgeleitet wird. Für die verschiedenen Strömungstopologien werden spezifische Wärmetransport-Korrelationen benutzt. Die Validierung umfasste Transienten mit schneller Druckentlastung, Druckerhöhung nach Turbinenschnellschluss ohne Bypass sowie einige Kondensationstests.

Die Berechnung der maximalen Hüllrohrtemperatur während eines vereinfachten Kühlmittelverlust-Versuches im französischen OMEGA-Kreislauf demonstrierte die erfolgreiche Implementierung der Methodik SUSAs von GRS zur statistischen Kombination von Codeunsicherheiten; sie bewies gleichzeitig die erfolgreiche Integration von SUSAs in das Simulationswerkzeug RETRAN-3D.

Die Arbeit zur SWR-Stabilität wurde mit einer Untersuchung der regionalen Oszillationen in einigen KKL-Experimenten vervollständigt. Auf der Basis zahlreicher Computersimulationen konnte das Instabilitätsereignis im Reaktor Forsmark-1 erklärt werden.

Human Reliability Analysis (HRA) [2]

Im zweiten Jahr dieses Projektes wurde die Forschungsarbeit auf drei Linien fortgesetzt: Verbesserungen aktueller HRAs in den schweizerischen probabilistischen Sicherheitsanalysen (PSAs), Behandlung der sog. "errors of commission" (EOCs) und dynamische Simulation des Systems Operateur-Anlage.

Auf der Basis detaillierter Analysen anlagenspezifischer Verhaltensbedingungen wurde die HRA-Kalibrierung in einer schweizerischen PSA überprüft. Die provisorischen Resultate lagen in einigen Fällen um eine Größenordnung über den ursprünglich genutzten Wahrscheinlichkeiten; die rekalierten Wahrscheinlichkeiten menschlichen Fehlverhaltens hätten damit einen bedeutenden Einfluss auf die Frequenz eines Kernschmelzens.

In Zusammenarbeit mit dem Projekt STARS wurde eine dynamische Operateur-Anlage-Simulation entwickelt. Eine Schnittstelle zur Kopplung von RETRAN mit dem Operateurmodell OPSIM wurde getestet, und eine Architektur für das integrierte Simulationswerkzeug ausgelegt und implementiert.

Das PSI setzte sein Engagement innerhalb der neuen HRA-Aufgabe des OECD-NEA/CSNI fort. Das koordinierte Forschungsprogramm der IAEA für HRA-Daten wurde abgeschlossen. Im 1998 ist das PSI einer EU-Concerted Action zur integrierten Sequenzenanalyse und neuen HRA-Ansätzen beigetreten.

Parallel zum Forschungsprogramm unterstützt das PSI die HSK durch Reviews der HRAs, welche die Anlagenbetreiber als Teil ihrer PSAs der HSK unterbreiten (sog. *On-call*-Arbeit).

LWR-PROTEUS [3]

Ziel des Projektes ist die Erzeugung experimenteller Daten zur Validierung von Rechencodes für die Analyse und Auslegung moderner Brennelemente und Reaktor-kernkonfigurationen. Dadurch lassen sich Unsicherheitsmargen reduzieren und eine bestmögliche Ausnutzung von Brennstoff und Anlage erreichen.

Neu bei den LWR-PROTEUS Experimenten ist, dass statt der üblichen *mocked-up* Gitter jetzt richtige Leistungsreaktor-Brennelemente als Testbrennstoff ver-

wendet werden, die später im KKL eingesetzt werden. Neben technischen Vorteilen (Realitätsnähe und Übertragbarkeit der Ergebnisse) ermöglicht dies auch Ersparnisse bei Ver- und Entsorgung vom Testbrennstoff. Dieses Forschungsprogramm, im Umfang von ca. 12 MCHF, wird hälftig vom PSI und den schweizerischen KKW finanziert.

Das neue Programm zur Messung von Reaktivitätseffekten und lokalen Leistungs- und Reaktionsraten-Verteilungen wurde durch die erste Kritikalität der umgebauten PROTEUS-Anlage, am 17.11.98, markiert. Umfangreiche Rechnungen zeigten, dass in gewissen Fällen Streuungen in den Brennstableistungen um bis zu 8 % vorkommen können. Verglichen mit der angestrebten Messgenauigkeit von 0.5 % zeigen diese Resultate, dass ein grosses Potential besteht, Rechenunsicherheiten durch Messungen zu reduzieren.

Die Auslegungsrechnungen haben die gemessene kritische Brennstoffladung überschätzt. Dies war für deterministische Rechenprogramme bei so komplexen Ganzreaktor-Anordnungen zu erwarten; die Überschätzung um 0.5 % bei Monte Carlo Rechnungen war allerdings eher überraschend. Diese Differenzen haben jedoch keinen Einfluss auf die Messgenauigkeit in der Testzone oder auf deren Übertragbarkeit auf Leistungsreaktoren.

Die Reaktorleistung ist zunächst auf 10W bzw. 1 % der maximalen Leistung begrenzt. Sie wird auf 100W und anschliessend auf 1kW erhöht, sobald die entsprechenden HSK Auflagen (Dosisleistungsmapping, zusätzliche Abschirmung usw.) erfüllt sind.

LWR-Kontamination [4]

Ziel des Projektes LWR-Kontamination sind Studien zur dominierenden Rolle der Wasserchemie in Reaktorsystemen für die Aktivitätsaufnahme (und damit für die Strahlenexposition) und für das Alterungsverhalten von Komponenten.

1998 wurden die Untersuchungsmethoden für Korrosions- und Kontaminationsvorgänge unter LWR-Bedingungen wesentlich verbessert und erweitert. Die PSI-Labors sind nun mit drei verschiedenen Instrumenten ausgestattet, die alle relevanten elektrochemischen Korrosionsuntersuchungen ermöglichen. Zwei Autoklaven wurden so modifiziert, dass insgesamt acht Proben unabhängig voneinander polarisiert werden können. Ferner wurde eine Hochtemperatur-Referenzelektrode entwickelt und verbessert.

Bei den HSK *On-Call*-Aufträgen standen die Fälle erhöhter Schattenkorrosion in der Nähe von Abstandhaltern einiger Brennelemente im Fokus. Hersteller und Betreiber haben Gegenmassnahmen vorgeschlagen, um zukünftig Schattenkorrosion zu vermeiden, ohne die Strahlenfelder im Rezirkulationskreislauf zu erhöhen. Das PSI überprüfte diesen Vorschlag und verglich ihn mit dem aktuellen Stand der Technik.

Proben austenitischen Stahls wurden über fünf Tage SWR-Bedingungen ausgesetzt, unter Zugabe bivalenter

Metall-Ionen in das Wasser. Dadurch sollten die Mitigationseffekte von Wasseradditiven auf den Aktivitätsaufbau in den Oxidschichten des Stahls, analog zur Zinkzugabe, untersucht werden. Es zeigte sich, dass die Wasseradditive einen grossen Einfluss auf die Zusammensetzung der Korrosionsschichten, ihre Halbleitereigenschaften, die Oxidschichtdicke und ihren Kontaminationsgrad haben.

Unter genau bekannten hydrodynamischen Bedingungen in einem *Couette*-Autoklav wurden elektrochemische Potentialmessungen am "interface" ferritischer und austenitischer Stahlproben mit Wasser unter heissen Bedingungen vorgenommen. Der Einfluss der Strömungscharakteristik ausgedrückt in der Reynoldszahl auf das ECP konnte bei verschiedenen Konzentrationen von Sauerstoff in der Wasserströmung und verschiedenen Fluidtemperaturen ermittelt werden. Es ist grundsätzlich möglich, jene Strömungstopologien zu identifizieren, in welchen das ECP von der Sauerstoffdiffusion kontrolliert wird.

Mit einem modifizierten Ionenaustauschmodell wurde der Aktivitätsaufbau auf elektropolierten und voroxidierten Proben aus austenitischem Stahl unter Heisswasser-Bedingungen beschrieben. Die Transferkoeffizienten wurden mittels Tracerversuche in einem statischen Autoklav bestimmt. Ferner wurde ein Transportmodell der Kontamination durch Kolloide aufgestellt, das den partikelgebundenen Teil des Aktivitätstransportes berücksichtigt.

EDEN [5]

Forschung im Rahmen des Projekts EDEN war auf die folgenden Schwerpunkte konzentriert und wurde vor allem durch die schweizerischen KKW und internationale Reaktorhersteller finanziell unterstützt.

a) *Korrosion und H₂-Aufnahme von Hochabbrand Zircaloy-Hüllrohren*

Die beobachtete beschleunigte Schattenkorrosion in Abstandhalter-Nähe hat weltweit für Aufmerksamkeit gesorgt. Als Ursache wurden ungünstige Wasserchemiebedingungen bzw. für diese Bedingungen wenig geeignetes Hüllrohrmaterial identifiziert. Nach einem Betriebszyklus unter optimierten Bedingungen wurden nun erste Hüllrohre untersucht: Die Abhilfemassnahmen erwiesen sich als wirksam; die Korrosionsraten im Abstandhalterbereich reduzierten sich merklich. Das modifizierte Hüllrohrmaterial verhält sich befriedigend, vor allem zeigt es sehr geringe H₂-Aufnahme. Trotz dieses Erfolgs ist der Basismechanismus der beschleunigten Schattenkorrosion noch ungeklärt.

Arbeiten zum (Korrosions-)Verhalten sich in Entwicklung befindender Hüllrohrwerkstoffe unter DWR-Bedingungen wurden fortgeführt und zwar mit der Prüfung von sog. Duplex-Hüllrohren nach einem Abbrand von bis zu 65 MWd/kgU fortgesetzt. Zr-Legierungen mit sehr niedrigem Zinngehalt bzw. Zr-Nb-Legierungen zeigten sehr niedrige Korrosionsraten und demzufolge

auch eine geringe H₂-Aufnahme.

Eine Doktorarbeit zur Bestimmung des Einflusses der Grössenverteilung von Sekundärteilchen des Typs Zr(Fe.Cr)₂ auf die Korrosion liefert Beiträge zum Verständnis des Korrosionsmechanismus von Zircaloy. Das Oxidschichtwachstum konnte mit elektrochemischer Impedanzspektroskopie in Autoklaven bei 350°C und 170 bar in-situ verfolgt werden

b) *Mechanisches Verhalten von hoch-Abbrand Brennstabhüllrohren*

Strahlung beeinflusst die Hüllrohrfestigkeit und -duktilität; Korrosion wiederum führt zur Wandschwächung und H₂-Aufnahme im Metall, was vor allem die Duktilität beeinflusst. Nach der Untersuchung der Zugfestigkeit in axialer Richtung fanden nun Berstversuche an reaktorbestrahlten Brennstabsegmenten statt. Aufgrund der starken Textur im Gefüge des Materials können die Eigenschaften in axialer Richtung nur bedingt zur Beurteilung des Verhaltens unter aktuellen Bedingungen herangezogen werden. Berstversuche mit ihrer Hauptbelastung in Umfangsrichtung sind praxisnäher und liefern damit relevantere Daten. Dafür wurde eine abgeschirmte Prüfzelle in Betrieb genommen, in der bestrahlte, brennstoffbehaftete Rohrsegmente bei Bedingungen bis 1500 bar und bis 350°C geprüft werden können. Dabei wurde auch ein Aufnehmer zur Messung der Umfangsdehnung während der Druckaufbringung entwickelt und gebaut. Die Untersuchungen zeigten den starken Einfluss der Strahlung auf die Hüllrohrduktilität auf. Hingegen war der Einfluss von H₂ bis etwa 1000 ppm unwesentlich. Andererseits erwiesen sich kleine H₂-Ansammlungen, wie sie an Oxidabplatzungen auftreten, als schädlich und führten zu stark reduzierten Berstdrücken.

c) *Ursachen und Mechanismen von Brennstabschäden*

Das Brennstabversagen, in der Regel von kleinen Primärdefekten ausgehend, kann zu langen axialen Rissen oder Brüchen in Umfangsrichtung führen und hat das Auswaschen grösserer Brennstoffmengen zur Folge. Trotz deutlicher Reduktion der Brennstoffschädenhäufigkeit in den letzten Jahren und Zurückführung der meisten Primärdefekte auf Reibschäden, bedürfen andere Schadensursachen einer sorgfältigen Untersuchung, um möglichen Auslegungsfehlern vorzubeugen. Dazu wurde ein SWR-Brennstab mit nur einem Primärdefekt und Hydrierungserscheinungen untersucht, der noch nicht aufgeplatzt ist. Der Primärdefekt wurde durch visuelle und elektrische Methoden lokalisiert. Der Zustand der Brennstofftabletten im Bereich des Defekts wie auch die Hydridausbildung längs der Stabachse infolge Dampfreaktion mit Hüllrohr und Brennstoff wurde erstmals mittels n-Radiographie an der NEURAP-Anlage der SINQ abgebildet. 70 cm lange bestrahlte Stabsegmente wurden in einen dichten Aluminiumbehälter eingeschlossen und mit einem Abschirmbehälter zur SINQ transportiert. Dort erfolgt die Durchstrahlung

der Proben ohne Öffnen des Al-Behälters und so wird jede Kontamination vermieden. Trotz des sehr komplexen Verfahrens wurden in etwa einem Monat 3 Experimente durchgeführt.

d) *Strahlungsinduzierte Spannungsrisskorrosion (IASCC)*

IASCC wurde meist nur in der Wärmeeinflusszone von Schweissnähten mit hohen Eigenspannungen, sensibilisiertem Gefüge und starkem Gradienten in den Eigenspannungen beobachtet. Der Einfluss der Strahlung auf diese Parameter muss bekannt sein, um das Bruchphänomen zu verstehen. Strahlung führt einerseits zu einer Relaxation der Eigenspannungen, andererseits zu einer Festigkeitssteigerung, Abnahme der Duktilität und Korngrenzensegregation. Das Zusammenwirken dieser Effekte ist bisher nicht untersucht. Es wird deshalb vorgeschlagen, den Eigenspannungsverlauf als Funktion der Strahlung mittels n-Diffraktometrie an der SINQ zu verfolgen und gleichzeitig die Entwicklung der Mikrostruktur mit den am Hotlabor verfügbaren Mitteln zu analysieren.

Die Entwicklung der Mikrostruktur und des Deformationsverhaltens infolge n- und p-Bestrahlung an rostfreien Stählen wurde im Rahmen einer Doktorarbeit studiert. An Kleinzugproben wurde mittels Transmissionselektronenmikroskopie das für bestrahltes Material charakteristische Deformationsverhalten (Ausbildung von Versetzungsbändern) erfasst und mit der Risskeimbildung an den Korngrenzen korreliert.

Seit 1998 beteiligen sich das PSI und die Schweizer KKW am CIR-Projekt (Co-operative IASCC Research), das von EPRI geführt wird. PSI vertritt hierbei die Schweizer Interessen.

Bauteilsicherheit [6]

Das Projekt Bauteilsicherheit untersucht die Strukturintegrität sicherheitsrelevanter KKW-Komponenten unter besonderer Berücksichtigung von Alterungsvorgängen. Der Einfluss mechanischer Lasten und der Umgebung (Wasserchemie, Strahlung) auf mikrostrukturelle Werkstoffveränderungen, deren Früherkennung und Schadensvorhersage mit fortschrittlichen Modellen stehen im Mittelpunkt der Forschung.

Das Teilprojekt "Spannungsrisskorrosion" (SpRK, mit finanzieller Unterstützung der HSK) hat zum Ziel, das Verhalten von Reaktordruckbehälter (RDB)-Stählen, die im Betrieb dem Reaktorkühlwasser ausgesetzt sind, zu untersuchen. Im Vordergrund steht die Ermittlung gesicherter quantitativer Daten zum Risswachstum infolge SpRK unter Normalbetriebsbedingungen eines Siedewasser-Reaktors (SWR). Unter konservativen Versuchsbedingungen wurden sehr geringe Risswachstumsraten unter statischer Belastung von $<10^{-11}$ m/s (<300 $\mu\text{m}/\text{Jahr}$) bis zu hohen Werten des Spannungsfaktors (<60 $\text{MPa m}^{1/2}$) ermittelt. Schnelles langanhaltendes SpRK-Risswachstum (>1 cm/Jahr) kann nur bei stark verunreinigtem Wasser deutlich ausserhalb

der SWR-Normalbetriebsbedingungen oder bei stark überbelasteten Proben (>80 $\text{MPa m}^{1/2}$) vereinzelt festgestellt werden. Zur Überprüfung und breiteren Absicherung neuerer Daten zum korrosionsgestützten Risswachstum unter SWR-Bedingungen wurde zwischen 1996 und 1998 ein internationaler Ringversuch in Zusammenarbeit mit dem Technischen Forschungszentrum VTT (FIN), der MPA Stuttgart und SIEMENS/KWU (beide D) durchgeführt. In den Experimenten aller Labors wurde kein technisch relevantes Risswachstum beobachtet. Die experimentelle Datenbasis des PSI zur SpRK von RDB-Stählen unter SWR-Bedingungen ist derzeit eine der umfangreichsten weltweit (=800 Datenpunkte). Die PSI-Daten wurden dem EPRI zur Verfügung gestellt, das zurzeit in Zusammenarbeit mit internationalen Experten Grenzkurven ("*Disposition Lines*") zur Bewertung der Strukturintegrität von KKW-Komponenten entwickelt. Basierend auf den experimentellen Erkenntnissen wurde ein bestehendes Modell für die Auflösungszelle, für den Stofftransport im Risskanal und für die lokalen mechanischen Vorgänge am Rissgrund. Die Modellierungsergebnisse stützen den experimentellen Befund, dass bei statischer Belastung in Heisswasser hoher Reinheit ein mögliches Risswachstum zeitlich limitiert ist und nach Lastaufbringung zum Stillstand kommt.

Das EU-Projekt REvisa befasst sich u.a. mit der Übertragung von Deformationsverhalten und Versagenskriterien von kleinen Laborproben auf dickwandige Bauteile. Der PSI-Anteil am Projekt umfasst experimentelle Arbeiten mit unterschiedlichen Biege- und Zugproben, mikrostrukturelle Untersuchungen zur Phasentransformation an RDB-Stählen und Verifizierung von fortschrittlichen Schädigungsmodellen. Die Messung des Deformationsverhaltens an den grössten Biege- und Zugproben unter einer Last von ca. 100t ist abgeschlossen. Es liegen Ergebnisse von Proben mit unterschiedlichen Kerben, Dehnungsgeschwindigkeiten und Temperaturen vor. Das lokale Dehnungsfeld in Kerbnähe wurde mittels Speckle-Interferometrie bestimmt. Neuartig sind Messungen direkt im Kerbgrund mit Dehnungsmessstreifen und Speckle-Messtechnik. Sie geben Auskunft über den Ort und die Last der Rissentstehung. Die Ergebnisse an den Grossproben dienen als Referenzdaten für alle weiteren Untersuchungen an den kleinen und mittleren Werkstoffproben sowie als Basis zur Verifizierung der schädigungsmechanischen Modelle. Zur Charakterisierung des RDB-Stahls bei höheren Temperaturen (600-1000°C) wurden die Untersuchungen zur Phasentransformation abgeschlossen. Durch Messung der Wärmedehnungen und des elektrischen Widerstandes sowie durch metallografische Untersuchungen konnten die mikrostrukturellen Veränderungen und physikalischen Eigenschaften in diesem Temperaturbereich erforscht werden. Dabei wurde festgestellt, dass sich der Übergang Ferrit / Austenit nicht sprunghaft sondern in einen breiten Temperaturbereich von 600°C bis 800°C vollzieht und für die einzelnen RDB-Stähle (D, F, RUS)

sehr unterschiedlich ausfällt. Die mikrostrukturellen Untersuchungen zeigen, dass der Cr-Gehalt eine entscheidende Rolle spielt.

Forschung zu schweren Unfällen [7]

Diese Forschung zielt auf ein besseres Verständnis von Phänomenen bei schweren Reaktorunfällen, um radioaktive Freisetzungen in die Umgebung (Quellterme) genauer abzuschätzen und vorgeschlagene *Accident Management*-Massnahmen bewerten zu können.

CONGA ist ein Projekt des 4. EU-Rahmenprogramms in Zusammenarbeit mit SIEMENS (D), ENEL und CISE (I), JRC-Ispra (CEC) und CIEMAT (E). Der PSI-Beitrag besteht im Studium der Ablagerung von Aerosolpartikeln auf Wärmetauscherrohren und des Aerosolverhaltens in kondensierender Dampfatmosfera; dabei gelangen zwei verschiedene Wärmetauschermodelle zum Einsatz. Ein Wärmetauscher (ausgelegt von ENEL) soll dazu dienen, die Nachwärme aus dem Containment eines noch nicht näher bestimmten DWR abzuführen, ein anderer aus jenem des fortschrittlichen SWR-1000 von SIEMENS. Beide Kondensatoreinheiten befinden sich direkt im *Containment* und werden ohne Operateureingriff in Gang gesetzt. Die Nachwärme soll auch bei schweren Unfällen abgeführt werden, also auch bei Vorhandensein von Aerosol. Der Dampf mit dem Aerosolstrom wird nicht durch Rohre geführt, sondern es kann sich eine freie Konvektion im *Containment* einstellen. Die drei ersten Experimente mit wasserunlöslichen Aerosolpartikeln zeigten, dass die Wärmeabfuhr durch Aerosolablagerungen auf dem Kondensatorrohr deutlich vermindert wird. In weiteren Versuchen werden die thermohydraulischen Parameter so variiert, dass die Bedingungen dem Einsatz des Kondensators im SWR-1000 entsprechen.

Das PSI ist Partner im internationalen Projekt Phebus-FP zur quantitativen Bestimmung der Spaltprodukte, die bei einem Kernschmelzunfall freigesetzt würden. Das Zentrum (21 Brennstäbe) des Kerns des Forschungsreaktors PHEBUS im CEA-Cadarache wurde so konstruiert, dass seine Kühlung absichtlich so lange gedrosselt werden kann, bis die zentralen Brennstäbe zerstört werden und abschmelzen. Zwei Versuche wurden bereits durchgeführt. Beim folgenden dritten Versuch (FPT-4) werden Kernbrennstoff und Hüllrohrmaterial so stark aufgeheizt, dass sich am Boden der Testsektion ein See aus Kernschmelze bildet und eine besonders hohe Freisetzung von Spaltprodukten zu erwarten ist. Um sie messtechnisch zu erfassen und um ihre Verbreitung in der Reaktoranlage zu verhindern, müssen die partikelförmig freigesetzten Spaltprodukte und Strukturmaterialien in feinporigen gesinterten Keramikfiltern vollständig zurückgehalten werden. Diese Filter sollen einerseits als Absolutfilter wirken, andererseits dürfen sie nach Beladung keinen zu grossen Strömungswiderstand bilden. Hinzu müssen sie bei Temperaturen von über 1000°C funktionieren. Angesichts der hohen Kosten dieses Experimentes (50 MCHF) kommt der sorgfältigen Auswahl und dem Te-

sten der Filter eine wichtige Rolle zu. Das PSI ist imstande, Aerosolpartikeln auch in einem 1000°C heissen Gasstrom zu transportieren, durch die PHEBUS-Filter zu leiten und genau zu vermessen. Nach Tests verschiedener Filter bei Raumtemperatur, wurde das beste Filter ausgesucht und Empfehlungen für die Qualitätssicherung vor dem nächsten PHEBUS-Test formuliert. Anschliessend wurden diese Filter bei einer Gastemperatur von 900°C getestet. Zwei weitere Tests bei 250°C bezogen sich auf ein grösseres Absolutfilter, das ebenfalls in FPT4 zum Einsatz kommen wird, und auf Ventile, die die Wege zu den Filtern steuern. Die Konstruktion der Ventile musste geändert werden, weil sie von Aerosolpartikeln zugesetzt wurden. Entsprechende Versuche bei Temperaturen um 900°C wurden erfolgreich durchgeführt. Dank dieser Testergebnisse kann der Versuch FPT-4 im Jahr 1999 durchgeführt werden.

Entsorgung radioaktiver Abfälle [8]

Ziel dieser Arbeiten ist es, Modelle zu entwickeln und zu testen, sowie ausgewählte Daten zu erheben im Hinblick auf Sicherheitsanalysen für Endlager radioaktiver Abfälle. Die Schwerpunkte bilden die Weiterentwicklung des Verständnisses sicherheitsrelevanter Mechanismen und Prozesse, welche die Freisetzung von Radionukliden aus dem Abfallgut, ihren Transport durch das künstliche Barrierensystem und das Endlagerfernfeld bestimmen. Die Kompetenzfelder liegen auf dem Gebiete der Chemie des Endlagersystems und des Radionuklidtransportes inklusive der Retardierung. Die Arbeit wird im Auftrage der Bundesbehörden und in enger Zusammenarbeit mit der Nagra durchgeführt, welche sie auch finanziell unterstützt. Das PSI ist auch auf diesem Feld mit einer ganzen Anzahl in- und ausländischer Institutionen durch Zusammenarbeiten verbunden.

Als erstes seien Arbeiten genannt, welche direkt in die Sicherheitsanalyse einfließen. Im Hinblick auf das geplante Lager für schwach- und mittelaktive Abfälle in Wellenberg (SMA-Lager) wurden Sorptionsdatenbasen publiziert für Zement, ungestörten Mergel und Mergel, welcher durch die Zementporenwässer hohen pH's des Endlagers umgewandelt ist. Das PSI hat auch an der umfassenden IAEA-Studie über die radiologische Situation auf den Atollen Mururoa und Fangataufa mitgewirkt durch Untersuchungen zur Freisetzung der Radionuklide aus den durch die Explosion erzeugten Kavernen und zum Radionuklidtransport durch die geologischen Schichten.

Ein die Endlagersicherheit möglicherweise beeinträchtigender Effekt ist ein durch Kolloide begünstigter Nuklidtransport. Es wurden Messungen der Kolloidkonzentration an grossen (an der ETHZ installierten) mit Mörtel gefüllten Säulen durchgeführt. Die Ergebnisse aus früheren Reagenzglasmessungen am PSI haben sich dabei bestätigt: Die Kolloidkonzentration im Verfüllmaterial ist niedrig und die Kolloide beeinflussen den Nuklidtransport unwesentlich.

Die Hauptuntersuchungen zum Einfluss von Zellulose-Abbauprodukten, die in einem Teil der SMA-Abfälle enthalten sind, auf Speziation und Sorption von Radionuklidern wurden abgeschlossen. Die nachteiligen Effekte von Zelluloseabbau zeigten sich dabei weit geringer als erwartet. Einige verbleibende Fragen wurden im Berichtsjahr abgeklärt: Als erstes wurde das β -Isomer der Isosaccharin-Säure isoliert; es bildet wesentlich weniger stabile Metallkomplexe als das α -Isomer. Zweitens wurden die Wirkung von Strahlung auf den Abbau untersucht und Grenzen für ihren Einfluss abgeleitet.

Andere organische Materialien im Zement sind Betonzusatzmittel. Basierend auf Vorversuchen wurden zwei Substanzkategorien, Naphtalin- und Ligninsulfonat, ausgewählt für umfassende weitere Untersuchungen. Ihre Isotherme zeigt ein klassisches Langmuir-Sorptionsverhalten. Untersucht wird auch Gluconat, das bei der Verfestigung von Abfällen am PSI verwendet wird. Seine Sorption kann durch eine Langmuir-Isotherme mit zwei Sorptionsstellen beschrieben werden. In Anwesenheit von Gluconat vermindert sich die Sorption von Eu(III) und Th(IV) auf Zement, aber erst bei wesentlich höheren Konzentrationen, als es für die Sorption auf Calcit beobachtet wurde.

Das Wirtgestein Opalinuston hat erste Priorität für ein Endlager hochaktiver Abfälle. Daher wurden die PSI-Untersuchungen wesentlich auf Tongesteinen ausgerichtet, und das PSI ist nun auch eine Supporting Research Organisation im Rahmen des Mont Terri Projektes. Die Zusammensetzung des Porenwassers in Opalinuston wurde aufgrund von Feldmessungen und Auslaugexperimenten am Gestein evaluiert. Während die Modellierung der Auslaugexperimente die Konzentration von Na, Mg, Ca und Sr zuverlässig voraussagen kann, sind Labordaten nicht genügend, um die Carbonatchemie eindeutig festzulegen.

Sorptionsmessungen auf Opalinuston für Cs, Sr, Ni, Eu und Th wurden ergänzt durch Untersuchungen der Sorptionsmechanismen auf Montmorillonit, Kaolinit und Illit. Die experimentellen Methoden umfassen neben der Analyse in wässriger Phase auch Oberflächenuntersuchungen mit TEM und EXAFS, beide in Zusammenarbeit mit CEA bzw. FZR. Die Übereinstimmung mit früher entwickelten Modellen zur Beschreibung von Sorptionsisothermen sowie pH- und Ionenstärkeabhängigkeiten ist sehr gut.

Der Opalinuston kann sich wie eine semipermeable Membran verhalten, und daher können irreversible thermodynamische, sog. Onsager-Prozesse den Radionuklidtransport beeinflussen. Beunruhigend ist insbesondere die Osmose. Es konnte nun gezeigt werden, dass der Beitrag der thermischen Osmose durch eine Veränderung im Darcy-Fluss kompensiert wird. Die Gründe dafür liegen im wesentlichen in der Erhaltung der Wassermenge im Referenzvolumen.

Die Modellierung des Transportes in gespaltenen Gesteinen hat auf zwei Bereichen Fortschritte gemacht. Als

erstes wurde die neue Version des Codes PICNIC weiter verifiziert und eine Methode entwickelt, um grosse Netzwerke von Spalten effizient zu behandeln. Zum zweiten wurde die PSI-Beteiligung in der Äspö *Task Force* zur Validierung von Transportmodellen fortgesetzt. Erneut haben die eigenen Vorhersagen mit experimentellen Messungen recht gut übereingestimmt. Für mässig sorbierende Tracer war eine sorgfältige Berücksichtigung der Struktur und Mineralogie der wasserführenden Zonen wichtig, was die Notwendigkeit der Zusammenarbeit von Wissenschaftlern verschiedener Disziplinen aufgezeigt.

SICHERHEITSBEZOGENE MERKMALE ZUKÜNFTIGER REAKTORKONZEPTE

Fortgeschrittene Brennstoffzyklen [9]

Verantwortungsvolle Ressourcennutzung sowie Reduktion von Abfallvolumina und -toxizität sind u.a. Prinzipien einer "nachhaltigen" Entwicklung im Energiesektor. Das Projekt Fortgeschrittene Brennstoffzyklen wird davon geleitet und leistet analytische und experimentelle Unterstützung bei der Actinidenrecycling. Die F&E-Beiträge des Projektes lassen sich nach Zeithorizont und möglichen Anwendung ordnen:

- Maximierung der Ressourcennutzung durch Untersuchung des Brennstoffverhaltens bei hohem Abbrand und der Pu-Rezyklierung in heutigen LWR.
- Machbarkeitsuntersuchung für "Inertmatrix-Brennstoffe" (IMF) zur Pu-Vernichtung.
- Evaluation der Rezyklierung von Actiniden und langlebigen Spaltprodukten in schnellen Reaktoren oder beschleunigergetriebenen Systemen in ferner Zukunft.

Die detaillierte Untersuchung der keramischen Struktur, des Spaltproduktverhaltens und der Radialverteilung von Spaltprodukten und Actiniden in bestrahltem Hochabbrand-MOX aus schweizerischen KKW im Rahmen der Programme FIGARO und ARIANE bestätigen, dass sich MOX und UO₂ vergleichbar verhalten. In einer Optimierungsphase von ARIANE wurden die Ursachen von Abweichungen in der Bestimmung der Isotopenvektoren von U, Pu und Nd gesucht. Die Messergebnisse konnten durch Erhöhung der Zahl der Messungen, Zugabe von Referenzmaterialien und Bestimmung der Massendiskriminierung für Standardlösungen mit zwei massenspektrometrischen Methoden (TIMS und ICP-MS) signifikant verbessert werden. Fortschritte wurden bei der Bestimmung der Radialverteilung von Gd-Isotopen verzeichnet, die als abbrennbare Gifte in SWR-Brennelementen eingesetzt werden. Erstmals wurde bestrahlter Brennstoff in der neuen SIMS untersucht, und die Resultate zeigten eine ausgezeichnete laterale Auflösung und sehr gute Sekundärionenausbeute. Bei der Modellierung des integralen Stabverhaltens wurde der von EPRI neu beschaffte Code FREY eingesetzt, der Reaktivitätsunfälle (RIA) und Kühlmittelverlust-Störfälle (LOCA) modellieren kann. Die Grund-

datendazu lieferte der Code TRANSURANUS.

Als wissenschaftliche Dienstleistung für KKL wurden frühere Kernsimulationsstudien mit dem Codesystem CASMO-4/SIMULA-TE-3 auf neuere Zyklen erweitert. Dabei stimmten detaillierte Analysen der stabweisen Leistungsverteilungen mit Messungen der *Traversing Incore Probes* gut überein. In einer Kritikalitäts-Parameterstudie für KKG wurde der Effekt des Herausziehens einzelner Stäbe aus einem hochangereicherten UO_2 -Brennelement in einer unendlichen Wasserzone ermittelt. Im Auftrag des KKB wurde die maximalzulässige ^{235}U -Anreicherung in frischen UO_2 -Brennelementen ermittelt, die zusammen mit abgebrannten Elementen nach einem Zyklus im Kompaktlagerbecken von KKB gelagert werden.

IMF zielen auf die Verbesserungen der etablierten Rezyklierung von Plutonium in LWR. Der Anteil Pu-haltiger Elemente in einem LWR-Kern im sog. "self-generated mode" kann von 1/3 auf 1/8 reduziert werden, wenn das Plutonium statt in abgereichertes UO_2 in eine inerte Matrix eingebaut wird. Die Laborausstattung zur IMF-Tablettenherstellung wurde vervollständigt und der Einsatz zweier Herstellungsmethoden solcher Multi-komponenten-Keramiken (Zr,Y,Er,Ce-Oxide) ausgehend von Nitratlösungen wurden untersucht. Verhandlungen mit dem *Korean Atomic Energy Research Institute* und mit dem OECD Halden Reaktor Projekt zur Herstellung von Testmaterialien für einen Bestrahlungsversuch haben zur Unterzeichnung entsprechender Vereinbarungen geführt.

Nach früheren reaktorphysikalischen Studien ist es möglich, gemischte UO_2 /IMF-Reaktorkerne mit sehr hohen Pu-Verbrauchsraten in den IMF-Stäben auszuliegen, die heutige Betriebsanforderungen (d.h. Zykluslänge, Borkonzentration, etc.) erfüllen. Für eine eventuelle demonstrationsartige Bestrahlung vereinzelter IMF-Stäbe in einem UO_2 -Umfeld wurde mit einer Parameterstudie ein optimal gemischtes IMF/ UO_2 -Brennelement spezifiziert.

Forschung zu zukünftigen Konzepten findet in Zusammenarbeit mit dem neu strukturierten Japan *Nuclear Fuel Cycle Development Institute* und dem CEA statt. Erste Versuche mit Plutonium und Neptunium zur Fabrikation von Mikrokugeln nach einem vereinfachten Verfahren mit reduzierter Anzahl von Prozessschritten wurden abgeschlossen. Die Produkte wurden charakterisiert und dabei neue Techniken für die Interpretation der Poren mittels einer optischen Analysenmethode angewandt. Die Rechencodes für das thermische Brennstabverhalten wurden beschrieben und das neue Verständnis des Sinterungs- und Neckbildungsprozesses zeigte das ausserordentlich gutmütige und selbstregulierende Verhalten solcher Brennstoffformen im Reaktor, was auch anhand von experimentellen Erkenntnissen aus Bestrahlungsexperimenten bestätigt wird. Das neue Modellierwerkzeug "SPHERE-2" wurde erfolgreich auf

Karbid-Bestrahlungstests und den Leistungstransienten-Tests im Materialtestreaktor Halden angewandt.

Das dritte ATHENA-Bestrahlungsexperiment wurde erstmals mit einem dünnen NpO_2 -Target durchgeführt. Erste Resultate aus γ -Scanning-Messungen weisen darauf hin, dass sowohl die Strahldosis als auch die Fluenz auf dem Target um einen Faktor von etwa 2 höher waren als beim zweiten Experiment.

Passive Wärmeabfuhr (ALPHA) [10]

Das Projekt ALPHA untersucht experimentell und analytisch die langfristige Nachwärmeabfuhr aus dem *Containment* fortgeschrittener LWR mit Hilfe passiver Systeme. 1998 war das Projekt Teil dreier Aktivitäten (IPSS, TEPSS und INCON) innerhalb des 4. EU-FTE-Rahmenprogrammes in Zusammenarbeit mit europäischen Expertengruppen. Hinzu kamen zwei neuen Arbeiten: Ein internationales Standardproblem (PANDA ISP-42), das vom PSI unter Koordination des Committee for the Safety of Nuclear Installations (CSNI) der OECD/NEA durchgeführt und finanziell vom PSEL unterstützt wird, und "in-kind" – Beiträge zum Projekt *European Simplified Boiling Water Reactor* (ESBWR), die Bestandteil eines neuen Vertrags mit dem UAK sind.

a) IPSS (European BWR R&D Cluster for Innovative Passive Safety Systems)

Mitte 1998 wurde die PANDA-Anlage modifiziert, um die langfristige passive Containmentkühlung durch einen sog. Plattenkondensator untersuchen zu können. Parallel zu den ersten erfolgreich durchgeführten Tests wurden die analytischen Untersuchungen fortgesetzt mit dem Ziel, zusätzliche Erfahrung in der Voraussage des realen Anlagenverhaltens zu gewinnen und die Zuverlässigkeit der genutzten analytischen Modelle und Werkzeuge zu beurteilen.

Nach Abschluss der RELAP5-Berechnungen wurden primär Rechnungen mit dem 3D Containmentcode GOTHIC und dem CFD-Code CFX-4 durchgeführt. Sie bezogen sich auf einige bei den verschiedenen PANDA Testreihen identifizierte kritische Phänomene (z. B. Mischung und Stratifizierung von Dampf und nicht-kondensierbaren Gasen, Kondensatorverhalten, Mischung und Stratifizierung in Wasserbecken). Dabei wurden Phänomene identifiziert und klassifiziert, die mit den vorhandenen Werkzeugen vorausgesagt werden können (z. B. Mischung von Gas oder Wasser), und solche, die schwer voraussagbar sind (z. B. auftriebsinduzierte Stratifizierung mit GOTHIC). Generell enthält GOTHIC bereits die meisten benötigten Modelle, hat aber gewisse Begrenzungen bei der detaillierten Geometriemodellierung und der numerischen Diffusion. Das Fehlen geeigneter Zwei-phasen-Strömungs- und -Wärmetransfermodelle in CFX-4 und seine sehr langen Rechenzeiten begrenzen seine Anwendbarkeit auf die PANDA-Tests.

b) TEPPS (Technology Enhancement for Passive Safety Systems)

Dieses Projekt behandelt die passive Nachwärmeabfuhr aus dem Containment des ESBWR. Eine Reihe von acht Versuchen in PANDA war auf die Transiente, ausgelöst durch einen Hauptleitungsbruch ausgerichtet, untersucht wurden aber auch Effekte der Systemwechselwirkung und der Einfluss leichter Gase auf das Systemverhalten (Simulation schwerer Unfälle mit He statt H₂); hinzu kamen Tests mit noch schärferen Randbedingungen. Die Versuche bestätigten insgesamt, das günstige und sehr robuste Systemverhalten. Post-test-Rechnungen zeigten die Fähigkeit von RELAP5, die globalen Parameter (wie Systemdruck) mit vernünftiger Genauigkeit vorauszusagen, deckten aber auch Unzulänglichkeiten in der Voraussage von Details gewisser Schlüsselphänomene auf.

Einige bei den grosststäblichen PANDA-Tests beobachtete, wichtige physikalische Phänomene wurden detailliert untersucht. Rechnungen mit GOTHIC für passive Kondensatoren in einem Wasserbecken zeigten klar zu korrigierende Unzulänglichkeiten in den beckenseitigen und gasseitigen Wärmetransfer-Modellen. Die Spülung eines luftgefüllten PANDA-Drywellbehälters durch horizontale Dampfnebelinjektion wurde mit GOTHIC und CFX-4 zweidimensional berechnet. Die zwei Voraussagen zeigten gute Übereinstimmung und demonstrierten die komplizierte Wechselwirkung zwischen Auftrieb und Trägheit.

Die LINX-Versuche zu separaten Mischungs- und Stratifizierungseffekten im Druckentlastungsbecken wurden abgeschlossen; es fand auch eine umfassende Datenanalyse und -qualifizierung statt. Parallel wurde der Code CFX-4 weiterentwickelt; das derzeitige Modell für die Berechnung von Blasenfahrten wurde erfolgreich mit veröffentlichten Daten validiert.

c) INCON (Innovative Containment Cooling for Double Concrete Containment)

Das Projekt wurde erfolgreich abgeschlossen. Das PSI brachte die Resultate aus einer Reihe von 40 Versuchen in der LINX-Anlage zur Untersuchung des inneren Kondensators in einem doppelten Betoncontainment und umfassende Modellierungsarbeiten zur Dampfkondensation in geneigten gerippten Rohren in Anwesenheit nicht-kondensierbarer Gase in das Projekt ein. Das entwickelte Modell ist konzeptunabhängig und kann alle parametrischen Effekte gut vorausagen; ein Vergleich mit experimentellen Daten zeigt eine Standardabweichung von nur 7 % in der gesamten Wärmetransferrate.

Ganzheitliche Betrachtung der Energiesystemen [11]
Das multidisziplinäre Projekt GaBE liefert wissenschaftlichen Input zu energiepolitischen Entscheidungen in der Schweiz, unterstützt internationale Aktivitäten zur vergleichenden Bewertung von Energiesystemen und entwickelt Methoden- und Datenbanken weiter. Neben dem PSI liefern verschiedene Gruppen der ETHZ Bei-

träge zum Projekt.

Das Projekt **Dezentral**, in Zusammenarbeit mit dem VSE (Schweiz. Verband der Elektrizitätserzeuger und -verteiler), nähert sich seinem Ende. Die ökologisch-ökonomische Evaluation verschiedener Optionen für die künftige Stromversorgung der Schweiz ("Vorschau 1995") wurde durch volle Deckung des breiten Spektrums zukünftiger Wärme-Kraft-Kopplungstechnologien (WKK) und Wärmeerzeugungssysteme (inkl. konventioneller und Wärmepumpen) stark erweitert. In den Versorgungsszenarien wurde eine WKK-Nutzung von 8 TWh/Jahr (derzeit 1.2 TWh/Jahr) berücksichtigt. Die umfassende Lebenszyklusanalyse (LCA) der wichtigsten Emissionen zeigt, dass eine Substitution des Nuklearstromes durch fossilgefeuerten Kraftwerke (Gas-Kombikraftwerke und/ oder dezentralisierte WKK) die Emissionen an Treibhausgasen aus der gesamten Energieversorgung um mehr als 50 % erhöht. Für die meisten Versorgungsoptionen dominieren andere Schritte in den Energieketten als die Kraft-/Heizwerke die Gesamtemissionen wichtiger Luftschadstoffe wie NO_x und SO_x. Die erweiterte Nutzung von Wärmepumpen wirkt günstig auf die Emissionen. Bei den fossilen Optionen zeigen die Szenarien mit Wärmepumpen (kombiniert mit Gas-Kombikraftwerken oder getrieben aus fossilen WKK-Anlagen) praktisch identische Werte. Die Kostenunterschiede sind gemäss ersten Ergebnissen niedrig bis mittel und mit grossen Unsicherheiten behaftet.

Zunehmend erzeugen Firmen und Institutionen LCA-basierte Umweltberichte über ihre Produkte und Dienstleistungen. Der dabei genutzte **Strommix**, insbesondere der Anteil fossiler Brennstoffe, ist oft für die Ergebnisse entscheidend. In einem von INFEL (Informationsstelle für Elektrizitätsanwendung) unterstützten Projekt wurde ein neues Strommix-Modell bereitgestellt, das die Rolle der Schweiz als Strom-Transitland besser spiegelt. Trotz gelegentlich relativ hoher Stromimporte ist bei adäquater Berücksichtigung der Ein- und Ausfuhrbilanz der Anteil fossiler Brennstoffe im Stromverbrauch in der Schweiz ziemlich niedrig (3.9 % übers Jahr). Mit der dabei gewonnenen Erfahrung wurden Richtlinien entwickelt, um den LCA-Anwendern zu helfen, den geeignetsten Strommix für spezifische Anwendungen auszuwählen.

Die vergleichende Bewertung von **Risiken schwerer Unfälle**, wurde mit der Erweiterung der statistischen Basis sowie der konsequenten Unterscheidung zwischen OECD- und nicht-OECD Ländern abgeschlossen. Sie zeigt, dass es zwischen den aggregierten, normalisierten Schadensquoten für die verschiedenen Energieträgern wesentliche Unterschiede gibt. Weltweit kommen die höchsten Quoten für akute Todesfälle aus LPG (Liquid Petroleum Gas), gefolgt von Wasserkraft, Öl, Kohle, Erdgas und Kernkraft. Für alle Energieträger, insbesondere für Wasser- und Kernkraft, sind die Quoten in nicht-OECD Ländern wesentlich höher als in OECD-Ländern.

Eine erste, relativ grobe Schätzung **umweltbezogener externer Kosten** aus der Stromerzeugung zeigte deren Einfluss auf der Preisstruktur bei Vollkostenrechnung. Die Kohle- und Ölkette zeigen die höchsten umweltbezogenen externen Kosten, die in der Grössenordnung typischer Stromerzeugungskosten oder höher liegen, insbesondere wenn man Schäden aus globaler Erwärmung einschliesst. Die Schadenskosten für Erdgas sind die niedrigsten unter den fossilen Ketten und werden relativ hoch, nur wenn die Effekte der globalen Erwärmung voll angerechnet werden. Kernenergie zeigt

Schadenskosten etwa gleich gross wie jene typisch für erneuerbare Energiequellen (Wasser, Sonne, Wind). Trotz sehr grosser Unsicherheiten wird diese schadensbasierte Rangliste von Versorgungsoptionen als ziemlich robust erachtet. Eine volle Internalisierung von Externalitäten würde die Konkurrenzfähigkeit der Kernenergie und evtl. von Biomasse und Wind erhöhen. Unter klimatischen Bedingungen der Schweiz ist eine drastische Reduktion der internen Kosten notwendig, damit die Photovoltaik auf ein konkurrenzfähiges Preisniveau fällt.

Internationale Zusammenarbeit

- **STARS:** Purdue Univ., EPRI (USA), GRS (D).
- **LWR-PROTEUS:** CEA (F), ABB-Atom, Studsvik (S), SIEMENS/KWU (D), SCANDPOWER (N).
- **LWR-Kontamination:** IAEA, VGB (D).
- **EDEN:** ABB-Atom (S), EPRI/NFIR (USA), COGEMA, CEA, IPSN (F).
- **Bauteilsicherheit:** EU-FTE-Rahmenprogramm, FZK, SIEMENS/KWU, MPA-Stuttgart (D), IAEA, VTT (FIN), CEA (F).
- **Forschung zu schweren Unfällen:** EU-FTE-Rahmenprogramm, EPRI, USNRC (USA), Framatome, CEA (F), AEA Technology (UK), FZK, GRS, SIEMENS/KWU (D).
- **Entsorgung rad. Abfälle:** EU-FTE-Rahmenprogramm, FZK, FZR (D), CEA (F), JNC (JPN).
- **Fortg. Brennstoffzyklen:** CEA (F), JAERI, JNC (JPN), OECD/NSC und OECD/Halden (N), ECN (NL), int. Programme (FIGARO, ARIANE).
- **ALPHA:** EU-FTE-Rahmenprogramm, EPRI, GE (USA), SIEMENS/KWU (D).
- **GaBE:** IAEA-Programm, OECD/NEA und OECD/IEA, COGEMA (F)

Perspektiven für 1999

Die dargestellten Programme sind mittel- und langfristig angelegt. Für 1999 werden keine wesentlichen Änderungen erwartet, aber das Werkstoffforschungsprogramm [4, 5, 6] wird weiter fokussiert und die einzelnen Aktivitäten unter Nutzung von Synergien aufeinander abgestimmt. Es werden Vorschläge für die Einbettung der

PSI-Aktivitäten in das 5. EU-FTE-Rahmenprogramm eingereicht. Ferner wird die Nutzung der Spallationsquelle SINQ intensiviert und Erfahrungen mit der Nutzung von Synchrotronstrahlung im Hinblick auf Anwendungen an der SLS durch Beteiligung in entsprechenden internationalen Programmen gesammelt.

Liste der Projekte

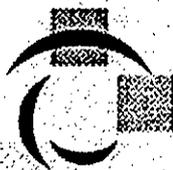
Alle aufgeführten Programm- und Projektleiter sind vom PSI-Villigen:

- [1] M. Zimmermann: *STARS*
- [2] St. Hirschberg: *HRA*
- [3] T. Williams: *LWR-PROTEUS*
- [4] A. Hiltbold: *LWR-Kontamination*
- [5] G. Bart: *EDEN*
- [6] D. Kalkhof, P. Seifert: *Bauteilsicherheit*
- [7] P. Hosemann, S. Güntay: *Forschung zu schweren Unfällen*
- [8] J. Hadermann: *Entsorgung radioaktiver Abfälle*
- [9] A. Stanculescu, G. Ledergerber: *Fortgeschrittene Brennstoffzyklen*
- [10] M. Huggenberger, J. Dreier, F. de Cachard: *ALPHA-II*
- [11] St. Hirschberg: *GaBE*

REGULATORISCHE SICHERHEITSFORSCHUNG

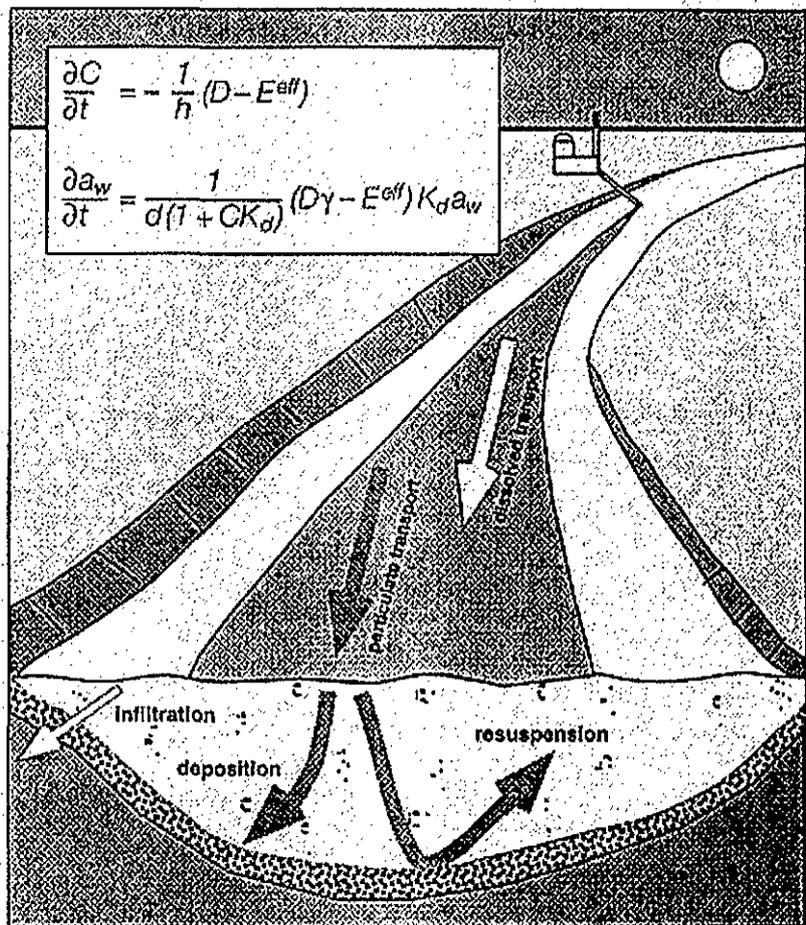
Überblicksbericht
zum Forschungsprogramm 1998

Philip Tipping
tipping@hsk.psi.ch



EAWAG

A Research Institute
of the ETH Domain



SCHRIFTENREIHE DER EAWAG

NR. 13

Das Verhalten radioaktiver Stoffe in Aare und Rhein

Titelbild der Studie über das Verhalten von metallischen Radionukliden in Aare und Rhein unterhalb der Kernanlagen: "The Behavior of Nuclear Reactor Derived Metallic Radionuclides in the Aquatic System of Switzerland".

Einführung

Die Aufsichtsbehörde "Hauptabteilung für die Sicherheit der Kernanlagen HSK" des BFE hat die Sicherheit der schweizerischen Kernanlagen nach dem aktuellen Stand von Wissenschaft und Technik zu beurteilen und nötigenfalls Forderungen für Massnahmen zur Erhöhung der Sicherheit zu stellen. Um diese Aufgabe auszuüben, unterstützt die HSK Vorhaben im Bereich der regulatorischen Sicherheitsforschung in folgender Form: Forschungsprojekte am Paul Scherrer Institut (PSI) und an den Hochschulen, Einzelprojekte bei in- und ausländi-

schen Ingenieurunternehmen sowie Beteiligung an internationalen Projekten.

Alle von der HSK unterstützten Forschungsaktivitäten haben einen praktischen Wert. Von der Strukturintegrität (Alterung in KKW) bis hin zur Strahleneinwirkung auf Menschen und Materialien und dem Einfluss von menschlichen Faktoren auf die Sicherheit liefern die Projekte neue wichtige Erkenntnisse. Nachfolgend sind die Projekte kurz kommentiert.

Projekte

Simulationsmodelle zur Transientenanalyse der Reaktoren in der Schweiz (STARS III) [1]

Die wissenschaftlichen Dienstleistungen im Auftrag der HSK konzentrierten sich auf: Prüfung der für die Kernrechnungen eingesetzten Methoden für die Anlagen KKG, KKM und KKL und Berechnung eines hypothetischen Unfallablaufes im KKG. Das Rechenprogramm RETRAN-3D wurde teilweise neu formuliert. Die Validierungsrechnungen zeigten, dass das neue Modell die Kondensation gut beschreibt und Druckentlastungs- wie auch Druckerhöhungstransienten ohne Probleme berechnen kann. Code-Implementierung, Modellierung und Validierung wurden weiter vorangetrieben. Die Arbeiten zur Entwicklung der Anlagemodelle und deren Validierung wurden weitergeführt.

Internationale Zusammenarbeit mit Schweden, Spanien, Norwegen und den USA wird nach wie vor gepflegt. Der letztes Jahr erarbeitete QS-Plan wurde von der HSK kommentiert. Er wird überarbeitet und nächstes Jahr probeweise in Kraft gesetzt.

Die Resultate der kurzfristig erteilten Aufträge der HSK und einzelne Resultate der übrigen Projektarbeit fliessen direkt in die Genehmigungspraxis der HSK ein. Im Berichtsjahr wurden auch spezielle Kurzstudien zu jeweils aktuellen Fragen der HSK verfasst.

Radioökologie: Studien und wissenschaftlich-technische Dienstleistungen [2]

Ziel des Projektes ist die Erweiterung theoretischer und angewandter Kenntnisse in der Radioökologie. Die so gewonnenen Erkenntnisse sind wichtig für die Beurteilung der Auswirkungen radioaktiver Abgaben bei Normalbetrieb und nach Störfällen. 1998 wurden 4 Themen schwerpunktmässig bearbeitet:

1. In der Arbeitsgruppe CHECOSYS wurde das Verständnis für das radioökologische Modell durch Parameterstudien vertieft. Aufgrund des "Vierten schweizerischen Ernährungsberichtes" wurden die Verzehrmenüen überarbeitet.
2. Im EU-Projekt SEMINAT (*Long Term Dynamics of Radionuclides in Semi-Natural Environments: Deri-*

vation of Parameters and Modelling) wurden die Feldversuche in Novaggio (TI) beendet. Die Laborversuche zur Charakterisierung der Cäsiumaufnahme durch Pilzmycel und des Transportes im Mycel wurden weitergeführt. Definitive Resultate liegen noch nicht vor.

3. Im Projekt BIOMASS (*International programme on BIOSphere Modelling and ASSESSMENT methods*) der IAEA war für 1998 ein Gewächshausversuch zur Blattaufnahme von Radiocäsium geplant, der aus technischen Gründen abgebrochen werden musste.
4. In Zusammenarbeit mit dem *Belgian Nuclear Research Centre (SCK/CEN)* in Mol wurde die altersabhängige Cäsium- und Strontiumverteilung in Stammholz untersucht. Die Ergebnisse dieses Forschungsprojektes werden laufend bewertet und praktisch umgesetzt. Die Arbeiten werden 1999 fortgesetzt.

LWR Kontaminationskontrolle [3]

Im Berichtsjahr wurden wiederum Ziele zu speziellen Fragen der Wechselwirkung zwischen austenitischen Chromnickelstählen und dem SWR-Wasser mit seinen Verunreinigungen bearbeitet. Zusätzlich wurde ein HSK Ad-hoc-Auftrag "Wasserchemie" bearbeitet und abgeschlossen.

Das Jahr war durch folgende Arbeitsschwerpunkte geprägt:

- Beurteilung der von ABB/Schweden vorgeschlagenen Massnahmen zur Minderung der Korrosionsschäden an den Hüllrohren der Brennelemente im KKW Leibstadt.
- Auswertung und experimenteller Abschluss der *Screeningtests* zur Abklärung des Einflusses von Wasserinhaltsstoffen auf die Aktivitätsablagerung. An ausgewählten Proben wurde die Schichtdicke der Korrosionsschichten, deren Elementarzusammensetzung und Halbleitereigenschaften bestimmt.
- Aufbau und Erprobung elektrochemischer Messeinrichtungen für *in-line*-Messungen unter Heisswas-

ser-Bedingungen. Hier ging es um die Beurteilung der Massnahmen von ABB/KKL zur Minderung der Korrosionsschäden an den Hüllrohren der Brennelemente im Kernkraftwerk Leibstadt. Dieses Phänomen wird als *enhanced spacer shadow corrosion*, ESSC bezeichnet. Die Ursache der sogenannten Schattenkorrosion (ESSC) ist allerdings noch nicht abschliessend geklärt und erfordert weitere Untersuchungen zu ihrer Abklärung.

Die Arbeit zur Kontaminationskontrolle wird 1999 fortgesetzt. Insbesondere die Weiterentwicklung und Anwendung der elektrochemischen *in-line*-Methoden zur Lösung von Fragen zum Schichtaufbau (Korrosion, Aktivitätsablagerung, Halbleitereigenschaften der Oxide) auf Oberflächen rostfreier Stähle. Im weiteren werden Experimente zur Wirkung der Dosierung von Edelmetallen im Wasser auf das Korrosions- und Kontaminationsverhalten der Strukturmaterialien durchgeführt. Ziel ist es, Strahlungsfelder und Kontamination in KKW-Anlagen zu minimieren.

Zusammenarbeit in der Dosimetrie [4]

Gemeinsam mit dem Projekt "Zusammenarbeit in der Radioanalytik" liefert das Projekt wichtige Resultate zur Verbesserung von Dosimetrie und Strahlenüberwachung.

Im Jahr 1998 konnten auch AC-Laborspezialisten der Armee von dieser Zusammenarbeit profitieren, indem zwei Ausbildungskurse am PSI durchgeführt wurden. Diese Kurse dienen neben dem eigentlichen Ausbildungszweck auch der Überprüfung der Einsatzbereitschaft des Speziallabors PSI der Einsatzorganisation bei erhöhter Radioaktivität (EOR).

Mit der verbesserten Kalibrieranlage für Tritium-Luftkontaminationsmonitore, welche von der Sektion Messwesen konzipiert und entwickelt wurde, konnten wertvolle Erfahrungen im Betrieb gewonnen werden.

Kalibriermessungen mit einem Phantom am Thorax-Triagemonitor des KKW Beznau zeigten, dass die Kalibriermethodik dieser Messplätze standardisiert werden kann. Diese Ergebnisse werden mithelfen, im Rahmen der neuen Dosimetrieverordnung die Anforderungen an die Triagemessungen von seiten der Aufsichtsbehörde zu formulieren.

Die Entwicklung des Neutronendosimetriesystems basierend auf CR-39 ist abgeschlossen; das System hat sich im Routinebetrieb des PSI bewährt.

Des weiteren wurden im Rahmen der Abklärungen zur Personendosimetrie beim Transport von abgebrannten Brennelementen bei SBB-Mitarbeitern im PSI Ganzkörpermessungen durchgeführt, welche den Nachweis lieferten, dass bei den Transporten keine Inkorporationen erfolgten. Diese Arbeit war für die HSK von grossem Nutzen.

Zusammenarbeit in der Radioanalytik [5]

Diese Arbeit am PSI ist für die Strahlenüberwachung wichtig. Für die HSK sind die für die Kernkraftwerke

durchgeführten Alpha-Analysen von besonderer Bedeutung. Die Schwerpunkte der radioanalytischen Arbeiten lagen im Berichtsjahr bei der Entwicklung von Analysemethoden für die Bestimmung der Isotope Ni-63 und Sr-90 sowie von Aktiniden in Bodenproben und Pflanzen. Diese Methoden werden derzeit für die Analyse von Umweltbodenproben in der Umgebung des atomaren Zwischenlagers ZWILAG (Projekt Beweissicherung) als Referenzwerte angewendet. Die neuen Methoden ersetzen auch alte Vorschriften für die Analyse von Sr-90 im Rahmen der Umgebungüberwachung des PSI und des KKW Beznau.

WINDBANK oberes Aaretal [6]

Der Ausdruck "WINDBANK" stellt die Kurzform für Windfelddatenbank dar. Im oberen Aaretal wird in den Zonen 1 und 2 um das Kernkraftwerk Mühleberg die Windfeldsituation erfasst und nach meteorologischen Gesichtspunkten klassifiziert. Daraus werden dreidimensionale Windfelder gebildet und in einer Datenbank abgelegt. Dies ermöglicht für die Notfallschutzplanung eine rasche Bestimmung der Gefahrensektoren und unter Einbezug von Rechenmodellen (z.B. ADPIC) die Schadstoffausbreitung für den Ereignisfall. Die Arbeit wird für die Region mittleres Aaretal fortgesetzt.

Spannungsrissskorrosion von Stählen für Reaktor-komponenten in Heisswasser [7]

Ziel des Forschungsprojektes ist es, das Spannungsrissskorrosions (SprK)-Verhalten von Stählen, die für druckumschliessende Komponenten in Siedewasserreaktoren (SWR) verwendet werden und im Betrieb dem Reaktorkühlmittel ausgesetzt sind, zu untersuchen. Das PSI besitzt die erforderlichen Autoklaven bzw. Prüfeinrichtungen, um Risswachstumsexperimente unter kontrollierten mechanischen und wasserchemischen Bedingungen durchzuführen. Unter statischer mechanischer Belastung weisen die untersuchten Reaktordruckbehälter-Stähle bei simulierten, betriebsnahen wasserchemischen SWR-Bedingungen (unter Ausschluss von Bestrahlung) einen hohen Widerstand gegen SprK auf. Diese Ergebnisse wurden durch einen internationalen Ringversuch in Zusammenarbeit mit der MPA Stuttgart (D), SIEMENS KWU (D) und dem technischen Forschungszentrum VTT (SF) bestätigt. Die experimentelle Datenbasis von PSI zur SprK ferritischer RDB-Stähle unter SWR-Bedingungen ist sehr umfangreich. In diesem Jahr wurden die Daten bereits EPRI (USA) auf deren Anfrage zur Verfügung gestellt. Geplante Arbeiten 1999 sind u.a. Untersuchungen zur SprK von Schweissnaht und Wärmeeinflusszone im Vergleich zum Grundwerkstoff und Risswachstumsexperimente zur Dehnungsrissskorrosion-Anfälligkeit niedriglegierter Stähle.

Im Hinblick auf eine Beurteilung der Strukturintegrität druckumschliessender Komponenten soll diese Arbeit weiter verfolgt werden.

Human Reliability Analysis (HRA) [8]

Seit Anfang 1997 arbeitet das PSI am HRA-Projekt, das gemeinsam von der HSK, dem PSI und den Werken

getragen wird. Als Bestandteil der PSA (*Probabilistic Safety Assessment*) betrachtet die HRA den Einfluss menschlicher Handlungen auf den Verlauf von Störfällen. Die HRA analysiert einzelne, für den Ablauf eines Unfalls entscheidende Handlungen und ermittelt deren Fehlerwahrscheinlichkeiten. Im zweiten Jahr des Projekts wurden folgende Arbeiten durchgeführt:

Neubewertung der Fehlerwahrscheinlichkeiten ausgewählter Operateurhandlungen des Gösgen-PSA. Die Neubewertung erfolgte mit verschiedenen HRA Methoden und berücksichtigte anlagenspezifische Randbedingungen. Die vom PSI bestimmten Fehlerwahrscheinlichkeiten sind 2.5 bis 16 mal höher als die ursprünglichen Werte des Gösgen-PSA. Zu den quantitativen Aussagen kommen eine Vielzahl praktischer Empfehlungen für die Anwendung der verschiedenen HRA Methoden. Im weiteren sollen die Ergebnisse einer externen Qualitätsprüfung unterzogen werden.

Falsche Handlungen (*Errors of Commission, EoC*): In Zusammenarbeit mit der Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) wurden vorgeschlagene Ansätze zur Analyse von EoC beurteilt.

Dynamische Simulation: Die Arbeiten zur Entwicklung einer dynamischen Simulation des Operateurverhaltens wurden in Zusammenarbeit mit dem STARS-Projekt fortgesetzt. Eine neu entwickelte Schnittstelle wurde getestet: sie erlaubt die Koppelung des OPSIM-Operateurmodells mit dem RETRAN-Code. Das Konzept für ein zukünftiges Simulations Tool wurde erstellt und implementiert.

International hat das PSI sein Engagement in der neuen HRA-Projekt der OECD/NEA fortgesetzt. Ausserdem beteiligte sich das PSI an einer EU *Concerted Action* zu neuen Ansätzen in der HRA. Das Forschungsprogramm über HRA der IAEA wurde 1998 abgeschlossen.

Molekularbiologische Untersuchungen zur zellulären Radiosensitivität [9]

Bestrahlt man z.B. Säugetierzellen, so entstehen Schäden im Erbmateriale (DNS). Die Zellen reagieren auf DNS-Schäden, indem sie die Vermehrung einstellen und versuchen, die Schäden zu reparieren. Gelingt das nicht oder nicht rasch genug, so entscheidet sich die Zelle, auf kontrollierte Art zu sterben und verhindert damit, dass der Organismus Schaden leidet, zum Beispiel durch die Entstehung von Krebszellen. Zur Steuerung solcher Vorgänge benutzt die Zelle sehr oft Enzyme, welche andere Proteine phosphorylieren. Auf diese Art verändern solche Enzyme die Funktion der Proteine und damit das Verhalten der Zellen. Eine wichtige Gruppe dieser Enzyme sind die sogenannten MAP-Kinasen. Im Rahmen dieses Projektes wurde im letzten Jahr der momentan einzige, hochsensitive, nicht radioaktive Aktivitätstest für verschiedenste MAP-Kinasen entwickelt. Informationen über die Signalübermittlung der Zellen sind wichtig, um zu verstehen, wie die Zelle auf eine Bestrahlung reagiert. Die HSK unterstützt deshalb diese Forschungsarbeiten am PSI.

Vascular Endothelial Growth Factor (VEGF) bei der Reparatur von strahleninduzierten Zellschäden [10]
Blutgefäße und Kapillaren sind mit Endothelzellen ausgekleidet, denn Endothelzellen sind die Vorläuferzellen von Kapillaren und Gefässen. Die Neubildung von Gefässen ist ein komplexer Vorgang, der durch Hormone wie VEGF gesteuert wird. Die Schädigung der Gefäße ist einerseits ein wichtiger Aspekt bei akuten Strahlenschäden und andererseits ein vielversprechender Ansatz der Krebstherapie zur Unterbindung der Blutversorgung von Tumoren. Die Strahlenempfindlichkeit von Endothelzellen ist deshalb ein interessantes Forschungsthema geworden. Erste Experimente zur Bestimmung der Strahlenempfindlichkeit von Endothelzellen sind im Rahmen dieses Forschungsprojektes bereits getätigt worden. Es ist zu erwarten, dass VEGF die Reparatur von strahlengeschädigtem Gewebe fördert. Die HSK unterstützt deshalb die Grundlagenforschung in Bezug auf VEGF.

REVENT [11]

Mit dem Forschungsprojekt **Einfluss der Naturkonvektion im Sicherheitsbehälter nach einem schweren Kernschmelzunfall auf die kontrollierte gefilterte Druckentlastung** wird der Einfluss des sogenannten *Re-entrainments* radioaktiver Stoffe und Aerosole aus einem Sumpf bei einer kontrollierter Druckentlastung während eines simulierten schweren Kernschmelzunfalls experimentell untersucht. Als Experimentieranlage dient ein mit einem Ventingsystem ausgerüstetes Modellcontainment von 5 m³ Inhalt. Ein wichtiges Ziel dieser Untersuchung ist die Klärung des Aerosolmitrisses ins Ventingsystem beim Anfahren und im stationären Betrieb der Druckentlastung unter Berücksichtigung der Naturkonvektion im *Containment*. Das Projekt REVENT wird in internationaler Zusammenarbeit durchgeführt. Es wurde beim 3. *OECD-Specialist Meeting on Nuclear Aerosols in Reactor Safety* in Köln vom 15.-18. Juni 1998 und beim 26. *Meeting on Reactor Safety* in Bethesda (USA) vom 26.-28. Oktober vorgestellt. Das letztgenannte Meeting war durch die *Nuclear Regulatory Commission* (USA) veranstaltet. Es ist wichtig, dass dieser Informationsaustausch stattfindet, weil Experimente, die schwere Unfälle simulieren, relativ teuer sind.

Im vorhergehenden Projekt wurde ein Modell für das *Re-entrainment* von Aerosolen aus dem Sumpfwasser in die "Containmentsatmosphäre" entwickelt. Es zeigt, dass der Tropfenmitriss stark vom Blasendurchmesser an der Sumpfoberfläche und von den Strömungsverhältnissen in der "Containmentsatmosphäre" abhängt. Die Kenntnis des Blasendurchmessers ist deshalb ein wichtiges Element bei der Bestimmung der resuspendierten Sumpfmasse.

Um das *Re-entrainment*-Modell der vorangegangenen Forschungsarbeit weitergehend überprüfen zu können, wurde die REVENT-Anlage umgebaut. Es wurde gezeigt, dass im betrachteten Druckbereich die Blasendurchmesserverteilung im Sumpf vom Druck unab-

hängig ist. Bei reiner Dampfatmosfera übt die Kühlung des *Containments* keinen Einfluss auf den Re-entrainment-Faktor aus. Hingegen nimmt das Re-entrainment bei steigendem Druck im *Containment* zu.

Die HSK benötigt qualitätsgesicherte Daten, um die Notfallplanung zu optimieren. Im kommenden Jahr wird den folgenden Punkten besondere Aufmerksamkeit gewidmet: Re-entrainment-Versuche bei Luft-Dampf-Atmosphäre, Einfluss der Kühlung des *Containments* bei Luft-Dampf-Atmosphäre und Re-entrainment-Versuche (mit und ohne Kühlung des *Containments*) mit nicht löslichen Tracerstoffen im Sumpf.

Weiterentwicklungen in der Aeroradiometrie [12]

Innerhalb dieses Programmes soll die Fähigkeit, künstliche und natürliche Radioaktivität grossräumig und schnell zu erfassen, weiter ausgebaut werden. Dazu werden die bestehenden Aerogammaspektrometrie-Messapparaturen und die dazugehörige Software weiterentwickelt.

Die aeroradiometrischen Daten sind für die HSK wichtig um die Beurteilung der Strahlungssituation in der Umgebung kerntechnischer Anlagen durchführen zu können und dienen auch der Beweissicherung. Insbesondere werden eine Datenakquisition mit Datentransfer zu einer Bodenstation und eine anschliessende automatische Datenauswertung in Echtzeit angestrebt, um die ausgewerteten Daten in Notfallsituationen schneller zur Verfügung zu haben.

Die Teilnahme an einem internationalen Gemeinschaftsprojekt bildet einen weiteren Schwerpunkt innerhalb dieses Programmes. Weiter nimmt die ETHZ an den jährlichen Messflügen der Nationalen Alarmzentrale (NAZ) teil und wertet sie aus.

Im Frühjahr wurde der detaillierte Bericht über die Messflüge im Rahmen der Übung ARM97 abgeliefert. Die für 1998 gesetzten Ziele sind erreicht worden. 1999 ist eine gemeinsame Messübung mit dem deutschen Aeroradiometrie-Team geplant.

Im Rahmen der zweijährlichen Messungen in der Umgebung der Kernanlagen wurden dieses Jahr die Gebiete der Kernkraftwerke Beznau und Leibstadt vermessen. Die Resultate zeigen das gleiche Bild wie die Ergebnisse aus früheren Jahren. So konnte das Kernkraftwerk Beznau auf den Aktivitätskarten nicht erkannt werden. Das KKW Leibstadt hingegen konnte aufgrund der hochenergetischen N-16 Strahlung klar identifiziert werden. Auch das Areal des PSI in Würenlingen wies wie in früheren Jahren höhere Zählraten als die Umgebung auf. Ausserhalb der Kern- und Forschungsanlagen wurde jedoch keine erhöhte Radioaktivität festgestellt, die nicht auf den Atomwaffen- und Tschernobyl-Fallout zurückgeführt werden könnte. Der Aktivitätspegel hat sich im Vergleich zu den letzten Jahren nicht verändert.

Bedingt durch die Einbettung des Aeroradiometrie-Messsystems in die Alarmorganisation des Bundes wurde eng mit der Nationalen Alarmzentrale (NAZ) zu-

sammengearbeitet. Zur HSK und zur der Sektion Überwachung der Radioaktivität (SueR) wurde ebenfalls der Kontakt gepflegt. Die zugehörige FAR (Fachgruppe Aeroradiometrie) ist seit 1998 der Eidg. Kommission für AC-Schutz (KOMAC) administrativ zugeordnet.

Wasser-Schmelze-Wechselwirkung bei schweren Unfällen in LWRs [13]

Das Forschungsprojekt geniesst finanzielle Unterstützung von 6 internationalen und nationalen Organisationen u.a. der US-NRC, der schwedischen nuklearen Sicherheitsbehörde (SKI), der EU und der HSK. Es steht unter der Leitung des *Royal Institute of Technology, (Nuclear Power Safety)*, Stockholm. Im Forschungsjahr 1998 wurden 3 Teilgebiete angegangen:

1. Wechselwirkungen Schmelze-RDB (Reaktordruckbehälter);
2. Wechselwirkung Brennstoff-Kühlmittel und
3. Ausbreitung- und Kühlbarkeit von Corium.

Wechselwirkungen Schmelze-RDB (Reaktordruckbehälter): Um das Kriechen und die Deformation des RDB beim schweren Unfall simulieren zu können, wird in einem Modell-Reaktordruckbehälter bis zu 20 Liter überhitzte Oxidschmelze (*Corium* Ersatz) aufgeheizt und unter Druck gesetzt. Die Ergebnisse zeigen messbare RDB-Verformungen und Verschiebungen bis zu 5 %. Wertvolle Daten über das Verhalten bezüglich Kühlbarkeit und Kriechens der RDB während einen schweren Unfalles sind weitere Versuchsergebnisse.

Wechselwirkung Brennstoff-Kühlmittel: Dieses Experiment befasst sich mit die Frage, wie sich Schmelze und Kühlmittel (Wasser) mischen und wie die Schmelze dabei fragmentiert wird. Es hat sich gezeigt, dass die Temperatur des Wassers massgebend für die Grösse die Schmelzteilchen ist.

Corium Ausbreitung- und Kühlbarkeit: Zu diesem Thema sind verschiedene Experimente gemacht worden. Wegen der Erstarrung der Schmelze ist mit ihrer Anhäufung schon am Ausfliessort zu rechnen.

Verhalten von Radionukliden aus Kernkraftwerken in Aare und Rhein [14]

Aufgrund der gegenüber früher verbesserten Nachweisgrenzen und Anreicherungsverfahren sind die im KKW-Abwasser vorhandenen Radionuklide heute bereits in Spuren in verschiedener chemischer und biologischer Form in Flüssen und Seen unterhalb der Anlagen nachweisbar. Die gemessene Aktivität ist zwar im Normalbetrieb radioökologisch nicht von Bedeutung, ihre Überwachung entspricht aber – insbesondere auch aus Gründen der Beweissicherung – einer Notwendigkeit. Die Projektvergabe der HSK an ein Forschungsinstitut wie die EAWAG macht es unabdingbar, dass neben den reinen Kontroll- und Überwachungsaspekten auch wissenschaftliche Aspekte einfließen. Eine scharfe Trennung zwischen Kontrolle/Überwachung und Forschung ist letztlich nicht möglich. In diesem Zusammenhang soll auf den positiven Effekt des Erfahrungsaustausches

und der Synergie zwischen den in den Kernkraftwerken arbeitenden Strahlenschützern und Chemikern und den Wissenschaftlern und Technikern aus staatlichen Forschungsinstituten hingewiesen werden.

Die Ergebnisse des Projektes (siehe Titelblatt), welches Ende 1998 ausläuft, wurden in Zusammenarbeit mit der Sektion Überwachung der Radioaktivität (SUeR), Fribourg, des BAG und dem *Institut de radiophysique appliquée* (IRA), Lausanne, begleitet, laufend bewertet und praktisch im Überwachungsprogramm in der Umgebung der Kernanlagen umgesetzt.

OECD-Halden-Reaktor-Projekt: Software Verifikation und Validation [15]

Im Rahmen der Forschung für Mensch-Maschine-Systeme für die Kerntechnik untersucht man im OECD-Halden-Projekt in Norwegen auch formale Methoden und Techniken, um die Qualität der Software zu verbessern. Die HSK hat einen Dipl. Informatiker ETH, als *Secondee* zum Halden-Projekt delegiert, um Kenntnisse auf dem Gebiet der formalen *Software*-Entwicklung auf dem Gebiet der Kerntechnik zu erwerben und Erfahrungen mit der praktischen Anwendung zu gewinnen.

Als erste Aufgabe wurde ein grafischer Editor für eine früher im Halden-Projekt entwickelte algebraische Spezifikationsprache erstellt, mit dem Ziel, für diese eine verbesserte Bedienungsfläche bereitzustellen. Die Hauptaufgabe bestand in der Evaluation und Einführung von formalen Entwicklungstechniken für verteilte Echtzeitsysteme, mit dem Ziel, diese für die Entwicklung der Software des neu im Halden-Projekt geplanten Mensch-Maschine-Laboratoriums "HAMMLAB 2000" und anderer Projekte einzusetzen. Dazu wurden verschiedene neue Software-Werkzeuge untersucht und bewertet. Mit einem dieser neu eingeführten Werkzeuge wurde als Anwendungsbeispiel ein Kommunikationsmanager spezifiziert und realisiert.

Es zeigte sich, dass mit den neuen Techniken die Spezifikationen von Anwendungen präziser erstellt werden können, als dies bei einer nicht formalen Beschreibung möglich ist. Zudem können die formal erstellten Spezifikationen für die weiteren Phasen der Software-Entwicklung als Vorgabe direkt weiter verwendet werden. Allerdings ist die Einführung und die Einarbeitung aufwendig. Es brauchte relativ lange, bis die Anwender sich mit den formalen Techniken zurechtfinden. Es musste erlernt werden, die Anwendungsspezifikation so zu gestalten, dass sie für die nächste Phase des Projektes die bestmögliche Vorgabe gibt und auch für Verifikations- oder Validationszwecke verwendet werden kann.

Die gewonnenen Erkenntnisse wurden in Arbeitsberichten festgehalten, welche auch den Mitgliedern des OECD-Halden-Projektes zur Verfügung stehen. Der Mitarbeiter hat bei der Einführung formaler Techniken im Halden Projekt einen wertvollen Beitrag geleistet. Durch Präsentationen hat er dabei sein gewonnenes Wissen den am Halden-Projekt beteiligten Organisatio-

nen in der Schweiz weiter vermittelt. Im Halden-Projekt wird die Anwendung formaler Techniken weiter untersucht und entwickelt

Anwendung des zwei-dimensionalen Transportcodes HELIOS am OECD-Halden-Projekt [16]

Eine weitere im 1998 von der HSK geförderte Arbeit war die neutronenphysikalische Berechnung von Experimenten am OECD-Halden-Projekt mit dem 2-dimensionalen Transportprogramm HELIOS. Eine erste Aufgabe bestand darin, diesen Code mit seinen Eingabe- und Ausgabeprozessoren AURORA und ZENITH in die Infrastruktur der TFDB (*Test Fuel Data Bank*) einzugliedern sowie allgemeine Eingabeschablonen für die verschiedenen Typen von Experimenten zu erstellen.

Erste Rechenergebnisse zeigen, dass es möglich ist, wichtige Parameter mit HELIOS vorab zu ermitteln und somit Versuche besser als bisher auszulegen und verfolgen zu können.

Die Auslegungsrechnungen für einen neuen am PSI entwickelten Brennstoff zeigen unter anderem, dass die materialtechnischen Ergebnisse eines geplanten Bestrahlungsversuchs im Halden Reaktor auch auf kommerzielle Reaktoren übertragbar sind. Somit stellt die Zusammenarbeit im OECD-Halden-Projekt einen wichtigen Pfeiler für die Schweiz im Bereich Entwicklung, *Know-How*-Transfer sowie der Mitarbeit in internationalen Forschungsprojekten dar.

PHEBUS Fission Products [17]

Die Schweiz beteiligt sich am internationalen PHEBUS-FP (*Fission Products*) Programm in Cadarache, Frankreich. Im Rahmen dieser Vereinbarung wird die Freisetzung radioaktiver Produkte während eines schweren Kernschmelz-Unfalls experimentell untersucht.

Die laufenden PHEBUS-Experimente dienen der Validierung der Rechencodes für schwere Unfälle.

Die Erkenntnisse aus den ersten PHEBUS Experimenten, z.B. grosse Iod-Freisetzung, sind für das Verständnis des physikalischen Verhaltens bei schweren Reaktorunfällen von grosser Bedeutung. Iod-Chemie, Silberiodid-Stabilität im Sumpf und Iod aus Aerosolablagerungen sind die Gebiete, welche in erster Priorität untersucht werden.

Als Schweizer *in-Kind* Beiträge wurden u.a. am PSI spezielle Filter für den nächsten Versuch getestet und eine neue Beta-Isotopen-Quelle konstruiert und in Betrieb genommen, um Iod Reaktionen modellieren sowie Vorbereitungen für weitere Experimente treffen zu können.

Spezielle Fragen der Epidemiologie [18]

Die Epidemiologie (Lehre von der Verteilung der Gesundheitszustände und ihrer Determinanten) stützt sich auf Information, die sie von ganz verschiedenen Quellen beziehen kann wie: Todesursachenstatistik, Krankheits-Inzidenzregister, Spitalstatistiken und Umfragen. Bis anhin ist davon nur die Todesursachenstatistik eine ge-

samtschweizerische Vollerhebung. Ebenso wichtig wie die Erfassung der "Fälle" sind Angaben über die Bevölkerung, aus der diese Fälle stammen. Einzige Vollerhebung dafür ist die Volkszählung. Volkszählung und Todesursachenstatistik sind aus Datenschutzgründen anonymisiert. Eine Verknüpfung der Individualdaten beider Datenquellen ist für die Epidemiologie von Interesse, weil damit bisher nicht analysierbare Fragestellungen angegangen werden können und Einfluss- und Störfaktoren besser im Griff bleiben. Die HSK hat im Rahmen dieses Vertrags ein Projekt unterstützt, das ein Record Linkage zwischen Todesursachenstatistik und Volkszählung ermöglichen und evaluieren soll. Eine Machbarkeitsstudie wurde erstellt und erste Resultate wurden erhalten. Es hat sich gezeigt, dass eine Verknüpfung über das Geburtsdatum und einige weitere in beiden Datenquellen erfassten Variablen für die grosse Mehrzahl aller Sterbefälle erfolgreich durchgeführt

werden kann.

Severe Accident Programme (CSARP) [19]

Die HSK unterstützt das internationale Programm über schwere Unfälle in KKW. Die Arbeiten über die Wasserstoffdeflagration und verschiedene Phänomene im Reaktordruckgefäss (RDB), die während eines schweren Unfalls auftreten könnten, sind noch nicht beendet. Weitere wichtige Aspekte sind die Brennstoff-Kühlmittel-Wechselwirkungen, Quell-Term-Analysen und die direkte Aufheizung der Sicherheitsbehälter (*Containment*) während eines schweren Unfalls. Erwähnungswert sind die Meinungen der internationalen Experten, dass zusätzliche Arbeiten über die Integrität des RDB und dessen Kühlbarkeit während eines schweren Unfalls nötig sind. Aktivitäten in diesen Bereichen werden deshalb fortgesetzt.

Liste der Projekte

- [1] M. Zimmermann, PSI-Villigen: *Simulationsmodelle zur Transientenanalyse der Reaktoren in der Schweiz (STARS III)* (JB) / ENET 9400911
- [2] T. Riesen, PSI-Villigen: *Radioökologische Studien: ECOSYS* (JB) / ENET 9100004
- [3] A. Hiltbold, PSI-Villigen: *LWR Kontaminationskontrolle* (JB)
- [4] Ch. Schuler, PSI-Villigen: *Zusammenarbeit in der Dosimetrie* (JB) / ENET 9401101
- [5] J. Eikenberg, PSI-Villigen: *Zusammenarbeit in der Radioanalytik* (JB) / ENET 9300071
- [6] W. Graber, PSI-Villigen: *WINDBANK oberes Aaretal* (JB)
- [7] H-P. Seifert, PSI-Villigen: *Spannungsrisskorrosion von Stählen für Reaktorkomponenten in Heisswasser* (JB) / ENET 9554235
- [8] S. Hirschberg, PSI-Villigen: *Human Reliability Analysis (HRA)* (JB) / ENET 9720255
- [9] R. Jaussi, PSI-Villigen: *Molekularbiologische Untersuchungen zur zellulären Radiosensitivität* (JB) / ENET 9723973
- [10] K. Ballmer-Hofer, PSI-Villigen: *Die Rolle von Vascular Endothelial Growth factor bei der Reperatur von strahleninduzierten Zellschäden* (JB)
<http://www.psi.ch>
- [11] J. Cosandey, Ph. Von Rohr, ETH-Zürich: *REVENT II: Einfluss der Naturkonvektion im Sicherheitsbehälter nach einem schweren Kernschmelzunfall* (JB) / ENET 9720152
<http://www.ivuk.ethz.ch>
- [12] L. Rybach, ETH-Zürich: *Methodische Weiterentwicklungen in der Aeroradiometrie* (JB) / ENET 9720656
<http://www.geophys.ethz.ch>
- [13] B.R. Sehgal, Royal Institute of Technology, Stockholm (Sweden): *Wasser-Schmelze-Wechselwirkung bei schweren Unfällen in LWRs* (JB)
<http://www.kth.se>
- [14] A. Albrecht, EAAG: *Verhalten von Radionukliden aus Kernkraftwerken in Aare und Rhein* (SB) / ENET 9300121
<http://www.eawag.ch>
- [15] P. Mohn: *Mitarbeit am OECD Halden Reactor Project auf dem Gebiet: Software Verifikation und Validation* (SB) / ENET 9658800
<http://www.external.hrp.no>

- [16] U. Kasemeyer: *Mitarbeit am OECD Halden Reactor Project auf dem Gebiet: Anwendung des zwei-dimensionalen Transportcodes HELIOS* (JB)
<http://www.external.hrp.no>
- [17] IPSN (France): *PHEBUS Fission products agreement*
<http://www.ipsn.fr>
- [18] G. Schüler, M. Bopp, Kantonal-Zürcherisches Krebsregister: *Speziellen Fragen der Epidemiologie*
- [19] US-NRC: *Severe Accident Programme (CSARP)*
<http://www.nrc.gov>
-

Referenz

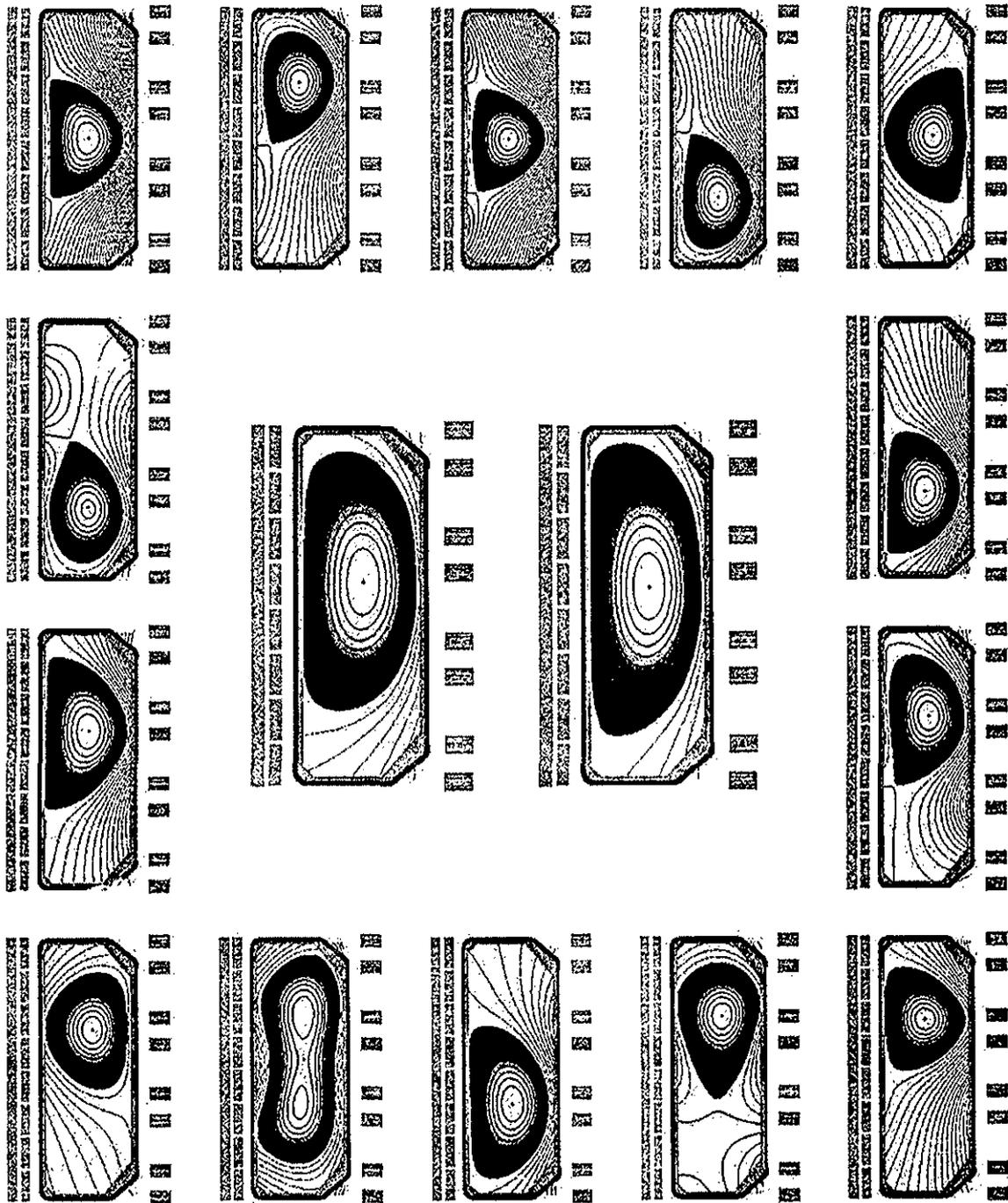
- [20] A. Albrecht, EAWAG, CH-8600 Dübendorf and HSK-Villigen: *The behaviour of nuclear reactor derived metallic radionuclides in the aquatic system of Switzerland*, Schriftenreihe der EAWAG Nr. 13. ISBN: 3-906484-19-X, 1998

FUSION THERMONUCLÉAIRE CONTROLÉE

Rapport de synthèse sur les activités 1998
du programme de recherche

Stéphane Berthet

stephane.berthet@bbw.admin.ch



Plasmas expérimentaux

Différentes configurations de plasma obtenues en 1998 avec le Tokamak à configuration variable du Centre de recherche en physique des plasmas de l'EPFL.

Centre de gravité

Depuis plusieurs années, le programme Fusion de l'UE et, par conséquent, le programme suisse puisqu'il y est totalement intégré, est une recherche qui a pour objectif de doter l'Europe de la capacité de construire un réacteur de fusion expérimental (NET ou ITER) puis de faire la démonstration de la production d'électricité pour finalement construire des installations commerciales.

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 États-membres (Suisse incluse). Il se présente comme une seule entité vis-à-vis des autres programmes Fusion dans le monde.

Vue d'ensemble

Aux USA, la recherche scientifique et technologique en matière de fusion s'opère selon deux orientations différentes. D'un côté, les efforts portent sur la fusion par confinement magnétique (*Tokamak*: le plasma est confiné dans une chambre à vide par des champs magnétiques générés aussi bien par le courant à l'intérieur du plasma lui-même que par de gigantesques aimants extérieurs. Il est essentiel que le plasma ne soit jamais en contact avec la paroi interne du réacteur sinon il perd son énergie). L'objectif est de fournir un moyen sûr, propre et compétitif de production d'électricité pour le prochain siècle. De l'autre côté, on trouve la fusion par confinement inertiel, où l'on réalise de micro explosions thermonucléaires en comprimant, à l'aide de puissants lasers, de petites gouttelettes de combustible (hydrogène). C'est une recherche plutôt orientée vers la physique des armes nucléaires.

En juin 1998, le *Department of Energy* (DOE) a dû revoir l'ensemble du programme de recherche en matière de fusion (650 MUSD) et placer des priorités. Ce qui ne se passe pas sans une certaine rivalité entre les deux voies décrites précédemment. La fusion par confinement inertiel est principalement financée par la branche militaire du DOE, le programme des armes nucléaires, et se place en support des objectifs de sécurité nationale, alors que la recherche dans le domaine de la fusion par confinement magnétique est financée par le programme de recherche énergétique civile du DOE. Le budget fusion du DOE est ainsi divisé comme suit: recherche civile 222 MUSD (fusion magnétique), recherche militaire 423 MUSD (fusion inertielle avec la construction du *National Ignition Facilities* 229 MUSD, lasers 156.5 MUSD, puissance pulsée 28.5 MUSD et *Ion drivers* 7 MUSD).

Ces dernières années le programme fusion civil (DOE) a connu une diminution de son budget qui l'a amené à recentrer ses objectifs sur le développement des bases scientifiques (physique des plasmas) et technologiques (matériaux à basse activation, etc.) de la fusion plutôt que sur la démonstration expérimentale. Cette nouvelle

orientation nationale a aussi eu des implications au niveau international, notamment sur le projet ITER (*International Thermonuclear Experimental Reactor*), puisqu'elle a contraint les USA à renoncer à participer à l'ensemble de la période de 3 ans d'extension de la phase EDA (*Engineering Design Activities*) d'ITER.

En Corée du Sud, les travaux du *Korea Superconducting Tokamak Advanced Research* (KSTAR, 300 MUSD) ont démarré dans le courant de 1998. Les chercheurs américains du *Princeton Plasma Physics Laboratory* (PPPL) ont joué un rôle important dans la préparation des scientifiques coréens à faire un grand pas en avant dans le domaine de la fusion. Le KSTAR n'est autre qu'une version plus modeste du *Tokamak Physics Experiment* (TPX-750 MUSD) qu'ils avaient espéré au PPPL. Mais le projet fut tué dans l'œuf, en 1995, pour des raisons économiques. Malgré la crise économique, le gouvernement coréen a supporté KSTAR en estimant que ce projet stimulera la R&D industrielle en même temps qu'il va catapulte la Corée du Sud sur le devant de la scène internationale en matière de recherche sur la fusion. Les travaux du KSTAR devraient être terminés en 2002. L'installation aura alors pour objectif le confinement du plasma (hydrogène-deutérium) pendant 300 secondes.

Depuis le 31 mars dernier, les efforts du Japon pour comprendre et maîtriser la puissance de fusion ont permis de faire un grand pas en avant avec la mise en marche du *Large Helical Device* (LHD) du *Japan's National Institute for Fusion Science* (NIFS). Cette installation de 650 MUSD basée sur le concept du "stellarateur" (Dans ce type de réacteur le plasma est confiné par un champ magnétique stable, créé par des bobines extérieures hélicoïdales ou à structure tridimensionnelle (dont la réalisation est beaucoup plus complexe), qui ne nécessite pas de faire passer un courant électrique au sein du plasma.) est la dernière composante d'un des programmes de recherche en matière de fusion les plus ambitieux au monde (budget annuel 250 MUSD, 18 MUSD de plus que les USA). Le

"stellarateur" pourrait être une alternative au *Tokamak* pour des réacteurs commerciaux même si actuellement les *Tokamaks* sont plus avancés en terme de densité de plasma et de température. Le Japon dispose aussi d'un *Tokamak*, le JT-60, qui est, avec le JET européen, l'un des plus avancés au monde. Sur le projet ITER, le Japon reste le partenaire le plus fiable pour l'Europe. Il a d'ailleurs toujours l'ambition d'accueillir ITER, ou ITER réduit, avec deux sites potentiels et un fort appui industriel.

Malgré ses difficultés financières importantes, il est à relever que la Russie a pu respecter ses engagements vis-à-vis du projet ITER. Tout ce qui pouvait être réalisé dans leurs laboratoires l'a été. Leur expertise est importante dans ce domaine et, de plus en plus, on voit des chercheurs russes venir travailler pour JET.

Pour ITER, juillet 1998 a marqué la fin de 6 années, accomplies avec succès, d'EDA (*Engineering Design Activities*). Les résultats obtenus ont été présentés dans le *ITER Final Design Report, Cost Review and Safety Analysis (FDR)* approuvé par le Conseil d'ITER le 25 juin 1998 à Tokyo. Ce rapport fournit le premier concept clair, compréhensible et pleinement intégré d'un réacteur de fusion basé sur une physique bien établie. La R&D technologique réalisée, pendant cette période de 6 ans, a permis de qualifier les solutions techniques adoptées. De même, des analyses de sécurité et d'environnement ont montré qu'ITER peut être opéré sans risque, ce qui démontrera l'aspect sûr et propre de la fusion comme source d'énergie. D'autre part, les études des coûts réalisées par les industries des différents partenaires ont confirmé que le total du coût estimé (750 MEUR par année sur 10 ans) reste dans les objectifs fixés au début de l'EDA.

En résumé, on a atteint le niveau de confiance suffisant pour qu'ITER puisse être construit, opéré en toute sécurité et ainsi démontrer la faisabilité technique et scientifique de la fusion.

Malgré ces résultats importants et prometteurs, 1998 a été une **année très difficile pour ITER**. Initialement, les 4 partenaires Europe, Japon, Russie et USA, avaient planifié le choix du site d'ITER pour juillet 1998. Le réacteur expérimental aurait été alors opérationnel en 2008. Aujourd'hui, la situation d'ITER est très différente et, comme dans tous les grands projets internationaux lorsque le temps difficile de la décision de construction approche, les difficultés de la réalisation apparaissent au grand jour. Néanmoins, le succès de la collaboration autour du projet ITER n'est nullement mis en doute. Il a d'ailleurs été reconnu cette année lors de la rencontre du G-8 à Birmingham "*We acknowledge successful co-operation on the pilot project of ITER and consider it desirable to continue international co-operation for civil nuclear fusion development.*" Mais, le coût de cette nouvelle installation dans le contexte économique actuel représente une dépense considérable. Actuellement, plus personne ne peut se l'offrir et le support politique

n'est plus aussi fort. C'est pourquoi, l'étude d'un ITER réduit (ITER II), avec inévitablement des objectifs moins ambitieux, a été entreprise.

Considérant l'orientation réacteur de leur programme Fusion respectif et l'importance d'un réacteur expérimental (ITER, ITER II ou tout autre projet) dans cette stratégie, l'Europe (Suisse y compris), le Japon et la Russie ont signé, en juillet dernier, l'accord sur la poursuite de l'ITER-EDA pour 3 années. Quant aux USA, par manque de budget, ils ont annoncé en octobre qu'ils ne participeront à cette extension de l'ITER-EDA que pour une année seulement (juillet 1999).

En Europe, le 17 novembre 1998 le Conseil des Ministres et le Parlement européen sont parvenus à clore la procédure de conciliation sur le 5^{ème} programme cadre de recherche (PCRDT) pour la période 1999-2002. Le budget de la recherche est de 13.7 GEUR pour la partie relative à la Communauté européenne et de 1.26 GEUR pour la partie EURATOM (fission et fusion). Le budget fusion est de 788 MEUR pour les 4 ans. L'approche du 5^{ème} PCRDT est différente de celle du 4^{ème} qui était défini autour des besoins scientifiques. Son architecture se concentre sur des objectifs propres à satisfaire la compétitivité économique et les besoins sociaux. Au lieu des 15 programmes spécifiques, répartis selon les critères scientifiques et technologiques classiques, le nouveau PCRDT comprend 4 programmes thématiques (1. Qualité de la vie et gestion des ressources du vivant; 2. Mise en œuvre d'une société de l'information conviviale; 3. Promotion d'une croissance compétitive et durable; 4. Préservation de l'écosystème) et 22 actions-clés (une sur la fusion). Les programmes EURATOM sur l'énergie nucléaire (fission et fusion) font partie du thème 4. Dans cette stratégie, la contribution de la fusion à la production d'électricité sur une base sûre et propre sera explorée dans un vaste contexte d'études sur l'aspect économique et social de la fusion. La mobilité et la formation du personnel technique et scientifique, la dissémination de résultats et la diffusion d'information vers le public feront intégralement partie de l'action-clé sur la fusion.

En 1997, lors des expériences utilisant un mélange de deutérium-tritium, le JET a établi trois records mondiaux dans le domaine de la fusion. Il a produit une puissance de fusion de 21 MJ (énergie de fusion produite pendant la décharge), un pic de puissance de fusion $P_{fus} = 16.1$ MW et un facteur d'amplification $Q_{in} = (P_{fus} / P_{in}) = 0.65$, où P_{in} est la puissance injectée (25 MW). Au moment du pic de puissance, le contenu en énergie du plasma W_{plas} était encore en train d'augmenter et le rapport entre la puissance de fusion et la puissance de injectée nette est alors $Q_{tot} = [P_{fus} / (P_{in} - (dW_{plas} / dt))] = 0.94$. Cela correspond à la valeur Q_{in} qu'atteindrait un plasma similaire obtenu en état stable. De la fin 1997 au début de 1998, les chercheurs du JET ont affiné les lois d'échelle de la machine reliant le confinement du plasma aux paramètres de l'expérience. C'est un travail

extrêmement important dont dépend, pour une large part, le concept d'ITER. Les équipes du JET ont aussi été occupées cette année à remplacer le "diverteur", zone qui sert d'écran protecteur entre le plasma principal et la paroi de la chambre de confinement. Cette région doit à la fois permettre l'évacuation de particule du plasma et empêcher les impuretés d'y pénétrer. Le nouveau "diverteur", *Mark II GB*, d'un concept proche de celui d'ITER, a été installé par télémanipulation et testé pendant 6 mois. Ces techniques de télémanipulation ont été développées au JET pour remplacer les éléments les plus critiques du système d'extraction de la chaleur et des particules. La réussite de l'installation du "diverteur" *Mark II GB*, par cette nouvelle technique, a ainsi fait la démonstration de l'une des technologies clés nécessaires pour ITER et tout autre réacteur de fusion.

Fin 1999, le JET cessera d'exister dans sa structure juridique actuelle "entreprise commune" (art. 45-51 du traité EURATOM). Néanmoins, chaque institution liée à EURATOM par un contrat d'association constitue une association. Ce peut être un laboratoire national, un groupe de laboratoires de recherches universitaires ou un pays. Le Contrat d'Association, fixe les modalités de la collaboration, stipule notamment le programme de

travail à exécuter par l'Association, le budget, ainsi que la participation financière d'EURATOM) ont manifesté un fort intérêt à pouvoir utiliser les installations du JET au-delà de 1999. De plus, les travaux fournissant une orientation réacteur au programme européen et se focalisant sur l'aspect recherche technologique lié à la fusion ont été réalisés jusqu'à la fin de 1998 dans le cadre de l'accord NET (*Next European Torus*). Avec l'arrivée du 5^{ème} PCRDT, la Commission européenne propose, pour la période 1999-2002, de donner un cadre juridique simple et stable à la situation actuelle du programme fusion européen et cela dans un esprit de continuité. Il s'agit du *European Fusion Development Agreement - EFDA*. Il n'apporte rien de nouveau, il ne fait que combiner au sein d'un seul accord des activités déjà existantes. Fin novembre 1998, le processus final de consultation de l'EFDA au sein de la Commission a été lancé. À l'issue de cette procédure, le texte de l'EFDA sera soumis officiellement aux différentes associations pour signature début 1999. L'EFDA couvrira ainsi 1) les activités technologiques dans les Associations et dans l'industrie européenne, 2) il permettra une utilisation de l'installation JET après 1999, 3) supportera les contributions européennes aux collaborations internationales telle que ITER, par exemple.

Travaux effectués et résultats obtenus

L'exploitation du *Tokamak à Configuration Variable (TCV)* du (CRPP/EPFL) se poursuit avec, comme objectif, une compréhension toujours meilleure des plasmas non-circulaires et de forte élongation, et cela en présence de chauffage par onde cyclotron-électronique. Cette exploitation s'accompagne d'une adaptation continue des diagnostics du plasma de même qu'un développement de nouveaux diagnostics pouvant être utilisés sur TCV ou d'autres machines. D'autres développements se concentrent sur la mise au point de puissants gyrotrons pour TCV et *Tore Supra (F)* et cela en collaboration avec le CEA (Commissariat à l'énergie atomique), le *Forschungszentrum Karlsruhe* et *THOMSON Tubes Électroniques*. Avec cette dernière activité, le CRPP participe à l'effort européen dans le développement des gyrotrons pour le chauffage cyclotron électronique d'un réacteur expérimental.

Parmi les faits marquants de TCV en 1998, on relèvera les points suivants:

A la fin de l'année 1997, l'arrêt technique destiné aux travaux à l'intérieur de TCV a été terminé. La paroi interne de la chambre à vide du TCV est maintenant complètement recouverte de "tuiles" de carbone. Les sondes magnétiques internes ont été également remplacées. La reprise de l'opération du TCV a été malheureusement reportée à la fin de juillet 1998 à cause de la présence imprévue de quantité importante d'huile imbibée dans les tuiles de carbone. À sa reprise, la

nouvelle phase d'opération bénéficie d'un chauffage additionnel du plasma par onde cyclotron électronique d'une puissance totale de 1.5 MW.

Une étude du chauffage par onde cyclotron électronique de plasmas allongés (élongation jusqu'à 2.15 et triangularité comprise entre -0.65 et 0.5) a été effectuée. Avec 1.5 MW injecté, la température électronique a augmenté d'un facteur d'environ 6, passant de 10 millions de degrés à près de 60 millions de degrés. Cette campagne a permis également d'étudier des phénomènes de magnétohydrodynamique (MHD) associés au chauffage ainsi que la modélisation du transport d'énergie.

Utilisant la puissance de chauffage par onde cyclotron-électronique, une étude de la transition entre le mode de confinement d'énergie "bas" au mode de confinement d'énergie "élevé" a été également entreprise. Une telle transition, déclenchée par la puissance de chauffage additionnel, a été observée. L'étude paramétrique du phénomène se poursuit.

Toujours avec la puissance cyclotron électronique, des études de modification du profil de courant toroïdal de plasma ont débuté. Elles visent à l'obtention de mode d'opération dit avancé du *Tokamak* avec des potentialités d'amélioration du confinement d'énergie.

L'obtention de plasmas fortement façonnés dans le TCV reste aussi un thème de recherche important du programme.

Au point de vue technologie Radio Fréquence, signalons que le premier gyrotron de série à 118 GHz délivrant 0.5 MW en impulsions de 2 secondes a été livré au CRPP. Ce gyrotron est le fruit d'une collaboration entre le CRPP, les Associations EURATOM CEA et FZK et la firme **THOMSON Tubes Électroniques**. Une nouvelle collaboration avec les mêmes partenaires a débuté pour développer un gyrotron encore plus performant (140 GHz — 1 MW en puissance continue avec récupération d'énergie) pour le "stellarateur" allemand W7-X.

Les études théoriques se poursuivent selon les lignes d'excellence du CRPP. Des travaux numériques sont réalisés sur: la stabilité de plasma de configuration toroïdale; le chauffage radio fréquence des plasmas de fusion; le transport de particules et d'énergie dans des plasmas de fusion; la recherche de nouvelles configurations de plasma et la compréhension des limites d'opération des machines existantes. La recherche de nouvelles configurations a dégagé des configurations toriques compactes mais non-axisymétriques qui n'ont pas besoin de bobines passant par le centre. Actuellement, leur stabilité MHD pose encore des problèmes. La simulation de phénomènes de physique, comme le transport dans des *Tokamaks* et "stellarateurs", continue avec le développement de divers codes. La validation scrupuleuse du nouveau code de simulation particule (PIC) gyrocinétique non-linéaire a permis d'évaluer son applicabilité au problème de transport dans des configurations *Tokamak* réelles.

Les deux groupes de recherche en technologies de la fusion (CRPP), Supraconducteur et Matériaux, sont

localisés à l'Institut Paul Scherrer (PSI), à Villigen. Avec leurs installations respectives SULTAN (*Supraleitung Test Anlage*) et PIREX (*Proton Irradiation Experiment*), ils occupent une place importante dans le programme européen. À ces deux groupes, il faut encore ajouter l'UNI-Bâle qui conduit des recherches dans les techniques de dépôt in-situ de matériel à faible nombre atomique dans un *Tokamak* ainsi que dans le domaine de l'interaction plasma-paroi interne des réacteurs. D'étroites relations sont entretenues entre ce groupe, financé en partie par l'OFEN, et le CRPP. Ainsi, en plus de leurs expériences sur les propriétés et la réactivité de différents métaux alcalins contenant du carbone amorphe, ils ont effectué des analyses très précises sur l'état de contamination des tuiles de carbone du TCV suite à la découverte d'huile dans la chambre de confinement. En supraconductivité, l'installation de test SULTAN est pleinement utilisée par les partenaires d'ITER pour tester des conducteurs et des joints développés pour ITER ainsi que pour un programme spécifique de l'Association visant à mieux comprendre les phénomènes thermo-hydrauliques dans les câbles supraconducteurs. Dans le domaine du développement de matériaux à basse activation et de la mesure de leurs propriétés mécaniques après irradiation, 1998 a été consacré à l'étude de divers aciers ferritiques martensitiques et à celle des alliages de titane.

Beaucoup des activités suisses sont réalisées en collaboration avec des industries suisses et européennes ainsi qu'avec d'autres laboratoires au sein du programme Fusion européen de même qu'avec des laboratoires russes, tchèques, hongrois, japonais et américains.

Buts et résultats du projet financé par l'OFEN

La participation de l'OFEN, très limitée pour les activités de fusion, s'est concentrée en 1998 sur les recherches du groupe de l'UNI-Bâle sur le conditionnement des parois de réacteur de fusion.

Surface Studies related to Fusion Reactor Material

Avec ce projet, le groupe de l'UNI-Bâle [1] poursuit ses activités sur le conditionnement des parois de réacteur de fusion. Ainsi en 1998, des expériences sur les propriétés et la réactivité de divers métaux alcalins contenant du carbone amorphe ont été conduites. Les principaux outils utilisés pour mener ces travaux furent la spectroscopie photoélectronique par ultraviolets et par rayons X (XPS/UPS). Des couches minces de carbone amorphe libre d'hydrogène ont été exposées à des températures allant de la température ambiante à 800 °C. Des atomes de métal (Li ou Na) avaient été déposés sur ces supports (couches minces) et ont ainsi diffusé dans la masse. Dans d'autres expériences, les échantillons contenant du métal furent exposés à de l'oxygène moléculaire et recuits à des températures de plus de 1'100 °C. Après chacune de ces étapes ces couches min-

ces furent analysées in situ dans des conditions de vide extrême. La structure des matrices de carbone (couche mince) montrait un haut degré de cristallinité pour les échantillons qui avaient été déposés à des hautes températures. Dans tous les échantillons, l'incorporation de métal a conduit à marquer une diminution dans les fonctions de travail. Tenant compte des informations provenant de toutes les méthodes appliquées, un modèle a été développé pour décrire l'incorporation d'atomes métalliques dans des matrices de carbone.

L'exposition à l'oxygène induit une ségrégation du métal de la masse et une accumulation de ces oxydes dans les régions de surface. Simultanément, la fonction de travail a été réduite à une valeur inférieure à 2 eV pour 26 % de Li et 28 % d'O.

Dans la continuité de la collaboration avec le CRPP/EPFL, d'autres échantillons de tuile graphite de TCV ainsi que des échantillons ayant été soumis à la boronisation ont été analysés à l'aide de la spectroscopie photoélectronique par rayons X (XPS).

Perspectives 1999

Pour 1999, les objectifs sont: la poursuite de la collaboration avec le CRPP/EPFL avec l'analyse d'échantillons du TCV; d'autres expériences in situ avec du carbone amorphe. Parmi les points d'intérêt majeur qui seront examinés, on peut notamment citer: la réactivité de matériaux oxydés et contenant du métal à l'égard de l'hydrogène moléculaire ou atomique; la réactivité de matériaux préalablement oxydés et recuits; l'érosion et

l'irradiation avec des ions oxygène; le profil en profondeur de quelques échantillons afin d'établir la distribution du métal dans la matrice avant l'addition d'oxygène et la comparaison avec l'état du même échantillon après oxydation; l'incorporation d'un métal alcalin lourd peut être pertinent pour certaines mesures comparatives.

Liste des projets

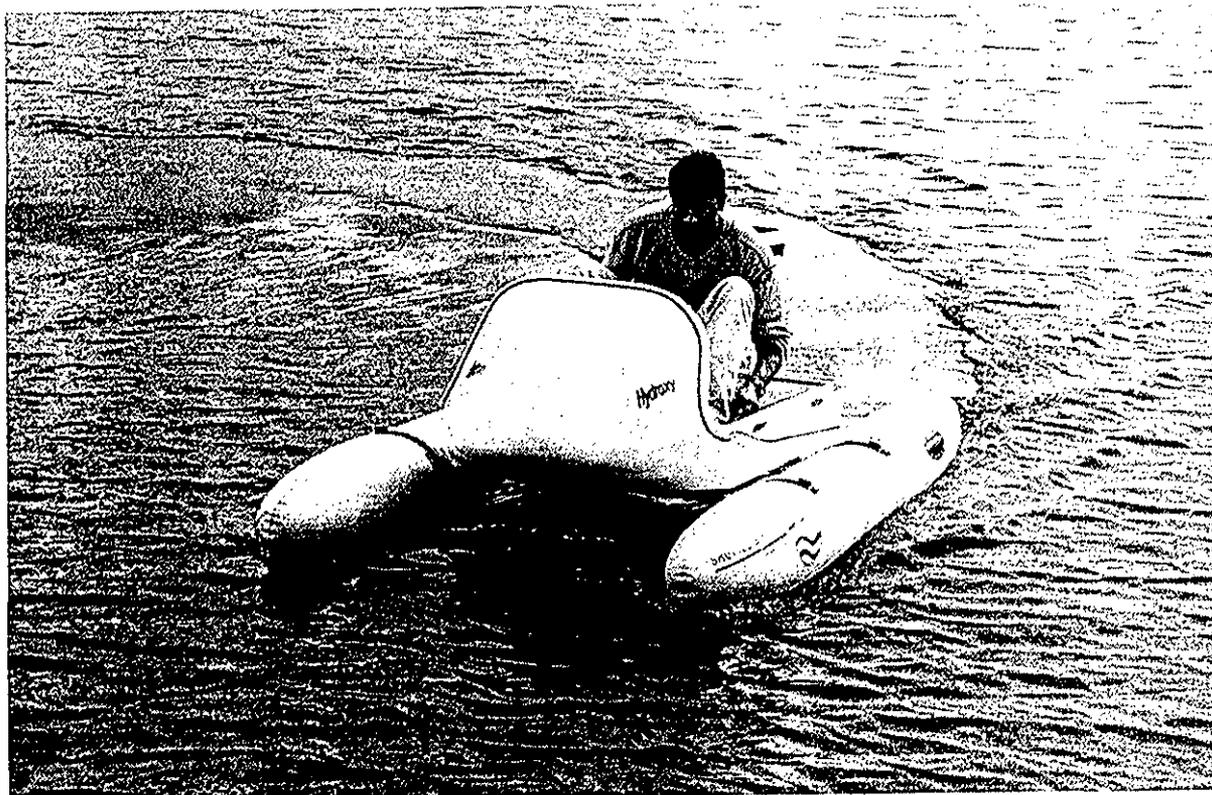
- [1] M. Töwe, P. Reinke et P. Oelhafen, UNI-Basel: *Surface Studies related to Fusion Reactor Material* (RA)
(RA) Rapport annuel disponible

PILES À COMBUSTIBLE & ACCUMULATEURS

Rapport de synthèse
sur les activités 1998 du programme de recherche

Léo Dubal

leo.dubal@bfe.admin.ch



Il était une petite pile,

Le PSI et l'IGS-Grenchen ont développé *Powerpack* de 100 W. L'EIVD-Yverdon, en collaboration avec MW-LINE, à Yverdon, en a intégré un à une embarcation électrique. Outre les applications dans les sous-marins militaires, les piles à combustible se portent maintenant partie civile pour l'EXPO.01.

Introduction

Le Programme *Piles à combustible & Accumulateurs* coordonne l'ensemble des activités suisses en matière de générateurs électrochimiques autour d'une *stratégie cohérente* et intégrée dans la collaboration avec les Communautés européennes. Il s'appuie sur les programmes Hydrogène, Électricité, Couplage chaleur-force et Transport.

Rappelons qu'un *générateur électrochimique* est un appareil qui convertit directement l'énergie chimique en électricité. Dans les *accumulateurs*, l'anode est rechargée, en inversant le sens du courant. Dans les *piles à combustible*, l'anode doit être constamment alimentée en hydrogène de qualité: l'apprêtage du combustible, longtemps considéré comme un problème subalterne a accédé récemment au rang des préoccupations majeures.

Pour les projets de *Recherche* dans le cadre du Programme, la tension minimale visée pour les modules de *laboratoire* est de 12 V_{DC}, la puissance, de 0,1 à 1,0 kW, et l'énergie mise en jeu de l'ordre de 1 kWh; pour

les projets *Pilotes* sur des modules *pré-commerciaux* (de puissance inférieure à 5 kW), l'énergie délivrée peut atteindre 5'000 kWh; finalement, pour les projets *Démonstration* sur des modules *commerciaux*, la puissance peut atteindre 200 kW et l'énergie plusieurs millions de kWh.

Le soutien subsidiaire de l'OFEN à la recherche en matière de générateurs électrochimiques est modeste et se limite aux types les plus prometteurs pour la politique énergétique suisse. Il s'ensuit que le soutien financier des trois 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), ainsi que du Programme Prioritaire Matériaux (PPM) du Conseil des Écoles Polytechniques, de la Commission pour la Technologie & l'Innovation (CTI), et de l'OFES pour la participation suisse aux programmes européens constitue un ensemble de contributions essentielles à l'émergence de ces technologies sur le marché.

État de la technique

Ce survol du domaine des générateurs électrochimiques couvre les récents progrès accomplis en Suisse et à l'étranger *sans* le soutien financier du Programme.

PILES À COMBUSTIBLE

Les piles au gaz naturel, à électrolyte d'acide phosphorique, dites *PAFC*, sont les seules piles commercialisées dont la durée de vie atteint les 40'000 heures. C'est la version la plus avancée du couplage chaleur-force au gaz naturel, pour les installations dans la gamme de puissance des 200 kW_{ét}. Malgré leurs atouts environnementaux, faute de concurrence, leur prix - le triple de celui d'une installation classique - fait obstacle à leur entrée sur la scène énergétique.

Les piles à l'hydrogène, à électrolyte polymère, dites *PEFC* [47] devraient voir fondre leur coûts de fabrication. Le *prix unitaire* actuel, pour des installations de l'ordre d'un watt est de 150 CHF/W (CONRAD); pour des puissances supérieures de six ordres de grandeur (BALLARD), il est réduit d'un facteur six. L'entrave au développement de cette technologie que constituait le prix des membranes est en train de disparaître: Lors du séminaire d'électrochimie de l'Institut Paul Scherrer, à Villigen [41], les résultats de l'Institut MAX-PLANCK ont été présentés: il est possible de contourner les polymères "fluorés" en mettant à profit la stabilité des polymères "aromatiques". L'importance de cette percée technologique a été reconnue par SIEMENS et par un projet

européen [32] auquel participe le PSI. L'apparition de ce nouveau produit, commercialisé par AVENTIS, a provoqué une redéfinition partielle de la stratégie du Programme. Si les pronostics pour les coûts de production en grandes séries - moins de 0,10 CHF/W - se confirment, les PEFC engendreraient une profonde mutation de l'économie énergétique. Le handicap que représente la haute qualité exigée de l'hydrogène (moins de 10 ppm de CO) pour l'obtention d'une durée de vie satisfaisante ne doit cependant pas être sous-estimé.

En ce qui concerne les applications au niveau de l'automobile, la compacte NECAR III de DAIMLER-CHRYSLER, équipée d'un reformeur de méthanol et d'une pile de 50 kW de BALLARD, a déçu, semble-t-il, notre informateur qui l'a essayée. De son côté OPEL-GM tente de maîtriser la technologie en restant discrète sur ses partenaires. Sa pile de 50 kW remplit encore le coffre arrière de la "ZAFIRA".

Le coût du conditionnement de l'hydrogène pour les unités portables est encore très élevé, de l'ordre de 200 CHF/kWh [20]. La stratégie à considérer pour sortir de l'impasse est le stockage de l'hydrogène dans des cartouches remplies de nanostructures de graphite "en lisière" (telle les nanofibres en arêtes de hareng [42]). Une autre stratégie est l'utilisation directe d'alcools. MANHATTAN SCIENTIFIC a annoncé la commercialisation en l'an 2000 d'une pile de 3 W pour téléphone portable: son prototype a une autonomie de deux semaines par cartouche d'éthanol.

En ce qui concerne les *Powerpacks* développés pour les besoins de l'enseignement aux ingénieurs, par le PSI, et l'IGS-Grenchen, la phase d'expérimentation a débuté. Malgré la petite puissance et le manque d'ergonomie des premiers modules, l'EIVd-Yverdon [43] a trouvé une application originale, digne de figurer à l'EXPO.01 (voir photo d'en-tête).

Les piles au gaz naturel, à électrolyte céramique, dites SOFC [48], sont spécialement bien adaptées au couplage chaleur-force. Le prototype de 100 kW de WESTINGHOUSE installé aux Pays-Bas a dû être arrêté peu après son inauguration. Suite à son rachat de WESTINGHOUSE, SIEMENS a abandonné son propre développement, et, ainsi, SULZER, à Winterthur, se retrouve sans concurrent en Europe. Bien intégrée dans les projets de recherche européens [30-31], la pile HEXIS au gaz naturel de 1 kW est l'unité "chaleur-force domestique" qui devrait être commercialisée d'ici deux ans. À la campagne de mesures sur une installation aux Services industriels de Winterthur, s'est ajoutée toute une liste d'utilisateurs en Europe et au Japon.

ACCUMULATEURS

Une compilation des paramètres importants de dix types d'accumulateurs pour véhicules électriques a été dressée par P. RUETSCHI, à Grandevent [44].

Les accumulateurs au plomb ont été l'objet d'un projet de collaboration européenne pour la réduction de la masse des électrodes. Y a participé DEVEX, à Châtel St-Denis [34]. L'exploitation industrielle des résultats se heurte au problème du financement.

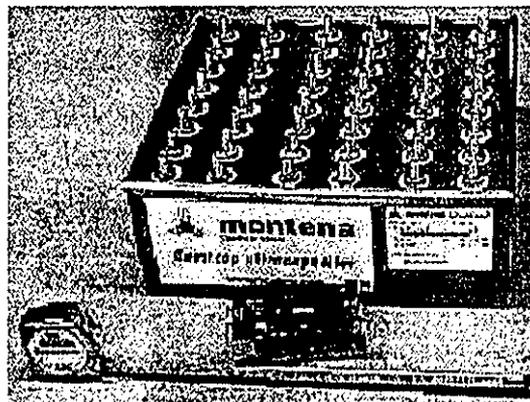
Les accumulateurs "Nickel-hydrures métalliques" font l'objet d'une collaboration européenne visant à améliorer leur cinétique. Y participent l'UNI-Fribourg et LECLANCHÉ, à Yverdon [35].

Les accumulateurs "sodium-chlorure de nickel" ont des performances opérationnelles excellentes. Un prototype avancé ZEBRA (avec membrane cylindrique en trèfle) est venu compléter l'équipement des *Wiler Stadtbuss*, mais la production a cessé !

Les accumulateurs "zinc-air" font l'objet d'une collaboration européenne; le PSI y participe [33].

Les accumulateurs "ions-lithium" focalisent sur eux l'attention. MONTENA COMPONENTS, à Rossens, poursuit le développement d'une ligne de fabrication dans le cadre d'un projet EUREKA [37].

Pour les supercondensateurs, la filière "haute fréquence" pour l'électronique de puissance, est étudiée dans le cadre du programme PPM par le PSI, ABB, à Dättwil et LECLANCHÉ, à Yverdon. Pour la filière "basse fréquence" pour la traction, MONTENA COMPONENTS s'est lancée, début 1998, dans cette voie et a réussi, moins de 12 mois plus tard, à présenter ses premiers modules [14].



Supercondensateur de MONTENA COMPONENTS:
 $C=24 \times 1500 \text{ F}$, $U=24 \times 2.5=60 \text{ V}$, $R_i=24 \times 16 \text{ m}\Omega$

Buts visés pour 1998

PILES À COMBUSTIBLE

a) PAFC (*Phosphoric Acid Fuel Cells*): Promouvoir l'installation des piles de 200 kW au gaz naturel.

b) PEFC (*Polymer Electrolyte Fuel Cells*): 1) Réaliser un prototype de 2 kW H₂/air en vue d'application à une navette lacustre électrique pour l'Expo.01. 2) Documenter le savoir-faire sur les membranes greffées par électro-irradiation et tester les nouveaux produits. 3) Construire quatre *Powerpacks* de 300 W @ 12 V_{DC} H₂/air pour l'enseignement aux ingénieurs. 4) Comparer les coûts du conditionnement du combustible.

c) SOFC (*Solid Oxide Fuel Cells*): 1) Développer les procédés de pulvérisation les mieux adaptés à la fabrication d'un électrolyte mince. 2) Développer une anode performante compatible avec HEXIS, capable d'opérer à moins de 800 °C.

ACCUMULATEURS

a) Chargeurs intelligents: 1) Quantifier l'influence du chargeur GLUR sur les accumulateurs de voitures électriques. 2) Tester, en vue d'une application sur un minibus électrique, le concept de charge par biberonnage (recharge basse puissance en continu du module stationnaire/ recharge rapide du module mobile) de supercondensateurs.

b) Accumulateurs "zinc/air": Démontrer sur un modèle fonctionnel de 20 Ah @ 12 V, une capacité massique nette de l'ordre de 100 Wh/kg, stable sur plusieurs dizaines de cycles.

c) Accumulateurs "ions-lithium": Développer des électrodes d'insertion mésoporeuses et des électrolytes sûrs et démontrer, sur un modèle fonctionnel de 1 Ah, le concept 3S (*Safe, Swiss, Scale-up*).

Travaux effectués et résultats obtenus

PILES À COMBUSTIBLE

a) PAFC:

1) GAZEL: La pile de ONSI de 200 kW_{el}, type PC25A, des Services industriels de Genève [11] cumule, fin 1998, 39'600 h d'opération avec un rendement électrique net de 40 % (42 % au démarrage, 39 % actuellement). Sa production d'électricité s'élève à 5'400'000 kWh, soit en comptant l'intégralité des dépenses de cette installation de démonstration, un coût de production de 0,25 CHF/kWh. Sur la base de l'expérience acquise, les calculs montrent que le coût de production d'une installation commerciale serait de 0,11 CHF/kWh.

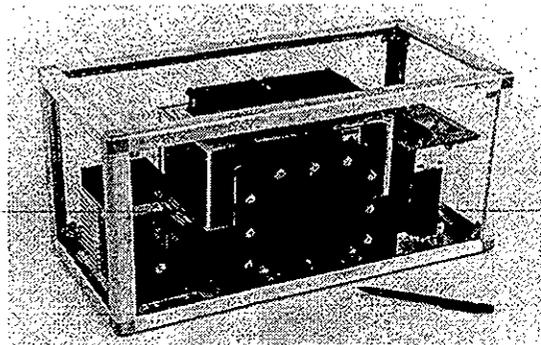
2) Collectif chaleur-force: Le projet d'AEB, à Birsfelden [19], d'intégrer une PC25C à un chauffage de quartier, va se dérouler dans un environnement "ouvert".

b) PEFC:

1) Stacks & membranes: Au PSI [3], le comportement dynamique du stack de 0,9 kW de 20 éléments alimentés en H₂/air, développé en 1997, a été étudié: lors des démarrages à froid (20 °C): après 2 min, 50 % de la puissance est disponible, et 90 % après 5 min. L'humidité de l'air peut être réduite jusqu'à 40 % sans réduction significative de la puissance. La construction du stack H₂/air de 50 éléments est presque terminée. Suite au manque d'intérêt industriel, les recherches sur le procédé de fabrication de membranes par électroirradiation du PSI ont été arrêtées et le savoir-faire dûment documenté en vue d'autres applications. Les essais, en collaboration avec l'IGS-Grenchen [21] sur les membranes GORE de 30 µm dans le mode H₂/air ont, quant à eux, révélé un gain de puissance de 30 % par rapport aux membranes DUPONT DE NEMOUR.

2) H₂ pour portables: Pour les systèmes portables, U. BOSSEL [20], à Oberrohrdorf, a analysé les diverses options, actuellement offertes sur le marché, pour le conditionnement du combustible. En ne tenant pas compte du coût d'investissement de la pile, le prix effectif reste supérieur à 200 CHF/kWh

3) Powerpack 300 W H₂/ air: Le PSI et l'IGS-Grenchen [21] ont réalisé un prototype de "Powerpack" de 300 W H₂/air. Il est équipé d'un mini-compresseur nécessitant au démarrage dix petits accumulateurs. L'assemblage anode/ électrolyte/ cathode est de GORE, le diffuseur fuel est du papier carbone de TORAY, alors que le diffuseur air est de E-TEK, plus cher, mais permettant l'élimination rapide de l'eau de réaction lors des démarrages à froid. Les retards dans les livraisons n'ont pas permis la construction des 3 unités prévues.



Powerpack 300 W @ 12 V_{DC} (sans la bouteille de H₂)

c) SOFC:

1) Low-Cost SOFC: Ce Consortium regroupe SULZER-Innotec, les EPF-Lausanne & Zürich, et l'EMPA-Thun [5, 8, 15, 16]. Il a comparé le coût/ bénéfice des divers procédés (*Physical Vapour Deposition, Aerosol Electrostatic Deposition*, etc) de dépôt de couches minces sur substrat poreux: La composition des gaz présents dans le compartiment anodique d'un élément HEXIS a pu être mesurée sous divers régimes de fonctionnement.

2) Anode for SOFC: Ce Consortium regroupe l'EMPA-Dübendorf, et les EPF-Lausanne & Zürich [6, 9, 17]. Il a examiné les matériaux d'anode et les procédés de fabrication adaptés à la configuration HEXIS, les mécanismes de réaction anodique, et les effets du reformage du combustible. Mentionnons ici un travail de thèse sur les supports poreux [46].

3) VPS-HEXIS-SOFC 3 MWh el. Generation: Ce Consortium regroupe MEDICOAT, à Mägenwil, SULZER HEXIS et les Stadt.Werke-Winterthur. MEDICOAT [18] n'étant pas parvenue à transférer à des éléments HEXIS les résultats prometteurs obtenus sur des éléments plus petits, ce projet pilote a dû être abandonné.

ACCUMULATEURS

a) Chargeurs intelligents:

1) Verbesserung der Lebensdauer von Batterien mit einem intelligenten Ladegeräte. Le Consortium VEBILA regroupe l'HES-Bienne, GLUR, à Münsingen, et SOLTAXI, à Soleure [13]. Il n'a pu réaliser qu'une partie de la campagne de mesures prévue à cause des difficultés d'acquisition et des délais de livraison des accumulateurs.

2) Biberonnage de supercondensateurs: La FHZ-Horw [14a] est parvenue à démontrer sur un modèle réduit, équipé de supercondensateurs de fabrication japonaise, son concept de recharge rapide.

3) Kleinbus TOHYCO-Rider [14b]: Ce Consortium, regroupant l'HES-Horw, MONTENA COMPONENTS, BAUMANN, à Lucerne, WAMPFLER, à Weil, BUSINESS, à Schaffhouse, EARTH, à Thalwil, et PASOL, à Titterten, a lancé un projet pilote d'un minibus à supercondensateurs.

b) Accumulateurs "zinc/air":

Le Consortium "Zinc-Air" qui regroupe le PSI, LARAG, à Wil, et ELECTRONA, à Boudry [2] a développé un module de 20 Ah @ 12 V, d'une masse de 2,6 kg, dont 721 g de zinc (10 électrodes @ 30Ah, soit une "réserve" de 10 Ah), 2 ventilateurs et un absorbeur de CO₂. La capacité massique atteint 90 Wh/kg. Lors d'une décharge lente, à 10 W, la puissance parasite est de 0,18 W, contre 1,5 W lors de pointes à 150 W. La puissance maximum (non testée pour raisons de sécurité) est estimée à 220 W. Pendant 50 cycles (à C/9), aucune diminution "apparente" de la capacité n'a pu être mesurée, puis elle devient abrupte (5 % par cycle), ce qui indique la participation des "réserves" de zinc. Un

cycle de formation a permis de régénérer l'état initial pour une dizaine de 10 cycles. Ce projet a bénéficié du catalyseur développé, dans le cadre de ce programme, à l'EMPA-Dübendorf.

c) Accumulateurs "ions-lithium":

Le Consortium 3S (*Swiss, Safety, Scale-up*) regroupant PSI, ITP & LPI /EPF-Lausanne, UNI- Genève, UNI-Fribourg, IIC/ETH-Zürich, TIMCAL, à Sins, RENATA, à Itingen, SUGNAUX, à Ecublens, RUETSCHI [1, 4, 7, 10, 12], a permis le *screening* de manière coordonnée des matériaux d'électrode mésoporeux, des électrolytes et des procédés de fabrication pour augmenter la sûreté des accumulateurs tout en conservant une énergie massique de l'ordre de 100 Wh/kg. Des éléments de tailles réalistes (260 cm²) ont été assemblés dans un premier modèle fonctionnel de 1 Ah. La perte de capacité de ce modèle est de 17 % après 100 cycles. Les essais de laboratoire du Consortium sont complétés par une modélisation numérique.

Transfert à la pratique

L'intégration des projets à un cadre consorsial a renforcé les contacts entre chercheurs, fabricants et utilisateurs, en d'autres termes, elle a favorisé le transfert à la pratique du savoir-faire acquis.

L'impact industriel est particulièrement visible dans trois domaines: celui des piles à combustible [15] chez SULZER HEXIS, celui des supercondensateurs [14] chez MONTENA COMPONENTS et SCHINDLER

AUFZÜGE et celui des accumulateurs ions-lithium [1] chez RENATA et chez XOLOX, une nouvelle PME en voie de se constituer.

Par ailleurs, soulignons que l'expérience acquise sur 40'000 heures avec l'installation GAZEL [11] est mise à profit pour définir le cahier des charges de l'installation de Birsfelden [19], tout en tenant compte de ses spécificités propres.

Coordination nationale & collaboration internationale

Au plan national, l'intégration des groupes de recherche au sein de Consortium à géométrie variable est certainement le point d'orgue des efforts de coordination joués par l'OFEN. La participation des fondations privées à vocation d'encouragement de la recherche énergétique aux activités du Programme est encore modeste: l'appui du FOGA se limite à certains aspects du projet industriel HEXIS, celui du PSEL aux projets „zinc-air" et "chargeur intelligent pour supercondensateurs", et celui du FRUP au "reformateurs d'hydrocarbures".

Au plan européen, la collaboration avec le programme communautaire est très fructueuse. La Suisse participe à sept projets JOULE ou BRITE-EURAM [30-36]. Notons que le PSI a été l'hôte très apprécié de la réunion d'évaluation à mi-terme d'un projet [32].

Les projets sous l'égide de l'Agence internationale de l'énergie, quant à eux, arrivent à terme, alors que les problèmes liés au lancement de nouvelles activités ne sont pas résolus [6, 45].

Évaluation 1998

L'atelier, organisé pour évaluer le chemin parcouru, depuis le lancement, le 28 avril 1988, du Programme Piles à combustible [45], s'est déroulé dans un esprit de critiques constructives, très productif. La démonstration

est faite que même un petit pays, avec des moyens limités, mais ciblant bien ses objectifs de recherche, peut se lancer avec succès dans un domaine très compétitif.

La réorganisation, selon le modèle de Programmes européens, de l'attribution préférentielle des mandats de recherche à des Consortium, a été couronnée de succès, avec, par exemple, le lancement de nouvelles activités industrielles dans le domaine des accumulateurs "ions-lithium".

La présence des HES dans les activités du Programme a été renforcée.

Une réussite particulière est celle du projet de recherche, financé en commun avec le PSEL, sur les accumulateurs "zinc-air" rechargeables par voie électrochimique. Il faut cependant regretter que, malgré

les efforts déployés, le Consortium Zinc-Air ne soit pas parvenu à trouver un débouché immédiat pour son module de 20 Ah.

Un échec, est celui du projet d'installation d'une pile céramique fabriquée par le procédé de projection sous vide au chalumeau à plasma (VPS), procédé qui s'avère inadéquat.

Un succès est à noter dans la démonstration d'un procédé original de charge rapide des supercondensateurs, et sa mutation dans un projet pilote en "vraie grandeur", qui met en valeur les efforts de diversification d'une PME.

Perspectives 1999

PILES À COMBUSTIBLE

a) *PAFC*: Exécution du projet de démonstration à Birsfelden.

b) *Portable Fuel Cells*: La Conférence internationale de Lucerne, dédiée au "portable", sera complétée par le 2ème atelier sur le potentiel d'application des piles à combustible basse température, et la présentation, sur le lac des Quatre-Cantons, d'embarcations électriques, conçues en Suisse et alimentées par des piles à combustible.

c) *PEFC*: 1) Test de membranes "aromatiques" et intégration dans un *Powerpack* de 300 W. 2) Mesure des diverses caractéristiques transitoires sur un élément instrumenté. 3) Lancement d'un programme éducatif pilote dans les écoles professionnelles (travaux

pratiques des apprentis électriciens), et évaluation de son effet promotionnel.

d) *SOFC*: Sélection du procédé de pulvérisation le mieux adapté à la fabrication d'électrolytes minces pour la pile HEXIS, et poursuite du développement d'une anode performante, opérant à moins de 800 °C.

ACCUMULATEURS

a) *Chargeurs intelligents*: 1) Application du chargeur rapide des supercondensateurs à un minibus à Lucerne. 2) Évaluation de l'influence du chargeur intégré sur la durée de vie des accumulateurs.

b) *Accumulateurs "ions-lithium"*: Extension du concept 3S à un modèle fonctionnel de 10 Ah.

Liste des projets et sites Internet

- [1] P. Novák, PSI-Villigen: *3S - Wiederaufladbare Lithium-Ionen-Batterie* (RA)
http://www1.psi.ch/www_f5_hn/electrochemistry/3S.html
http://www1.psi.ch/www_f5_hn/electrochemistry/bfebericht_1998_lithium.doc
- [2] S. Müller, F. Hofer & al., PSI-Villigen: *Entwicklung eines elektrisches wiederaufladbare Zink / Luft-Batterie-Demonstrationsmoduls* (RA+RF)
http://www1.psi.ch/www_f5_hn/electrochemistry/bfe-1998_zink-luft.doc
- [3] F.N. Büchi, H.P. Brack, J. Huslage, G.G. Scherer, PSI-Villigen: *Material- und Strukturaspekte von Membran-Brennstoffzellen* (RA)
http://www1.psi.ch/www_f5_hn/electrochemistry/fuelcell/Materialaspekte1.doc
- [4] R. Vacassy & N. Papageorgiou, LDP&LPI/EPF-Lausanne: *3S / Influence of the particle size of cathode materials on the intercalation rate & capacity* (RA)
<http://dmxwww.epfl.ch/ltp/rv/3Sreport98.html>
- [5] S. Rambert, LPI/EPF-Lausanne: *LOW COST SOFC / Detailed electrochemical analysis of supported PEN*. (RA)
<http://dcwww.epfl.ch/icp/ICP-2/pen.html>

- [6] A. McEvoy, LPI/EPF-Lausanne: *IT-SOFC-ANODES / Research on gas reforming & catalysis with emphasis on the anode/electrolyte interface* (RA)
<http://dcwww.epfl.ch/icp/ICP-2/electrolyte.html>
<http://dcwww.epfl.ch/icp/ICP-2/fcell.html>
- [7] R. Nesper & M. Coluccia, IAC/ETH-Zürich: *3S / Stable Mixed-Metal Oxide for Positive Electrodes* (RA)
<http://davinci.ethz.ch/overview/3Sreport98.pdf>
- [8] M. Hruschka, NMW/ETH-Zürich. *LOW COST SOFC / Chemical spray deposition of electrolyte/ electrode systems* (RA)
http://lomer.ethz.ch/~cklein/nonmet/sofc/sofc_news/mh98.pdf
- [9] A. Bieberle, NMW/ETH-Zürich: *SOFC-ANODES / Identification of the Anodic Reaction Mechanisms* (RA)
http://lomer.ethz.ch/~cklein/nonmet/sofc/sofc_news/ab98.pdf
http://lomer.ethz.ch/~cklein/nonmet/sofc/sofc_news.html
- [10] M. Fedurco, D. Zsoldos & J. Augustynski, UNI-Genève: *3S / Studies of the Negative Composite Electrodes for the Lithium-Ion Battery Applications* (RA)
http://www.unige.ch/chiam/electrochimie/lithium_3s.html
- [11] Nguyen D.L., SERVICES INDUSTRIELS, Genève: *Projet GAZEL: Exploitation industrielle d'une pile à acide phosphorique* (RA)
<http://dcwww.epfl.ch/icp/ICP-2/pafc.pdf>
- [12] C. Daul, UNI-Fribourg & E. Deiss, PSI-Villigen: *3S / Modelling of Lithium Intercalation Batteries* (RA)
<http://sgich1.unifr.ch/ac/phd/jbarras/rap98/welcome.html>
- [13] K. Meier-Engel, HTA-Biel: *VEBILA- Verbesserung der Lebensdauer von Batterien mit einem intelligenten Ladegerät.* (RA)
<http://www.isbiel.ch/A/publicat/elektro/vebila/ber1998.htm>
- [14] V. Härrli, G. Marinkovic, P. Emi, HTA-Horw: *a) Schnelle, intelligente Ladeeinrichtung für Superkondensatoren System-SAM* (RA) • *b) Tohyco-Rider.*
http://www.hta.fhz.ch/projekt/sam_tohy/berichte/bfe_98.html
- [15] K. Honegger & J. Engler, SULZER Innotec, Ob.Winterthur: *LOW COST SOFC • Zusammenfassung & PVD-PEN • Thermal Spray* (RA)
<http://www.innotec.ch/hexis/fuelcell.htm>
<http://www.innotec.ch/hexis/c1ahex.pdf>
<http://www.innotec.ch/hexis/c1bhex.pdf>
- [16] K. Barthel, EMPA-Thun: *LOW COST SOFC / Thermal spray deposition of thick electrolyte* (RA)
<http://www.empa.ch/englisch/fachber/abt123/berichte/sofc.htm>
- [17] B. Gut, EMPA-Dübendorf: *IT-SOFC-ANODES • Herstellung von Anodensubstrat* (RA)
<http://www.empa.ch/englisch/fachber/abt123/berichte/sofc.htm>
<http://www.empa.ch/englisch/fachber/abt123/berichte/sofc/empait98.pdf>
- [18] J. Moens, MEDICOAT, Mägenwil: *VPS-HEXIS-SOFC 3 MWh Electricity Generation using Natural Gas* (RA)
<http://dcwww.epfl.ch/icp/ICP-2/VPScells.pdf>
- [19] S. Renz, THOMA+RENN, Basel: *Nahwärmeversorgung mit Brennstoffzelle Typ ONSI PC25C in Birsfelden* (RA)
<http://www.fhbb.ch/energie/aebbz98.html>
- [20] U. BOSSEL, Oberrohrdorf: *Verfahren zur Bereitstellung von H₂ für tragbare PEFC* (RA)
<http://dcwww.epfl.ch/icp/ICP-2/tragbare.html>
- [21] I. Popelis, HTA-Grenchen & A. Tsukada, PSI-Villigen: *Powerpack 300 W, H₂ / Air* (RA)
http://www1.psi.ch/www_f5_hn/electrochemistry/fuelcell/Jahresber_98.doc

(RA) rapport annuel 1998 disponible sur le web

(RF) rapport final disponible sur le web

Projets internationaux sur Internet

PARTICIPANTS SUISES

	<u>CORDIS:</u>	http://apollo.cordis.lu/cordis/EN_PROJI_search.html	
[30]	JOE3970060	NG-POX for Micro-CHP SOFC	<i>SULZER HEXIS</i>
[31]	JOE3950008	IT SOFC Technology	<i>SULZER Innotec</i>
[32]	JOE3950027	Development of commercially viable stacks ^{2nd} generation SPFC	PSI
[33]	JOR3980298	Zinc-Air	PSI
[34]	BRE20995	Lightweight Pb acid batteries	<i>DEVEX</i>
[35]	BRPR950136	Fast Kinetics for MH	<i>LECLANCHE + UNI-FR</i>
[36]	BRPR970413	Low Cost SOFC	<i>EPFL</i>
	<u>EUREKA:</u>	http://www.eureka.be/number.html	
[37]	1611	Pilot Prod. Line: Li-ion liq. Techn.	<i>CIM+GF</i>

Références

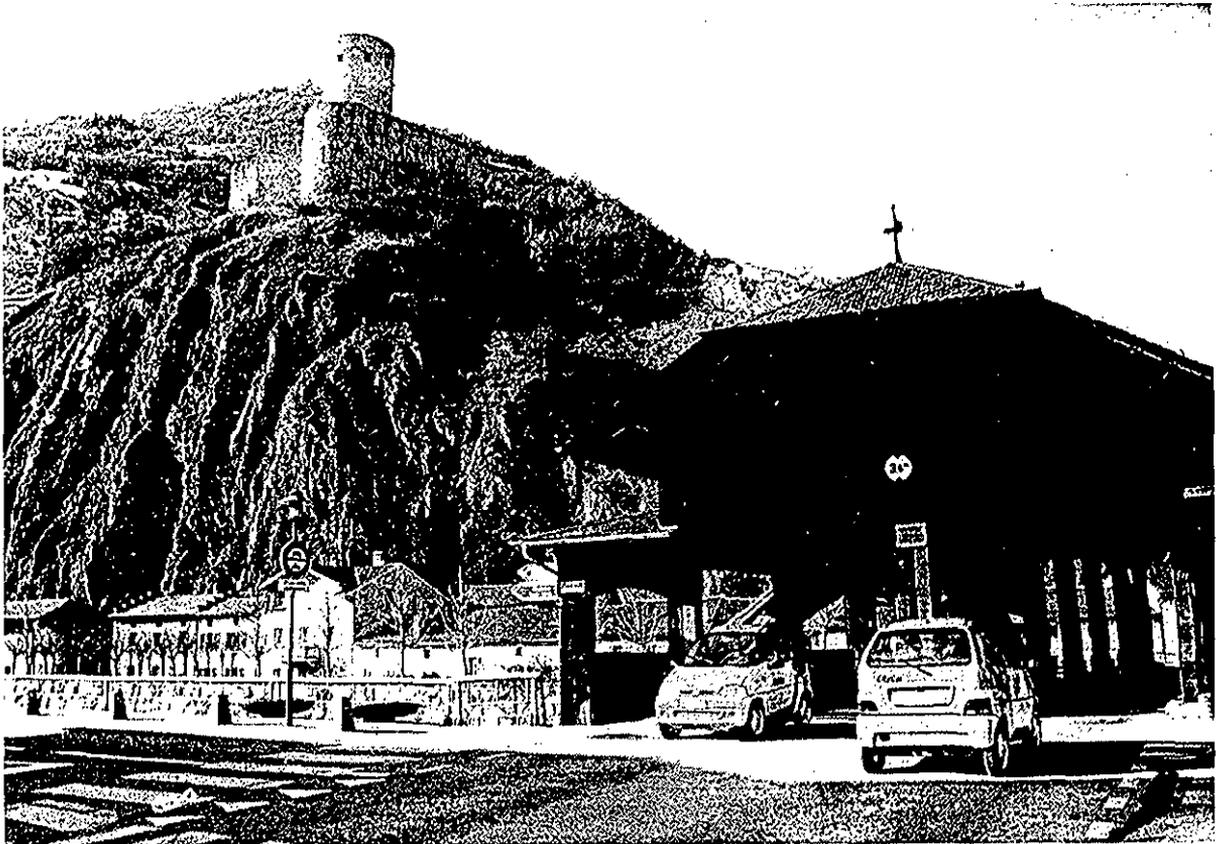
- [41] K.D. Kreuer, MPI-Stuttgart: *Protonen- und Wassertransport in Polymer-Elektrolyt-Membranen*, Unterlagen zum Symposium "Elektrochemische Energiespeicherung", 1:7.1998, PSI-Villigen.
- [42] R.T.K. Baker, NEU-Boston: *Synthesis, Properties and Applications of Graphite Nanofibers*
http://itri.loyola.edu/nano/us_r_n_d/09_03.htm
<http://www.pa.msu.edu/cmp/csc/NANOTUBE-99/puzzles/4.1.html>
- [43] D. Cicio, EIVD-Yverdon: *Conception d'un bateau à pile à combustible*, Travail de diplôme en électrotechnique, EIVD (1998).
http://www.einev.ch/labos/cense/projet/diplome_98/cicio.pdf
- [44] P. Rüetschi, *Grandevent: Status von Batteriesystemen für E-Mobile*, OFEN, Berne (1998)
- [45] Comptes-rendus de l'atelier du 28 avril 1998: *Piles à combustible CH-10 ans / Brennstoffzellen CH-10 Jahre*, OFEN, Berne (1998)
- [46] J. Will, NMW/ETH-Zürich: *Porous Support Structures and Sintered Thin Film Electrolytes for SOFC*.
Diss. ETH No. 12876 (1998)
- [47] PEFC: animation
<http://www.humboldt.edu/~serc/animation.html>
- [48] SOFC: animation
<http://www-iwe.etec.uni-karlsruhe.de/~weber/sofc/sofc.html>

VERKEHR

Überblicksbericht
zum Forschungsprogramm 1998

Martin Pulfer

martin.pulfer@bfe.admin.ch

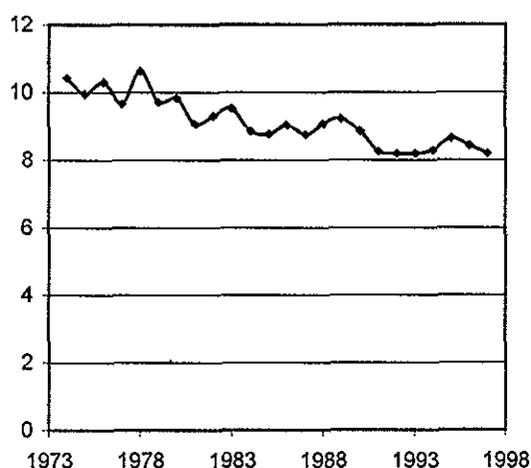


Vergangenheit und Zukunft in Martigny

Vor der historischen *La Tour de la Bâtiaz* verkehren im Projekt CITY CAR öffentliche, jedoch individuell benutzbare Elektromobile. Die 2-plätzig Stadtfahrzeuge LIGIER-AMBRA des Hersteller SCHOLL SSP, Vernier, benötigen pro 100 km nur 15 kWh Energie und haben eine Reichweite von ca. 80 km.

Programmübersicht und Programmziele

Auch 1998 benötigte die Verbrauchergruppe Verkehr rund einen Drittel des Schweizerischen Energiebedarfs. 1997 (Werte 1998 liegen noch nicht vor) verbrauchte der private Personenverkehr 66 %, der Strassengüterverkehr 20 %, der Flugverkehr 9 % und der öffentliche Verkehr 6 % dieses Drittels. Die weiterhin steigenden Verkehrsleistungen und die Tendenz vieler Käufer zu leistungsstärkeren und grösseren Fahrzeugen, kompensierten beim privaten Personenverkehr die dank technischen Optimierungen erzielten Einsparungen teilweise wieder. Wie aus der nachstehenden Grafik hervorgeht, nahm der durchschnittliche Verbrauch der gesamten Fahrzeugflotte gegenüber den 80-iger Jahren trotzdem ab:



Verbrauch [l/100km] / Daten: TCS

Erfreulicherweise werden auf dem Markt nun aber zunehmend Fahrzeuge angeboten, die in Zukunft den Verbrauch noch stärker absinken lassen werden und gleichwohl höhere Platz- und Komfortansprüche abdecken (Familientauglichkeit). Beispiele für solche Modelle sind in der nachstehenden Tabelle aufgeführt:

Sparsame, käufliche Familienautos	Antrieb	Verbrauch [l/100 km]
Audi A3 und A4	TDI *	5.1 bis 5.4
Seat Toledo	TDI *	5.1
Skoda Octavia	TDI *	5.4
VW Polo, Golf, Passat	TDI *, TDI *, Otto	5.1 bis 5.4

* TDI: Dieselmotor mit Direkteinspritzung und Turboaufladung

Die vergleichsweise tiefen Treibstoffverbräuche werden nicht nur durch optimierte Antriebssysteme erzielt. Eine leichte Fahrzeugkonstruktion trägt hierzu ebenso wesentlich bei. Diese Verbrauchswerte dürften in der näheren Zukunft durch andere Antriebskonzepte und weitere Verbesserungen nochmals deutlich unterboten werden. So beabsichtigt TOYOTA im Jahr 2000 einen Parallelhybrid auf den Schweizer Markt zu bringen, von dem in Japan bis Ende 1998 bereits über 20'000 Fahrzeuge in Verkehr gesetzt worden sind. Der Energieverbrauch des heutigen Modells beträgt im Stadtverkehr ca. 3.6 und auf der Autobahn bei Tempo 120 km / h ca. 7.0 l/100 km

Natürlich kann und soll der Verbrauch zusätzlich durch eine angepasste, vernünftige Fahrweise (*Eco Drive* – ENERGIE 2000) und eine bewusster Mobilität gesenkt werden.

Die im Forschungskonzept definierten Schwerpunkte sind – leichtere und gleichwohl sichere Fahrzeugkonzepte – entsprechend dem Verbrauch und dem Einsparpotential der Verbrauchergruppe ausgewählt. Diese Schwerpunkte stellen gleichzeitig auch Chancen für die Schweizer Zulieferindustrie dar und schaffen Marktanreize für den motorisierten Individualverkehr. Ein weiterer Schwerpunkt liegt bei der Optimierung des Antriebs resp. der gesamten Antriebskette. Ein Schwerpunkt stellt auch der Grossversuch mit Leicht-Elektromobilen (LEM) in Mendrisio und den Partnergemeinden dar, der wissenschaftlich ausgewertet und begleitet wird.

1998 durchgeführte Arbeiten und erzielte Ergebnisse

LEICHTBAU

Die Arbeiten am 1996 gestarteten Projekt **Modultec – Modultechnologie für Leichtmobile** [1] der beiden Partnerfirmen HORLACHER und ESORO sind in Zusammenarbeit mit der Fachhochschule Aargau erfolgreich fortgesetzt worden. In einem ersten Teil wurden verschiedene Werkstoffe zur Herstellung von sehr leichten und stabilen Modulteilen evaluiert. Es gelang, mit bereits sehr kurzen Taktzeiten Sandwich-Konstruktionen aus PET oder Glasfaser verstärktem Thermoplast-Schaumstoff herzustellen. Durch das Einlegen einer zusätzlichen Kunststoffolie in das Presswerkzeug konnte im gleichen Arbeitsschritt direkt ein

lackiertes Modul hergestellt werden. An der Fachhochschule wurde im Rahmen des gleichen Projektes die Herstellung von faserverstärkten, geschäumten Stossstangen optimiert. Dazu wurde mit einem Injektionsprozess (RTM-Verfahren) das Harzsystem eingetragene und zum Duroplasten ausgehärtet. Die erzielten Resultate wurden mit jenen verglichen, die aus der numerischen Simulation mit der *Moldflow-Software* generiert wurden. Derart hergestellte Fahrzeuge weisen eine Masse von nur ca. 550 kg auf gegenüber den ca. 740 kg eines vergleichbaren Fahrzeugs in Metallbauweise. Solche leichtere Fahrzeuge würden, bei identischem Antrieb, ungefähr proportional zur Massenreduktion weniger Energie verbrauchen.

In neuen Mobilitätszonen, wie den gemischten "Koexistenzzonen" (Fussgänger, Velo und Auto gleichberechtigt), gewinnt die Problematik der Kollision Auto-Fussgänger – trotz der dort geltenden tieferen Tempolimiten – an Bedeutung. Weil Kleinwagen eine andere Frontgeometrie aufweisen und steifer konstruiert sind als die bisherigen Fahrzeugkategorien, kann ein solches Fahrzeug für den Fussgänger ein höheres Verletzungsrisiko darstellen. Deshalb untersuchte die Arbeitsgruppe für Unfallmechanik der Uni und ETH Zürich im Projekt **Fussgängerschutz für Kleinfahrzeuge** [2] Möglichkeiten zur Entschärfung dieses Problems. Durchgeführt wurden sowohl *Crashtests* als auch rechnerische Simulationen. Beide zeigen, dass der Fussgänger bei einer Kollision mit einem Fahrzeug mit einer steilen Frontgeometrie (Kleinfahrzeug und VAN) schon bei relativ tiefen Geschwindigkeiten (z.B. 25 km/h) gefährdet ist, zu überschlagen und sich dadurch beim Sekundäraufprall mit dem Kopf auf der Strasse wesentlich schwerer zu verletzen als bei einer Kollision mit einem Fahrzeug mit flacher Front. Aus diesem Grund sollten steile Frontpartien mit einer "Antirotations-Vorrichtung" ausgerüstet sein. Aus aerodynamischen Gründen kann das praktisch nur eine Vorrichtung sein, die erst bei einem Fussgänger-crash aktiviert wird. In Frage käme beispielsweise eine Fronthaube, die sich – analog zum Gurtstraffer – mittels Pyrotechnik heben kann. Die Wirkung einer solchen Vorrichtung wurde bereits mit einer rechnerischen Simulation abgeschätzt.

Bereits im Vorjahr abgeschlossen wurde das Projekt **Innovatives Leichtbauverfahren** [3] der Fachhochschule Luzern. Im Rahmen dieses Vorhabens sind aus Alu-Dosen Leichtbaustangen mit einer bambus-artigen Zellenstruktur gefertigt worden. Im Berichtsjahr versuchte die Projektleitung erste direkte Anwendungen zu erschliessen. Betrachtet wurden die Bereiche Luft- und Raumfahrt, Messestände, Rettungsgeräte, Spitalmobiliar und Sekundärstrukturen in Fahrzeugen.

ANTRIEB UND ANTRIEBSKETTEN

Das Projekt **PALOS** (Partload Optimized Propulsion System) [4] der ETH Zürich ist in 5 Bereiche unterteilt: 1. Untersuchung verschiedener Verbrennungsmotorkonzepte für Leichtfahrzeug (inkl. Antriebsstrang); 2. Konzeption verbrauchsgünstiger neuer Aufladekonzepte für Ottomotoren inkl. Modellierung und experimentelle Überprüfung; 3. Modellierung und erste Ansätze einer optimalen Regelung eines Antriebsstranges mit stufenlosem Getriebe; 4. Studie und Konzept zur Senkung des Kraftstoffverbrauchs durch Antrieb der Nebenaggregate mit rekuperierter Energie; 5. Aufbau eines Echtzeit-Regelsystems in XOBBERON, einem im Institut für Robotik entwickelten Betriebssystem. Im Berichtsjahr wurde ein Pre-/Postprocessor und ein Iterationsprogramm erstellt. Diese ermöglichen, zusammen mit einer Prozessrechnungssoftware, ganze Motorkennfelder innerhalb nützlicher Frist durchzurechnen. Dazu wurde eine Fallstudie angelegt, um den Treibstoffverbrauch verschiedener Motor- und Getriebevarianten zu vergleichen. Abgeschlossen wurde die Analyse

des Potentials der Rekuperation durch Modellierung von Komponenten für die Teilrekuperation (z.B. Batterie und Generator) und Simulation des Systems für die Teilrekuperation. Entwickelt wurde zudem ein neues Werkzeug zur schnellen und genauen rechnerischen Beschreibung des Treibstoffverbrauchs von Fahrzeugen. Mit diesem System lassen sich auch Antriebsvarianten wie z.B. der Elektroantrieb oder Brennstoffzellenhybrid beschreiben. Es erfolgten ferner Aufbau und Inbetriebnahme eines neuen dynamischen Prüfstandes. Dieser erlaubt es, Teile des Antriebsstrangs durch mathematische Modelle zu ersetzen und die zentralen Komponenten wie Motor und Getriebe als reale Objekte einzubinden (*Hardware-In-the-Loop-Simulation*). Die Erkenntnisse können so viel schneller und kostengünstiger gewonnen werden, womit die "Trefferquote" in der eigentlichen Realisation wesentlich erhöht werden kann.

ESORO konnte ihre Entwicklung **Twin Trak** [5], ein Parallelhybrid-Antrieb für leichtere Personenwagen, 1998 erfolgreich abschliessen. Nach Lärm- und Emissionsmessungen an der EMPA erhielt der vierplätzig ESORO H301 im Mai 1998 als erstes Hybridfahrzeug im Kanton Zürich die ordentliche Strassenzulassung. Im November 1998 erfolgten die Verbrauchsmessungen auf dem Prüfstand der Berner Fachhochschule in Biel mit dem von dieser definierten Hybridzyklus, im Neuen Europäischen Fahrzyklus NEFZ und für eine Konstantfahrt bei 90km/h Durchschnittsgeschwindigkeit. Beim Bieler Hybridzyklus ist zu berücksichtigen, dass die Entladung der Nickel-Kadmium-Batterien einem Anteil von lediglich 20 % entspricht und der Verbrauchswert ab Netz entsprechend erhöht scheint. Im Hybridzyklus wurden 1,12 l/100 km und 11,97 kWh/100km Netzbezug gemessen. Für den reinen NEFZ – dem heute in Europa gültigen Standardtest für PKW – wurden in Biel 1,67 l/100 km und 5,98 kWh/100 km Netzbezug ermittelt. Auf der Strasse resultierte bei konstanter Fahrt (90 km/h) ein Verbrauch von nur 2,86 l/100 km und 0,64 kWh/100 km Strom. Ein Vergleich mit Testwerten für den SMART zeigt zudem, dass mit dem viersitzigen H301 bezüglich Leistung und Komfort ähnliche und im Verbrauch wesentlich tiefere Werte erreicht werden. Im Elektromodus erreicht der H301 bis zu 120 km/h und entsprechend der Kapazität der Batterien eine Reichweite von 70 bis 100 km. Im Betriebsmodus Hybrid sind Reichweiten bis 700 km möglich.

LEICHT-ELEKTROMOBILE (LEM)

Im Hinblick auf eine breite Markteinführung sollen mit dem **Grossversuch mit Leicht-Elektromobilen** in Mendrisio und Partnergemeinden [6] durch Begleituntersuchungen drei Themenkreise behandelt werden: Beurteilung der einzelnen Fördermassnahmen und im Wirkungsgefüge; Auswirkungen auf Energieverbrauch und Umwelt; Veränderungen im Mobilitätsverhalten der Benutzer der LEM. Durchgeführt werden die Untersuchungen von der Arbeitsgemeinschaft ABAY & MEIER, Zürich / POLYQUEST, Bern (für Mendrisio) und der IKAÖ (Interfakultäre Koordinationsstelle für

Allg. Ökologie) der UNI-Bern (in den Partnergemeinden).

Die Beurteilung der Wirkung der Fördermassnahmen in den ersten drei Jahren des Grossversuchs zeigt auf, dass der Beitrag an den Anschaffungspreis eine entscheidende Massnahme ist. Ohne Subvention liegt – bei den kleinen Produktionsserien – das Preisniveau der Fahrzeuge noch zu hoch für einen LEM-Markt. Dadurch entsteht natürlich eine Huhn-Ei-Problematik. Potentielle Käufer betrachten das LEM vielfach nur als Zweitwagen, für deren Kauf normalerweise ein kleineres Budget zur Verfügung steht. Erst nach einer gewissen Nutzungsdauer mutiert das LEM wegen seinen Vorteilen jedoch oft zum Erstfahrzeug. Für die Kunden ist es auch schwierig, im Voraus einen Zusatznutzen für das LEM zu erkennen, der den höheren Preis begründen kann. Motivierte und kompetente Garagisten und Verkäufer sind deshalb ein sehr wichtiger Erfolgsfaktor. Sie sind vielfach in der Lage, auch höhere Verkaufspreise durchzusetzen. Garagisten haben verständlicherweise aber nur dann ein Interesse, LEM zu verkaufen, wenn auch für sie das Geschäft stimmt. Dies ist derzeit kaum gegeben. Probefahrten und LEM-Miete werden in Mendrisio stark nachgefragt. Sie erweisen sich als die wirkungsvollsten Mittel, um LEM der Bevölkerung näher zu bringen und die Vorurteile abzubauen. Reservierte LEM-Parkplätze und Ladestationen werden in Mendrisio nur schwach benützt. Sie sind aber aus psychologischen Gründen für die LEM-Fahrer essentiell. 1998 wurden auch die Energieverbrauchsmessungen in Mendrisio weitergeführt und in den Partnergemeinden neu aufgenommen. Die Daten bestätigen, dass der Energieverbrauch einerseits vom LEM-Typ abhängt. Andererseits wird er von Fahrleistung (Standverluste), Fahrstil, Einsatzbereich (Topographie, Stadt-Land, Strassentyp), Beladung des Fahrzeugs, Batterieladeverhalten und dem technischen Zustand des LEM beeinflusst. Diese Faktoren erklären auch die festgestellten Abweichungen zwischen den Energieverbrauchswerten aus den Feld- und den Labormessungen. Die Fahrleistung der LEM variiert sowohl zwischen den einzelnen LEM-Kategorien als auch in Abhängigkeit des Besitzers (private Personen oder Firmen). Am höchsten sind die Fahrleistungen der privatgenutzten LEM-PW mit vier Sitzplätzen.

Im Auftrag des BUWAL erarbeitete das IFEU-Institut Heidelberg eine Studie zur **Situation des Elektrofahrzeugs bei der zukünftigen Stromversorgung der Schweiz** [7]. Gegenwärtig sind die Strommärkte in Bewegung und entwickeln sich zunehmend in Richtung internationalen Stromaustauschs. Damit wird die hohe Umweltqualität des Stroms in der Schweiz möglicherweise durch einen mit Schadstoffen höher belasteten Importanteil beeinträchtigt. Ausgehend von einer aktuellen Ökobilanz von schweizerischen Leicht-Elektrofahrzeugen, wurde der Einfluß der zukünftigen Stromversorgung der Schweiz unter Konstanzhaltung

aller anderen Einflußgrößen des Fahrzeugvergleiches, sog. *ceteris-paribus*-Bedingungen, untersucht. Im Ergebnis wird der große Vorteil des Elektrofahrzeuges durch die veränderten Bedingungen der Stromgeneration im Jahr 2030 nur bei den Klima-Emissionen etwas abgeschwächt, dagegen durch die Verbrauchsreduktion bei den erschöpflichen Energieträgern noch leicht gestärkt. Bei den Schadstoffemissionen ergeben sich gegenüber der Stromerzeugung im Bezugsjahr 1995 keine signifikanten Änderungen.

P. RÜETSCHI, Grandevent, erarbeite ein **Statuspapier über Batteriesysteme** [8]. Darin wird aufgezeigt, dass Batterien den Fahrzeugen durchaus eine befriedigende Reichweite erschliessen können. Diese neuen Systeme, die teilweise kurz vor der Markteinführung stehen, erweisen sich als finanzierbar und umweltkonform sind und müssen auch nicht an einer Ressourcenknappheit scheitern.

TRANSPORT ALLGEMEIN

Das Konzessionsgesuch der Arbeitsgemeinschaft **SWISSMETRO** [9] wurde unter der Leitung des BAV durch eine interdepartementale Arbeitsgruppe einer Zweckmässigkeitsprüfung "ZMP light" unterzogen. Innerhalb der durch das BFE durchgeführten Teilabklärung zeigt sich, dass der Bau einer Pilotstrecke Genève – Lausanne aus energietechnischen Aspekten keine Vorteile erbringt. Das BAV erstellt nun für die Gesuchsteller ein Aussprachepapier mit Vorgehensoptionen. Dieses Aussprachepapier wird danach durch eine Ämterkonsultation bereinigt.

Der Versuch **Kombirail** [10] von MIGROS und SBB wurde 1998 im bisherigen Umfang und mit den weitgehend gleichen Charakteristiken wie im Vorjahr fortgeführt. Ein Abschluss des Projektes ist auf Mitte 1999 geplant.

Das Interesse an diesem Versuch und an weiteren Einsätzen des Systems Kombirail in der Schweiz ist leider gering. Deshalb wurde auf einen weiteren Ausbau des Infopools verzichtet. Auf europäischer Ebene wird sich voraussichtlich das **RoadRailer**-System durchzusetzen. Mit zur Zeit rund 500 Trailern und laufend ausgebautem Angebot bleibt die Bayerische Trailerzug-Gesellschaft aber der einzige grössere Anbieter von bimodalen Verkehrsleistungen.

MINDER ENERGY CONSULTING entwickelte im Projekt **Zukunftweisende Antriebstechniken für Wasserfahrzeuge** [11] ein solar-elektrisch angetriebenes, alltagtaugliches Passagierschiff für den Einsatz auf Binnenseen. Der 30 m lange und 10 m breite Katamaran soll je nach Ausbau bis 240 Passagieren Platz bieten. Im Sommerhalbjahr genügt die Einstrahlung der Sonne für einen Fahrbetrieb von 5 bis 8 Stunden pro Tag bei einer Reisegeschwindigkeit von 15 bis 20 km/h.

Pilot- und Demonstrationsprojekte

Der von der ASSOVEL betriebene **Grossversuch mit Leicht-Elektromobilen in Mendrisio** [12] entwickelte sich wie folgt:

Total der Fahrzeuge bis Ende 1998:	148
1998 neuimmatrikulierte Fahrzeuge:	49
Subventionsanträge seit Projektbeginn:	305
Subventionsanträge 1998:	110
Gesamte Fahrleistung: ca.	500'000 km
4-Räder-Durchschnitt: (2-Plätze) (4-Plätze)	367 km / Monat 677 km / Monat
Durchschnittsverbrauch: (4-Rad-Fahrzeuge)	24 kWh/100 km

9 Ladestationen wurden zusätzlich an strategischen Positionen installiert, womit sich die Gesamtzahl im Kanton Tessin Ende 1998 auf 43 belief. Diese Ladesäulen entsprechen der internationalen Norm, welche unter *massgeblicher Beteiligung der Schweiz* erstellt wird. Entsprechend der neusten Fahrzeugtechnologie erlauben diese Säulen auch ein Laden mit einer Stromstärke von 32 A, was einer Leistung von 7 kW entspricht. Durch diese hohe Ladeleistung wird ein herkömmliches Fahrzeug in 3 Stunden voll geladen und der Reichweitennachteil der E-Mobile deutlich verringert.

Bei den Fördermassnahmen, die in drei Stossrichtungen eingeteilt worden sind (LEM der Bevölkerung näher bringen, Kaufhindernisse abbauen und den Kauf auslösen, die LEM-Benützung unterstützen) erfolgte eine Analyse der Wirkung betreffend dem Vollzug, der Effektivität, der Effizienz und dem Erfolg. Hierbei schnitten folgende Massnahmen am besten ab: Information in der Lokalzeitung und anderen Tessiner Medien, Veranstaltungen im Versuchsgebiet, Probefahrten, 36 Monate Batteriegarantie, LEM-Vermietung. Diese Massnahmen im Verbund, sowie die endlich vollzogene Anpassung des effektiven Verkaufspreises der LEM an die von vergleichbaren Benzinfahrzeugen, lösten eine gewisse Belebung des Marktes aus. Das Projekt wurde 1998 auch an vielen Veranstaltungen präsentiert und löste auch entsprechendes internationales Interesse aus. Die wichtigsten internationalen Anlässe waren: AUTO-SALON Genf, *Giro d'Italia*, EVS-15 Bruxelles und die *Transeuropeen*. Dazu kamen Anlässe im Kanton Tessin wie die monatlichen SABATI VEL, die lokale Ausstellung EXPOVEL, 100 Jahre ACS und Gara di Regolarità.

Zwölf ausländische Gruppen, aus Japan, Holland (Regierungs- und Industrievertreter), Deutschland, Frankreich (Elektrizitätswirtschaft), Italien und den USA besichtigten das Projekt. Die Gemeinde Como erteilte der

ASSOVEL auch den Auftrag, das Projekt auf ihre Stadt zu übertragen.

Auch in den Partnergemeinden **MuttENZ, Riehen, Wohlen/BE, Will/SG** und **Sion** entwickelte sich die Projekte [13, 17] positiv. Hierbei konnten die Resultate von Mendrisio weitgehend bestätigt werden. Die enorme Wichtigkeit des Engagement des Garagisten am effektiven Verkaufspunkt wurde weiter erhärtet. Ausserhalb dieser Projekte förderte die Stadt **Lausanne** den Kauf von Elektro-Scootern. Mehrere Dutzend dieser leisen und energieeffizienten Cityflitzern wurden abgesetzt. Neben einer Entschärfung der Parkplatzproblematik kann mit solchen Zweirädern, wie auch mit den E-Bikes, am Verkehrsstau vorbeigefahren werden und der Arbeitsweg zeitlich verkürzt werden. Zunehmend erkennt das Publikum solche Vorteile. Demgegenüber musste das Projekt in der Partnergemeinde **Ittigen** [18] nach einer Abstimmung im Gemeinderat abgebrochen werden.

Betrieben von POSTAUTO SCHWEIZ, startete im Herbst in der Walliser Gemeinde **Martigny** das Projekt **City Car** [19]. Dieses vom Betreiber, dem Kanton Wallis, der Gemeinde und dem BFE finanzierte Projekt, ist in das UTOPIA-Programm der EU integriert. Es ermöglicht vorerst mit 30 öffentlich zugänglichen Elektrofahrzeugen einen bewussten Individualverkehr in der Agglomeration. Der Zutritt zum Fahrzeug und die Fahrdistanzabhängige Abrechnung erfolgt mit einer erweiterten Postomat-Karte. Ausserhalb des erlaubten Rayons verringert das mit GPS (*Global Positioning System*) ausgerüstete Fahrzeug stufenweise seine Geschwindigkeit. Fahrzeugtechnisch basiert das Projekt auf dem **LIGIER AMBRA**, der als Elektrofahrzeug von **SCHOLL SSP** in Vernier hergestellt wird (siehe Titelblatt).

Dank ihrem vergleichsweise tiefen Anschaffungspreis bieten sich die Bleibatterien als kostengünstiger Energiespeicher vor allem für Fahrzeuge mit tiefem Energieverbrauch an. Voraussetzung ist jedoch eine mehrjährige Lebensdauer. Deshalb hat **SCHOLL SSP** im Projekt *Augmentation de la durée de vie des batteries au plomb* [20] verschiedene Fabrikate mit unterschiedlichem Batteriemangement im Alltagsgebrauch getestet. Beim offiziellen Abschluss des Projektes Ende 1998 zeigten die Bleigel-Batterien von "SONNENSCHHEIN" zusammen mit dem Überwachungssystem "BADICHEQ" das beste Verhältnis zwischen Lebensdauer und Preis. Zwar ist der Kilometerpreis für Bleigel-Batterien mit Badicheq und individuellem Laden der einzelnen Monoblocks etwas besser, das individuelle Laden ist für den Fahrer aber sehr umständlich. Eine weitere Verbesserung der Batterielebensdauer könnte vermutlich mit möglichst kleinen Temperaturunterschieden in den einzelnen Monoblocks erreicht werden.

Die Fachhochschule Bern entwickelte im Projekt **Elektrische Muskelkrafttransmissionen** [21] einen vollelektrischen Antriebsstrang. Dadurch wird die Effizienz des Antriebs gesteigert und die relativ laute Fahrradkette kann durch ein beliebig verlegbares Kabel ersetzt werden. So kann ein Fahrrad modularer aufgebaut werden, was auch für die Massenproduktion einen wesentlichen Vorteil darstellt. Mit diesem System können auch andere Anwendungen vom Muskelkraftantrieb erschlossen werden. So entwickelt **ICT BO Innovations Centrum** in Hünibach ein ca. 8-plätziges Photovoltaik- und Pedal – **Ecoboot** [22] für den Einsatz an der EXPO 2001 und im Touristikbereich.

Unter der Führung der ASVER und dem VSE wurden im Rahmen des Projektes **LEM erfahren** [23] die Elektromobile einer breiten Öffentlichkeit nähergebracht. Dies erfolgte in Form von Anlässen: Probefahren bei mehreren Kraftwerken und in Städten, Präsenz an Ausstellungen nationaler Bedeutung und einem 24-Stundenrennen mit solchen Fahrzeugen. Im Herbst wurde die bisherige ASVER in den neuen Verband "e-mobile" umbenannt und gleichzeitig neu strukturiert. In neuen Verband ist die Schweizer Autozulieferindustrie und die E-Wirtschaft breit vertreten. Er setzt sich für eine energieeffiziente Mobilität ein und informiert durch seine drei regionalen Infozentren.

STROMBOLI erarbeitete im Auftrag der DEZA, der SKAT und des BFE ein **Statuspapier über Elektromobile** [24]. In diesem Buch werden die entscheidenden Parameter für die Entwicklung von E-Mobilen aufgezeigt. Auf dem Prüfstand der Fachhochschule Biel verpasste das von der gleichen Firma entwickelte 4-plätziges Elektromobil STROMBOLI II mit 10,5 kWh /

100 km den Bestwert, gehalten von ESORO E301, nur ganz knapp.

MES, Stabio, entwickelte und optimierte in **Field trial optimisation of components for VEL** [25] elektromobilspezifische Komponenten und testete diese in elektrifizierten Kleinwagen. Ein so umgebauter RENAULT TWINGO, bestückt mit einer **Zebra-Hochtemperaturbatterie** (Na NiCl₂), benötigt weniger als 20 kWh pro 100 km Fahrdistanz, wobei die thermischen Verluste der Batterie ab täglichen Fahrdistanzen von über 30 km verschwindend klein sind.

Die von HORLACHER entwickelte einachsige Fahrzeugkomposition **TAZI** [1] wurde für den Einsatz in Werkgeländen, Vergnügungsparks und Messen weiter optimiert. Der ursprüngliche Prototyp wird zur Freude der Besucher des *Musée National de l'Automobile* in Mulhouse bereits aktiv eingesetzt.

Die Hochschule für Technik-Wallis entwickelt im Projekt **Induktive Energieübertragung zur Batterieladung von E-Mobilen** [26] einen Prototypen mit einem Übertragungswirkungsgrad von 83 % und einer Leistung von 3 kW. Dabei muss das Fahrzeug nicht exakt auf die Senderspule ausgerichtet sein.

Im **Versuch mit bivalenten Fahrzeugen (Biogas und Benzin) in Bachenbülach und Umgebung** [27] konnte die Zahl der eingesetzten Fahrzeuge auf 60 Stück erhöht und gleichzeitig die Angebotspalette erweitert werden. Die im Biogas-Mode CO₂-neutralen Fahrzeuge bewähren sich im Alltag. Sie eignen sich, da die Gastankstellen noch selten sind, vor allem für Fahrer mit einem überwiegend regionalen Fahrprofil.

Nationale und internationale Zusammenarbeit

Im Rahmen der Projekte hat sich eine enge nationale Zusammenarbeit etabliert. Sie ist gekennzeichnet von einer zunehmenden Vernetzung der Projekte, Kooperation und wachsendem Erfahrungsaustausch. Diese Effekte wurden durch die neuen Strukturen im Fachhochschulbereich verstärkt. Bemerkenswert ist auch die Gründung der Gesellschaft **SWISSMOVE**. Diese Interessengemeinschaft fördert die Bildung einer Schweizer Autoindustrie.

Viele Projekte sind auch international eingebettet. Im Rahmen des **IEA-Programme for Hybrid and Electric Cars** besteht auch eine hervorragende Plattform für die internationale Zusammenarbeit. Die Schweizer Aktivi-

täten genießen dort einen hohen Stellenwert. Grosse Beachtung bei Industrie und Politik löste auch der von der ASVER und vom BFE unterstützte Schweizer Gemeinschaftsstand am EVS 15 in Brüssel, der jährlichen Weltausstellung der Hybrid- und Elektrofahrzeuge, aus. Das in das EU-Programm **UTOPIA (Urban Transport Option for Propulsion systems and Instruments for Analysis)** eingebettete **City Car** Projekt lenkt die Aufmerksamkeit des internationalen Publikums auf diese kleinsten Postautos der Welt. Eine hohe internationale Demonstrationswirkung hatte ferner auch die Tour einer **Twike**-Gruppe von Bern zum Nordkap und zurück.

Bewertung und Ausblick

1998 konnten einige Vorhaben abgeschlossen werden. Herausragendes Resultat ist dabei der sehr tiefe Verbrauchswert des Parallelhybrid **Twin Trak** von ESO-

RO. Bemerkenswert ist auch der Markterfolg der Elektrobikes und der Elektroscooter (inkl. den Dreirädern). Diese emissionsfreien und lärmarmen Fahrzeuge eignen

sich hervorragend für den Berufsverkehr bis ca. 15 km Fahrdistanz. Gleichzeitig entschärfen sie die Parkplatzproblematik in den Ballungsgebieten. In Japan haben sich die E-Bikes mit ca. 500'000 im Berichtsjahr verkauften Einheiten bereits zu einem Trendprodukt entwickelt. Interessant ist auch die Entwicklung der Fahrzeugverkäufe in Mendrisio. Seit dort die Elektrofahrzeuge praktisch zum gleichen Preis wie die vergleichbaren thermischen Fahrzeuge verkauft werden können, hat der Absatz spürbar angezogen. Dies trotz dem Umstand, dass die Verkaufspalette nach wie vor sehr schmal ist und viele Marken (Problem ist die Markentreue der Kunden) gar nicht vertreten sind.

Für das Folgejahr stehen einige wichtige Projekte wie z.B. das PALOS- und das Modultec-Projekt vor dem Abschluss. Aufmerksam zu verfolgen ist die weitere Entwicklung der Antriebe und Energieträger. Nach wie vor ist unbestimmt, welcher Technologie die mittelfristige und die ferne Zukunft gehört. Chancen hierzu haben praktisch alle Technologien, vom thermischen Antrieb über hybride Systeme zu den rein "Elektrischen" mit und ohne Brennstoffzelle. Wasserstoff kann hierbei, mit Ausnahme der reinen Batteriefahrzeuge, in allen Systemen als Energieträger fungieren.

Liste der Projekte

- [1] M. Horlacher, D. Jaggi, HORLACHER / ESORO, Möhlin: *Modultec – Modultechnologie für Leichtmobile* (JB, ENET 9454961) • TAZI (JB) / ENET 9760801
<http://www.horlacher.com>
- [2] F. Walz, AGU UNI+ETH-Zürich: *Fussgängerschutz bei Kleinfahrzeugen* (SB) / ENET 9760135
- [3] W. Janach, HTA-Horw: *Innovatives Leichtbauverfahren für Fahrzeugsstrukturen* (SB) / ENET 9758769
- [4] L. Guzzella, ETH-Zürich, PALOS: *Optimale Antriebssysteme für Leichtfahrzeuge* (JB) / ENET 9555285
- [5] D. Jaggi, ESORO, Glattbrugg: *Twin Trak Parallel-Hybrid* (SB) / 9555284
- [6] U. SCHWEGLER, Fischingen: *Grossversuch mit Leicht-Elektromobilen in Mendrisio und Partnergemeinden* (JB) / ENET 9758952
- [7] T. U. Eden, IFEU, Heidelberg: *Die Situation von Elektrofahrzeugen bei der zukünftigen Stromversorgung* (SB)
- [8] P. RÜETSCHI, Grandevent: *Statuspapier Batteriesysteme* (SB) / ENET 9869084
- [9] R. MEIER, Bern: *SWISSMETRO* (SB) / ENET 9866080
- [10] S. Schneider, JUD, Zürich: *Einsatz bimodaler Gütertransportsysteme* (JB) / ENET 9451969
- [11] R. MINDER ENERGY CONSULTING, Oberlunkhofen: *Zukunftsweisende Antriebstechniken für Wasserfahrzeuge* (SB) / ENET 9863960
- [12] M. Piffaretti, INFOVEL, Mendrisio: *Grossversuch mit Leicht-Elektromobilen* (JB) / ENET 9458799
- [13] M. Gruber, Gemeinde Muttenz: *LEM Partnergemeinde Muttenz* (JB) / ENET 9757227
- [14] W. Mäeschli, Gemeinde Riehen: *LEM Partnergemeinde Riehen* (JB) / ENET 9865841
- [15] H. Leu, MOBILEM, Wohlen: *MobiLEM-Wohlen* (JB) / ENET 9759051
- [16] W. Rüttener Gemeinde Wil: *LEM-Partnergemeinde Wil • Elektrobus Wil* (JB) / ENET 9555203
- [17] M. Maurer, Municipalité, Sion: *Intégration de VEL en ville de Sion* (JB) / ENET 9758804
- [18] B. Liesch, Ittigen, LEM-Partnergemeinde Ittigen (SB) / ENET 9865842
- [19] F. Kuonen, LA POSTE, Martigny: *City Car* (JB) / ENET 9865740
- [20] P. Scholl, Vernier: *Augmentation de la durée de vie des batteries au plomb* (SB) / ENET 9759351
- [21] A. Fuchs FH-Bern: *Mechanische Muskelkraft-Elektro-Hybridisierung* (JB) / ENET 9658450
- [22] M. Ducret, ICT-BO INNOVATIONS CENTRUM, Hünibach: *Eco Boot 2001* (JB) / ENET 9865821
- [23] W. Blum, VSE, Zürich: *LEM erfahren* (SB) / ENET 9866403
- [24] M. Eisenring, Stromboli, Niederuzwil: *Statuspapier Elektromobile* (SB) / ENET 9760800
- [25] G. Juri, MES, Stabio: *Field Trial Optimization of Components for VEL* (JB) / ENET 9763781
- [26] Biner FH-Sion: *Recharge par induction* (JB) / ENET 9763044
- [27] F. STUKER, Gemeinde Bachenbülach: *Versuch mit bivalenten Fahrzeugen (Biogas, Benzin) in Bachenbülach* (JB) / ENET 9757429

Weitere Projekte

E. Reinhardt, ECOPROCESS, Zürich: *Verkaufsförderung "Energieeffiziente Autos"* (JB) / ENET 9759128

R. BAUMANN, Luzern: *New Mobility: Integration of LEM-Share for Business* (JB) / ENET 9763039

A. Mathoy, BRUSA, Gams: *Kostenoptimierte Integration einer Ladearchitektur • Normierung im Bereich der Elektrofahrzeuge* (JB) / ENET 9759068

C. Häuselmann, BK TECH, Burgdorf: *P+D-Test, Markt- und Energiesparpotential auf der Basis von muskelkraftverstärkenden Zweirädern • Elektrobike "New Flyer"* (JB) / ENET 9758995

M. Kutter, VELOCITY, Basel: *Velocity* (SB) / ENET 92144

S. Iseli, Genossenschaft VELOBLITZ, Zürich: *Veloblitz Zürich: Kurierdienst mit TWIKE-LEM* (JB) / ENET 9658992

K. Meier-Engel, HTA-Biel: *Messung von Leicht-Elektromobilen) • Entwicklung eines Prüfgerätes für Antriebsbatterien von Elektrofahrzeugen* (JB) / ENET 9763041

U. MUNTWYLER, Zollikofen: *Programmleitung "Leichtmobile" • Messkampagne LEM Partnergemeinden 1997/1998* (SB) / ENET 9759067

B. Rütli, VELO+AUTOKURIER, Thun: *LEM im Kleintransportgewerbe* (JB) / ENET 9658993

P. Zeller, TWIKE, Gelterkinden: *LEMnet – Aufbau einer flächendeckenden Lade-Infrastruktur für LEM* (JB) / ENET 9759352

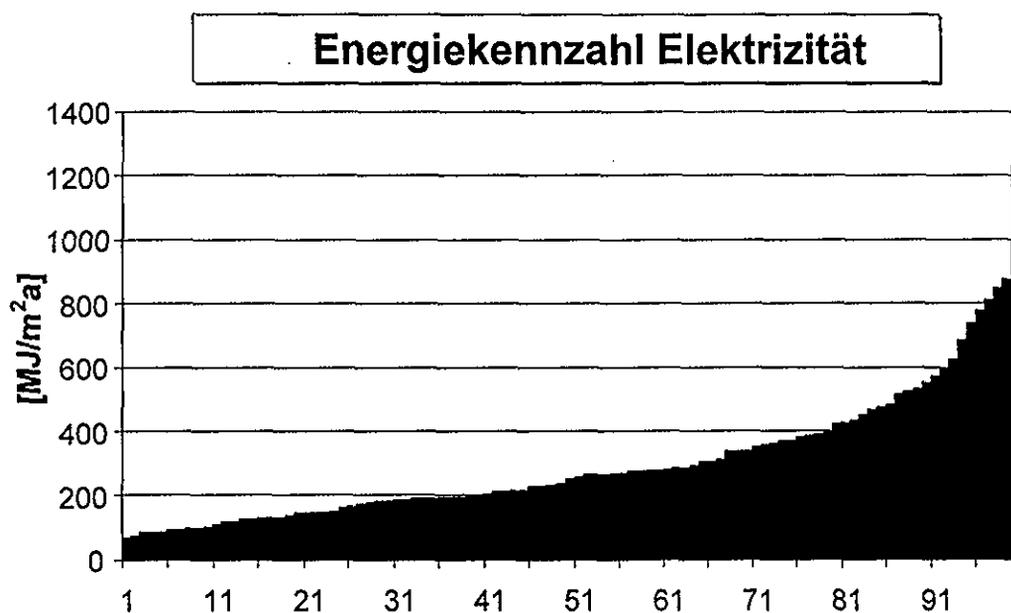
(JB) Jahresbericht 1998 vorhanden

(SB) Schlussbericht vorhanden

ENERGIEWIRTSCHAFTLICHE GRUNDLAGEN

Überblicksbericht
zum Forschungsprogramm 1998

Ruedi Meier
ruedimeier@bluewin.ch



Stromverbrauch im Dienstleistungssektor

Energiekennzahlen Elektrizität in MJ/m²a von 100 untersuchten Bürogebäuden.

Übersicht

Die Analyse von energiewirtschaftlichen Massnahmen hat wesentliche Fortschritte gemacht. Zu erwähnen sind Energie- und Lenkungsabgaben, Energiecontracting, Förderung von erneuerbaren Energien und Nah- und Fernwärmenetze, Bildung von Kompetenzzentren in Fachhochschulen oder Haftungsfragen. Ein Einstieg in die Erforschung von Innovationsprozessen und Innovationseffekten hat stattgefunden. Die Perspektivarbeiten konzentrierten sich auf ex-post Analysen und die Aufdatierung der Modelle. Mit zwei Modellen

(Mehrländer- bzw. Gleichgewichtsmodell) wird der internationale Anschluss an die Welt der Modellbauer sichergestellt und dank einer internationalen Vernetzung können vor allem auch Mehrländerfragen beantwortet werden. Im Bereich der kantonalen Energiepolitik und des Energieverbrauchs in Bürogebäuden konnte die Datenlage verbessert werden. Eine Studie zur Versorgung in dezentralen Regionen und zur Aufrechterhaltung des *Service public* im Rahmen der Strommarktliberalisierung ist eingeleitet worden.

Anvisierte Ziele 1998

Die Oberziele sind im Schwerpunktprogramm "Energiewirtschaftliche Grundlagen / EWG" von 1995 festgelegt worden. Zudem besteht aus dem Jahre 1997 eine Projektliste, die sich auf die Jahre 1997 und 1998

bezieht. Darin sind die Ziele für die einzelnen Arbeitsbereiche und Projekte im Detail festgehalten. Insgesamt konnten die angestrebten Ziele in einem erheblichen Ausmass erreicht werden.

Durchgeführte Arbeiten und erreichte Ergebnisse

DATEN

Der erste Auswertungsbericht **Indikatoren zur kantonalen Energiepolitik** (Stand Mai 1998) [1] konnte im Juni 1998 veröffentlicht werden. Die Auswertung umfasst Indikatoren für 16 energiepolitische Aktionsfelder. Die erstmalige Erhebung und Auswertung geht von den Daten des Jahres 1996 aus. 17 Kantone haben sich mit Datenerhebungen beteiligt. Das Projekt **Stromverbrauch Dienstleistungen** [2] hat 100 Gebäude im Bürobereich einer detaillierten Energieanalyse unterzogen.

PERSPEKTIVEN

Die Perspektivarbeiten konzentrierten sich einerseits auf die **Anpassung der Modellstrukturen** für die verschiedenen Bereiche (Haushalte, Industrie, Dienstleis-

tungen und Verkehr) sowie eine teilweise Neukalibrierung der einzelnen Modelle. Leider konnten die gesteckten Ziele nur teilweise erreicht werden, da sich die Bereitstellung der Daten für die Wirtschaftssektoren verzögert hat und die neuen Rahmendaten für die Perspektivarbeiten nach wie vor ausstehen. Es ist zu hoffen, dass die Perspektivarbeiten im Laufe des Jahres 1999 definitiv auf neue Grundlagen gestellt werden können.

Andererseits sind **ex post Analysen des Energieverbrauchs für die Jahre 1990 bis 1997** vorgenommen worden. Es zeigte sich, dass der Gesamtenergieverbrauch 1997 gegenüber 1990 um rund 30 PJ (+3,8 %) zugenommen hat (vgl. dazu Tab. 1). Der Verbrauch an fossilen Energieträgern ist um 14,4 PJ angestiegen. Die Zunahme des Stromverbrauchs fällt mit insgesamt +7,3 PJ (+4,4 %) vergleichsweise bescheiden aus.

Tabelle 1: Energieverbrauch 1990 bis 1997

	1990	1996	1997	Veränderung 1990/97	
	PJ	PJ	PJ	PJ	%
Erdölprodukte	492.2	495.9	488.6	-3.6	-0.7
Heizöl extra leicht	219.2	225.1	208.1	-11.1	-5.1
Heizöl MS	19.2	11.3	10.8	-8.4	-43.9
Benzin	155.0	154.1	160.1	5.1	3.3
Diesel	46.8	44.8	46.9	0.1	0.2
Flugtreibstoffe	46.8	55.3	57.2	10.4	22.3
Übrige	5.3	5.3	5.6	0.3	5.3
Erdgas	70.5	102.5	98.3	27.8	39.4
Elektrizität	167.7	175.3	175.0	7.3	4.4
Fernwärme	10.4	12.5	13.0	2.6	24.6
Holz	16.7	20.8	18.8	2.1	12.8
Kohle	14.4	6.0	4.6	-9.8	-68.0
Sonstige, Industrieabfälle	6.7	9.0	10.1	3.4	50.4
Insgesamt	778.5	821.9	808.3	29.8	3.8

Von den Verbrauchergruppen weisen die Dienstleistungen und der Verkehr überproportionale Verbrauchszuwächse aus. Überraschend ist, dass demgegenüber der Endenergieverbrauch in der Industrie –

über den Durchschnitt der letzten 7 Jahre gerechnet – weitgehend stagnierte.

Detailliert sind die vielfältigen Einflussfaktoren des Energieverbrauchs analysiert worden (vgl. dazu Tab. 2).

Tabelle 2: Zusammenfassung der Einzeleffekte auf den Energieverbrauch für alle Verbrauchsbereiche, 1990/1997, in PJ

	Klima	Mengenkomponenten	Technik, Politik	Energiepreise ¹⁾	Statist. Korrekturen ²⁾	Veränd. nach Modell insgesamt	Veränd. nach Energiestatistik ³⁾
foss. Energieträger	5.0	35.8	-45.5	0.9	13.5	9.8	13.1
Heizöle	4.2	12.2	-31.2	-7.0	0.9	-21.0	-19.5
Gas	0.8	21.3	-7.9	12.4	-0.6	26.1	27.8
Kohle	0.0	-3.9	-1.4	-4.4	0.0	-9.8	-9.8
Treibstoffe ³⁾	0.0	6.1	-5.0	0.0	13.3	14.4	14.4
Elektrizität	0.6	13.8	-6.3	-1.8	1.0	7.3	7.3
Sonstige ⁴⁾	0.5	2.0	-2.0	4.3	3.6	8.4	8.1
Insgesamt	6.1	51.6	-53.8	3.4	18.1	25.5	28.6

1) inkl. Substitution

2) Angleichung Statistik Industrie, Tanktourismus (Treibstoffe)

3) ohne Treibstoffe in der Landwirtschaft

4) Holz, Fernwärme, Industrieabfälle, übrige

Die "Mengenkomponenten" wie Bevölkerungszunahme, Wohnflächenwachstum, Personenwagenbestand, erhöhter Bestand von Elektrogeräten und Heizanlagen, haben für sich alleine genommen den Energieverbrauch um 51,6 PJ erhöht. Dies entspricht einem Zuwachs von 6,6 % gegenüber 1990. Die Einflussgruppe "technische Entwicklung und Politik" wirkt verbrauchsseitig der Mengenentwicklung entgegen und ist von ähnlicher Bedeutung wie die Verbrauchsänderungen der Mengenkomponenten. In ihr manifestiert sich der autonome technische Fortschritt wie auch die zunehmende rationale Energieverwendung aufgrund gesetzlicher oder freiwilliger Massnahmen, etwa im Rahmen von ENERGIE 2000. Mit -53,8 PJ ist der verbrauchsmindernde Effekt dieses Faktors sogar etwas grösser als der verbrauchserhöhende Effekt der Mengenkomponenten. Der "Klimafaktor", d.h. das gegenüber 1990 etwas kältere Jahr 1997, führt nach den Berechnungen zu einem Mehrverbrauch von 6,1 PJ. Ebenso verbrauchserhöhend, wenn auch geringer, wirken im Durchschnitt die rückläufigen Energiepreise. Sie dürften den Sparwillen gemindert bzw. die Umschichtung des Geräte- und Anlageparks in Richtung einer höheren Energieeffizienz etwas verzögert haben [3-8].

MODELLE

Mit Hilfe eines berechenbaren Gleichgewichtsmodells und komparativ statischen Analysen sind im Projekt **Soziale und räumliche Verteilungswirkungen von Energieabgaben** [9] neue und interessante Ergebnisse erarbeitet worden. So zeigt sich, dass bei Energieabgaben die energieintensiven Branchen allenfalls mit negativen Effekten rechnen müssen. Die spezifische Belastungswirkung hängt dabei stark vom Rückverteilungsmodell der Einnahmen ab. Ebenfalls sind mögliche Sonderregelungen von entscheidender Bedeu-

tung. In sozialer Hinsicht führen Energieabgaben zu relativ geringen Umverteilungswirkungen zwischen den Einkommensklassen. Es wird ein leichter *Trade-off* zwischen den gesamtwirtschaftlichen und den sozialen Verteilungswirkungen festgestellt. Die erstmals erhobenen räumlichen Auswirkungen werden primär durch die regional unterschiedliche Bedeutung der Energieausgaben in den Budgets der Haushalte und den unterschiedlichen Kostenstrukturen der Unternehmen bestimmt. Insgesamt wird ein leichtes Zentrum-Peripheriegefälle sichtbar, wobei aber nur geringe Unterschiede zwischen den Regionen auszumachen sind. Zu den Gewinnern gehören neben den klassischen Zentrumsgebieten (wie etwa Zürich, Zug, Genf) auch abgelegene Regionen im Jurabogen, im Tessin und in den Kantonen Graubünden und Wallis. Aus regionalpolitischer Sicht sind die potentiellen Verliererregionen im Auge zu behalten (Region Fricktal, Toggenburg, Appenzell AR, Glarnerland, Nordtessin, Mendrisio, Oberwallis, Region Monthey/St. Maurice).

Mit dem Projekt *Extension and Completion of E3ME* [10] kann die Schweiz in ein führendes europäisches Makro- und Mehrländermodell integriert werden. Die Analyse der wirtschaftlichen Auswirkungen von Umwelt- und Energieabgaben mit einem starken Fokus auf die Wirtschaft wird möglich. Das Modell wird von der EU zur Politikanalyse eingesetzt. Im vergangenen Jahr konnten die Datenprobleme weitestgehend gelöst werden und für das Jahr 1999 sind konkrete Ergebnisse zu erwarten.

Mit dem Projekt **MULTISWISS** [11] wird die Familie der berechenbaren Gleichgewichtsmodelle weiterentwickelt und vor allem international vernetzt. Neben der schweizerischen Wirtschaft mit 22 Sektoren können 4 bis 10 weitere Ländergruppen gleichzeitig analysiert werden. Von den international aktuellsten und aner-

kanntesten Datenbanken kann profitiert werden. Es sind entscheidende Fortschritte für die Politikanalyse, insbesondere im Zusammenhang mit Fragen der internationalen Verflechtung zu erwarten.

KOSTEN UND WIRTSCHAFTLICHKEIT

Das Projekt *MEC Method for integrated evaluation of benefits, costs, and effects of programmes for promoting energy conservation* [12] konnte im Jahr 1998 definitiv publiziert werden (vgl. dazu Jahresbericht EWG 1997). Die Studie *Zukunft der Nah- und Fernwärmenetze* [12] evaluiert 15 Nah- und Fernwärmenetze (NFN). Die Hemmnisse der Ausbreitung von Nah- und Fernwärmenetzen sollen detailliert untersucht werden und die Zweckmässigkeit sowie die Wirkung von Fördermassnahmen werden geprüft. Dabei werden Nah- und Fernwärmenetze im Zusammenhang mit der Nutzung von Abwärme (Abwasser- oder Kehrriechverbrennungsanlagen) und von Holzschnitzelfeuerungen mit Wärmeverbund untersucht. Das Potential wird für diese Anlagentypen mit 40'000 TJ oder knapp 10 % des Energiebedarfs für Wärmezwecke in der Schweiz geschätzt. Unter anderem zeigt sich, dass die Unterschiede von Planungswerten und Werten der realisierten Anlagen bezüglich Kosten- und Wärmeabsatz bei Wärme-/Umweltprojekten geringer sind als bei Holzfeuerungen. Der Zeitbedarf des Ausbaus mit Anschluss weiterer Bezüger wird in der Regel unterschätzt. Die Zukunftsfähigkeit der Netze ist bei grösseren Umweltprojekten aufgrund der räumlichen Voraussetzungen und zukünftigen Erweiterungsmöglichkeiten günstiger. Die Wärmeverteilungskosten der Netze divergieren relativ stark.

MASSNAHMEN

Mit der Studie *Revision des Kernenergiehaftpflichtgesetzes* [14]; sollen Alternativen aufgezeigt werden. Unter anderem sind die theoretischen Möglichkeiten von Grossrisikoversicherungen über Kapitalmärkte zu prüfen, sowie deren Machbarkeit auszuloten.

Die Erarbeitung eines *Handbuches Windenergie* [14] mit dem Titel "Planung von Windenergieanlagen, Leitfaden für die Schweiz" hat sich das Programm "Energie-wirtschaftliche Grundlagen (EWG)" bei der Analyse planerischer und wirtschaftlicher Aspekte beteiligt. Es zeigte sich u.a., dass die Windenergieanlagen mittel- und längerfristig für die Schweiz ein erhebliches Potential aufweisen. Die Realisierung setzt aber voraus, dass die planerischen Grundlagen und die Wirtschaftlichkeit für Windenergieanlagen verbessert werden.

Die Schätzung der wirtschaftlichen Effekte von ENERGIE 2000 konnte im Projekt *Querschnittsfunktion Ökonomie, Beschäftigung und Innovation* [16] weiter verbessert werden. Erhebliche Beschäftigungswirkungen fallen vor allem bei den regenerierbaren Energien und im Ressort Öffentliche Hand an. Insgesamt wird mit einem Nettobeschäftigungseffekt

von ca. 2800 Personen/a gerechnet. Es werden total 9100 TJ bei den Brenn- und Treibstoffen, sowie 2600 TJ Elektrizität zusätzlich Energie eingespart oder produziert. Dies entspricht 1,5 % des gesamten Endenergieverbrauchs der Schweiz. Die Innovationswirkungen werden insbesondere in einer verbesserten Diffusion von energieeffizienten Anwendungen sowie der Verbreitung von erneuerbaren Energieträgern gesehen. Etwa im Ressort Treibstoffe sind auch vermehrt Produkteinnovationen festzustellen. Insgesamt wird das innovative Klima dank ENERGIE 2000 in der Schweiz angeregt. Es werden Kostensenkungen, Produktivitätssteigerungen und eine Erhöhung der Wettbewerbsfähigkeit aufgezeigt.

Mit der Studie *Förderstrategien Solarenergie* [17] sind in- und ausländische Erfahrungen mit Förderprogrammen im Bereich direkte Solarenergienutzung evaluiert worden. Im Vordergrund standen die Themenbereiche Ökonomie, Technologie und vor allem Vollzugsfragen bei einer intensivierteren Solarförderung. Es sind Modelle erarbeitet worden, welche einen effizienten Vollzug sicherstellen sollen.

Zur Beantwortung von parlamentarischen Vorstössen zum Thema Energieabgaben sind mit der Untersuchung *Sonderregelung Energieabgaben* [18] die Wettbewerbsfähigkeit von besonders betroffenen, energieintensiven Branchen untersucht worden. Es zeigt sich, dass Reduktionen für energieintensive Unternehmen eine zentrale Rolle spielen. Verschiedene Abgabemodelle sind evaluiert und auf ihre direkte Kostenwirksamkeit untersucht worden. Die Entlastung energieintensiver Betriebe wird aufgezeigt.

Die Preisdifferenzen für Treibstoffe (Benzin und Diesel) entlang der Grenze zwischen der Schweiz und dem Ausland haben einen erheblichen Treibstofftourismus zur Folge. Mit dem Projekt *Quantifizierung des Treibstofftourismus* [19] zeigt sich, dass ca. 15 % des schweizerischen Benzinabsatzes von Ausländern getätigt wird. Das höhere Preisniveau von Diesel hat zur Folge, dass ein Dieselimport von knapp 15 % des Gesamtdieselvebrauchs entsteht.

Mit der Studie *Differenzierung der kantonalen Motorfahrzeugsteuern nach Treibstoffverbrauch* [20] sollen Grundlagen erarbeitet werden, damit kantonale Motorfahrzeugsteuern verbrauchs- und/oder emissionsabhängig ausgestaltet werden können. Es zeigt sich dabei, dass ausreichende Daten zur Zeit nur für knapp einen Drittel der Fahrzeuge vorliegen, die gemäss europäischem Testzyklus (NEFZ) geprüft werden. Idealer Anknüpfungspunkt wäre dabei der Energieverbrauch (basierend auf dem Energiegehalt) oder die CO₂-Emissionen.

Mit der Untersuchung *Innovationsprozesse im Energiebereich, Fallbeispiel: Trocknung in der Industrie* [21] wird geprüft, ob effektiv grössere Energieeffizienzpotentiale in der Industrie konkret vorliegen. Ebenfalls sollen Massnahmen evaluiert werden,

welche eine bessere Ausschöpfung der Effizienzpotentiale ermöglichen sollen.

Die Studie *Contracting im Energiebereich: Ausgestaltung – Wirkungen – Marktpotential* [22] zeigt auf, dass mit *Contracting* Projekte realisiert werden können, die in einer langfristigen Betrachtungsweise rentabel sind. Die Nutzer führen sie aber selber nicht durch, weil sie mit kürzeren Abschreibungszeiten rechnen. In der Schweiz bestehen zur Zeit rund 220 *Energiecontractingverträge* – etwa gleichviele sind nochmals in der *Pipeline*. Davon dürfte aber nur ein Teil realisiert werden. *Verschiedene Faktoren wirken stark zugunsten eines Contractings*. Zu nennen sind etwa mögliche *Kosteneinsparungen*, *Risikübernahmen* und vermehrte *liquide Mittel* für Gemeinden, eine Firma oder einen Haushalt. *Hemmende Faktoren* sind *mentalitätsmässig begründet*. Es bestehen *Informationsdefizite*. Ebenfalls sind *unsichere Entwicklungsaussichten* und allenfalls *ändernde Rahmenbedingungen* zu nennen. Die Studie will *Massnahmen prüfen*, wie in *sinnvoller Weise* das *Energiecontracting* gefördert werden kann.

Die Arbeiten *Grundlagen für den Einsatz von Labels und Absichtserklärungen im Rahmen des Aktionsprogramms ENERGIE 2000* [23] will eine Strategie für Label und Vereinbarungen für das BFE entwickeln. Dabei werden verschiedene Varianten wie *"Corporate Design"*, *"Energiespezifisch"*, *"Energieintegral"* und *"Grüner Engel"* untersucht. Es soll dabei eine *konsensfähige Lösung* erarbeitet werden.

ENERGIEMARKT

Die Studie *Energiepolitik in einem föderativen System – Zusammenarbeit zwischen Bund und Kantonen in der Energiepolitik* [24] ist inzwischen veröffentlicht worden. Die Studie *Elektrizitätsmarktöffnung: Auswirkungen im Kanton Bern* [25] zeigt auf, dass eine kurz- und mittelfristige Strommarktliberalisierung relativ geringe Folgen nach sich zieht. Bei einer gemässigten Marktöffnung sind die Ertrags- und Gewinneinbussen der Elektrizitätsversorgungsunterneh-

mungen (EVU) im Kanton Bern relativ gering, insbesondere, weil die Zahl der Grosskunden, die Zutritt zum Markt erhalten, recht klein ist. Der allgemeine Druck auf die Preise wird aber zu Rationalisierungen führen. Die Gemeinden werden wahrscheinlich in grosser Zahl eine *Verselbständigung* ihrer EVU realisieren. In einigen Fällen sind regionale Kooperationen oder ein Zusammenschluss mit dem Überlandwerk Bernische Kraftwerke nicht auszuschliessen. In regionaler Hinsicht wird davon ausgegangen, dass die Preise in Randregionen aufgrund der leicht höheren Verteilkosten etwas weniger sinken als in den Zentren. Diese Frage konnte aber aufgrund der vorhandenen Daten noch nicht ausreichend beantwortet werden. Die *Unternehmungen* – und in geringerer Masse auch die *Haushalte* – werden von tieferen Strom- und den entsprechend leicht tieferen Güterpreisen profitieren. Überdies wirkt die *Liberalisierung* *effizienzsteigernd* und *fördert die Standortgunst*. Die *Gewinnablieferung* an die Gemeinden wird mit grosser Wahrscheinlichkeit unter Druck geraten. In zahlreichen Fällen, in denen bislang überhöhte Ablieferungen getätigt wurden, wird der Wettbewerbsdruck tendenziell zu einer Senkung der Gewinnablieferungen führen. Für die *Gemeindefinanzen* kann dies spürbare Auswirkungen haben. Die *Umweltauswirkungen* werden als relativ gering eingeschätzt. Die *Ziele der Umwelt- und Ressourcenschonung* sowie der *Förderung der rationellen Energienutzung* und der *erneuerbaren Energien* werden durch die *Liberalisierung* etwas schwieriger erreichbar, soweit nicht flankierende *Massnahmen* getroffen werden.

Die *Strommarktliberalisierung* wird allenfalls den bestehenden *Service public* gefährden. Insbesondere können *Randgebiete* tangiert werden, indem sie allenfalls höhere *Anschlussgebühren* und *Strompreise* zu zahlen haben. Im Projekt *Service Public im liberalisierten Strommarkt* [26] soll diesen Fragen aufgrund von empirischen *Kostenangaben* nachgegangen werden. Bei einer allfälligen *Gefährdung* soll aufgezeigt werden, mit welchen *Massnahmen* der *Service Public* in *Rand- und Berggebieten* aufrecht erhalten werden kann.

Nationale und internationale Zusammenarbeit

Wiederum ist im Rahmen der einzelnen Untersuchungen und Forschungsprojekte eine äusserst rege und intensive Zusammenarbeit mit *Verwaltungsstellen*,

Verbänden, *Organisationen* und *Unternehmen* abgelaufen. *Vielfältige internationale Kontakte* wurden gepflegt.

Transfer in die Praxis

Die *Ergebnisse des Programms* dienen vor allem der *politischen Entscheidungsfindung*. Mit den Arbeiten über *Energieabgaben* und eine *ökologische Steuerreform* sowie die *Liberalisierung des Strommarktes* konnten we-

sentliche Inputs geliefert werden. In einem *vermehrten Ausmass* werden die *Resultate* von *Organisationen*, *Verbänden* und *Hochschulen* zur *Kenntnis* genommen. In *Fachzeitschriften* und den *Medien* sind *zahlreiche Arti-*

kel publiziert worden. Die Studienresultate sind an verschiedenen Veranstaltungen und Tagungen vorgestellt und intensiv diskutiert worden, u.a. ist auf die Tagung

Ökologische Steuerreform vom 5. Juni 1998 zu verweisen [27].

Bewertung 1998

Insgesamt haben die Arbeiten gute Fortschritte gemacht. Verzögerungen haben sich im Bereich der Energieperspektiven eingestellt. Hingegen konnten wichtige Energiemassnahmen vertieft untersucht werden und wertvolle Ergebnisse liegen bereits vor. In erfreulicher

Weise hat sich die Zusammenarbeit mit den Kantonen intensiviert. Insgesamt stellen die Resultate des Programms einen wichtigen Bestandteil der schweizerischen Energiepolitik dar.

Ausblick 1999

Die Arbeiten sind gemäss dem Grundsatzprogramm 1996-1999 fortzuführen. Es ist eine neue Projektliste 1999/2000 zu erarbeiten. Im Vordergrund steht dabei die Verbesserung der Datengrundlagen. Die Energieperspektiven sind aufgrund neuer Rahmendaten zu überarbeiten und die eingereichten Energieinitiativen

müssen analysiert werden. Die Analyse von Energiemassnahmen ist weiter zu intensivieren. Ein Schwerpunkt ist auf die Aspekte Energie, Wirtschaft und Umwelt zu legen, wobei der Innovation und der Wettbewerbsfähigkeit der Schweizer Industrie ein zentraler Stellenwert zukommt.

Projekte

- [1] S. Frauenfelder, SUPPORT, *Frauenfeld: Indikatoren zur Beurteilung der kantonalen Energiepolitik, Stand Mai 1998* (SB), EDMZ
- [2] U.-P. Marti, AMSTEIN + WALTHERT, *Zürich: Energieverbrauch in Bürogebäuden* (SB)
- [3] K. Eckerle, PROGNOSE, *Basel: Der Energieverbrauch 1990-1997, Entwicklung und Berechnungsgründe, Arbeitsbericht Synthese, Juli 1998* (SB)
- [4] P. Hofer, PROGNOSE, *Basel: Perspektiven des Energieverbrauchs der Haushalte* (JB)
- [5] W. Baumgartner, BASICS, *Zürich: Perspektiven des Energieverbrauchs in der Industrie* (JB)
- [6] M. Keller, INFRAS, *Bern: Perspektiven des Energieverbrauchs*
- [7] B. Aebischer, ETH-Zürich: *Perspektiven des Energieverbrauchs in Dienstleistungsbetrieben und Landwirtschaft* (JB)
- [8] K. Haker, PROGNOSE, *Basel: Analyse und Bewertung des Elektrizitätsangebots* (JB)
- [9] R. Iten, S. Banfi, INFRAS, *Zürich: Soziale und räumliche Verteilungswirkungen von Energieabgaben* (SB)
- [10] R. Iten, S. Banfi, INFRAS, *Zürich & B. Schips, M. Schneuwlin, KOF, Zürich: Extension and Completion of E3ME* (JB)
- [11] van Nieuwkoop, ECOPLAN, *Bern: MULTISWISS, ein berechenbares Gleichgewichtsmodell für die Schweiz* (JB)
- [12] F. Walter, ECOPLAN, *Bern: MEC: Method for integrated evaluation of benefits, costs, and effects of programmes for promoting energy conservation* (SB)
- [13] R. Dettli, ECONCEPT, *Zürich: Zukunft der Nah- und Fernwärmenetze* (JB)
- [14] R. Umbricht, P. Zweifel, UNI-Zürich: *Revision des Kernenergiehaftpflichtgesetzes* (JB)
- [15] S. Kunz, METEOTEST, *Bern, ÖKOSKOP, Gelterkinden: Handbuch Windenergie* (SB)
- [16] R. Iten, & S. Kessler, INFRAS, *Zürich: Energie 2000: Querschnittsfunktion Ökonomie, Beschäftigung und Innovation* (SB) EDMZ 805.507D
- [17] R. Iten, S. Kessler, S. Mauch, INFRAS, *Zürich: Förderstrategien Solarenergie* (SB) EDMZ 805.597D
- [18] R. Iten, S. Kessler, von Stockar, B. Baumgartner, INFRAS, *Zürich: Sonderregelung Energieabgaben* (JB)

- [19] M. Keller, INFRAS, Zürich: *Quantifizierung des Treibstofftourismus* (JB)
- [20] M. Maibach, INFRAS, Zürich: *Differenzierung der kantonalen Motorfahrzeugsteuern nach Treibstoffverbrauch* (JB)
- [21] J. Kuster, BRUGGER, HANSER UND PARTNER, Zürich: *Innovationsprozesse im Energiebereich, Fallbeispiel: Trocknung in der Industrie* (JB)
- [22] Ch. Muggli, BASICS, Zürich: *Contracting im Energiebereich: Ausgestaltung – Wirkungen – Marktpotential* (JB)
- [23] Ch. Muggli, BASICS, Zürich: *Grundlagen für den Einsatz von Labels und Absichtserklärungen im Rahmen des Aktionsprogramms Energie 2000* (JB)
- [24] L. Frei-Eigenmann, S. Peters, IPSO & S. Frauenfelder, SUPPORT, Zürich/Frauenfeld: *Energiepolitik in einem föderativen System, Zusammenarbeit zwischen Bund und Kantonen in der Energiepolitik* (SB)
EDMZ 805.589D
- [25] F. Walter, ECOPLAN, Bern: *Elektrizitätsmarktöffnung: Auswirkungen im Kanton Bern* (SB) Bestellung:
Bau-, Verkehrs- und Energiedirektion des Kantons Bern
- [26] H. Sommer, ECOPLAN, Altdorf: *Service Public im liberalisierten Strommarkt* (JB)
- [27] R. Meier, G. Stephan, P. Messerli (Hrsg.): *Ökologische Steuerreform für die Schweiz, Zürich/Chur 1998*

(JB) Jahresbericht 1998 vorhanden

(SB) Schlussbericht vorhanden

Organisation de la Recherche et P+D

Les noms des rapporteurs sont indiqués en gras.

Forschungs- und P+D-Organisation

Die Namen der Berichterstatter sind fett geschrieben.

Bereiche Domaines	Bereichsleiter Responsables de domaine	Programmleiter Chefs de programme	
		Forschung / Recherche	P+D
Gebäudesysteme & -hülle Systèmes techn. et enveloppe du bâtiment	Hans-Peter Nützi	Markus Zimmermann	
Haustechnik, HLK Installations CVC	Martin Stettler		
Warmwasser Eau chaude sanitaire	Thomas Lang	Thomas Lang	
Solararchitektur & Tageslichtnutzung Architecture solaire et éclairage naturel	Walter Luginbühl	Robert Hastings	
Elektrizität, Geräte Électricité	Rolf Schmitz	Roland Brüniger	
Umgebungswärme, WKK Chaleur ambiante, couplage chaleur-force	Fabrice Rognon	Martin Zogg	Fabrice Rognon
Solarwärme Solaire actif	Urs Wolfer	Jean-Christophe Hadorn	Pierre Renaud
Photovoltaik Photovoltaïque		Stefan Nowak	
Holz Énergie du bois	Daniel Binggeli	Daniel Binggeli	
Übrige Biomasse Autres biomasses	Martin Hinderling	Martin Hinderling	
Geothermie Géothermie	Martin Brunner	Harald L. Gorhan	
Kleinwasserkraftwerke Petits aménagements hydrauliques		—	Hanspeter Leutwiler
Abwärme Récupération de chaleur		Martin Zogg	Martin Brunner
Wind Vent		—	Robert Horbaty
Solarchemie & Wasserstoff Chimie solaire & hydrogène		Armin Reller	
Feuerung & Verbrennung Combustion	Alphons Hintermann	Alphons Hintermann	
Wärmespeicherung Stockage de chaleur		Jean-Christophe Hadorn	
Kerntechnik & nukleare Sicherheit Technologie et sécurité nucléaires		Wolfgang Kröger	—
Regulatorische Sicherheitsforschung Recherche réglementaire	Christophe de Reyff	Sabyasachi Chakraborty	—
Kernfusion Fusion nucléaire		Stéphane Berthet	—
Akkumulatoren & Brennstoffzellen Piles à combustible & accumulateurs	Léo Dubal	Léo Dubal	
Verkehr (inkl. Leichtmobile) Transports (incl. Véhicules légers)	Martin Pulfer	Martin Pulfer	
Energiewirtschaftliche Grundlagen Économie énergétique	Pascal Previdoli	Ruedi Meier	

ADRESSES IMPORTANTES / WICHTIGE ADRESSEN

Chefs de Domaine et programme / Bereichs- & Programmleiter:

Daniel Binggeli, Tel: 031 / 322 68 23

Martin Brunner, Tel: 031 / 322 56 10

Christophe de Reyff, Tel: 031 / 322 56 66

Léo Dubal, Tel: 031 / 322 56 44

Martin Hinderling, Tel: 031 / 322 56 42

Alphons Hintermann, Tel: 031 / 322 56 54

Thomas Lang, Tel: 031 / 322 53 24

Walter Luginbühl, Tel: 031 / 322 56 41

Hans-Peter Nützi, Tel: 031 / 322 56 49

Pascal Previdoli, Tel: 031 / 322 56 05

Martin Pulfer, Tel: 031 / 322 49 06

Fabrice Rognon, Tel: 031 / 322 47 56

Rolf Schmitz, Tel: 031 / 322 54 61

Martin Stettler, Tel: 031 / 322 55 53

Urs Wolfer, Tel: 031 / 322 56 39

Die folgende Adresse ist für alle Obgenannten gültig: **BFE, 3003 Bern** – Fax: 031 / 323 25 00

E-mail: vorname.name@bfe.admin.ch

L'adresse suivante est valable pour les personnes ci-dessus: **OFEN, 3003 Berne** – Fax: 031 / 323 25 00

E-mail: prénom.nom@bfe.admin.ch

Chefs de programme / Programmleiter:

Stéphane Berthet

OFES, 3003 Berne

Tel: 031 / 322 99 67 – Fax: 031 / 322 78 54

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

Roland Brüniger

Isenbergstr. 30, 8913 Ottenbach

Tel: 01 / 760 00 66 – Fax: 01 / 760 00 68

E-mail: roland.brueniger@r-brueniger-ag.ch

Sabyasachi Chakraborty

HSK, 5232 Villigen

Tel: 056 / 310 39 36 – Fax: 056 / 310 39 95

E-mail: chakraborty@hsk.psi.ch

Harald L. Gorhan

EWE, Bellerivestr. 36, 8034 Zürich

Tel: 01 / 385 27 33 – Fax: 01 / 385 26 54

E-mail: harald.gorhan@ewe.ch

Jean-Christophe Hadorn

1035 Bournens

Tel: 079 / 210 57 06 – Fax: 021 / 732 13 20

E-mail: jchadorn@swissonline.ch

Robert Hastings

ETH-Hönggerberg, 8093 Zürich

Tel: 01 / 633 29 88 – Fax: 01 / 633 10 75

E-mail: hastings@orl.arch.ethz.ch

Robert Horbaty

ENCO, Bärenwil 195, 4438 Langenbruck

Tel: 062 / 390 16 53 – Fax: 062 / 390 18 73

E-mail: enco@spectraweb.ch

Wolfgang Kröger

PSI, 5232 Villigen

Tel: 056 / 310 27 42 – Fax: 056 / 310 44 11

E-mail: kroeger@psi.ch

Hanspeter Leutwiler

ITECO, Postfach, 8910 Affoltern am Albis

Tel: 01 / 762 18 18 – Fax: 01 / 762 18 15

E-mail: iteco@iteco.ch

Ruedi Meier

Bolligenstr. 14, 3006 Bern

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

E-mail: ruedimeier@bluewin.ch

Stefan Nowak

NET, Waldweg 8, 1717 St. Ursen

Tel: 026 / 494 00 30 – Fax: 026 / 494 00 34

E-mail: stefan.nowak.net@bluewin.ch

Pierre Renaud

PLANAIR, Crêt 108 A, 2314 La Sagne

Tel: 032 / 931 88 28 – Fax: 032 / 931 18 68

E-mail: info@planair.ch

Armin Reller

BTW, Schlachthofstr. 1, 8406 Winterthur

Tel: 052 / 209 09 90 – Fax: 052 / 209 09 91

E-mail: btwag@dial.eunet.ch

Markus Zimmermann

EMPA-KWH, 8600 Dübendorf

Tel: 01 / 823 41 78 – Fax: 01 / 821 62 44

E-mail: mark.zimmermann@empa.ch

Martin Zogg

Kirchstutz 3, 3414 Oberburg

Tel: 034 / 422 69 11 – Fax: 034 / 422 69 10

E-mail: martin.zogg@bluewin.ch

Renseignements généraux sur la recherche énergétique et P+D

Allgemeine Auskünfte über die Energieforschung und P+D

Gerhard **SCHRIBER**, BFE, 3003 Bern

Tel: 031 / 322 56 58 Fax: 031 / 323 25 00

Centres de distribution pour les rapports de recherche énergétique et P+D

Bezugsorte für Berichte aus Energieforschung und P+D

Forschung:

ENET, Postfach 130, 3000 Bern 16

Tel: 031 / 350 00 00 Fax: 031 / 352 77 56

P+D:

ENERGIE 2000 P+D-INFOSTELLE, c/o Nova-Energie, Schachenallee 29, 5000 Aarau

Tel: 062 / 834 03 00 Fax: 062 / 834 03 23

Éditeur / Redaktor: Corinne Voirol et Léo Dubal, OFEN, 3003 Berne

Distribution / Bezugsquellen: ENET; ENERGIE 2000 P+D-Infostelle

22.03.1999 / 1000.