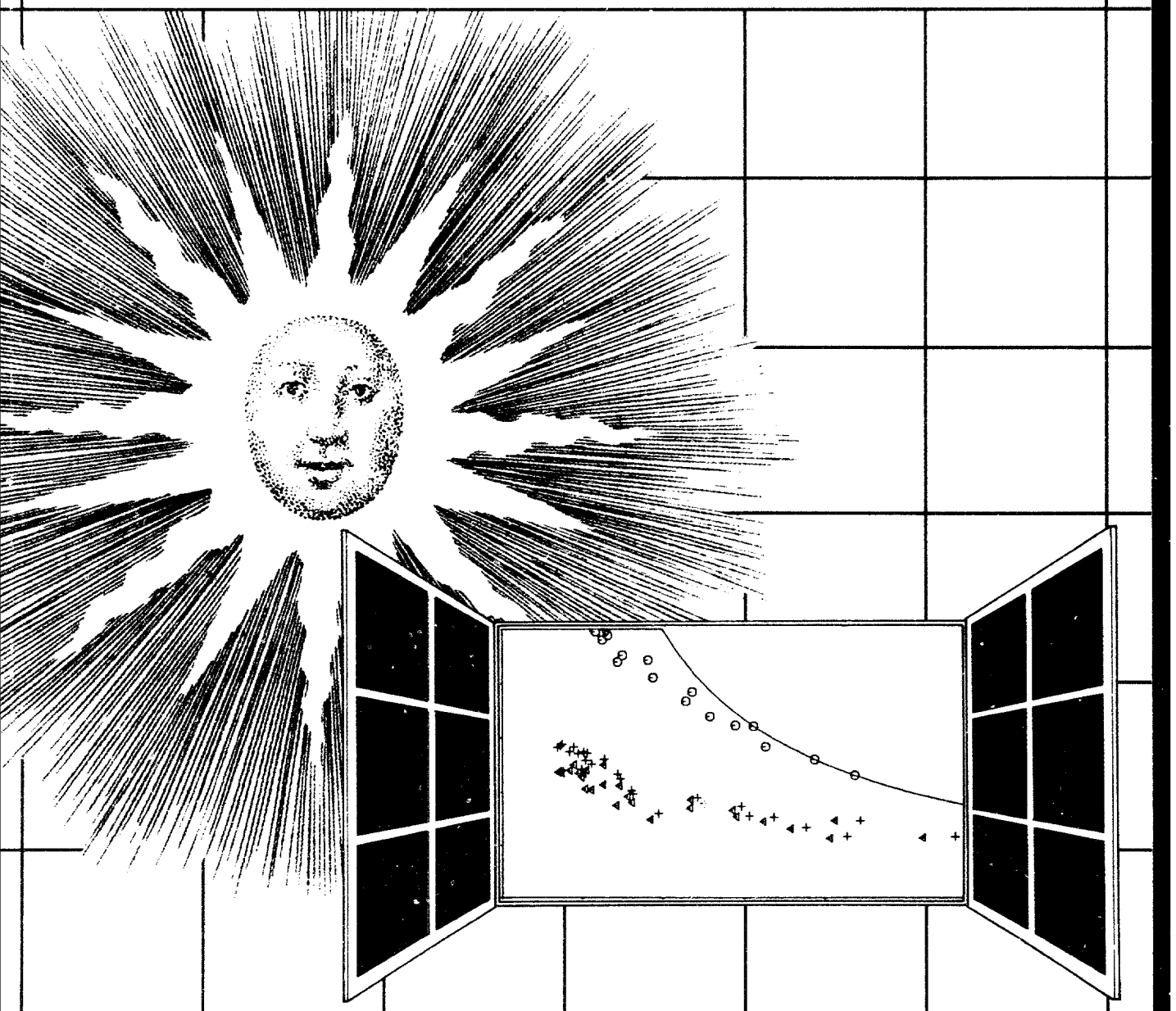
Office fédéral de l'énergie
Bundesamt für Energiewirtschaft

ENET
901800-45

Recherche énergétique

Energie-Forschung 1987



Office fédéral de l'énergie
Bundesamt für Energiewirtschaft

Recherche énergétique
Energie-Forschung 1987

Rapports annuels des mandataires
Jahresberichte der Beauftragten

Büro n+1
☒ Archiv
☐ Duplikat
☐ Diskette ☐ Vorlage
☐ Bibliothek ☐ Bild/Dia
☒ Dokument ☐ Ton
☐ ----------
Nr: ------ Dat: 6.4.88

Edition: Section recherche énergétique, OFEN, 3003 Berne
Herausgeber: Sektion Energieforschung, BEW, 3003 Bern

Distribution: Service de documentation, OFEN, 3003 Berne
Bezugsquelle: Dokumentationsdienst, BEW, 3003 Bern

Berne, février 1988 Bern, Februar 1988

2.88 420 A43033

Office fédéral de l'énergie
Bundesamt für Energiewirtschaft

Recherche énergétique
Energie-Forschung 1987

TABLE / INHALTSVERZEICHNIS

AVANT - PROPOS / VORWORT 0.1

RAPPORTS / BERICHTE

1. RESSOURCES / RESSOURCEN

Energies renouvelables / Erneuerbare Energien

. Solar Radiation & Pyranometry Studies; A. Zelenka 1.1
. Laj Alv, Solarkraftwerkspezifische Meteodaten; W. Durisch und B. Hofer 1.2
. Grundwasserdatierung mit Krypton-81 & Krypton-85; B. Lehmann 1.3
. Windenergie, Kriterien zur Standortevaluation; R. Horbaty 1.4
. Modèles dynamiques pour l'évaluation de sites éoliens; J.P. Ludwig 1.5
. Reconnaissance des sites propices à l'utilisation de l'énergie éolienne; M. Roten 1.6
. Windpotential: Typisierung und Extrapolationsverfahren; S. Kunz 1.7

Chaleur / Wärme

. Potentiel de diminution des rejets thermiques industriels; G. Sarlos et B. Saugy 1.8

2. TRANSFORMATION ET DISTRIBUTION / UMWANDLUNG UND VERTEILUNG

Energies fossiles / Fossile Energien

. Emissionsreduktion bei einer kombinierten Anlage mit Wirbelschichtfeuerung; P. Mosimann 2.1
. Schadstoffmessungen an Gasmotoren mit Katalysatoren; H.P. Eicher 2.2
. 3-D Temperaturfelder in Flammen mittels Holographie; J. Gass 2.3
. Numerische Simulation von Verbrennungsvorgängen; D. Aiulfi 2.4
. Ablagerungsmechanismen und Korrosion in Heizkesseln; P. Benz 2.5

Energies renouvelables / Erneuerbare Energien

. Solarerzeugte chemische Grundstoffe; P. Kesselring 2.6
. SOLARCAD & SOLARIN; O. Guisan 2.7
. Untersuchungen an unverglasten Sonnenkollektoren; J. Keller 2.8
. Essai et performance de capteurs solaires; J.M. Suter 2.9
. Planung und Ausführung von Solaranlagen, praxisgerechte Regeln; P. Schneiter und B. Schläpfer 2.10
. Kurztestmethode für Solaranlagen; H. Eggenberger 2.11
. Leistungsvergleich ausländischer Billigkollektoren mit schweizerischen Produkten; U. Frei 2.12
. Neue Materialien zur Verbesserung von Lebensdauer und Betriebssicherheit von Solaranlagen; U. Frei 2.13
. TISO, Verifica di un modello, Studi dell'invecchiamento, analisi del systema di protezzione dei fulmini; M. Camani 2.14
. Photovoltaik, Pilot-Installationen; Th. Nordmann 2.15
. Solarzellen aus amorphem Silizium; A. Shah 2.16
. Développement de systèmes catalytiques pour la photolyse de l'eau; M. Grätzel 2.17
. Entwicklung neuer Materialien für die Photoelektrolyse; H. v. Känel 2.18
. Verfahren der Biogasproduktion aus Festmist; A. Wellinger 2.19
. Emissionen von Holzfeuerungen; Th. Nussbaumer 2.20
. Emissionsarme Holzfeuerung nach dem Vergasungsprinzip; R. Favre 2.21
. Regelung von Holzfeuerungen; J. Good 2.22
. Biomass Conversion Technical Information Center; W. Edelmann 2.23

Energie nucléaire / Nuklear-Energie

. Loss of Fluid Test (contribution suisse au projet OCDE); S. Güntay and O. Mercier 2.24
. Heiss-Dampf-Reaktor; R. Attinger und O. Mercier 2.25
. Thermal-Hydraulic Transient Analysis; S.N. Aksan und G. Yadigaroglu 2.26

Energie fusion / Fusions-Energie

. Recherches TCV (Tokamak à configuration variable); F. Troyon 2.27
. Plasma-Wall Interaction in TEXTOR; S. Veprek 2.28
. Plasma-Wall Interaction in TEXTOR; U. Stiefel 2.29
. Large Coil Task; G. Vécsey 2.30

Chaleur / Wärme

. Computersimulation von Luft-Wasser-Wärmepumpen; M.R. Conde 2.31
. Optimierung einer drehzahlgeregelten Wärmepumpe; T. Afjei 2.32
. Erdwärmesonden-Anlagen Elgg (ZH); R. Hopkirk 2.33
. Wärmepumpen mit Erdwärmesonden-Heizanlagen; R.J. Hopkirk 2.34
. Advanced Heat Pumps; R.J. Hopkirk 2.35

Hydrogène / Wasserstoff

. Alkalische Brennstoffzelle Methanol-Luft; Th. Allmendinger 2.36

3. STOCKAGE / SPEICHERUNG

Chaleur / Wärme

. Steingefüllter Wärmespeicher für hohe Temperaturen; H.W. Fricker 3.1
. Speicherung solarer Hochtemperaturwärme; J. Keller 3.2
. Kurzzeitspeicherung für Warmwasser; H. Weber 3.3
. Stockage saisonnier de chaleur; P. Jaboyedoff 3.4
. Stockage saisonnier de chaleur en nappe souterraine; insertion de SPEOS dans un système d'exploitation; B. Saugy 3.5
. Stockage saisonnier de chaleur en nappe souterraine; impact sur l'environnement; J.J. Miserez 3.6
. Aluminium als Energiespeicher, Alu-Brenner; W. Durisch, T. Marti, J. Wochele 3.7

4. SYSTEMES / SYSTEME

Production d'énergie / Energieproduktion

. Expertensysteme für präventive Wartung von WP & BHKW; D. Maurer 4.1
. 160 KW Wind-Biogasanlage Martigny; M. Real 4.2

Utilisation rationnelle de l'énergie / rationelle Energienutzung

. Meerwasserverdampfungsverfahren für Industrieabwasser; F. Aellen 4.3
. Dialogue énergétique; P. Pralong 4.4
. Energieverbrauch-Umweltschadstoffe-Oekonomie; S. Kypreos 4.5
. Développement d'outils pour le contrôle énergétique des bâtiments; R. Ernst 4.6
. Gestion de l'énergie dans les hôpitaux; P. Chuard 4.7
. System Simulation; G. Zweifel 4.8
. Untersuchungen des energetischen Verhaltens der Schulanlage Gumpenwiesen, Dielsdorf; R. Favre 4.9

5. CONFORT DE L'HABITAT / WOHNKOMFORT

- Passive and Hybrid Solar Low Energy Buildings; R. Hastings 5.1
- Passive und hybride Sonnenenergienutzung in Geschäftshäusern; R. Hastings 5.2
- Vakuumisoliertes Lichtelement; E. Bächli 5.3
- Window and Fenestration; J.B. Gay 5.4
- Transparente Isolation; P. Schneiter und B. Schläpfer 5.5
- Fussbodendynamik; K. Fort 5.6
- Minimale Lüftungsraten; H.U. Wanner und J. Schlatter 5.7
- AIVC, Air Infiltration and Ventilation Centre; P. Hartmann 5.8
- Radon im Inneren von Wohnbauten; R. Crameri, H. Buser D. Furrer, W. Burkart 5.9
- Tracerbildtechnik für Raumluftströmungen; G. Gottschalk 5.10
- Berechnung der Luftströmung im Einzelraum; Ch. Schönenberger A. Moser 5.11

AVANT - PROPOS

En Suisse, en 1987, le soutien financier de la recherche énergétique par les pouvoirs publics, a atteint 135 millions de francs, soit une augmentation de quelques 6 millions de francs par rapport à 1986; 6 millions de francs c'est aussi l'augmentation du budget "recherche énergétique" de l'Office fédéral de l'énergie (OFEN), qui a passé lui de 8 millions de francs, en 1986, à 14 millions de francs en 1987. Ainsi l'OFEN a pu soutenir davantage de projets. Rien d'étonnant que le recueil des rapports annuels qui comptaient, en 1986, 47 contributions en compte aujourd'hui 71. Tous les rapports sont construits selon un même plan, mais cette année avec un maximum de 5 pages afin d'éviter l'explosion en plusieurs volumes.

Comme par le passé, cette compilation des rapports annuels est destinnée à l'information mutuelle des chercheurs, et elle devrait aussi permettre à tous ceux que celà intéresse de se faire une idée de l'avancement des travaux dans les domaines décrits. Le numéro de téléphone des chaques rapporteurs devrait faciliter la prise de contact directe entre intéréssés. Bien sûr que de son côté l'OFEN est aussi à disposition pour de plus amples informations (s'adresser à: Section recherche énergétique, OFEN, 3003 Berne, tel. 031/61'56'58).

VORWORT

Rund 135 Mio Franken brachte die öffentliche Hand der Schweiz 1987 zur Unterstützung der Energieforschung auf. Dies entspricht einem Anstieg von 6 Mio Franken gegenüber dem Vorjahr. Ebenfalls 6 Mio Franken - von 8 Mio Franken 1986 auf 14 Mio Franken 1987 - hat sich das Energieforschungsbudget des Bundesamtes für Energiewirtschaft (BEW) erhöht. Dementsprechend konnte das BEW auch mehr Projekte mitfinanzieren: die Anzahl Jahresberichte hat von 47 im Jahre 1986 auf 71 im Jahre 1987 zugenommen. Dank der geforderten Beschränkung der Länge der Berichte auf max. 5 Seiten, haben diese gleichwohl in einem einzigen Sammelband Platz gefunden.

Die vorliegende Zusammenstellung der Jahresberichte der BEW-Energieforschungsprojekte soll den Forschern - wie bisher - zur gegenseitigen Orientierung dienen. Daneben bietet sie auch andern Interessierten die Möglichkeit, sich über die Fortschritte in den beschriebenen Gebieten zu informieren. Die neu angegebene Telefonnummer der Berichterstatter soll eine eventuelle direkte Kontaktaufnahme mit den Projektverantwortlichen erleichtern. Selbstverständlich ist aber auch das BEW (Sektion Energieforschung, 3003 Bern, Tel. 031/61'56'58) zu weiteren Auskünften gerne bereit.

1. RESSOURCES

RESSOURCEN

OFEN PROJETS DE RECHERCHE ÉNERGÉTIQUE 1987

BEW ENERGIE - FORSCHUNGS - PROJEKTE 1987

SOLAR RADIATION & PYRANOMETRY STUDIES

But du projet:

Détermination des modèles d'insolation énergétique les plus efficaces et les mieux adaptés au calcul des ressources solaires (en Suisse).

Durée du projet: juillet 1983 - décembre 1987

Mandataire: Institut Suisse de Météorologie

Rapporteur: Dr. A. Zelenka

Adresse: Krähbühlstrasse 58, 8044 Zürich

Téléphone: 01/256 93 74

1. Objectifs

En 1987 les objectifs de la Tâche IX ont été doubles: à la conclusion des sous-tâches A,B et C s'ajoutait le lancement des sous-tâches D,E et F. La participation Suisse était jusqu'ici concentrée sur B et elle le sera dorénavant sur D et E.

1.1 Objectifs IXB, Validation of Solar Radiation Models

Collaboration à l'achèvement des rapports finaux. Extraction, de ces rapports, des conclusions d'importance sur le plan national. Conclusion du programme national consistant à vérifier, pour certains modèles, que le classement international, établi avec les observations de 27 sites répartis sur 3 continents, est bien conservé sur les données Suisses.

1.2 Objectifs IXD, Techniques for Supplementing Network Data

L'application efficace d'un modèle d'insolation en un site donné suppose que les paramètres du modèle y sont connus avec la précision désirée. Il s'agit alors d'étudier systématiquement les propriétés des méthodes servant à l'évaluation de ces paramètres entre les stations des réseaux où ils sont observés. L'organisation et le démarrage de la coopération internationale dans ce domaine étaient notre objectif principal.

1.3 Objectifs IXE, Examination of Representative Design Years

Dans ce cas, nous avions à agir catalytiquement entre les groupes Suisses intéressés et les responsables du projet.

2. Travaux effectués

2.1 Modèles d'insolation

Les travaux sur les plans inclinés énumérés ci-dessous ont été accomplis en grande partie par le Groupe de Physique Appliquée à l'Université de Genève.

- Révision définitive du rapport final sur les plans inclinés ("rapport Hay"). Ce rapport, où nous avions demandé des modifications substantielles, a depuis été accepté par le comité exécutif.
- Transfert sur support informatique d'une année de mesures horaires, en particulier du global plan suiveur, de Würenlingen (EIR).
- Etude et codage du modèle d'insolation extrait du programme DOE2.1c. La Tâche IX n'a disposé que de celui de DOE2.1b.
- Validation avec 4 séries d'observations Suisses du modèle ci-dessus, du modèle isotrope et des 3 modèles classés en tête de la comparaison internationale.
- Etablissement d'un modèle du direct journalier moyen (long-terme) qui rend compte des asymétries matin/après-midi observées en Suisse.
- Révision du rapport final (ébauche) sur les modèles d'insolation horizontale (rapport "Davies").
- Information des usagers (soutien de l'EMPA lors de la substitution des modèles dans le code DOE2.1c, fourniture d'horizons calculés, de fichiers avec mesures de l'ANETZ etc.).

2.2 Interpolations et cartographie de l'insolation

- Organisation de la sous-tâche IXD. Canalisation des efforts initiaux. Etablissement des plans d'action.

- Début du recensement des méthodes à traiter. Présentation d'une étude de cas dans le réseau ANETZ.

3. Résultats

3.1 Modèles de l'insolation énergétique

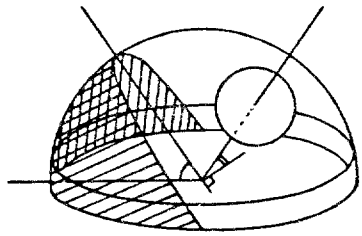
Les modèles cités sans référence dans l'énumération suivante sont dûment identifiés dans les rapports finaux de l'AIE. Une énumération moins succinte peut être trouvée dans la publication No. 4 citée en fin de rapport.

3.1.1 Plans inclinés

3.1.1.1 Sommes horaires

La comparaison finale effectuée sur 4 séries de mesures Suisses confirme et, grâce à l'adjonction des mesures sur plan suiveur, ainsi qu'à l'adjonction du modèle DOE2.1c, précise même la hiérarchie établie par l'AIE.
Le modèle recommandé est PEREZ (cf. publication No. 2). Dans ce modèle, la voûte céleste est divisée en trois régions ainsi qu'illustré par la fig. 1.

Figure 1 : Division de la voûte céleste dans le modèle PEREZ. Une région circumsolaire et une bande d'horizon se détachent du reste du ciel. La partie hachurée est située derrière le plan incliné.



Les bonnes performances du modèle reposent sur une paramétrisation efficace des contributions de ces 3 régions à l'insolation du plan. Le principe de cette paramétrisation est expliqué en fig. 2.

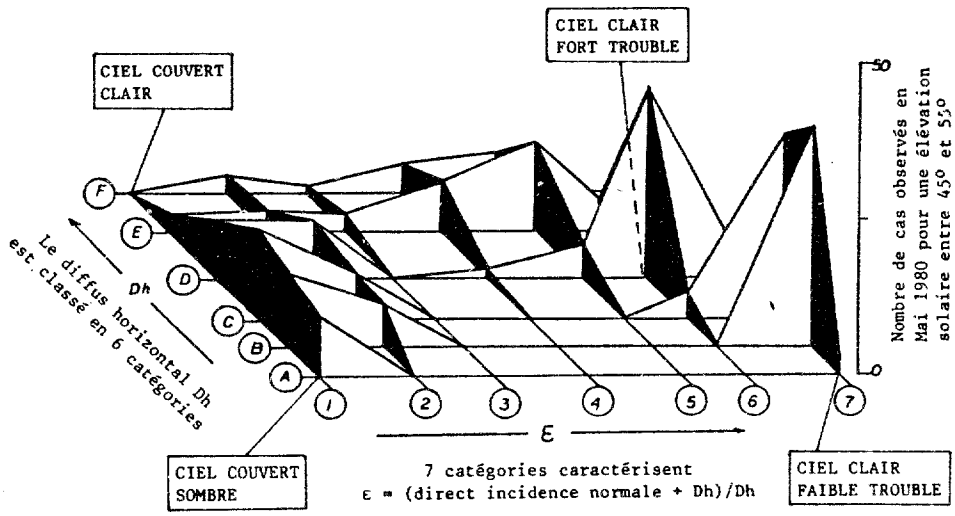


Figure 2 Principe de la paramétrisation du modèle PEREZ

La précision maximum du modèle n'est atteinte que si le rayonnement direct et l'albédo sont mesurés. Dans ce cas, l'écart moyen horaire entre mesure et calcul ne dépasse pas 18 kJm^{-2} (5 Wm^{-2} de puissance moyenne) et l'écart quadratique moyen horaire se situe au-dessous de 58 kJm^{-2} (soit 18 Wm^{-2}). Notons aussi que ce modèle peut être modifié pour traiter l'éclairage naturel.

3.1.1.2 Sommes journalières

Les sommes journalières individuelles s'obtiennent par sommation des contributions horaires.
Par contre, les moyennes journalières long-terme reposent sur la modélisation séparée du comportement moyen des composantes directe et diffuse.
Pour les sommes du direct, le modèle recommandé est PAGE dans la version analytique de HAY, qui précède de peu le modèle REVFEIM.
Le modèle du diffus recommandé est GUEYMARD. Ce dernier rend obsolète la robuste, mais trop imprécise approximation isotrope.
Les meilleurs résultats pour les sommes journalières moyennes du global s'obtiennent par addition des modèles REVFEIM et GUEYMARD. L'écart absolu moyen journalier comporte alors 0.6 MJm^{-2} et l'écart quadratique 0.8 MJm^{-2}.

3.1.2 Plans horizontaux

Les recommandations pour les plans horizontaux ne sont pas aussi évidentes à faire que pour les plans inclinés. Dans le second cas, les classements sont aisés à établir car tous les modèles partent des mêmes paramètres. Dans le premier cas, la précision des calculs augmente avec le nombre des paramètres. Mais dans la pratique ceux-ci sont difficiles à obtenir et l'utilisateur devra évaluer le facteur rendement/effort selon l'application envisagée.

3.1.2.1 Sommes horaires

Pour le calcul de l'insolation globale

A. Le modèle JOSEFSSON est recommandé si l'on dispose d'observations de la nébulosité par couche et type de nuage. Dans ce cas, l'écart absolu moyen horaire est de 0.17 MJm^{-2} et l'écart quadratique de 0.27 MJm^{-2}.
B. Le modèle KASTEN est recommandé si l'on ne dispose que de la nébulosité totale. Les écarts moyens horaires sont alors de 0.20, resp. de 0.30 MJm^{-2}.

Dans les deux cas il faut estimer raisonnablement le facteur du trouble.
Pour le calcul du diffus à partir du global mesuré, les comparaisons AIE portent le modèle ERBS-horaire en tête. Nous recommandons cependant l'usage du modèle plus récent de SKARTVEIT (Solar Energy 38, 271, 1987).

3.1.2.2 Sommes journalières

Le projet international ne traitait pas les moyennes long-terme. En Suisse, celles-ci sont estimées dans METEONORM pour le global, et nous avons estimé le diffus dans la partie nationale du projet (cf. notre rapport annuel 1986).

Les sommes journalières individuelles du global s'obtiennent par addition des sommes horaires. L'écart absolu moyen journalier est 1.2 MJm^{-2} dans le cas A, et 1.5 MJm^{-2} dans le cas B. Les écarts quadratiques moyens journaliers sont 1.7, resp. 2.1 MJm^{-2}.
Les sommes du diffus les moins imprécises s'obtiennent par la relation ERBS journalière à partir des sommes du global mesuré.

3.2 Interpolations et cartographie de l'insolation

3.2.1 Définition du sous-projet IXD

En général, le lieu d'application d'un des modèles décrits ci-dessus n'est pas identique à celui des stations de réseau où les paramètres nécessaires au fonctionnement du modèle sont observés. L'extrapolation de ces paramètres de la station la plus proche au site d'application engendre une dégradation de performance du modèle difficilement contrôlable. Une interpolation appuyée sur plusieurs stations du réseau ne conduira pas nécessairement à des résultats plus favorables, mais certainement à un meilleur contrôle de la marge d'erreur. Mais alors la question se pose, s'il n'est pas plus judicieux d'appliquer les modèles à l'endroit même des stations et de n'interpoler les résultats pour le site d'application qu'après.
Dans l'un comme dans l'autre cas, il s'agit de compléter le réseau en quelque sorte au moyen de stations fictives. Si cela peut se faire avec suffisamment de précision, donc de résolution spatiale, il devient possible d'établir des cartes des ressources solaires.
Une autre possibilité est offerte par les mesures radiométriques des satellites météorologiques (géostationnaires) : le flux atteignant le sol dépend de la partie du flux solaire incident qui n'est pas rediffusé par l'atmosphère vers le satellite.

3.2.2 Premiers résultats

La participation de six pays est acquise. L'Allemagne développe activement la méthode satellite basée sur le procédé de l'Université de Cologne (METEOSAT). Pour la phase exploratoire, le domaine étudié a été étendu à la Suisse.
Le recensement des réseaux ainsi que des méthodes d'interpolation accessibles aux participants a été entrepris. Le premier but est l'acquisition d'une certaine dextérité dans le traitement du problème. Une méthode simple que nous avons testée dans le réseau ANETZ servira de repère à cette fin.

4. Collaboration internationale

La collaboration internationale a été (et reste) essentielle. Ainsi, rassembler 27 séries de plusieurs années d'observations d'insolation de plans inclinés pour tester 21 modèles horaires, après s'être assuré que ces derniers sont correctement interprété et codés, est une tâche dépassant largement la capacité d'un groupe isolé. Les résultats, qui incluent des modèles inédits, sont convaincants au point que même les participants, qui au départ ne s'intéressaient qu'à la sous-tâche IXC (caractérisation des pyranomètres), ont énergiquement collaboré à la rédaction des rapports de IXB.

Au niveau national, la collaboration avec le GAP a été très fructueuse. M. Guisan ayant soutenu M. Ineichen aussi systématiquement que nous l'avons été par l'OFEN, nos contacts avec les experts mondiaux ont pu devenir très étroits et plusieurs domaines de collaboration se sont dessinés pour l'avenir. Cette situation favorable est bien illustrée par le fait qu'en juin, deux de ces experts, M. Gueymard (Université Laval, Québec) et M. Perez (State University of N.Y. at Albany), aient accepté d'interpréter les résultats des validations Suisses avec nous.

Le seul problème rencontré avec l'AIE jusqu'ici consiste dans les délais trop longs entre la conclusion des travaux et l'accord des participants sur

le contenu des rapports finaux. En comparaison, notre exercice de validation national a ingéré un bon modèle supplémentaire, une nouvelle version du meilleur modèle, ainsi qu'une série d'observations importante, au prix d'un délai de six mois seulement. Pour les modèles horaires de l'insolation des plans inclinés, nos conclusions et recommandations sont donc mieux étayées et seront plus durables que celles de l'AIE.

5. Publications

No. 1 "Modèles de Transposition du Rayonnement Solaire. Tests sur les Mesures de Lausanne".
A. Kazafindraibe
Publication GAP No. 15, Janvier 1985.

No. 2 "A New Simplified Version of the Perez Diffuse Irradiance Model for Tilted Surfaces".
R. Perez, R. Seals, P. Ineichen, R. Stewart, and D. Menicucci
Solar Energy 39, 221-231, 1987.

No. 3 "The Importance of Correct Albedo Determination for Adequately Modeling Energy Recieved by Tilted Surfaces".
P. Ineichen, R. Perez, and R. Seals
Solar Energy, 39, 301-305, 1987.

No. 4 "International Efforts Directed Towards Solar Resource Assessment on Regional Scales".
A. Zelenka
Proc. ASES/SESCI Annual Meeting, "Solar'87", Portland,OR., 1987.

OFEN
BEW

PROJETS DE RECHERCHE ÉNERGÉTIQUE 1987
ENERGIE - FORSCHUNGS - PROJEKTE 1987

LAJ ALV

SOLARKRAFTWERKSPEZIFISCHE METEODATEN

Ziel des Projekts:

Erarbeiten spezieller Meteodatensätze, welche zur Einschätzung der Möglichkeiten und Grenzen der solarthermischen und photovoltaischen Kraftwerkstechnologie erforderlich sind. Simulation des dynamischen Verhaltens von Receiver und Energietransportsystem eines solarthermischen Kraftwerks bei Vorgabe der gemessenen Datensätze als Input (Dissertation B. Hofer)

Dauer des Projekts: 3 Jahre (1.8.1987 bis 1.8.1989)

Beitragsempfänger: Eidg. Institut für Reaktorforschung

Berichterstatter: Dr. W. Durisch, B. Hofer

Adresse: 5303 Würenlingen

Telephon: 056 / 99'26'25 056 / 99'26'26

EINLEITUNG

Solarkraftwerke in den Alpen könnten künftig einen Beitrag an unsere Elektrizitätsversorgung leisten. Innerhalb des Projekts LAJ ALV geht es darum, die zur Quantifizierung dieses Beitrags notwendigen Daten über das solare Strahlungsangebot und weiterer relevanter meteorologischer Grössen zu beschaffen und bereitzustellen. Dies im Hinblick auf realistische objektive Entscheidungsgrundlagen für Industrie, Politik und Energiewirtschaft. Die gemessenen Daten sollen insbesondere dazu dienen, via Modellierung und Simulation der Dynamik eines Kraftwerkreceivers (evtl. auch des Energietransportsystems) die effektiv nutzbare Energie am Receiverausgang zu ermitteln. Hier ist zu bemerken, dass - obwohl die Schweizerische Meteorologische Anstalt (SMA) bereits höchst wertvolle Daten über das solare Strahlungsangebot in der Schweiz liefert - bezüglich kraftwerksspezifischer Daten an potentiellen Solarkraftwerksstandorten noch immer eine Wissenslücke besteht. Soweit möglich werden im Projekt LAJ ALV auch den Bedürfnissen der photovoltaischen Kraftwerkstechnologie Rechnung getragen.

1 ZIELE 1987

Die Messstation LAJ ALV (Disentis), Abb. 1 wurde im April 1986 in Betrieb genommen. Eines der Ziele für 1987 bestand darin, einen möglichst zuverlässigen autonomen Messbetrieb zu realisieren sowie einen ersten möglichst vollständigen Jahressatz von Messdaten in ausgewerteter Form zu erarbeiten. Ein weiteres Ziel stellte die Entwicklung eines physikalisch-mathematischen Modells dar zur Beschreibung des Receiververhaltens bei einem Strahlungsinput, wie er aufgrund der Messungen in LAJ ALV tatsächlich zu erwarten ist.

2 DURCHGEFUEHRTE ARBEITEN 1987

Im wesentlichen erfolgte 1987 die Auswertung der mit einem Datalogger-PC-System bereits erfassten Daten. Dazu war die Erstellung spezifischer Software erforderlich. Die bereits ausgewerteten Daten einschliesslich Beschreibung der Messstation sind in /1/ enthalten. Zur Erhöhung der Betriebssicherheit wurde die Station mit einer verbesserten Blitzschutzeinrichtung versehen. Um die Station weiter modernisieren zu können, wurde mit dem Centre Suisse de Microtechnique et Électrique (CSEM) in Neuenburg die Zusammenarbeit bezüglich Herstellung einer robusteren mikroprozessorgesteuerten Sonnennachführ-Vorrichtung aufgenommen (bisher Vorrichtung von LiCor, USA). Zur Simulation der Receiverdynamik mit den in LAJ ALV gemessenen Daten wurde ein Konzept entworfen. Die entsprechende physikalisch-mathematische Formulierung ist in Bearbeitung und sollte bis Ende 1987 abgeschlossen sein.

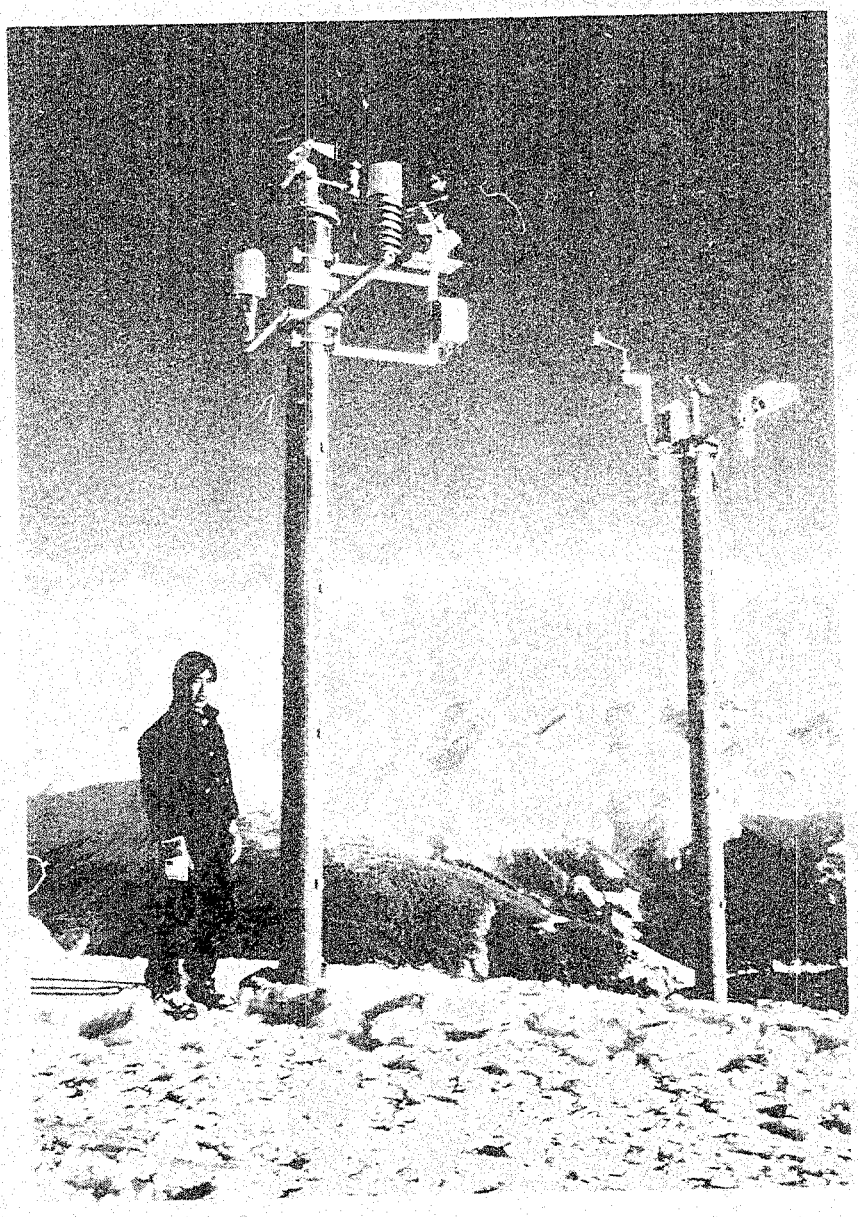


Abb. 1: Solar- und Meteomessation Laj Alv, Disentis

Meteomasten mit Sensoren zur Messung der Sonnenscheindauer, Globalstrahlung, Diffusstrahlung, Direktstrahlung, Windrichtung, Windgeschwindigkeit, Temperatur, Feuchtigkeit und Niederschlagsmenge. Die Messdaten werden periodisch abgefragt und von der zentralen Datenerfassungsanlage registriert. Als Besonderheit weist die Messanlage eine mikroprozessorgesteuerte Sonnennachführung auf, welche die Messung der direkt-normalen und global-normalen Einstrahlung ermöglicht.

3 ERREICHTE ERGEBNISSE

Die bisher erreichten Ergebnisse sind in /1/ in ausführlicher Form dargestellt. Der Vergleich der Jahressumme der direkt-normalen Einstrahlung in Laj Alv mit jener im Val Maroz zeigt, dass in Laj Alv mit signifikant höheren Werten gerechnet werden darf (Laj Alv 1986: 1398 kWh/m^2; Val Maroz 1984: 1115 kWh/m^2). Der Vergleich ist allerdings insofern mit Vorsicht zu geniessen, als Einzeljahre und nicht langjährige Mittelwerte miteinander verglichen werden. Dasselbe gilt für die folgenden Jahressummen der global-normalen Einstrahlung: Laj Alv 1986: 2406 kWh/m^2, Val Maroz 1984/85: 2058 kWh/m^2. Auch hier schneidet Laj Alv bedeutend besser ab. Die 1986 in Laj Alv gemessene Jahressumme der global-normalen Einstrahlung von 2406 kWh/m^2 ist auch um einiges höher als die gemäss METEONORM für Laj Alv abgeschätzte Jahressumme von 2203 kWh/m^2. Hohe Intensitäten der direkt-normalen Einstrahlung (höchster bisher in Laj Alv registrierter Momentanwert: 1053 W/m^2) führen zu relativ hohen maximalen Tagessummen von bis zu 12.5 kWh/m^2 (Almeria, Spanien: 11.5 kWh/m^2). Anderseits ist - wie erwartet - die Jahressumme der direkt-normalen Einstrahlung in Laj Alv mit rund 1400 kWh/m^2 wesentlich tiefer als beispielweise in Almeria (ca. 2000 kWh/m^2). Die globale Einstrahlung in eine um 60 Grad angestellte nach Süden ausgerichtete Fläche betrug während der zwölf Monate vom 1. Mai 1986 bis 1. Mai 1987 1728 kWh/m^2 (METEONORM: 1594 kWh/m^2).

Obige bereits erzielten Ergebnisse lassen schon heute die beiden folgenden Schlüsse zu:

- In den Alpen gibt es in bezug auf das solare Strahlungsangebot signifikant bessere Standorte für Solarkraftwerke als den im Val Maroz, Bergell untersuchten Standort.

- Die in früheren Studien für einen fiktiven Standort angenommenen Einstrahlungswerte werden durch die bisherigen Messungen bestätigt.

Bemerkenswert ist die Tatsache, dass sonnennachgeführte Solarzellen, welche die globale Einstrahlung zu "verarbeiten" imstande sind, jährlich rund 1000 kWh/m^2 oder rund 70 % mehr Solarstrahlung angeboten bekommen als Heliostate, welche nur die direkte Einstrahlung nutzen können. Diesem Sachverhalt wird bei weiterentwickeltem Technologiestand und Wiedererwägung der Solarthermik und Photovoltaik in den Alpen besonders Rechnung zu tragen sein. Auch wird dann die Frage, ob fixmontierte oder sonnennachgeführte Solarzellen technisch-wirtschaftlich sinnvoller sind, nochmals zu stellen sein. Eine erste Entscheidungshilfe zu diesem Thema bietet die Abb. 2, in welcher das Verhältnis der Monatssummen von global-normaler zu global-60-Grad-Süd Einstrahlung dargestellt ist. Sie zeigt, dass bei sonnennachgeführten Solarzellen vor allem im Sommer eine Mehrproduktion an Elektrizität zu erwarten ist.

An nennenswerten unvorhergesehenen Vorkommnissen sind zu erwähnen: Ein Blitzschaden und ein Ausfall der Harddisk der Datenerfassung, welche beide zu Datenverlusten geführt haben. Die entstandenen Lücken wurden so gut wie möglich - via plausiblen Näherungen und Daten benachbarter SMA-Stationen - geschlossen.

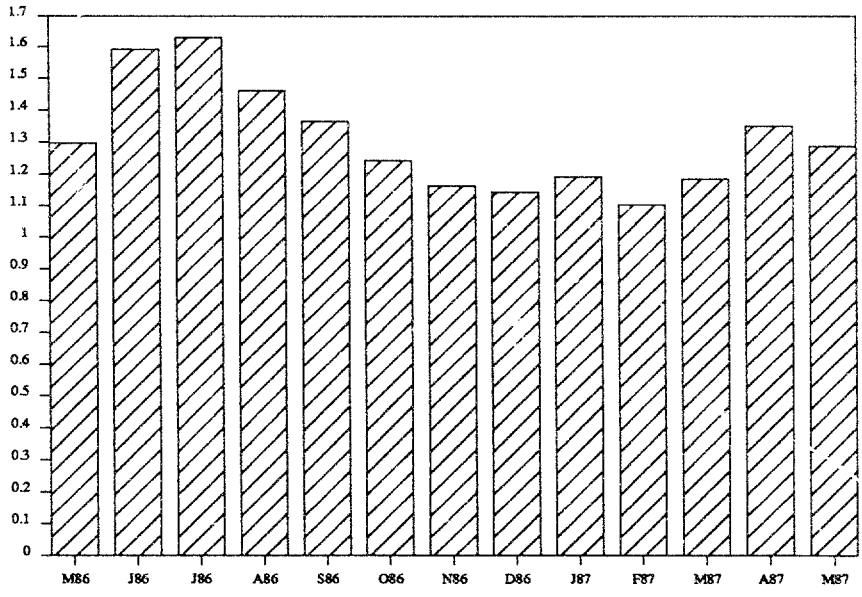


Abb. 2: Verhältnis der Monatssummen der global-normalen zur global-60-Grad-Süd Einstrahlung für die Monate Mai 1986 bis Mai 1987.

4 VEROEFFENTLICHUNGEN

/1/ Hofer B., Durisch W.
Meteostation Laj Alv - Aufbau und erste Messergebnisse 85/86
Interne Technische Mitteilung TM-13-87-07, EIR, Juli 1987

/2/ Durisch W., Bühlmann M., Kesselring P., Morisod R.
Measurements and Operational Experience with a Photovoltaic Plant in the Swiss Alps, and Economic Aspects
Interne Technische Mitteilung TM-13-87-10, EIR, September 1987

5 NEUE FORSCHUNGSARBEITEN

Im Hinblick auf hochkonzentrierende Systeme zur Herstellung von "Solar Fuels & Chemicals" ist eine Ausweitung der Messaktivitäten auf "Sun Shape" -Messungen angezeigt. Diese sind nötig, um den für hochkonzentrierende Systeme zur Verfügung stehenden Anteil der direkt-normalen Einstrahlung ermitteln zu können.

Ein weiteres, u.U. wichtiges und lohnendes Parallel- oder Folgeprojekt bestünde in einer Untersuchung über die Elektrizitätsmehrproduktion bei Sonnennachführung von Solarzellen gegenüber fixmontierten Zellen /2/

Mit Blick auf die zu erwartenden und bereits angekündigten Mehrschicht-Solarzellen sollte der spektralen Natur der Solarstrahlung mehr Beachtung geschenkt werden. Dies, um entscheiden zu können, welche Typen sich für alpine Anwendungen besonders eignen würden.

OFEN — PROJETS DE RECHERCHE ÉNERGÉTIQUE 1987

BEW — ENERGIE - FORSCHUNGS - PROJEKTE 1987

GRUNDWASSERDATIERUNG MIT KRYPTON-81 & KRYPTON-85

Ziel des Projekts: Entwicklung eines analytischen Verfahrens zum Nachweis geringster Spuren von radioaktivem Krypton im Grundwasser. Bereitstellung einer Methode zur Altersbestimmung für sehr alte Grundwässer im Hinblick auf Entsorgungskonzepte und Nutzung geothermischer Energie.

Dauer des Projekts: 01.02.1986 - 31.12.1987

Beitragsempfänger: Physikalisches Insitut, Universität Bern

Berichterstatter: Dr. B. Lehmann

Adresse: Sidlerstrasse 5, 3012 Bern

Telephon: 031/65 44 67

1. Anvisierte Zielpunkte für 1987

Im zweiten Jahr dieses zweijährigen Projekts sollten alle geplanten apparativen Entwicklungen abgeschlossen werden. Das Feldentgasungssystem, mit welchem Luftproben an Ort aus Grundwasserproben ohne Kontamination mit moderner Luft gewonnen werden können, soll zu einem robusten und hinsichtlich Stromversorgung autarken Gerät ausgebaut werden. Die Laboranlage zur Abtrennung von Krypton aus den gewonnenen Garproben soll fertiggestellt und optimiert werden. Die Isotopenanreicherungsstufe soll im Routinebetrieb einsetzbar sein. Das gesamte analytische Verfahren soll in enger Zusammenarbeit mit der Firma Atom Sciences Inc. in Oak Ridge, bei welcher die Kryptonproben weiter angereichert und schliesslich mittels Resonanz Ionisations Spektroskopie (RIS) gemessen werden, kalibriert und optimiert werden und erste Resultate von hydrologischen Proben sollen diskutiert werden.

2. Durchgeführte Arbeiten 1987

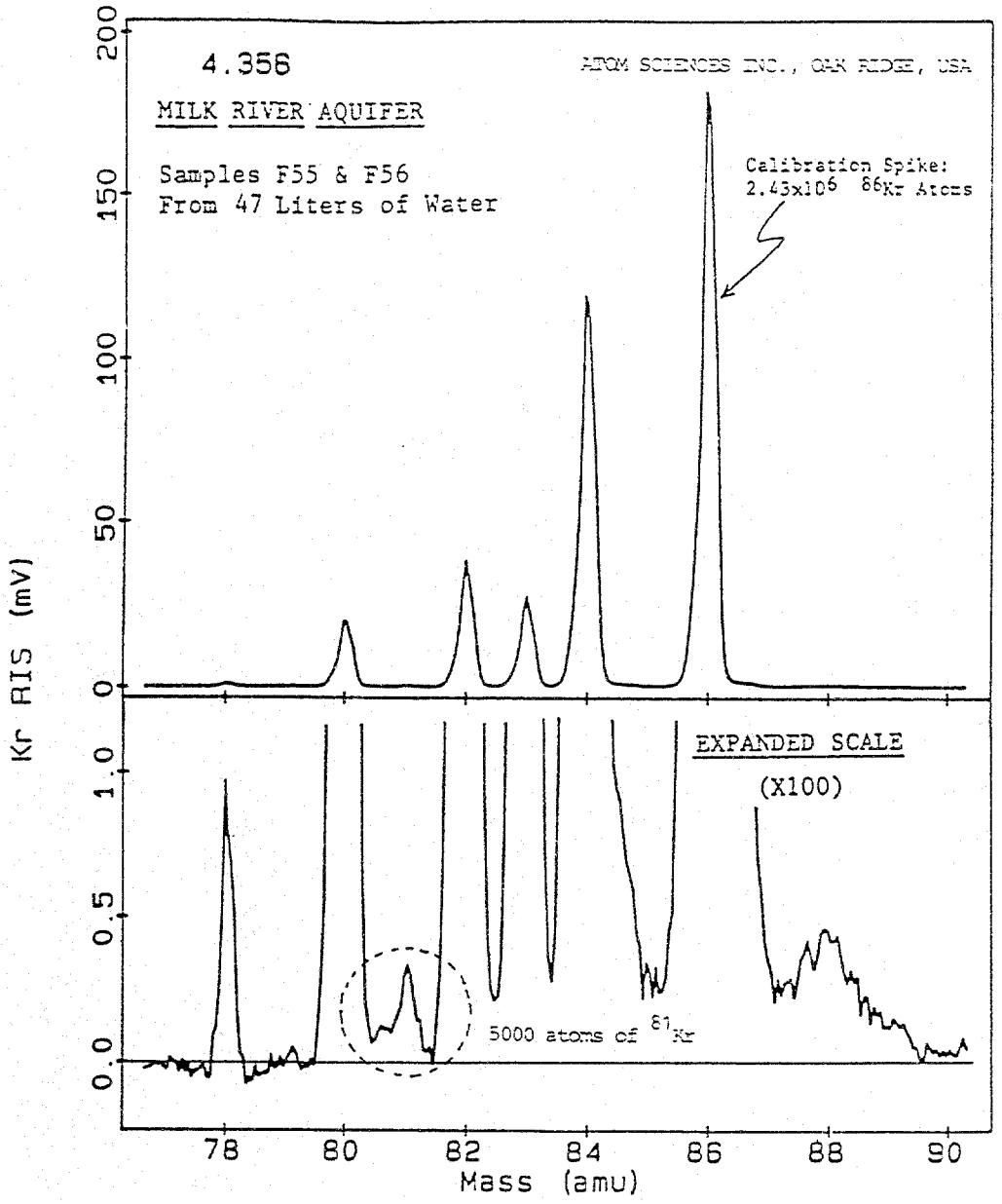
Nachdem das Feldentgasungssystem bereits im letzten Berichtsjahr im wesentlichen fertiggestellt wurde, konzentrierten sich die Arbeiten im laufenden Jahr auf die Behebung kleinerer Mängel. Die Druckmessung wurde mit einer piezoresistiven Sonde wesentlich verbessert. Durch die Anschaffung von neuen Gasbehältern von 2 Liter Volumen konnten die Kompressionsverhältnisse beim Umfüllen der Gasproben verbessert werden und durch den Kauf eines kleinen benzinbetriebenen Hondagenerators wurde die ganze Anlage zu einem völlig unabhängigen System vervollständigt, welches auch in abgelegenen Gebieten einsetzbar ist. Das Schwergewicht der Arbeiten lag im Berichtsjahr beim Austesten des in der eigenen Werkstatt gebauten Gaschromatographen, mit welchem 1 ppm Kr aus den gewonnenen Luftproben abgetrennt wird. Dafür wurde ein Wärmeleitfähigkeitsdetektor der Firma GOMAC in unsere Anlage integriert. Für die Krypton-Isotopenanreichung wurde die

Kalibrierung mittels $^{78}Kr/^{81}Kr$-Verhältnissen optimiert und die Plasmaentladung in der Ionenquelle durch geeignete Massnahmen in der Stromversorgung stabilisiert. Nicht zuletzt wurden die erreichten Ergebnisse zusammengefasst (als Teil einer Dissertation) und publiziert, so dass der Transfer des Wissens auf neue Mitarbeiter sichergestellt werden konnte. In einer Testserie von 8 Proben aus dem Milk River Aquifer (Kanada), welche im Rahmen einer von der IAEA koordinierten Messkampagne gewonnen worden waren, wurde die Reproduzierbarkeit des gesamten Verfahrens ausgetestet.

3. Erreichte Ergebnisse

Es ist gelungen, quantitativ ^{81}Kr in Wasserproben von 50 l nachzuweisen, welche aus 150 m Tiefe aus einem Sandstein-Grundwasserleiter gewonnen wurden. Die gemessene Konzentration von ungefähr 1000 Atomen pro Liter Wasser entspricht einer Nachweisempfindlichkeit von 10^{-23} (bezogen auf die Anzahl Wassermoleküle). Die Qualität der Daten kann aus der Figur auf der nächsten Seite beurteilt werden. Dargestellt ist das von der Firma Atom Sciences mittels Laser Resonanz Ionisations Spektroskopie gemessene Flugzeit-Massenspektrum von Krypton. Der für die Kalibrierung verwendete ^{86}Kr-Spike von $2{,}43 \times 10^{6}$ Atomen entspricht einem Kryptonpartialdruck von etwa 10^{-14} mb, das ^{81}Kr-Signal etwa 10^{-17} mb (oder weniger als 1 atom/cm^3). Es ist im Rahmen dieses Kurzberichts nicht möglich, auf die technischen Details der verschiedenen Aufarbeitungsstufen einzugehen. Deshalb wird im folgenden in summarischer Form zusammengefasst, welche Arbeiten bis zur dargestellten ^{81}Kr-Analyse geleistet wurden. Im übrigen wird auf die angegebene Literatur verwiesen.

Figur 1: Flugzeit-Massenspektrum nach element-selektiver Laserionisation einer aus Grundwasser extrahierten Kryptonprobe, in der ^{81}Kr in mehreren Schritten angereichert wurde.



1. Probenahme im Rahmen eines koordinierten IAEA-Programms in Kanada, bei dem alle zur Zeit verfügbaren Datierungsmethoden für Grundwasser eingesetzt werden. Für eine ^{39}Ar-Datierung werden im Felde 10'000 l Wasser entgast. Ein kleiner Teil davon (ca. 50 l) ist für eine ^{81}Kr-Analyse vorgesehen.

2. Im Labor in Bern werden aus 190 Litern Gas mittels Gaschromatographie Argon und Krypton separiert für eine ^{39}Ar-bzw. ^{85}Kr-Analyse.

3. Aus dem ^{85}Kr-Zählgas (ca. 90 cm^3 Ar, 10 cm^3 CH_4 und 0,25 cm^3 Kr) wird dann wieder Kr separiert und 5 x 10^{-3} cm^3 Kr für eine ^{81}Kr-Probenaufarbeitung verwendet.

4. Im Isotopenanreicherungsschritt in Bern werden in 2 Arbeitsgängen von je etwa 7^h insgesamt 30'000 ^{81}Kr-Atome in zwei Aluminiumfolien von 8 x 8 mm implantiert. Alle stabilen Kr-Isotope werden um drei oder mehr Grössenordnungen reduziert. Als Kalibrierungsdosis werden je 6.4 x 10^{12} ^{83}Kr Atome ebenfalls implantiert.

5. Die Folien werden per Post an die Firma Atom Sciences in Oak Ridge geschickt und dort im Innern des Massenspektrometers, welches für die weitere Isotopenanreicherung eingesetzt wird, mittels Laserlicht verdampft. Dabei wird das in Bern implantierte Krypton frei.

6. Die Probe wird in der Folge in zwei weiteren Anreicherungsschritten von je etwa 1 Stunde weiter von unerwünschten stabilen Kryptonisotopen "gesäubert". Schlussendlich werden ca. 5000 ^{81}Kr-Atome zusammen mit einem Rest von ca. 10^6 stabilen Kr-Atomen in ein Siliziumplättchen implantiert. Als Kalibrierungsdosis werden 2,5 x 10^6 ^{86}Kr-Atome mitgenommen.

7. Das Si-Plättchen wird dann in einer kleinen Vakuumkammer mittels Laserpulsen geheizt, das Probegas entweicht und wird ins eigentliche Resonanz-Ionisations-Flugzeitmassenspektrometer transferiert.

8. Mittels gepulster element-selektiver Laserionisation wird ^{81}Kr nachgewiesen (vgl. Figur 1).

Die endgültige Datenauswertung bei der Firma Atom Sciences ist noch nicht abgeschlossen. Eine provisorische Analyse ergibt ein Alter im Bereich 60 ± 60 ka, d.h. die Wasserproben sind vermutlich entgegen der auf ^{36}Cl-Daten abgestützten Erwartungen relativ jung.

4. Internationaler Rahmen

Das Projekt basiert auf einer engen Zusammenarbeit mit der Firma Atom Sciences in Oak Ridge, die sich im Berichtsjahr zur beidseitigen Zufriedenheit entwickelt hat. Zur Zeit laufen die Vorbereitungen für die Aufarbeitung und Analyse der im letzten Jahr gewonnenen Proben aus dem "Great Artesian Basin" in Australien.

5. Referenzen

D Rauber: Edelgase im Grundwasser, Teil 1: Probenaufarbeitung für ^{81}Kr- und ^{85}Kr-Datierungen (Uni Bern, Dissertation, Mai 1987)

B.E. Lehmann, D.F. Rauber, N. Thonnard, R.D. Willis: An Isotope Separator for Small Noble Gas Samples. Nucl. Instr. Methods, B28, 571 (1987)

N. Thonnard, R.D. Willis, M.C. Wright, W.A. Davis, B.E. Lehmann: Resonance Ionization Spectroscopy and the Detection of ^{81}Kr (NIM, in press)

1.4

OFEN PROJETS DE RECHERCHE ÉNERGÉTIQUE 1987

BEW ENERGIE - FORSCHUNGS - PROJEKTE 1987

WINDENERGIE, KRITERIEN ZUR STANDORTEVALUATION

Ziel des Projekts: Publikation eines Handbuches: "Sites éoliens en Suisse"
Messtechnische Erfassung des dynamischen Verhaltens von vier Horizontalachs-Windenergiekonvertern (WEK) im Bezug auf deren Energieertrag. Aufbereitung der Daten für ein Computermodell der ETH-Lausanne.
Ausmessen des Windenergiepotentials von 2 Standorten, Erarbeitung von Kriterien zur Standortevaluation.
Kosten/Nutzen-Analyse von möglichen Standorten für WEK.
Koordination der Projektgruppe "Sites éoliens" im Zusammenhang mit dem IEA-Projekt "WECS R+D, Annex 8".
Mitarbeit an der Redaktion des Handbuchs.

Dauer des Projekts: 1.März 1987 - 31.Dezember 1988

Beitragsempfänger: Zentrum für Angepasste Technologie und Sozialökologie

Berichterstatter: Robert Horbaty

Adresse: Schwengistr.12, 4438 Langenbruck

Telephon: 062/ 60 14 60

1. Zielsetzungen für 1987

Um die im Rahmen des vorliegenden Projektes "Sites èoliens" gesteckten Ziele:
- Beschreibung von Standorten für Windenergiekonvertern (WEK),
- Art und Weise der Windmessungen für Standortabklärungen,
- Modellierung von WEK-Installationen und Optimierung von Regelungsparametern von WEK,
- Kosten/Nutzen-Analysen von WEK-Standorten

zu erreichen, war es in der Berichtsperiode unsere Aufgabe, die Datengrundlagen für die diversen Analysen und Modelle zu liefern.

2. Durchgeführte Arbeiten 1987

2.1. Datenerfassung an WEK

Die von uns erfassten Daten (Windgeschwindigkeit, Windrichtung, elektr. Leistung) des 18kW-WEK auf dem Sool dienten als Diskussionsgrundlage für Aussagen bezüglich Turbulenzverhalten von WEK. Die paralelle Installation des von der ETH Lausanne gekauften Datenerfassungsystem erfolgte Mitte Oktober. Die weitere Messkampagne ist mit den Anlagenbesitzern koordiniert und abgesprochen.

2.2. Standort-Evaluation

Die Messgeräte wurden erst Ende November geliefert, was eine wesentliche Verzögerung für diesen Projektteil bedeutet.

2.3. Kosten/Nutzen-Analyse von Standorten

Durch intensive Recherchen, vor allem auch im Zusammenhang mit den EGES-Szenarien, konnte eine Dokumentation über "Non-Wind" -Faktoren eines WEK-Standortes erarbeitet werden.

2.4. Koordination mit IEA-Projekt

Verfassung und Präsentation eines Status-Reports über die Aktivitäten in der Schweiz an der IEA-Sitzung vom 2. - 4.Juni in Veastervik, Schweden. Vorschlag zum Kapitel "Other Factors" für das "Site Assessment Handbook" der IEA. Auftrag zum Verfassen desselben. Koordination und Organisation des Datenaustausches mit den anderen IEA-Partnern.

3. Ergebnisse
****

3.1. Datenerfassung an WEK

Der Energieertrag eines WEK ist - nebst der Windgeschwindigkeit - auch durch die Struktur des Windes (Böen- Flautendauer, Turbulenzen etc.) stark beeinflusst. Der vom Oekozentrum Langenbruck auf dem Sool - einer Jurahöhe - betriebene 18-kW-Horizontalachs-WEK "Aeolus 11" bringt am diesem Standort deutlich weniger Energie als aufgrund der vom Hersteller angegebenen Leistungskennlinie zu erwarten wäre. Da dieselbe Maschine auf Pellworm schon einmal sehr genau ausgemessen wurde, besteht nun die Möglichkeit, die zwei Standorte (Nordseeküste - Jurahöhe) effektiv miteinander zu vergleichen. Zusätzlich dienen die erfassten Daten als Grundlage eines komplexen Simulationsmodell der ETH Lausanne zur Standort-Evaluierung und WEK-Optimierung.

Fig.1

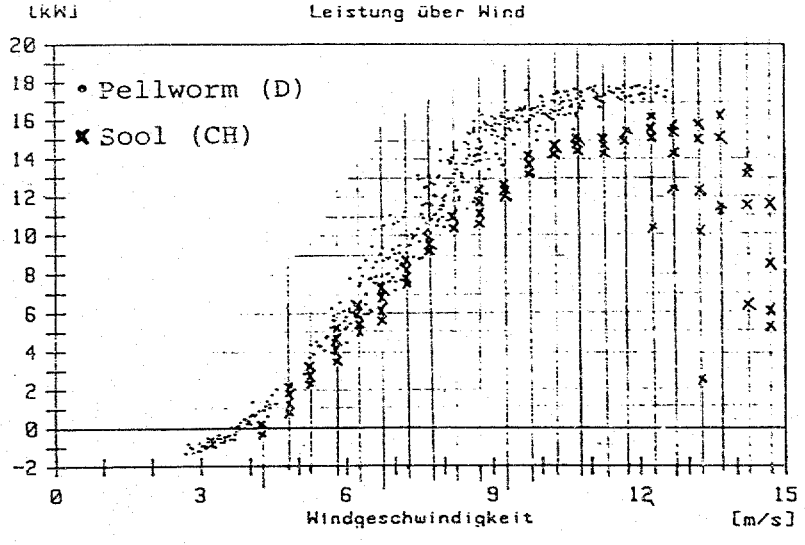
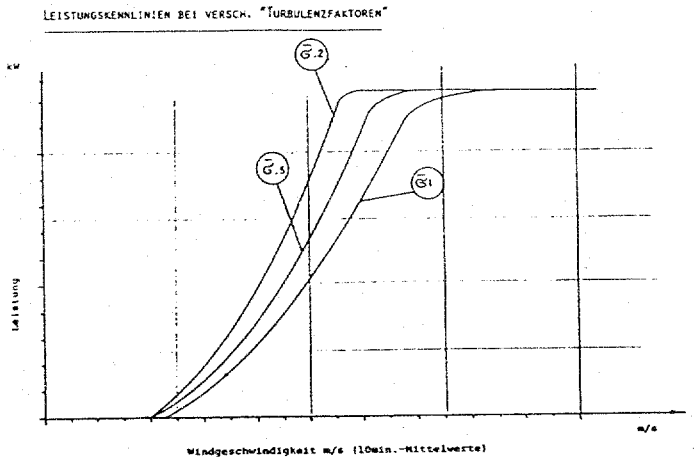


Fig.1 stellt die Messresulte zur Erfassung der Leistungskennlinie der "Aeolus 11" dar. Da die Messungen auf dem Sool deutlich unter denjenigen von Pellworm liegen, ist die Annahme nahe - auch wenn man den Höhenunterschied mitberücksichtigt (Sool= 1000 M.ü.M.) - dass die Leistungskennlinie eines WEK standortabhängig, bzw. von der Struktur des am Standort auftretenden Windes abhängig ist.

Wieso die Leistung über 12,5m/s auf dem Sool stark abknickt ist zum heutigen Zeitpunkt **unerklärlich,** dürfte aber mit der Leistungsregelung des WEK im Zusammenhang stehen. Mit Inbetriebnahme der neuen Microprozessor-Steuerung Anfang 1988 sind wir in der Lage dieses Phänomen zu analysieren und zu beheben.

3.1.1. Die mittlere Standartabweichung $\bar{\sigma}$ als "Turbulenzfaktor"
Leistungskennlinien (P/v) von WEK werden aufgrund von 10-Min.-Mittelwerten erfasst, wobei die Rohdaten Messungen in mind. 10 sec. Intervallen sein sollen. Als Hypothesis folgerten wir aus obigen Resultaten, dass die mittlere Standartabweichung $\bar{\sigma}$ der 10 sec.Messungen zur Ermittlung der 10 min.Mittelwerte der Windgeschwindigkeit ein Indiz für die Turbulenz des Windes am betreffenden Standort sein könnte. Ein kleines $\bar{\sigma}$ würde also konstante Windverhältnisse charkterisieren (z.B.Küste), während ein grosses $\bar{\sigma}$ ein Kennzeichen für verwirbelte, turbulente Winde (z.B. hügeliges Gelände) wäre.
Bei Standort-Evaluationen wäre also, nebst der mittleren Windgeschwindigkeit auch noch die Standartabweichung σ zu erfassen. Anlagenhersteller müssten ihre Leistungskennlinien entsprechend des am Standort auftretenden $\bar{\sigma}$ nach unten korrigieren, was eine exaktere Energievorhersage ermöglichen würde. (Siehe Fig. 2)

Fig.2



3.1.2. Auswertung der Messperiode 8.10.- 13.11.1987
Sollte diese Hypothese richtig sein, so müsste - bei gleichen mittleren Windgeschwindigkeiten - mit einer Zunahme des $\bar{\sigma}$ die mittlere Leistung abnehmen. Die 4616 10 min.Mittelwerte der Messperiode vom 8.10 -13.11.87 wurden entsprechend analysiert. Während bei einer mittleren Windgeschwindigkeit von $\bar{v}$ = 6,75 m/s die Leistung mit grösserem $\bar{\sigma}$ zunahm, so verringerte sich diese bei $\bar{v}$ = 9,25 m/s mit zunehmendem .

3.1.3. Interpretation der Resultate
Die Hypothesis, dass mit einem grösseren $\bar{\sigma}$ die Leistung immer sinkt, konnte mit den obigen Auswertungen nicht bestätigt werden.
Als weitere Möglichkeit für einen "Turbulenzfaktor" kann der Faktor $\bar{\sigma}/\bar{v}$ dienen. Für den Standort Sool streut dieser Faktor bei sämtlichen Windklassen (4.75 - 17.75 m/s) zwischen 0.15-0.18. Auf Pellworm ist dieser Faktor zwischen 0.10 und 0.15, also deutlich tiefer, was auf konstantere Winde und somit einen höheren Energieertrag schliessen lässt.

Durch das Erfassen des σ bei weiteren Windmessungen an verschiedenen Standorten im Rahmen des vorliegenden Projektes kann die Aussage, dass $\sigma / \bar{v}$ ein Mass für die Turbulenz ist, sicher noch verifiziert werden.

3.1.4. Weitere Messungen und Auswertungen

Seit Mitte Oktober ist die Messdatenerfassung der ETH Lausanne installiert. Erste Auswertungen zeigen z.B. klar, dass der Leistungsregler der Windkraftanlage statt auf 18 kW auf 16 kW eingestellt ist (Fig.3). Weitere Messdaten werden zur Anlagen-Simulation in einem Computer-Modell verwendet werden können.

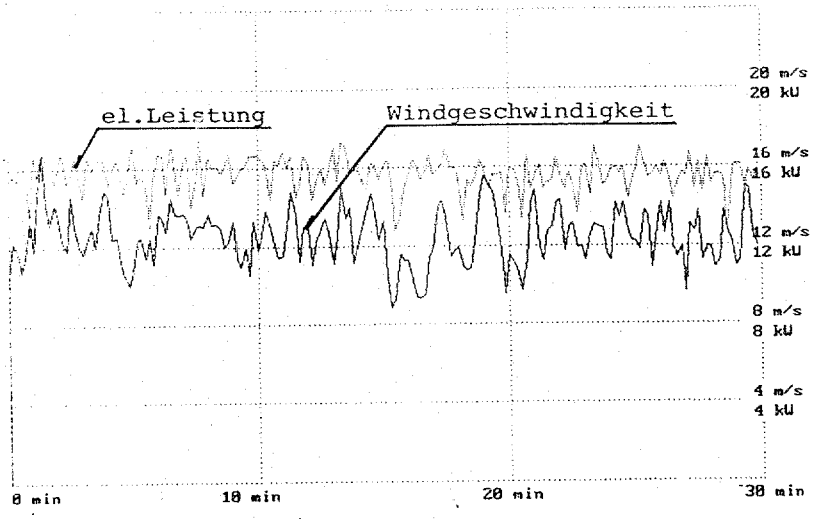


Fig.3

Die vorliegenden Resultate sollen auch noch bezüglich der Windrichtung ausgewertet werden. D.h. ist das σ bei Bise kleiner als bei Westwind, und resultiert dadurch ein höherer Energieertrag bei gleichen mittleren Windgeschwindigkeiten?

Zusätzlich sollen die Messwerte anstatt nach dem σ aufgrund ihrer Tubulenzintensität klassiert werden. Auch die Turbulenzintensität* könnte ein Parameter zur Definierung des Turbulenzverhaltens des Windes an einem Standort sein.

*Turbulenzintensität (Turbulance-factor) $= \sqrt{\frac{\Sigma (v_i - \bar{v})^2}{\bar{v}}}$

3.2. Standortevaluation

An zwei Standorten - ohne Windkraftanlagen - sollen mit einem Datalogger in 10 min. Intervallen folgende Messdaten erfasst werden: 1.Mittlere Windgeschwindigkeit, 2.Mittlere Windrichtung, 3. σ der Windgeschwindigkeit, 4. σ der Windrichtung, 5. Max. Windgeschwindigkeit, 6. Richtung der Max.Windgeschwindigkeit, 7. Anzahl Messungen bei Flaute. Abfragerate der einzelnen Daten $<$ als 5 sec.
Diese Messungen sollen Unterlagen liefern über Art und Weise einer Windmessung für WEK-Standorte (Zeitdauer, Zeitpunkt, notwendige Messdaten, Auswahl typischer Stunden/Tage).

Erste Testversuche deuten darauf hin, dass das ausgewälte Gerät ein problemloses, benutzerfreundliches und klimagerechtes Messsystem ist.

3.3. Kosten/Nutzen-Analyse von Standorten

Der Berichterstatter hat im Rahmen der EGES-Szenarien massgeblich am Teil "Windenergiepotential in der Schweiz" mitgearbeitet. Dadurch wurden zusätzliche intensive Recherchen über Standortfragen, insbesondere auch der "Non-Wind-Factors" wie Erschliessungskosten, Umweltfragen etc., ermöglicht.

4. Koordination mit IEA-Projekt

****

Die Teilnahme an den Sitzungen des IEA-Projektes "WECS R+D, Annex 8" ist für den Fortschritt des Projektes "Sites éoliens" sehr fruchtbar. Für ein neues Forschungsgebiet, wie das die Windenergie ist, kann sich der internationale Informations-Austausch nur positiv auswirken.
Durch die spezifisch schweizerische Problematik (geographisch sehr komplexes Terrain, Klima etc.) können wir zudem wesentliche Erkenntnisse beitragen.
Der Austausch von Daten und die aufwendige Korrespondenz gestaltet sich zuweilen jedoch sehr mühsam und ist entsprechend zeitaufwendig. Auch sind die Informationen seitens des Operating Agent teilweise ungenügend (kurzfristige Verlegung der Sitzung in Teneriffa).

5. Publikationen

****

Mit Ausnahme von internen Berichten wurden keine Publikationen verfasst.

6. Neue Forschungsarbeiten

****

Sowohl das vorliegende Projekt als auch die im Rahmen der EGES- Szenarien durchgeführten Untersuchungen haben klar gezeigt, dass das existierende Datenmaterial an Windmessungen für eine einigermassen genaue Potential-Abschätzung der Möglichkeiten der Windenergie-Nutzung in der Schweiz absolut ungenügend ist. Windmessungen an relevanten Standorten (ausser Chasseral und La Dole) existieren nicht. Aufgrund der im vorliegenden Projekt erarbeiteten Erkenntnisse sollte eine breit abgestützte Messkampagne diese Datenunterlage erbringen. Untersuchungen über die Möglichkeiten, Probleme und die technischen Anforderungen von netzgekoppelten WEK fehlen in der Schweiz. Welche Auswirkungen hätten hunderte von dezentralen WEK auf die Versorgungssicherheit und die Qualität unserer Stromversorgung?

Langenbruck, den 13.Dezember 1987 R.Horbaty

1.5

OFEN — PROJETS DE RECHERCHE ÉNERGÉTIQUE 1987

BEW — ENERGIE - FORSCHUNGS - PROJEKTE 1987

MODÈLES DYNAMIQUES POUR L'ÉVALUATION DE SITES ÉOLIENS

But du projet: Publication d'un manuel pour la selection de sites propices à des installations éoliennes de moins de 30 mètres de hauteur.

Durée du projet: fin 1988

Mandataire: Le Laboratoire d'électromécanique LEME, EPFL

Rapporteur: J-Pierre LUDWIG

Adresse: 16 Chemin de Bellerive 1007 LAUSANNE

Téléphone: 021/ 47'46'80

Sites éoliens (IEA-WECS-8A)

Manuel pour la selection de sites propices à des installations éoliennes de moins de 30 mètres de hauteur.

1. Objectifs visés pour 1987

Pour le comité de rédaction, l'objectif 1987 était de trouver une méthodologie d'estimation du potentiel énergétique éolien suisse. Chaque membre du comité s'occupe d'un chapitre particulier permettant d'aboutir à ce manuel.

Le Laboratoire d'ElectroMEcanique, membre du comité de rédaction s'était fixé comme objectifs pour 1987 :
- choix, achat et mise au point d'un système d'acquisition de mesures
- mise en service du système
- traitement des données effectuées par le système d'acquisition
- méthode de simulation dynamique
- simulation dynamique pour quelques installations
- recherche d'une modélisation du vent (vent classé, écart type)

2. Travaux effectués en 1987

- Le LEME a développé une chaîne d'acquisition de mesures composé de :
  un ordinateur HP75C
  un lecteur de disque
  un acquisiteur de données
  un wattmètre triphasé
  un anémomètre, une girouette
  une alimentation sans coupure

Les grandeurs suivantes sont mesurées et enregistrées :
  la tension
  le courant
  la puissance des 3 phases
  la fréquence
  la vitesse du vent
  la direction

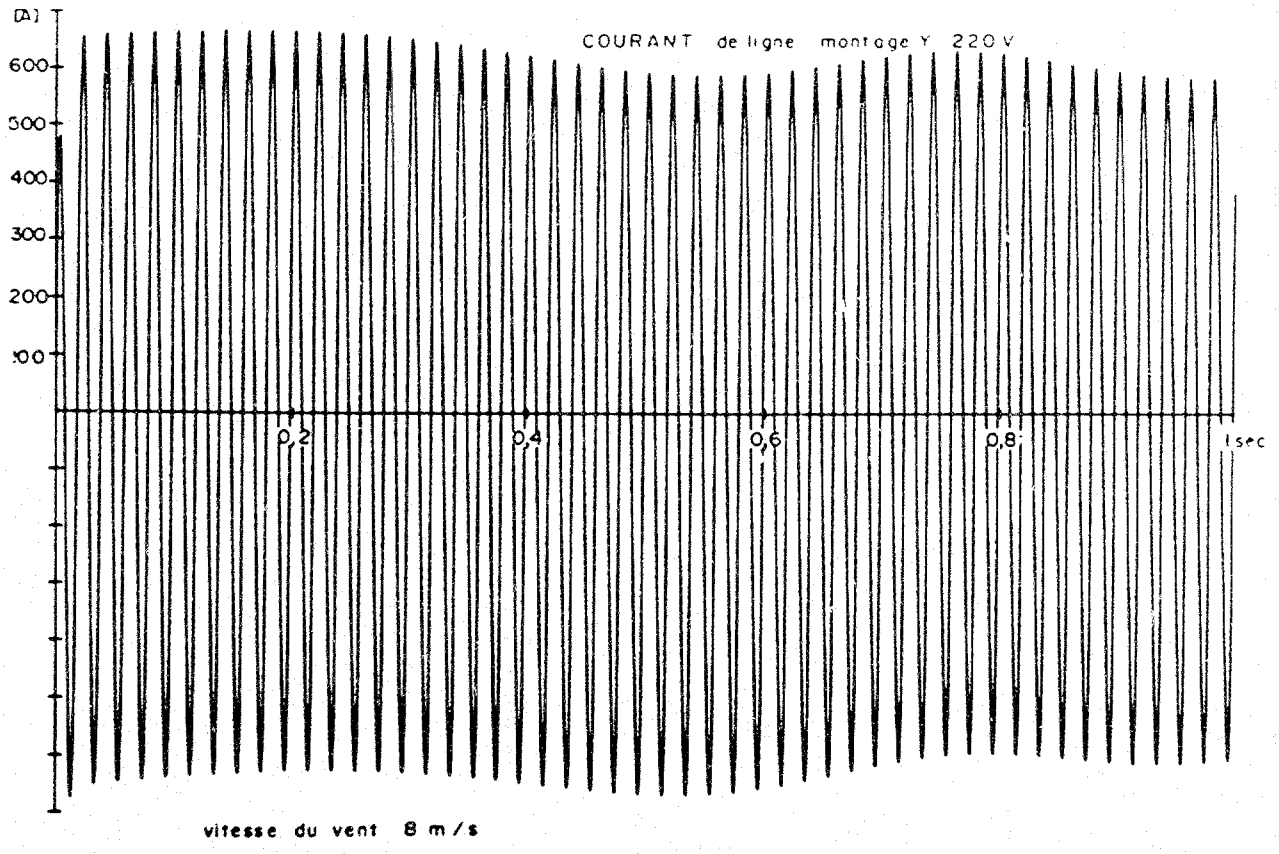
- Diverses méthodes de simulation énergétiques sont développées et testées. Ces méthodes tiennent compte de l'aspect dynamique du système éolien.

- Auparavant des méthodes statiques d'estimation du potentiel énergétique avaient été développées. Méthodes simples et rapides qui font à l'heure actuelle, l'étude d'améliorations permettant dans un traitement statique du vent d'introduire l'aspect dynamique de l'éolienne tout en gardant leurs caractères rapides, légers et simples.

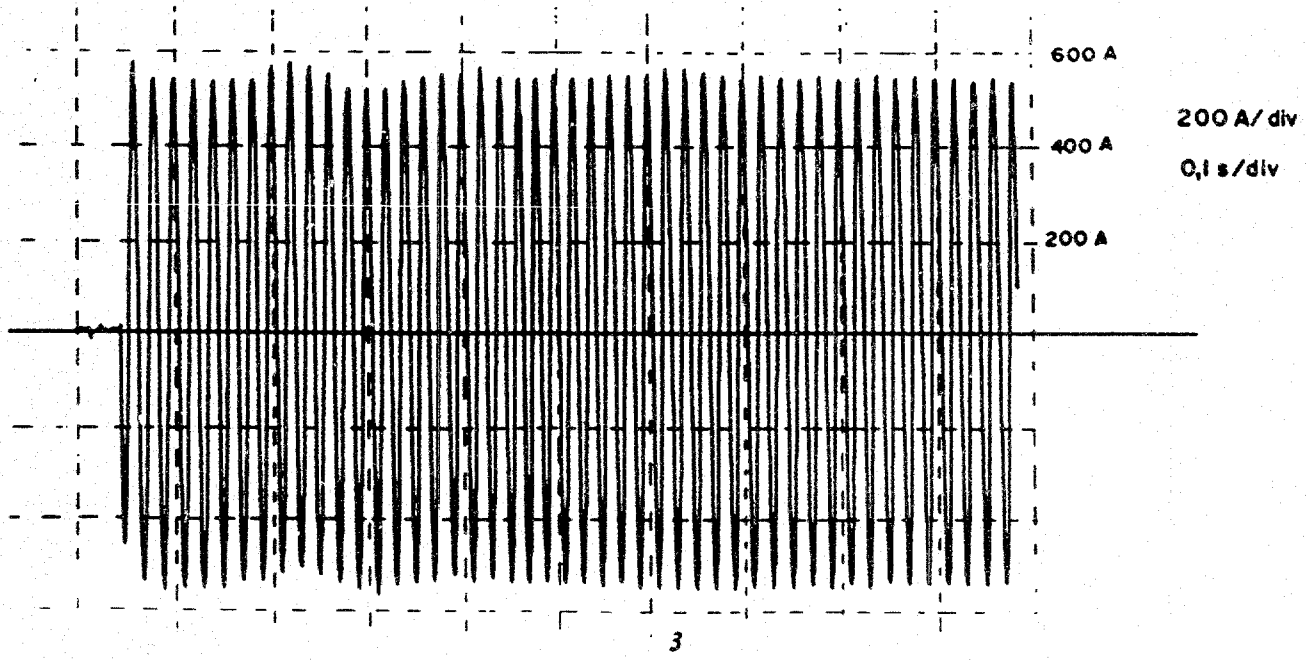
- Simulation dynamique et transitoire de démarrage d'installation éolienne avec génératrices asynchrones.

3. Résultats obtenus en 1987

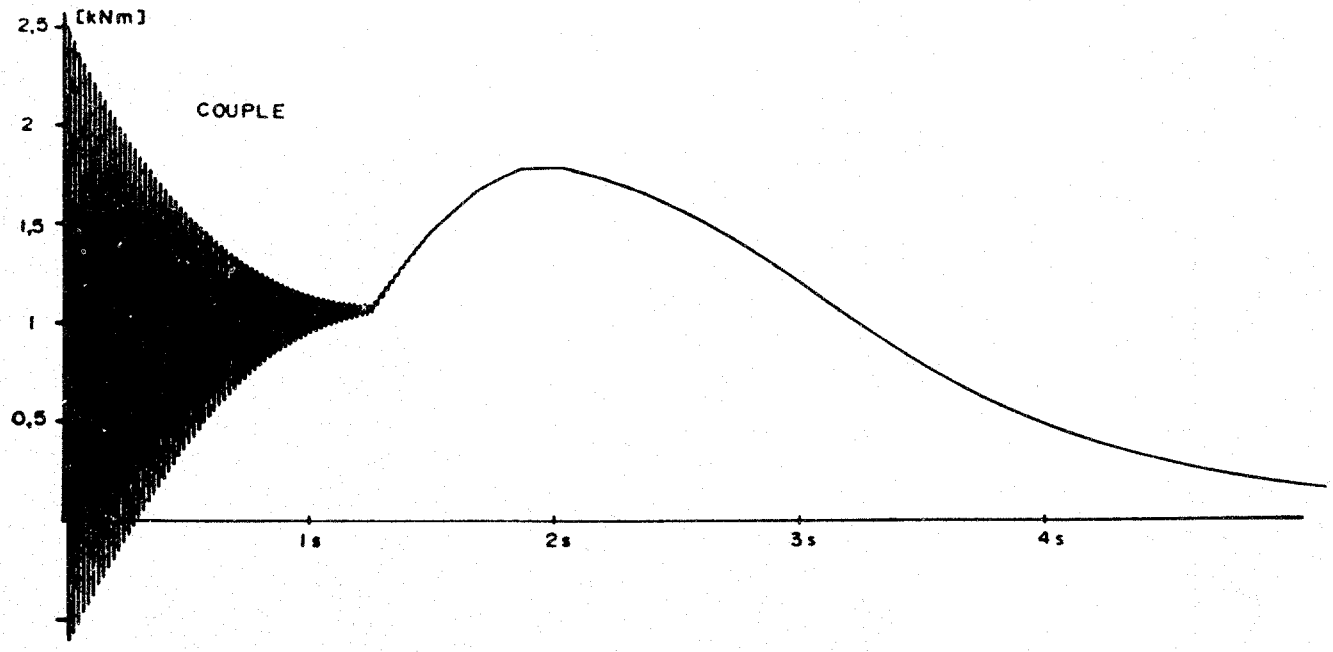
- Simulation dynamique et transitoire du courant de l'installation de Martigny (démarrage)



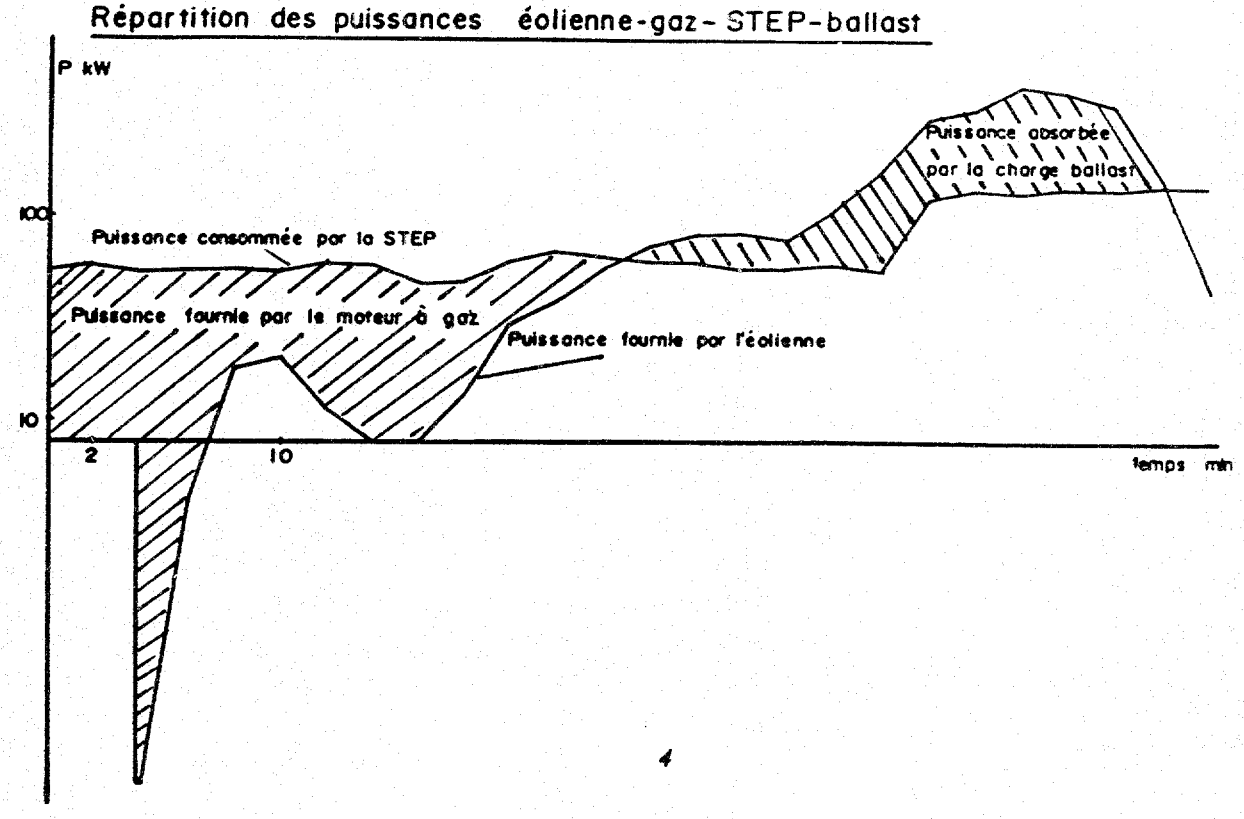
- Mesure dynamique et transitoire du courant de l'installation de Martigny (démarrage)



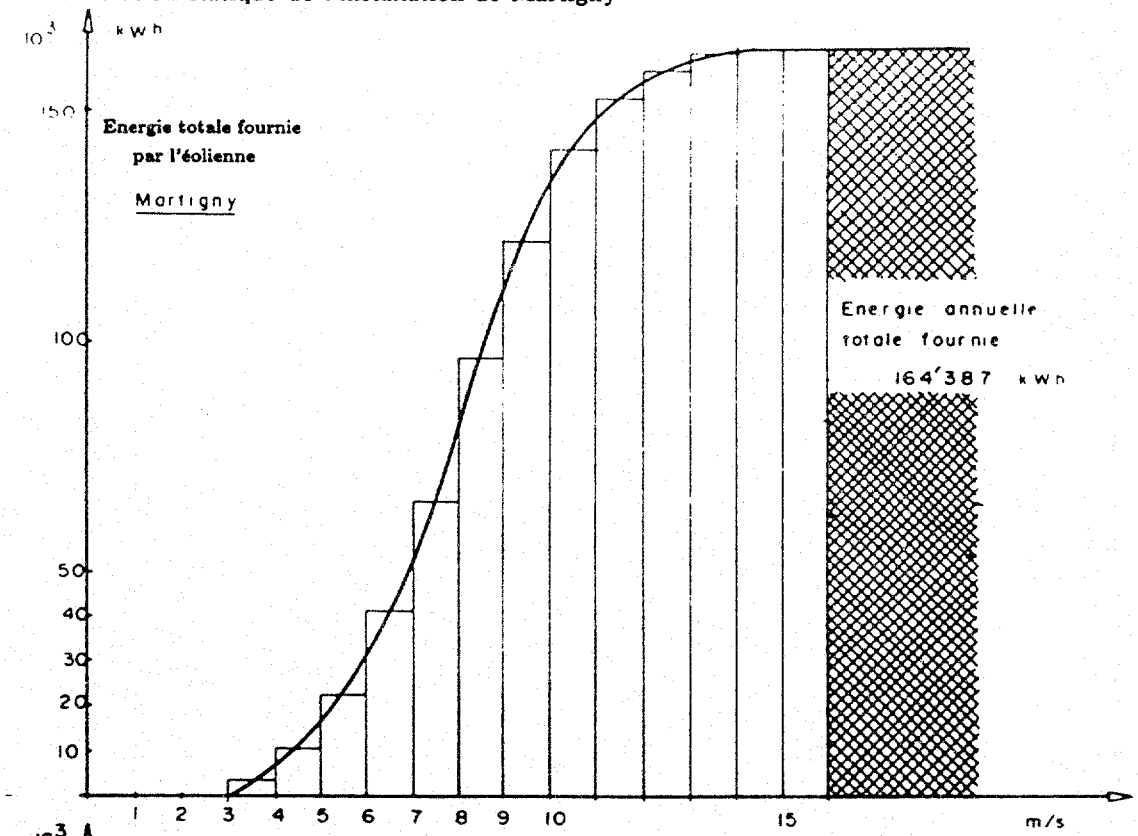
- Simulation dynamique et transitoire du couple de l'installation de Martigny(démarrage)

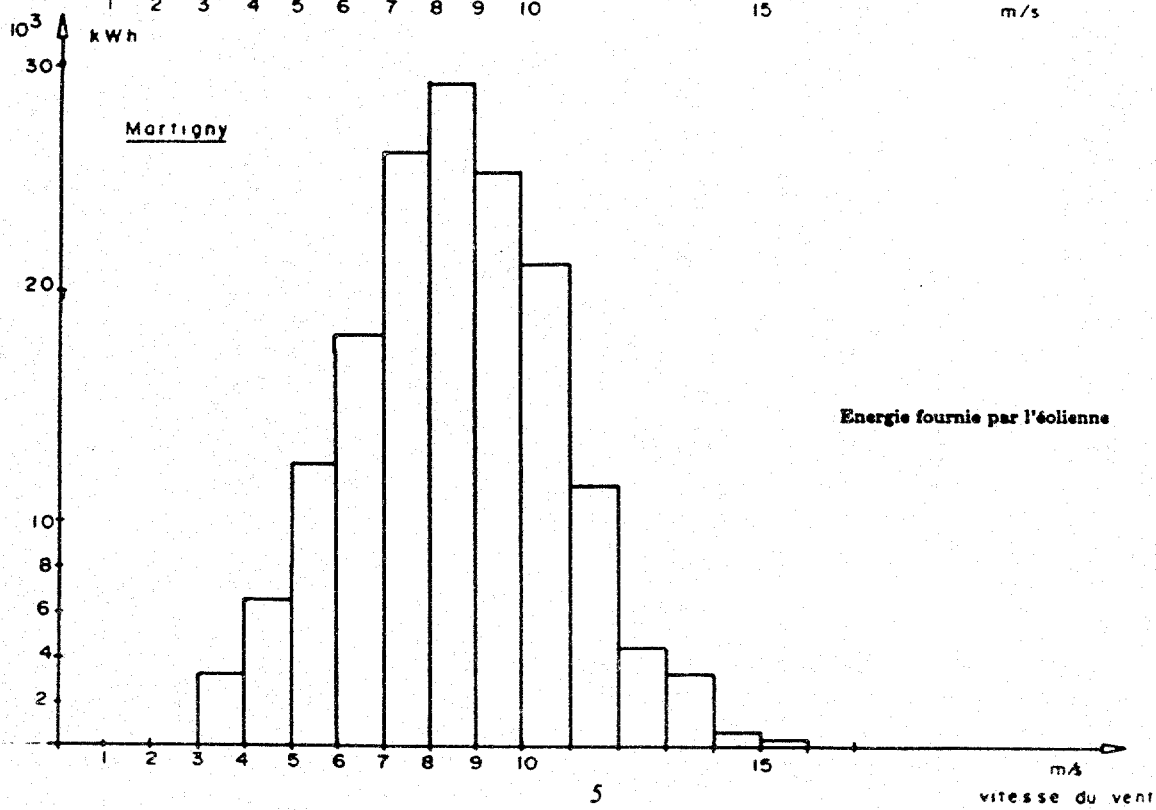


- Simulation dynamique de l'installation de Martigny



- Simulation statique de l'installation de Martigny





- Commentaires

Les figures des pages 3, 4, 5 présentent des résultats de diverses simulations possibles pour une éolienne de type Darrieus. La puissance de cette éolienne est de 160 kW pour un vent de 16 m/s. L'hélice entraîne une génératrice asynchrone à 2 vitesses de rotation. Cette machine fonctionne en moteur pour lancer l'éolienne.

page 3 Comparaison entre la simulation et les mesures d'un démarrage 6 pôles montage étoile de la machine asynchrone. La vitesse moyenne du vent lors des essais et de la simulation est de 8 m/s.

page 4 Simulation du couple au démarrage. Mêmes conditions qu'en page 3.

page 4 Simulation dynamique de l'installation de Martigny. Des vitesses de vent enregistrées à Martigny sont introduites dans le programme, ainsi que les caractéristiques de l'installation. Ainsi pour ces vitesses de vent il est possible de simuler son comportement.

page 5 Simulation statique de l'installation. Cette simulation est employée pour déterminer rapidement l'énergie récupérable annuelle d'une installation sur un site donné.

4. Projets dans le cadre d'une collaboration internationale

Le manuel en cours de rédaction est original par rapport aux travaux des autres pays par les 3 points suivants:

- La météorologie suisse est complexe et très particulière. Ainsi la corrélation entre site de mesures et sites d'exploitation n'est pas évidente.
- La simulation de la production énergétique de différents types d'éoliennes est basée sur un ensemble complet (vent, hélice, génératrice, charge) prenant en compte l'aspect dynamique du système.
- Une chaîne d'acquisition de données permet de comparer la simulation numérique à la production réelle sur le site.

5. Publications

- Modélisation d'installations de production d'énergie électrique
  Conférence Martigny 2-3-4 juillet 1987 J-Pierre Ludwig LEME 1987
- Projet de semestre: Modélisation d'une installation éolienne
  LEME-EPFL U.Kaufmann/JP Ludwig Office fédérale de l'énergie 1987
- Projet de semestre: Caractérisation des utilisateurs
  Ait Ouyahia/Mordasini/JP Ludwig LEME-EPFL 1987
- Diplôme microtechnicien: Caractérisation d'installation éoliennes et d'utilisateurs
  Ait Ouyahia/Mordasini/JP Ludwig LEME-EPFL 1987 (à paraître décembre 1987)

6. Nouvelles recherches

- Modélisation d'autres systèmes décentralisés de production d'énergie
  énergie hydraulique, énergie thermique, énergie chimique, énergie solaire
  Cette modélisation permettant d'estimer les différents potentiels énergétiques d'un site.
- Introduction de l'aspect financier dans la modélisation.

Lausanne, le 10 décembre 1987

Prof. M.Jufer JP. Ludwig J. El Hayek

1.6

OFEN

BEW

PROJETS DE RECHERCHE ÉNERGÉTIQUE 1987

ENERGIE - FORSCHUNGS - PROJEKTE 1987

RECONNAISSANCE DES SITES PROPICES À L'UTILISATION DE L'ÉNERGIE ÉOLIENNE

But du projet: Caractérisation topographique des stations ANETZ sélectionnées. Etablissement d'une sémiologie qui sera appliquée à l'établissement d'une carte des régions propices.

Méthodologie de reconnaissance du site propice.

Durée du projet: 21 mois : du 15.3.87 au 31.12.88

Mandataire: Prof. Dr. Michel ROTEN

Rapporteur:

Adresse: Institut de Géographie de Fribourg

Pérolles

1700 FRIBOURG

Téléphone: tel. : 037 / 82.63.11

Prof

18.12.87.

1.6

1 / OBJECTIFS VISES POUR 1987

Les objectifs visés pour 1987 concernaient deux étapes du mandat : la sélection des stations ANETZ à caractériser, et l'établissement d'une typologie des différents sites retenus.

Nous nous sommes donc fixé comme objectif, cette année, de visiter sur le terrain une vingtaine de stations candidates, après avoir dans un premier temps analysé les sites au moyen de la carte topographique au 1:25000. Dans un deuxième temps, nous avions prévu d'établir un dossier avec descriptions, photographies et représentations schématiques du relief. Nous avions enfin prévu d'établir au plus tôt un projet de présentation à soumettre aux autres partenaires, afin d'arriver en fin d'année 1987 à un projet modèle plus ou moins définitif.

2 / TRAVAUX EFFECTUES EN 1987

A / Dans une première étape, les travaux suivants ont été effectués

- Entretien avec Météotest et choix d'une vingtaine de stations candidates.
- Localisation des stations et analyse cartographique de chaque site.
- Visite sur le terrain de chaque site, avec localisations exactes, descriptions et photographies.
- Etablissement d'une typologie tenant compte de la photographie, de la topographie et de la morphologie des différents sites.

B / La deuxième étape des travaux s'est déroulée comme suit :

- Sur la base des données collectées, nous avons établi une fiche descriptive provisoire pour chaque station. Cette fiche contient
  - . les coordonnées kilométriques et géographiques, l'altitude et la donnée de ventilation retenue.
  - . la description topographique et morphologique du site, ainsi qu'un commentaire concernant la rugosité des alentours.
  - . elle comporte également une appréciation de l'influence possible de la topographie sur la ventilation.
- Nous avons aussi mis au point une technique de traitement informatique permettant la représentation cartographique des sites au moyen de cartes isoplètes et de blocs diagrammes. Cette complémentarité permet de visualiser la topographie sous des angles différents.

- L'élaboration finale du dernier objectif nécessite encore les remarques des autres personnes concernées par le mandat, et sa réalisation est en cours.

3 / RESULTATS EN 1987

Nous joignons à ce rapport le premier projet de dossier-type déjà réalisé. Celui-ci constitue un première synthèse de notre travail.

station	coord. km	coord. géo	altit.	vit. moy.	1:25000
NAPF	638130/205970	47.00N / 7.56E	1408m	3.40m/s	1148-49 1168-69

Description de la station

La station du NAPF se situe au coeur d'un vaste massif émergeant du Moyen-Pays suisse. Son site, à 1408 m d'altitude, forme le point culminant d'un noeud de crêtes. La ligne de crête la plus élevée s'oriente d'environ 83° par rapport au nord; elle forme la ligne de partage des eaux de plusieurs réseaux hydrographiques divergeant de part et d'autre. Les lignes d'interfluves forment les branches secondaires du noeud de crêtes. Nous avons affaire à un relief organisé en une structure radiale.

Rose des rugosités

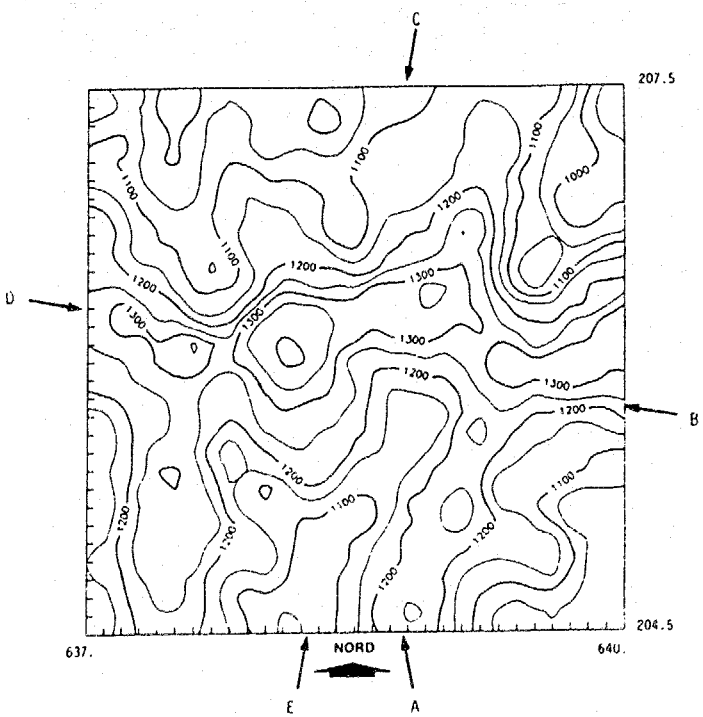
orientation	azimut		relief
N	0		crête
N-E	45		vallée
E	90		crête principale
S-E	135		vallée
S	180		promontoire dans vallée
S-W	225		vallée
W	270		crête principale
N-W	315		vallée

Description du site

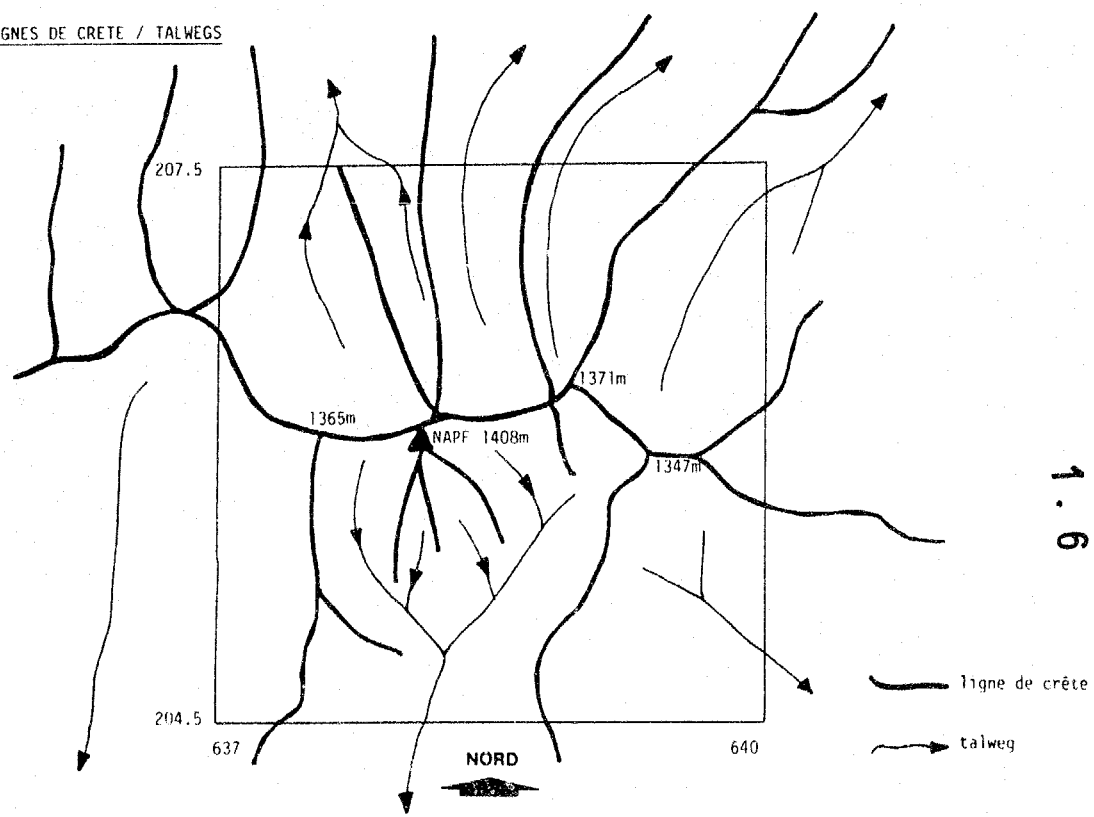
Le site se trouve en terrain dégagé, sur un replat au sommet du massif. Cependant, la forte rugosité des alentours (crêtes et vallées boisées) peut conditionner les écoulements : canalisation dans les vallées et création de turbulences par les crêtes proéminentes à l'E et à l'W.

ORIENTATIONS DES BLOCS-DIAGRAMMES

Blocs-diagrammes à élévation de point de vue de 70 °



LIGNES DE CRETE / TALWEGS



1.6

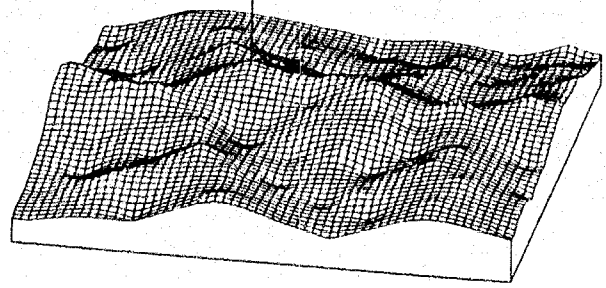
BLOC-DIAGRAMME

Elévation du point de vue : 70°

Orientation : N 10 °

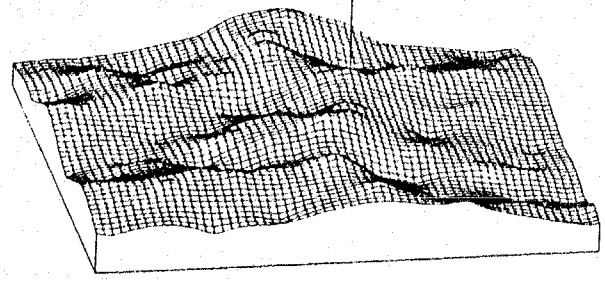
A

NAPF (1408 m)



B

NAPF (1408 m)

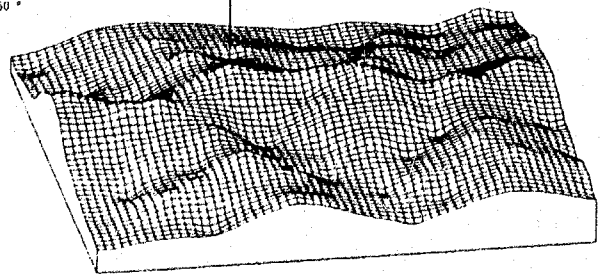


Orientation N 80 °

Orientation N 350 °

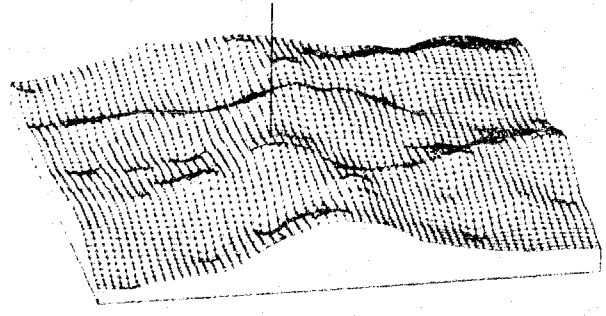
E

NAPF (1408 m)



D

NAPF (1408 m)

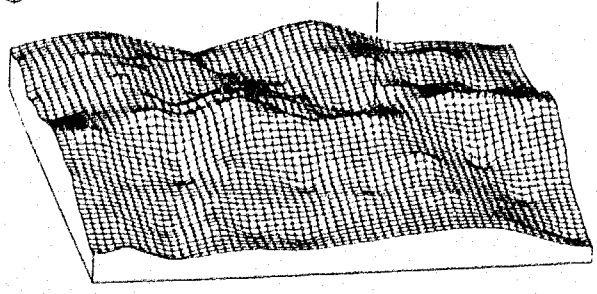


Orientation N 260 °

Orientation N 170 °

C

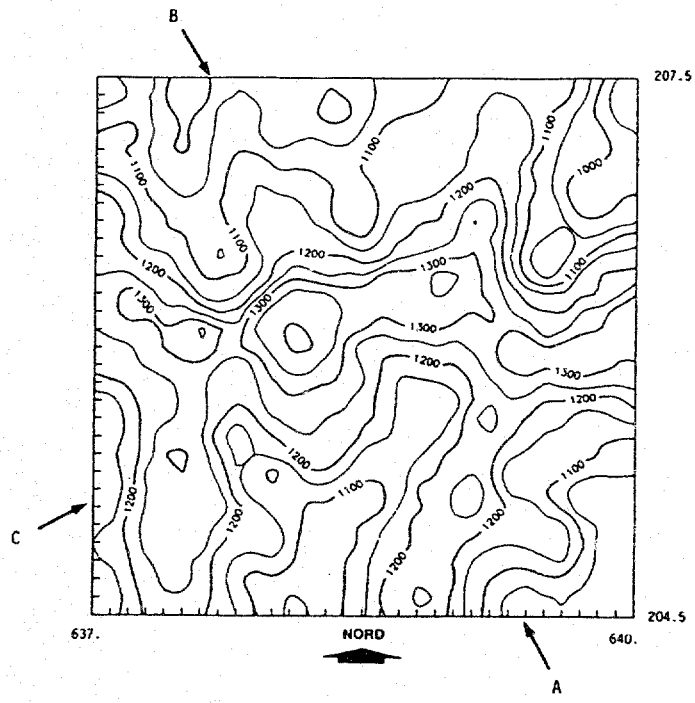
NAPF (1408 m)



1 . 6

ORIENTATIONS DES BLOCS DIAGRAMMES

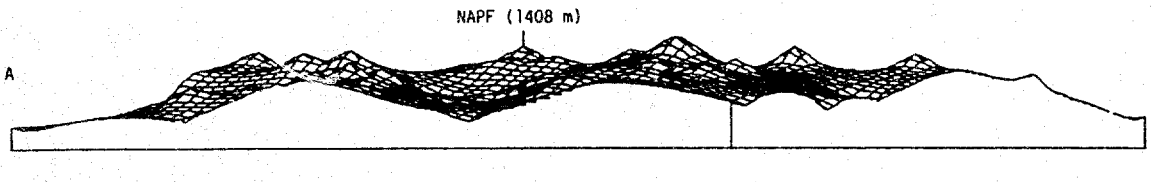
Blocs-diagrammes à élévation de point de vue de 0 °

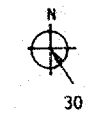


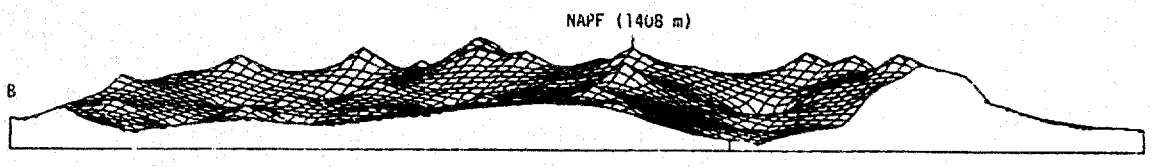
BLOCS-DIAGRAMMES

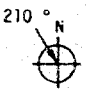
Elévation du point de vue : o° (profil)

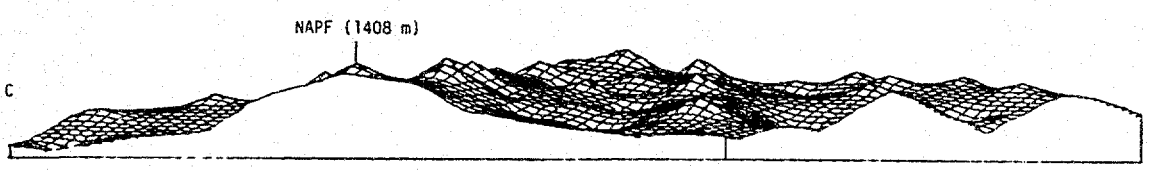
Orientatior











OFEN — PROJETS DE RECHERCHE ÉNERGÉTIQUE 1987

BEW — ENERGIE - FORSCHUNGS - PROJEKTE 1987

WINDPOTENTIAL : TYPISIERUNG & EXTRAPOLATIONSVERFAHREN

Ziel des Projekts: Aufarbeitung von 2 Teilbereichen zum geplanten Handbuch: "Sites éoliens en Suisse".

- Auswertung und Typisierung der Windverhältnisse an geeigneten Stationen der Schweizerischen Meteorologischen Anstalt.
- Entwicklung raum-zeitlicher Extrapolationsverfahren für die Abschätzung von Windverhältnissen an potentiellen Standorten von Windenergiekonvertern (WECS).

Dauer des Projekts: 5. Februar 1987 - 31. Dezember 1988

Beitragsempfänger: METEOTEST

Berichterstatter: Stefan KUNZ

Adresse: Fabrikstrasse 29A, 3012 Bern

Telephon: 031 23 74 17

1. ZIELSETZUNG FUER 1987

- Auswahl von Referenzstationen der Schweizerischen Meteorologischen Anstalt (ANETZ) zur Darstellung der Windverhältnisse von geeigneten Standorten in der Schweiz.

- Auswertung von Winddaten von fünf Stationen in der Region Martigny (Wallis). Test eines bestehenden Algorithmus zur Raum/zeitlichen Extrapolation der Windverhältnisse.

- Untersuchung der Kopplung der Windverhältnisse von Kreten- und Kuppenlagen im Jura: Chasseral und La Dôle.

2. DURCHGEFUEHRTE ARBEITEN 1987

2.1. Auswahl von Referenzstationen

Im Zusammenhang mit Arbeiten für die EGES-Studie wurde ein grober Ueberblick über die Windverhältnisse an den Standorten des automatischen Netzes der Schweizerischen Meteorologischen Anstalt erstellt. Aus diesen Unterlagen ergibt sich eine grobe Beurteilung der Einsatzmöglichkeit der Windenergie für die Schweiz.

2.2. Extrapolation im lokalen Bereich

Vom Geographischen Institut der Universität Freiburg wurden Daten einer lokalen Windstudie im Raume Martigny übernommen. Diese Daten wurden aufgearbeitet und dazu verwendet, ein Modell der raum-zeitlichen Extrapolation von Winddaten zu überprüfen. Diese Teiluntersuchung ist abgeschlossen, der Schlussbericht dazu ist in Bearbeitung.

2.3. Extrapolation im regionalen Bereich

Zur Untersuchung der Kopplung der Windverhältnisse von Kreten und Kuppen im Jura wurde eine fünfjährige Datenreihe von Stundenwertdaten der Stationen Chasseral und La Dôle analysiert. Mit deskriptiv statistischen Methoden und geeigneten klimatologischen Analysen wurde versucht, ein Erklärungsmodell für die Kopplung der Winde an beiden Standorten zu entwickeln. Die fachliche Problematik ist komplexer als erwartet, konkrete und definitive Ergebnisse sind ausstehend.

3. ERGEBNISSE

3.1. Auswahl von Referenzstationen

Nur ein kleiner Teil der Stationen der Schweizerischen Meteorologischen Anstalt zeigen eine Eignung für den Einsatz von Windenergie. Es sind dies ca. 10% bis 15% des Stationsnetzes, welche sich auf den Raum Jura, nördlichen Voralpen und Hochalpen konzentriert. Als überdurchschnittlich geeignet heben sich die Stationen im Jura ab mit mittleren Windgeschwindigkeiten über 7m/sec, welche auch im internationalen Vergleich für die Windenergienutzung interessant sind. Tabelle 1 zeigt einen Auszug aus den Stationen der Schweizerischen Meteorologischen Anstalt (das beste Drittel).

METEO - DATENTABELLE, JAHRESMITTEL WIND

ANETZ, Meter pro Sekunde (1978 - 1986)

Stationsname	H.ü.M.	Mittel
		m/sec
Cimetta	1671	2.55
Altdorf	449	2.65
Piotta	1007	2.67
Fahy	596	2.87
San Bernardino	1639	3.01
Hinterrhein	1611	3.02
Chur-Ems	555	3.06
Visp	640	3.07
Weissfluhjoch	2690	3.28
Schaffhausen	437	3.39
Napf	1407	3.40
Corvatsch	3315	3.74
Pilatus	2106	5.16
Guetsch o/Ander	2287	5.64
Moléson	1972	5.76
Gr.-St.-Bernard	2472	5.77
Saentis	2490	5.83
Chasseral	1599	7.86
Jungfraujoch	3580	7.91
La Dôle	1670	8.16

Tab. 1: Auswahl der 20 Stationen mit den höchsten mittleren Windgeschwindigkeiten

3.2. Extrapolation im lokalen Bereich

Das in einer vorgängigen Studie (1) aufgestellte Modell zur raum-zeitlichen Extrapolation von Winddaten wurde in einem lokalen Rahmen überprüft. Grundlagenmaterial bildete eine 14-monatige Messkampagne an sechs Messstationen im Raume Martigny. Die Kandidatenstandorte zur Installation von Windenergiekonvertern liegen alle nicht weiter als 1,6 km von der Referenzstation entfernt. Die Aufarbeitung und Analyse der Daten wurde gemäss den Vorgaben der Studie (1) durchgeführt. Dabei wurden alle dort vorgeschlagenen Verfahren umfassend überprüft. In gewissen Teilen wurden die Verfahren leicht abgeändert und benutzerfreundlicher gestaltet. Das Hauptaugenmerk in dieser Analyse galt der Frage, ob das angewandte Verfahren der raum-zeitlichen Extrapolation im lokalen Massstab wesentlich bessere Ergebnisse liefere, als es dies im regionalen Massstab der ersten Untersuchung (1) getan hatte. In dieser wich die extrapolierte Leistung von der empirischen beträchtlich (Mittel 37%) ab. Das raum-zeitliche Extrapolationsverfahren ist im lokalen Bereich nun tatsächlich bedeutend besser.

Die mittlere Abweichung zwischen extrapolierter und empirischer Leistung beträgt nur 13%, wobei in 10 von 20 durchgeführten Experimenten der Fehler weniger als 10% beträgt.

---

1 METEOTEST 1986: Evaluation von Extrapolationsmodellen der Windgeschwindigkeit für die Standortabklärung von Windenergie-Anlagen in alpinen Berg- Talwindsystemen. Bericht zuhanden des Bundesamtes für Energiewirtschaft

Diese Prozentangaben beziehen sich auf die mittleren geschätzten Jahresleistungen. Dabei ist zu erwähnen, dass die Jahresleistungen selber, ob extrapoliert oder empirisch natürlich nicht tatsächlich empirische Jahresleistungen von Windenergiekonvertern sind, sondern lediglich aufgrund empirischer Winddaten und einer angenommenen Leistungscharakteristik eines Windenergiekonverters gerechnete Daten darstellen.

Es zeigt sich also, dass das benutzte raum-zeitliche Extrapolationsverfahren ein praktikables Instrument ist, um aufgrund einer kurzfristigen Messerie an einem interessanten Standort (kurzfristig = ca. 3 Monate) mit Hilfe einer Referenzstation mit langjährigen Winddaten den langjährig zu erwartenden Ertrag einer Windenergieanlage zu schätzen.

3.3. Extrapolation im regionalen Bereich

Vorgängig zur Anwendung des in Kapitel 3.1. erwähnten Extrapolationsmodelles wurde exemplarisch für die Standorte Chasseral und La Dôle untersucht, inwiefern eine Koppelung der Windverhältnisse aufgrund von Windgeschwindigkeits und Windrichtungsdaten erkennbar ist. Grundsätzlich konnte von der Hypothese ausgegangen werden, dass diese beiden Stationen, welche in ähnlicher topographischer und regionaler Lage sich befinden, eine starke Koppelung der Windverhältnisse aufweisen würden. Eine erste Uebersicht über die Daten zeigt allerdings ein völlig anderes Bild. Sogar auf der Basis von Monats- und Jahresmittelwerten zeigen sich beträchtliche Unterschiede in den zwei Stationen.

Figur 1 zeigt den Verlauf der Jahresmittelwerte der beiden Stationen von 1981 bis 1985. Deutlich erkennbar sind die beträchtlichen Schwankungen von Jahr zu Jahr, aber auch die schwankenden Unterschiede der Windverhältnisse zwischen den Stationen. Die simultane Betrachtung der mittleren monatlichen Windgeschwindigkeiten in Figur 2 zeigt, dass auf den ersten Blick keine Korrelation der Windverhältnisse an beiden Stationen erkennbar ist. Eine erste Auswertung der Winddaten unter Einbezug der Windrichtung zeigt ebenfalls kein klares Bild der Kopplungsmechanismen zwischen den beiden Stationen. Aus gegenwärtiger Sicht lassen sich die Ergebnisse folgendermassen charakterisieren:

1. Die Kopplung der Kuppen- und Kretenstandorte ist bedeutend schwächer als angenommen.

2. Die Kopplung ist mit einfachen statistischen Methoden und Gruppierungsverfahren nicht zu erklären.

3. Eine Gruppierung und Selektion der Daten aufgrund einfacher klimatologischer Kriterien ergibt keine bessere Kopplung der Daten.

Fig. 1:

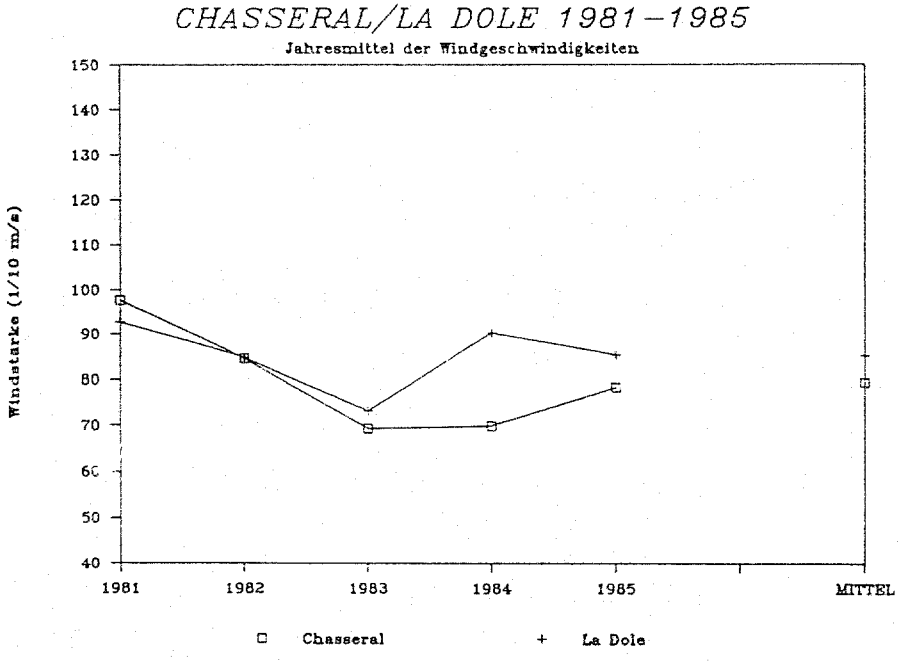
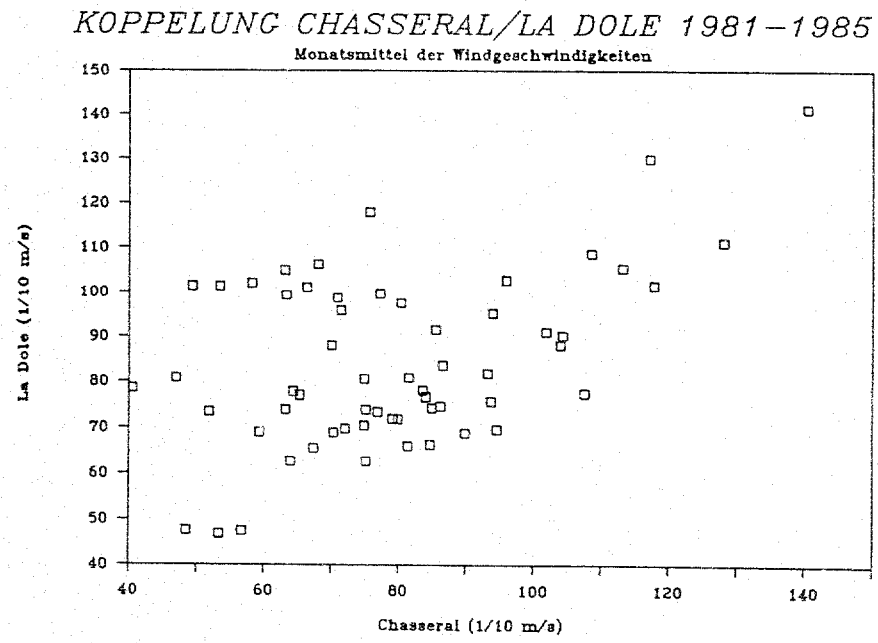

CHASSERAL/LA DOLE 1981–1985
Jahresmittel der Windgeschwindigkeiten
Windstärke (1/10 m/s)
150
140
130
120
110
100
90
80
70
60
50
40
1981
1982
1983
1984
1985
MITTEL
Chasseral
La Dole

Fig. 2:


KOPPELUNG CHASSERAL/LA DOLE 1981–1985
Monatsmittel der Windgeschwindigkeiten
La Dole (1/10 m/s)
150
140
130
120
110
100
90
80
70
60
50
40
40
60
80
100
120
140
Chasseral (1/10 m/s)

4. INTERNATIONALE KONTAKTE

Das Projekt "Sites éoliens en Suisse" ist angekoppelt an das IEA-Projekt WECS R+D, ANNEX 8. Durch die spezielle topographische Lage der Schweiz ergeben sich für die Windenergienutzungen aus klimatologischer Sicht grundsätzlich andere Fragestellungen als für andere Partner im IEA-Projekt. Deswegen sind die Kontakte zu den anderen Partnern im IEA-Projekt zwar wertvoll im Sinne von Hinweisen doch ergaben sich bis anhin keine echten Ansätze zur Zusammenarbeit. Das kann sich nun allerdings im Verlauf der weiteren Arbeiten und nach dem Vorliegen von eigenen Ergebnissen ändern.

5. PUBLIKATIONEN

Mit Ausnahmen von internen Berichten wurden keine Publikationen verfasst.

6. NEUE FORSCHUNGSARBEITEN

Die bisherigen Arbeiten haben gezeigt, dass die klimatologische Fragestellung für die Windenergienutzung bedeutend komplizierter zu beantworten ist, als bis anhin angenommen. Es liegen sehr wenige Unterlagen und Untersuchungsberichte über diese Thematik in der Schweiz vor. Die klimatologischen Arbeiten über Windverhältnisse in der Schweiz konzentrierten sich bis anhin vor allem auf Schwachwind-Untersuchungen im Zusammenhang mit lufthygienischen Problemen. Es muss davon ausgegagen werden, dass die Entwicklung von raum-zeitlichen Extrapolationsmodellen der Windverhältnisse aufwendig ist. Dazu müssen auch die internationalen Kontakte verstärkt werden, insbesondere mit Institutionen, welche in ähnlichen klimatologischen und topographischen Verhältnissen Untersuchungen durchführen, wie dies für die Schweiz der Fall ist.

OFEN PROJETS DE RECHERCHE ÉNERGÉTIQUE 1987

BEW ENERGIE - FORSCHUNGS - PROJEKTE 1987

POTENTIEL DE DIMINUTION DES REJETS THERMIQUES INDUSTRIELS

But du projet:

Déterminer la part des rejets thermiques industriels qu'il serait possible d'utiliser ou de réduire et évaluer les stratégies possibles pour y parvenir.

Durée du projet: dès 1982

Mandataire: Office fédéral de l'Energie (OFEN)

Rapporteur: Prof. dr G. Sarlos et dr B. Saugy

Adresse: IENER _ DGC / EPF-Ecublens - 1015 LAUSANNE

Téléphone: 021/47 24 92 /021/47 25 16

35142

1. Objectifs pour 1987

Les travaux antérieurs ont conduit à répartir la consommation industrielle entre les divers procédés concernés pour déterminer le potentiel d'économie global au niveau suisse.

Cette démarche originale a conduit à des données dont les entreprises prises en compte pour les études de cas, ne disposaient pas sous cette forme.

Les objectifs des études en 1987 ont été :

- D'établir une méthode de mise en relation systématique des données par procédé et des statistiques de l'UCE.

- De préciser avec les entreprises concernées les hypothèses et les relations entre les données par procédé et leurs statistiques, puis de déterminer la part des potentiels d'économie compatibles avec les priorités de production, les coûts et les délais.

- D'introduire dans les méthodes établies les données de 1986.

2) Travaux effectués en 1987

L'étude a permis de vérifier la validité des données pour plusieurs groupes industriels.

Des séances de travail avec les représentants de l'industrie des ciments ont permis de tenir compte de leurs observations. L'étude du secteur "ciments" contenait quelques erreurs, mais l'ordre de grandeur était correct.

La méthode proposée a permis de calibrer les données par procédé à l'aide des statistiques UCE et d'exprimer l'ensemble des hypothèses de manière systématique. Les discussions avec les entreprises concernées ont permis de confronter des données disponibles de part et d'autre et de s'accorder sur les unités et les méthodes utilisées ainsi que sur les potentiels théoriques de valorisation des rejets.

3) Résultats obtenus en 1987

a) Méthode de travail

La mise à jour des données 1982 pour les actualiser par rapport aux chiffres de consommation UCE a soulevé le problème de la diversité des supports d'information :

- une partie des données était informatisée, mais répartie dans plusieurs fichiers

- d'autres données nécessaires pour l'actualisation, telles que les chaînes de production, n'existaient que sur support papier.

Il a donc été décidé de reprendre l'ensemble des données existantes sur **une feuille de calcul informatisée** (tableur Lotus 1.2.3), de façon à avoir, pour chaque groupe homogène industriel, un tableau contenant toutes les données nécessaires, avec les formules de calcul.

La superposition des tableaux des groupes homogènes permet d'avoir la consommation d'énergie pour l'ensemble de l'industrie suisse.

D'autre part, ces **tableaux** sont en liaison avec la **base de données des procédés,** ce qui permet d'obtenir une **fiche technique de procédé.**

Le développement de cette méthodologie permettra, à l'avenir, de réactualiser beaucoup plus rapidement l'ensemble de ces données, et donc d'en tirer plus facilement des enseignements.

b) Contenu des feuilles de calcul

Sur la base de ce qui a été dit précédemment, il est possible d'identifier trois sous-ensembles de données de calculs décrits dans les trois parties A, B, C et que nous nommerons **feuilles de calcul.**

- **feuille de calcul A :** analyse des groupes industriels homogènes sur la base des fiches UCE et des chaînes de production (partie A).

- **feuille de calcul B :** élaboration des fiches techniques pour procédés d'utilisation (partie B).

- **feuille de calcul C :** analyse du potentiel d'économie (partie C)

• **Feuille A**

Elle est divisée en sept tableaux.

- le tableau UCE initial
- le tableau des chaînes de production
- le tableau des valeurs calculées
- le tableau agents procédés
- le tableau UCE calculé
- la répartition de la puissance moyenne par agent
- les corrections de cette répartition.

Cette feuille de calcul permet d'obtenir pour chaque procédé :

- la puissance installée [MW]
- la consommation annuelle [MW/an] ou [TJ/an]
- la consommation par emploi [kW/emploi]

- le nombre d'heures de fonctionnement [h].

Ces valeurs sont obtenues par discrétisation des valeurs données dans les chaînes de production en valeur par procédé et comparaison des fiches UCE initiales et calculées. Le processus est itératif.

Fait très important, les calculs sont effectués pour un groupe homogène particulier. Si l'on veut les **valeurs suisses**, il suffit **d'empiler ces tableaux particuliers.** Dans la suite de ce chapitre, lorsqu'on parlera des valeurs de la feuille de calcul A, il s'agira des valeurs suisses.

• **Feuille B**

Cette feuille doit servir de référence. On y trouve les données servant aux calculs de la feuille C. Nous aurons l'occasion d'y revenir plus loin.

• **Feuille C**

Elle sert au calcul du potentiel d'économies par procédé. Ce potentiel est exprimé :

- en terme de consommation annuelle [MW]

- en terme de rendement monétaire, c'est-à-dire rapport entre le coût de l'économie et sa valeur en [fr/kWh équivalent pétrole].

c) Déroulement du calcul

La figure 1 illustre le déroulement du calcul.

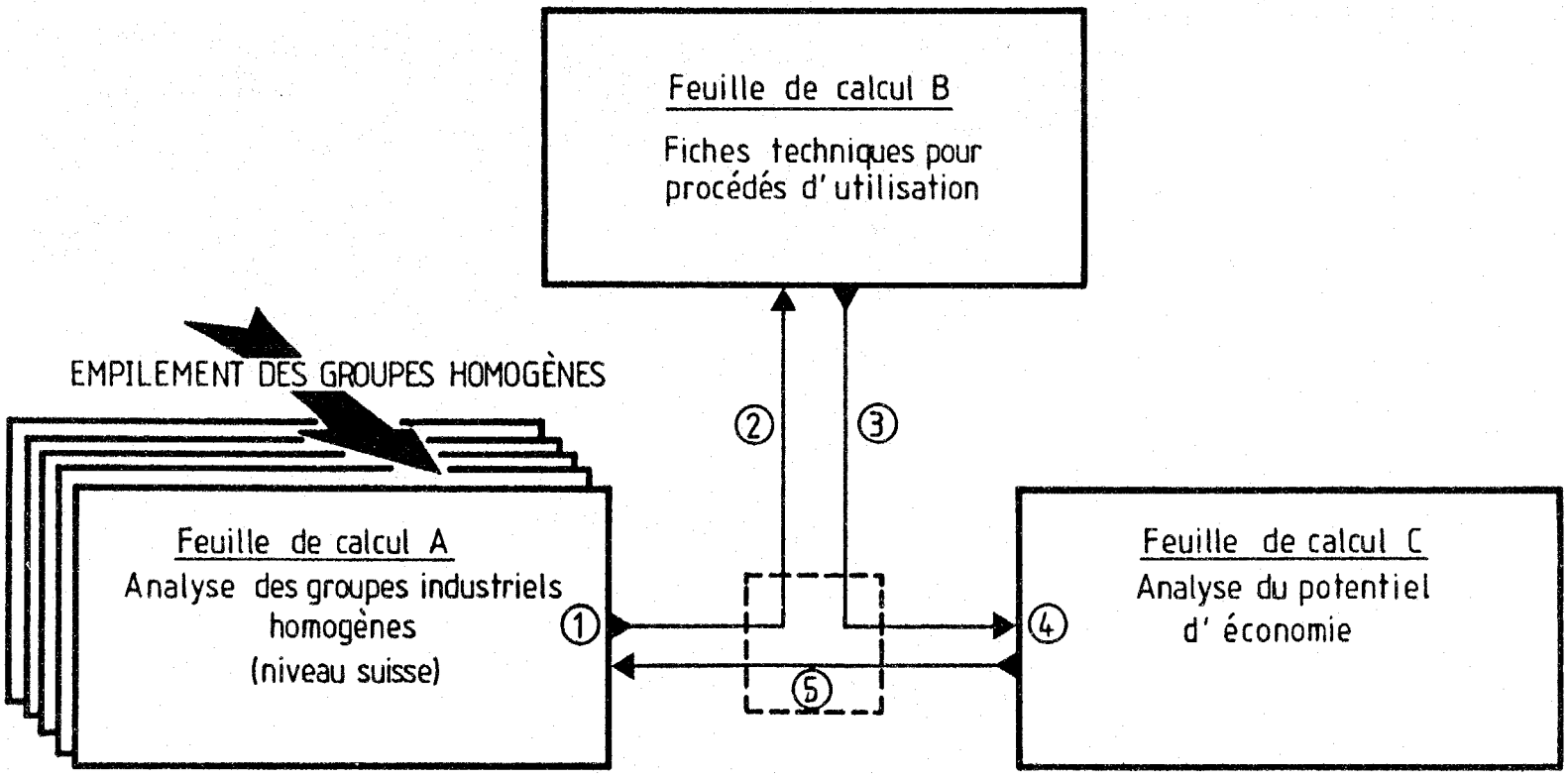
• **la feuille B** (fiches de procédés) sert de joint de départ. C'est la source pour les données.

• la **feuille A** ne nécessite en principe aucune donnée de la feuille B.

• **la feuille C** par contre est l'aboutissement du calcul. Elle nécessite la connaissance des données suivantes :

- coût des économies : ils proviennent de la feuille B
- puissances usuelles : elles proviennent de la feuille B
- puissance moyenne totale [MW] : elle a été calculée sur la feuille A (valeurs suisses).

• **Le calcul peut être inverse :** une fois connu le potentiel d'économie pour un procédé au niveau suisse, on peut vérifier qu'il soit conforme à celui espéré ou possible au niveau d'un groupe homogène particulier.



① Calcul des puissances moyennes et installées, part de combustibles

② Transfert vers feuille B

③ Extraction pour feuille C : coût des mesures, puissances moyennes installées, pourcentages d'économie possibles

④ Calcul final

⑤ Démarche inverse : vérification sur un groupe homogène

Fig. 1 Processus de calcul et articulations entre feuilles de calcul

4) Publications

Partie A. Structure de la consommation dans le secteur industriel en 1982. IENER, février 1985.

Partie B. Caractéristiques des procédés énergétiques industriels. IENER, novembre 1985.

Partie C. Potentiels d'économie et catalogue de mesures. IENER, novembre 1985.

Etudes des groupes papier/carton, pâtes alimentaires, textile, fonderies, produits façonnés. IENER, juin 1986. Ciments, IENER, janvier 1987.

Partie D. Rapport technique. IENER, décembre 1987.

5) Nouvelles recherches

La suite de l'étude doit permettre d'introduire les données 1986, qui ne sont encore que partiellement disponibles à fin 1987 puis de rechercher avec les entreprises, la part du potentiel théorique d'économie compatible avec les impératifs techniques et économiques de la production au prix actuel du combustible. Ces travaux devraient permettre d'établir un rapport de synthèse publiable sur la base des rapports techniques établis.

2.0

2. TRANSFORMATION & DISTRIBUTION

UMWANDLUNG & VERTEILUNG

OFEN PROJETS DE RECHERCHE ÉNERGÉTIQUE 1987

BEW ENERGIE - FORSCHUNGS - PROJEKTE 1987

EMISSIONSREDUKTION BEI EINER KOMBINIERTEN ANLAGE MIT WIRBELSCHICHTFEUERUNG

Ziel des Projekts: Wesentliche Reduktion der Emissionen, wie sie bei der Verbrennung von Kohle, selbst in einer Wirbelschicht, entstehen.

Untersuchung der Erosions-, Korrosions- und Ermüdungsverhalten der verschiedenen Materialien in einer Wirbelschicht

Dauer des Projekts: Juni 1985 bis Mitte 1987

Beitragsempfänger: GEBRUEDER SULZER AG, WINTERTHUR

Berichterstatter: P. Mosimann

Adresse: KK/34/0370 8401 Winterthur

Telephon: 052 81'83'06

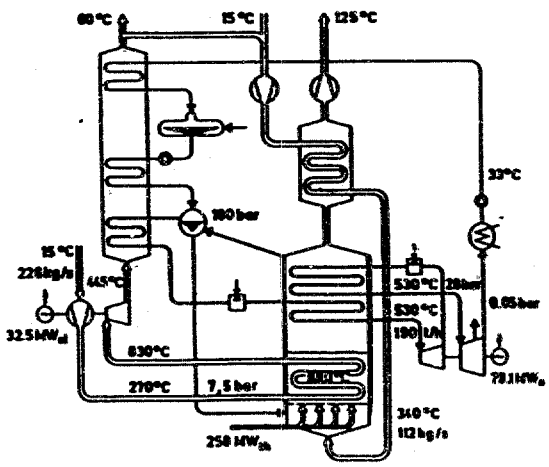
SULZER

Emissionsreduktion (EMIR) bei einer kombinierten Anlage mit Wirbelschichtfeuerung (KAWIR)

---

1. Ziele der Entwicklung

SULZER hat seit 1979 einen Prozess entwickelt, der es ermöglichen sollte, kombinierte Anlagen mit Wirbelschichtverbrennung für den Leistungsbereich 100 - 200 MW_{el} zu bauen, welche gegenüber den klassischen Dampfkraftwerken folgende Vorteile aufweisen:



- Der bedeutend höhere Wirkungsgrad aufgrund der Anlageschaltung und der guten Verbrennungswirkungsgrade (97%) der Wirbelschicht.
- Die systemimmanente Entschwefelung (80 - 90%) ohne aufwendige nachgeschaltete Rauchgaswäsche.
- Eine wesentlich reduzierte Stickoxid-Produktion (50%) aufgrund der tiefen Verbrennungstemperatur.

Die an der Pilot-Anlage vorgesehenen Untersuchungen gliedern sich in verschiedene, zum Teil voneinander unabhängige Programme.

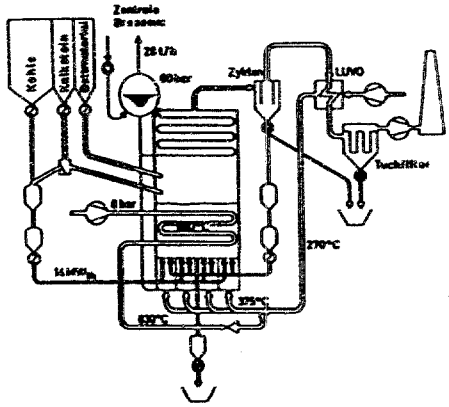
Dabei stehen zum jetzigen Zeitpunkt zwei Themenkreise im Vordergrund:

- Die Reduktion der umweltbelastenden Emissionen, wie sie bei der Verbrennung von Kohle, selbst in einer Wirbelschicht, entstehen.
- Die Untersuchung des Erosions-, Korrosions- und Ermüdungsverhaltens von verschiedenen Materialien in einer Wirbelschicht.

2. Aufteilung in Arbeitspakete

1. Planung der Messeinrichtungen
2. Spezialkonstruktionen für die Messeinrichtung
3. Montage und Inbetriebsetzung der Messeinrichtung
4. Vorversuche und Auswertung
5. Versuche I (ohne Zugabe von Kalk, ohne Ascherezirkulation)
6. Versuche II (mit Zugabe von Kalk, ohne Ascherezirkulation)
7. Versuche III (Anfahrversuche)
8. Versuche IV (mit Zugabe von Kalk und Ascherezirkulation)
9. Versuche V (ohne Zugabe von Kalk, mit Ascherezirkulation)
10. Versuche VI (Zusatzversuche mit verschiedenen Kohlen)

3. Verfahrensflussbild der Pilotanlage



Aus der Zielsetzung der Pilotanlage ergibt sich das Verfahrensflussbild. Zum Testen des in der Wirbelschicht eingetauchten Lufterhitzers wird der Druckluftteil des Gasturbinenprozesses mit einem Kompressor simuliert. Die erhitzte Luft wird der Verbrennungsluft wieder beigemischt.

4. Messergebnisse

4.1. Zusammenstellung der Kohle-, Kalk-, Betttmaterial- und Aschedaten

Die Resultate der Versuchsfahrten Ende 1986 bis Mitte 1987 sind das Ergebnis verschiedener Optimierungen und gelten daher als repräsentativ.

A. Analyse des Bettmaterials

Das verwendete Bettmaterial ist Schwachbrand-Schamotte.

B. Analyse der Kohle und der Asche

Aus technischen Gründen wurde Kohle von Beringen 5-10 mm verwendet. Typische Werte sind:

H_2O	%	5.10
Asche brutto	%	5.41
C	%	80.61
H	%	3.41
O	%	3.022
N	%	1.634
S	%	0.820
Ho	kJ/kg	31476
Hu	kJ/kg	30706

Asche		PF	SF
Asche	%	37.70	81.10
C	%	59.03	16.61
H	%	0.47	0.14

Legende: PF = Primärfilter (Zyklon)
SF = Sekundärfilter (Tuch)

SULZER

C. Analyse des Kalkes

Der Steinbruch von DUMONT-WAUTIER diente als Kalklieferant.

Granulometrie			Analyse	
Von 0 bis 0.15 mm	2.65 %	SiO_2	:	1.08 %
Von 0.15 bis 0.5 mm	0.46 %	Fe_2O_3	:	0.06 %
Von 0.5 bis 1.0 mm	2.91 %	Al_2O_3	:	0.12 %
Von 1.0 bis 2.0 mm	77.36 %	$CaCO_3$	:	96.67 %
Von 2.0 bis 3.15 mm	16.55 %	$Mg\ CO_3$	:	0.94 %
Von 3.15 bis 4.0 mm	0.07 %	S	:	0.04 %
		H_2O	:	1.50 %

Temperaturverhalten im Wirbelbett

Die Temperaturverteilung ist sehr homogen. Die Mittelwerte der einzelnen Zonen im Wirbelbett weichen nur um ca. 3% voneinander ab. Die Tabelle ist anhand von 2 unabhängigen Messungen erstellt und gilt als typisch:

	Zone 1		Zone 2		Zone 3		Zone 4	
. Anzahl Messstellen	8		5		4		5	
. Mitteltemperatur Zone °C	868	873	887	877	860	868	871	863
. Max. Abweichungen - innerhalb der Zone °C	12	17	38	54	30	39	21	20
- Mittelwerte Zone Bett °C	4	3	15	7	12	2	1	7
. Mitteltemperatur Bett (4 Zonen) °C			872		870			

Genauigkeit der Thermoelemente: 2% oder max. 20°C (bei 1000°C)

4.2. Zusammenstellung der Emissionsmessungen

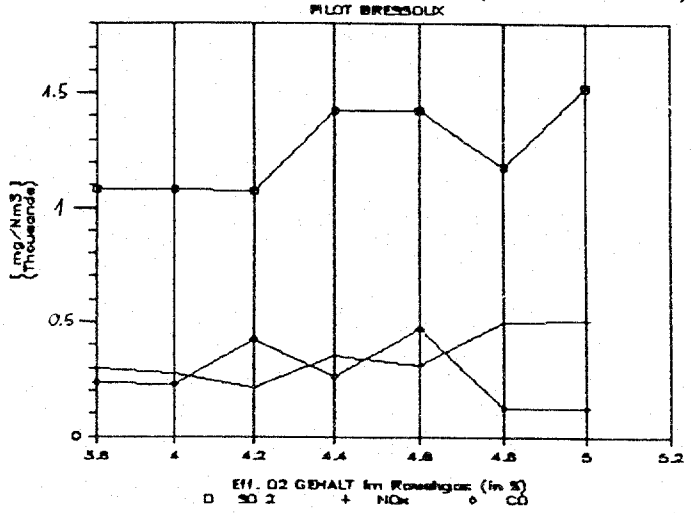
Alle Messungen erfolgen gleichzeitg. Deshalb ist ein direkter Vergleich der verschiedenen Messungen ohne Einschränkungen zulässig, und umständliche Interpretationen und Angleichrechungen entfallen.

Tabellarische Zusammenstellung

Emissionen

	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
O_2 %	5.1	4.8	4.4	4.2	4.6	3.8
Ueberschuss	1.31	1.30	1.26	1.26	1.29	1.24
Staub	< 50					< 50
SO_2 mg/Nm^3	1522	1182	1426	1076	1424	1083
NO_x "	511	505	353	215*	309	297
CO "	122	125	264	428	474	239
mit 7 % O_2						
Entschwefelung	Nein	Ca/S=3	Nein	Ca/S=3	Nein	Ca/S=3
Ascherezirkulation	Nein	Nein	Ja	Ja	Nein	Ja
Verbrennungswirkungs-grad %	85-90	85-90	93-96	92-95	85-89	92-95

EMMISSIONSMESSUNGEN (LRV: 7% 02)



4.3. Kommentar zu den Messergebnissen

Verbrennungswirkungsgrad

Die erreichten Resultate liegen im Mittel doch unter den Werten, die in den verschiedensten Publikationen als möglich erscheinen.

	Messung Sulzer	Literatur
. ohne Ascherezirkulation	87.5%	90%
. mit Ascherezirkulation	94%	95%

Emissionen

CO: Der LRV-Grenzwert kann eingehalten und mit Einblasen von Sekundärluft deutlich unterschritten werden.

NO_x: Ueberraschend ist die deutliche Unterschreitung der LRV-Norm. Jedoch muss der NO_x-Wert im Zusammenhang mit dem relativ hohen CO-Wert betrachtet werden. Eine Optimierung der gegenläufigen Tendenzen zwischen CO und NO_x lässt den Schluss zu, dass beide Normen eingehalten werden können.

SO_2: Der schlechte Entschwefelungswirkungsgrad hat seine Gründe in der konstruktiven Auslegung der Pilotanlage und darf nicht auf kommerzielle Anlagen übertragen werden. Die Hauptursachen sind die folgenden:

- Der Kalk kann nur von oben auf das Wirbelbett aufgegeben werden.
- Der Kalk wird nur an 2 Stellen aufgegeben.
- Die Ascherezirkulation und damit auch ein Teil des Kalkes im Rauchgasstrom konnte aus geometrischen Gründen nur asymmetrisch realisiert werden.
- Die Freiraumtemperatur über dem Wirbelbett von ca. 700°C ist zu tief und vom Optimum von 850°C weit entfernt.
- Durch den Einbau der extrem engen Rohrpackung des Lufterhitzers entstehen grosse Geschwindigkeitsgradienten, und infolge des erhöhten "Mahleffektes" zwischen den Rohren wird der Kalk rasch aus dem Wirbelbett ausgetragen.

Staub: Mit einem Tuchfilter sind Werte weit unter den Vorschriften erreicht.

5. Zukunft des Projektes KAWIR

Nach Abschluss des Versuchsprogrammes EMIR wurde das Forschungs- und Entwicklungsprojekt KAWIR gestoppt. Folgende Gründe führten zu diesem Entscheid:

- Die neuen, äusserst tiefen Emissionsvorschriften (Schweiz, Bundesrepublik, Belgien) für grosse Leistungen über 300 MW_{th} können nicht eingehalten werden.

- Das Konzept eines maximalen Kraftwerkswirkungsgrades ist nur bei hohen Brennstoffpreisen erfolgreich. Bei einer ungünstigen Preisrelation von Oel und Kohle, wie sie heute besteht und auch längerfristig erwartet wird, und der Anlagengrösse ist der Markt nicht vorhanden.

- Die hohen Investitionskosten einer statischen atmosphärischen Wirbelschichtfeuerung werden durch den Einbau des horrend teuren Hochtemperaturlufterhitzers im Wirbelbett noch weiter erhöht. Die resultierenden Produktionskosten der KAWIR-Anlage erreichen nur im besten Fall gerade die Werte der lange bewährten klassischen Anlage.

- Die Deponie der Wirbelschichtaschen ist heute noch nicht problemlos möglich. Umfangreiche Untersuchungen sind angelaufen, und Resultate sind in den nächsten Jahren zu erwarten.

OFEN PROJETS DE RECHERCHE ÉNERGÉTIQUE 1987

BEW ENERGIE - FORSCHUNGS - PROJEKTE 1987

SCHADSTOFFMESSUNGEN AN GASMOTOREN MIT KATALYSATOREN

Ziel des Projekts:

- Ermittlung der Emissionsfaktoren an CO, NO_x, C_xH_y, Staub und Russ von Gasmotoren mit Kat. im normalen Betrieb
- Ermittlung der Betriebs-Faktoren, welche die Emissionsraten beeinflussen
- Ableitung von Kriterien für schadstoffminimierten Betrieb
- Ableitung von Vorschlägen für verbesserte Schadstoffreduktion von Gasmotoren

Dauer des Projekts: 1.12.1986 - 31.05.1988

Beitragsempfänger: Dr. Eicher + Pauli AG, Liestal

Berichterstatter: Dr. H.P. Eicher

Adresse: Bodenackerstrasse 19, 4410 Liestal

Telephon: 061/91'99'91

1. ZIELSETZUNGEN

Den Messungen wurden die nachstehend genannten Zielsetzungen zugrunde gelegt.

- Feststellen der Emissionsfaktoren (in g/GJ Endenergie) von CO, NO_x, C_nH_m, Staub und Russ bei Gasmotoren mit Katalysatoren.
- Feststellung des Einflusses der Betriebsweise (Anfahrvorgänge) auf die spezifischen Emissionen.
- Ermittelung von Anlagedaten (elektrisch und thermische Wirkungsgrade, Temperaturen, Betriebszeiten pro Tag und Woche, etc.) die einen Einfluss auf die spezifischen Emissionen haben.
- Ableitung von Folgerungen für eine schadstoffoptimierte Betriebsweise.
- Ergänzung der eigenen Messungen mit gleichwertigen Messresultaten aus dem Ausland. Erarbeitung von Vorschlägen für weitere zukünftige Verbesserungen der Schadstoffreduktionstechnik bei Gasmotoren.

2. DURCHGEFÜHRTE ARBEITEN

Im Januar 1987 wurden die für die Ausmessung vorgesehenen Anlagen besucht und die entsprechenden Anlagedaten aufgenommen. Notwendige Ergänzungen, wie zum Beispiel das Anbringen weiterer Messstutzen, wurden durchgeführt.

Nach der Vorbereitung der Messgeräte (Nacheichung) begann die erste Messreihe Mitte Februar und dauerte mit Unterbrüchen bis Mitte Mai 1987. Die Resultate dieser ersten Messperiode wurden in einem Zwischenbericht festgehalten. Im August wurde das Messkonzept für die Heizperiode 1987/88 festgelegt. Die zweite Messerie wurde im November/Dezember 87 durchgeführt.

3. RESULTATE (Messreihe 1 Frühjahr 1987)

3.1 Messungen im stationären Betrieb

Anlage 1:
Es handelt sich um eine Gasmotorwärmepumpe zur Beheizung des Zeughauses Brugg, mit Grundwasser als Wärmequelle. Wärmeleistung 569 kW. Eingebaut war ein Katalysator von Engelhard und eine beheizte Magersonde von Bosch.

Resultate:
Durch einen Fehler in der Lambdaregelung wurde der Motor stark im fetten Bereich betrieben. Es resultierten Werte für Kohlenmonoxid um 1,8 %. Die HC Werte waren ebenfalls sehr hoch, die NO_x Werte kleiner als 10 ppm. Die Regelung war instabil. In der Heizperiode 87/88 wird die Regelung modifiziert.

Anlage 2:
Blockheizkraftwerk im Krankenheim Baden. Wärmeleistung 210 kW. Katalysator von Degussa, beheizte Lambdasonde von Bosch. Komplettsystem Regelung/Katalysator/Motor von MWM.

Resultate

Die Anlage war durch einen Defekt an der Wärmepumpe ausser Betrieb. Durch Handsteuerung konnte der Gasmotor in der untersten Leistungsstufe betrieben werden. Da sich dadurch aber nur ein unzureichendes Bild über den Emissionsausstoss ergeben hat, wird diese Messung zu einem späteren Zeitpunkt wiederholt.

Anlage 3:

Gasmotorwärmepumpe mit einer Wärmeleistung von 505 kW zur Beheizung einer Schulanlage in Oberburg (BE). Die Anlage wurde in der Heizperiode 85/86 in Betrieb genommen. Als Wärmequelle dient Grundwasser. Katalysator von Engelhard, Lambdasonde von Bosch.

Resultate:

Die Anlage ist überdimensioniert. Durch eine nicht optimale Regelung wird in einigen Betriebszuständen der Gasmotor gestartet, auch wenn der Wärmespeicher praktisch noch gefüllt ist. Die durchschnittliche Laufzeit pro Startimpuls ist mit 0,58h entsprechend gering. Die spezifische Emissionen in g/GJ Endenergie im stationären Betrieb sind in Abbildung 1 dargestellt:

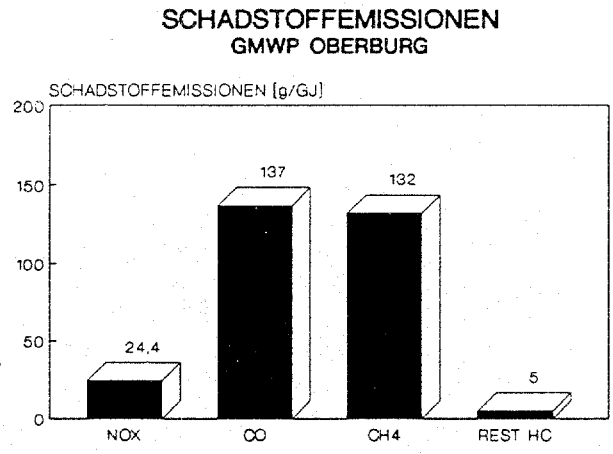


Abbildung 1: spezifische Schadstoffemissionen der GMWP Oberburg in [g/GJ].

Durch die geringe spezifische Laufzeit, erhöht sich der Einfluss der Emissionen in der Anfahrphase, auf die Gesamtemissionen. In Abschnitt 3.3 wird auf diese Problematik etwas näher eingegangen.

Anlage 4:

Blockheizkraftwerk Mythenschloss Zürich. Verwaltungsgebäude der SR Versicherungsgesellschaft. Wärmeleistung 210 kW. Beheizte Lambdasonde von Bosch, Katalysator von Degussa.

Resultate:

Die Anlage konnte ohne Betriebsprobleme ausgemessen werden. Die Dimensionierung ist korrekt. Die durchschnittliche Laufzeit pro Startimpuls betrug während der Messperiode 2,07h. Die gemessenen spezifische Emissionen in g/GJ Endenergie sind in Abbildung 2 dargestellt:

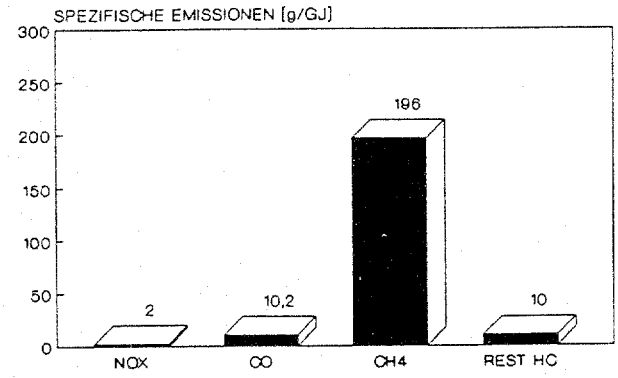


Abbildung 2: spezifische Schadstoffemissionen des BHKW Mythenschloss in [g/GJ].

Die Anlage weist sehr tiefe Emissionswerte auf, was auch durch vorhergehende Messungen durch das Gesundheitsinspektorat der Stadt Zürich bestätigt wird. Unberücksichtigt ist der Einfluss der Anfahrvorgänge auf die Gesamtemissionen. Eine entsprechende Auswertung erfolgt über die gesamte Heizperiode 87/88.

Anlage 5:

Gasmotorwärmepumpe Theodorschule in Basel, mit einer Wärmeleistung von 790 kW. Beheizte Lambdasonde von Bosch, Katalysator von Degussa. Im Unterschied zu allen andern, weist diese Anlage einen Venturimischer auf.

Resultate

Die spezifische Laufzeit wurde nicht ermittelt. Eine Verringerung der Schadstoffemissionen infolge des Venturimischers, kann aufgrund eines direkten Vergleichs mit der Anlage Nr. 4 bisher nicht festgestellt werden. Die mittlere Abgaszusammensetzung in Mol-Anteilen (ohne Anlaufphase), ist in Abbildung 3 dargestellt.

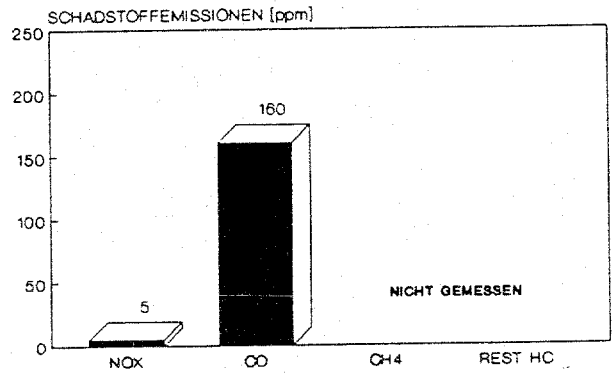


Abbildung 3: Schadstoffemissionen der GMWP Theodorschule [ppm]

Aus technischen Schwierigkeiten konnten nur die angeführten Stoffe erfasst werden. Man kann jedoch annehmen, dass die spezifischen Emissionen der andern Schadstoffe zwischen denen von Anlage 3 und Anlage 4 liegen.

3.2 Zusammensetzung der unverbrannten Kohlenwasserstoffe

Die unverbrannten Kohlenwasserstoffe setzen sich im Durchschnitt folgendermassen zusammen:

	Volumenanteil	Gewichtsanteil
CH_4	98,0 %	95,5 %
C_2H_6	1,6 %	3,0 %
C_3H_8	0,2 %	0,5 %
C_4H_y	0,08%	0,3 %
C_5H_y	0,08%	0,4 %
C_6H_y	0,02 %	0,3 %

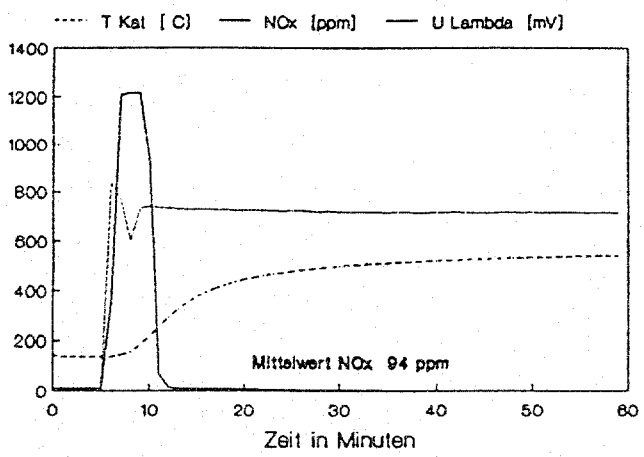
Höhere Kohlenwasserstoffe als C_6H_y wurden keine gefunden.

3.3 Verhalten während der Anlaufphase

Im stationären Betrieb weisen die gemessenen Anlagen tiefe Emissionswerte auf. Während der Anlaufphase ist bei den bisher ausgemessenen Anlagen aus folgenden Gründen vor allem der Stickoxidausstoss beträchtlich.

- Der Katalysator muss eine minimale Betriebstemperatur haben, um seine volle Konversionsrate zu erreichen.
- In der Anlaufphase kommen grössere Last- und Drehzahlschwankungen vor, welche von der Lambdaregelung nicht verarbeitet werden können.
- Einige Regler greifen erst beim Erreichen von stabilen Betriebsverhältnissen, d.h. nach 2 bis 5 Minuten ein.

Die nachfolgende Graphik zeigt einen typischen Anlaufvorgang:



Durch den Anfahrvorgang erhöhen sich die mittleren Emissionswerte. Eine qantitative Auswertung kann erst nach dem Vorliegen weiterer Messresultate durchgeführt werden.

3.4 Bisherige Erkenntnisse

Im folgenden werden die Kriterien, die nach dem vorläufigen Stand unserer Erkenntnisse zur Erzielung niedriger Gesamtemissionen im stationären Betriebszutand wichtig sind, aufgelistet.

- Die Anlage ist bei der Inbetriebnahme bezüglich der Schadstoffemissionen zu überprüfen und optimal einzustellen. Dazu sind exakte Messgeräte notwendig.
- Es sollen nur Schadstoffreduktionseinrichtungen verwendet werden, die als Einheit: Motor-Regelung-Lambdasonde-Gas/Luftmischer schon getestet und optimiert wurden. Messresultate von praktisch ausgeführten Anlagen sollten vorliegen.
- Die mittlere Laufzeit pro Anlauf soll im Jahresmittel möglichst über 3 Stunden liegen.
- Die Emissionen sind periodisch mittels einfachen Messgeräten (zB. elektrochemischen Sensoren) zu kontollieren

3.5 Laufende Messungen

Zur Zeit der Berichterstattung läuft die zweite Messphase. Die Messresultate sind noch nicht ausgewertet. Die Ergebnisse bezüglich der ersten Phase werden jedoch im wesentlichen bestätigt. Es fällt insbesonders auf, dass die Anlagen zum Teil sehr niedrige Stickoxidwerte (< 10 ppm) aufweisen. Ergebnisse über die Stabilität der Konversionsraten zwischen zwei Heizperioden und des Einflusses von Anlaufvorgängen, können erst nach erfolgter Auswertung vorgelegt werden. Die Arbeiten werden mit einer dritten Messphase im März/April 1988 und einer Gesamtauswertung abgeschlossen.

4. VERÖFFENTLICHUNGEN

Nach Abschluss der ersten Messphase wurde ein Zwischenbericht erstellt. Eine Zusammenfassung der erhaltenen Resultate wurde von Herrn Dr. M. Koebel im EIR Bericht Nr. 626, Mai 1987 veröffentlicht. Im Dezember 1988 wurde aufgrund einer Einladung der ADEV ein Vortrag im Rahmen der Tagung "Luftverschmutzung und Wärmekraftkopplung" gehalten.

5. NEUE FORSCHUNGSAKTIVITÄTEN

Die laufenden Forschungsaktivitäten ermöglichen detaillierte Aussagen über die Schadstoffemissionen von Gasmotoren mit Katalysatoren über einen Zeitraum von 1 bis $1^1/_2$ Jahren. Längerfristige Effekte, z.B. durch Alterung der Lambdasonde, Langzeitdrift in der Regelung, können nicht beurteilt werden. Es scheint deshalb sinnvoll, 3 bis 4 ausgewählte Anlagen während ca. 5 Jahren mit reduziertem Messaufwand weiter zu verfolgen.

OFEN
BEW

PROJETS DE RECHERCHE ÉNERGÉTIQUE 1987
ENERGIE - FORSCHUNGS - PROJEKTE 1987

3-D TEMPERATURFELDER IN FLAMMEN MITTELS HOLOGRAPHIE

Ziel des Projekts:

Entwicklung eines Schnellmessverfahrens für dreidimensionale Temperaturfelder in Flammen, basierend auf einer tomographischen Auswertung von von holographischen Interferogrammen, umfassend:
- Entwicklung der notwendigen Aufnahmetechnik für holographische Interferometrie
- Entwicklung der notwendigen Software für eine tomographische Auswertung einer Serie von Interferogrammen

Dauer des Projekts: 1.6.1987 - 30.4.1990

Beitragsempfänger: Prof. Dr. P. Suter
Institut für Energietechnik
Laboratorium für Energiesysteme
ETH-Zentrum
8092 Zürich

Berichterstatter: Dr. J. Gass

Adresse:

Telephon: 01 256 36 43

1. Anvisierte Zielpunkte

Nach dem Projektbeginn im Juni 87 standen für das Berichtsjahr einige Vorarbeiten auf dem Programm, nämlich

- Einarbeitung in die Literatur über holographische Messtechnik, was als Grundlage notwendig war für
- die Erarbeitung der Spezifikationen der aufzubauenden Versuchsapparatur.
- Technische Evaluation von Komponenten und deren Beschaffung.

2. Durchgeführte Arbeiten

2.1 Materialbeschaffung

Die Materialbeschaffung zerfällt in drei wesentliche Hauptteile:

- Bildverarbeitung: Die Evaluation konzentrierte sich zuerst auf diesen Bereich, da die Art der gewählten Bildverarbeitung gewisse Randbedingungen für die Aufnahmetechnik setzt. Gewählt wurde ein System, das auf der sogenannten Heterodynetechnik (zwei unterschiedliche Referenzstrahlen mit Phasenschift-Möglichkeit) beruht, welche für die Bearbeitung von Interferogrammen besondere Vorteile bietet. Dieses System steht im Moment gerade vor der Inbetriebnahme.
- Pulslaser mit Steuerelektronik: Für diesen Teil der Anlage sind die technischen Abklärungen bis zur Beschaffungsreife durchgeführt worden. Eine Bestellung soll aber erst dann erfolgen, wenn der für die Aufstellung notwendige Laborplatz zugeteilt worden ist (die Lösung dieses Problems wird für Januar 88 erwartet).
- Optik und Zubehör: Für diesen Teil der Anlage werden zur Zeit Offerten eingeholt.

2.2 Theoretische Vorarbeiten

Neben der allgemein notwendigen Einarbeitung in die Literatur über Holographie wurde eine erste Analyse über die Möglichkeiten der tomographischen Auswertung durchgeführt, welche im Rahmen einer Diplomarbeit tatkräftig unterstützt wurde.

3. Erreichte Ergebnisse

3.1 Messprinzip

Mittels eines Hologramms können Amplitude und Phase einer beliebigen Lichtwelle eingefroren und jederzeit wieder rekonstru-

iert werden. Bei der holographischen Interferometrie werden gleichzeitig zwei verschiedene Wellen in einem Hologramm festgehalten, in unserem Falle eine ungestörte Welle ohne Flammendurchgang und eine gestörte Welle mit Flammendurchgang. Bei der Rekonstruktion werden beide Wellen gleichzeitig kohärent wieder erzeugt (siehe Fig. 1). Das dabei entstehende Interferenzbild enthält die Information über die von der Flamme erzeugte Veränderung der optischen Dichte, was im Wesentlichen eine Funktion der Temperatur ist.

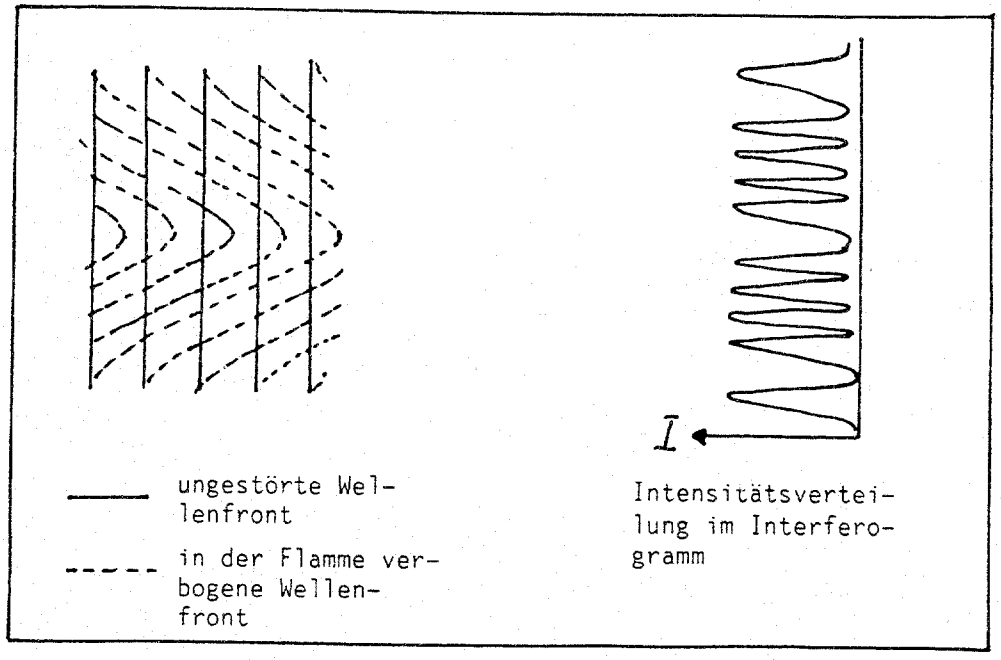


Fig 1. Schematische Darstellung der optischen Dichtemessung mittels holographischer Interferometrie

3.2 Konzeption der Versuchseinrichtung

Holographische Interferogramme werden als sogenannte Durchlicht-Hologramme erzeugt. An unseren Versuchsstand werden deshalb spezielle Anforderungen gestellt, indem relativ grosse Objekte (offene Flammen bis ca. 50 kW, Motoren etc.) in den Lichtweg hinein gebracht werden müssen. Dies führte zu einem Konzept mit zwei getrennten optischen Tischen (siehe Fig. 2). Da die gegenseitige Lage dieser beiden Tische auf Bruchteile von Wellenlängen stabil sein muss, sind an den Aufbau dieser Tische spezielle Anforderungen zu stellen. Das Verhalten der Schwingungsdämpfer und die Eigenfrequenzen des Stahlrahmens sind entsprechend untersucht worden.

So zeigte die Analyse zum Beispiel, dass die anvisierte Konstruktion auf Torsionsschwingungen empfindlich war und es mussten entsprechende Verstrebungen vorgesehen werden.

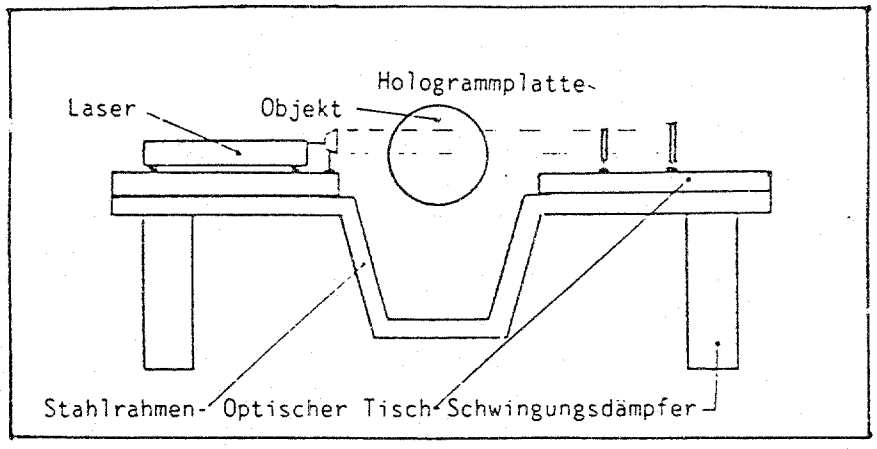


Fig 2. Prüfstand

3.3 Tomographische Auswertung

Tomographie wurde hauptsächlich in der Medizintechnik entwickelt (X-Ray, NMR Scanner), wird aber heute in sehr vielen Bereichen angewendet. Ein Durchlicht-Flammenhologramm enthält die Integralwerte der optischen Weglängen durch die Flamme. ($\int_S (n - n(x,y,z))ds$ n:Brechungsindex). Die Tomographie erlaubt es, aus diesen Daten das 3D-Brechungsindexfeld der Flamme wiederherzustellen; das Temperaturfeld ergibt sich dann von der Gladstone-Dale-Gleichung, mit der Annahme p=Konst. Mathematisch gesehen lassen sich die Rekonstruktionsmethoden in zwei Gruppen einteilen :

a) Transformationsmethoden
b) Reihenentwicklungsmethoden.

Die gewählte Methode, Algebraic Reconstruction Technique, gehört der Gruppe b) an. Es ist eine iterative Methode, die die Auflösung von unterbestimmten linearen Gleichungssystemen nach dem Kriterium kleinster Varianz ermöglicht.

Da der Prüfstand noch nicht betriebsfähig ist, wurden erste Versuche mit gerechneten "Hologrammen" durchgeführt. Ein PC-Programm berechnet die Integralwerte aus einem vorgegebenem axensymmetrischen Temperaturfeld. Ein zweites Programm rekonstruiert aus diesen Daten das Temperaturfeld. Dank der Symmetrie genügt eine einzige Strahlrichtung (siehe Fig.3).

Zur Zeit wird auch eine zweite, nicht-iterative Rekonstruktionsmethode angewandt, die auf convolution (Faltung) beruht. Diese Transformationsmethode ermöglicht es, unsymmetrische Temperaturfelder zu rekonstruieren. Um gute Resultate zu erreichen, müssen aber die Projektionsrichtungen der Strahlen einen Winkel von 180° einschliessen. Die Methode ist zur Zeit noch in Entwicklung; erste erfolgsversprechende Resultate konnten schon erzielt werden.

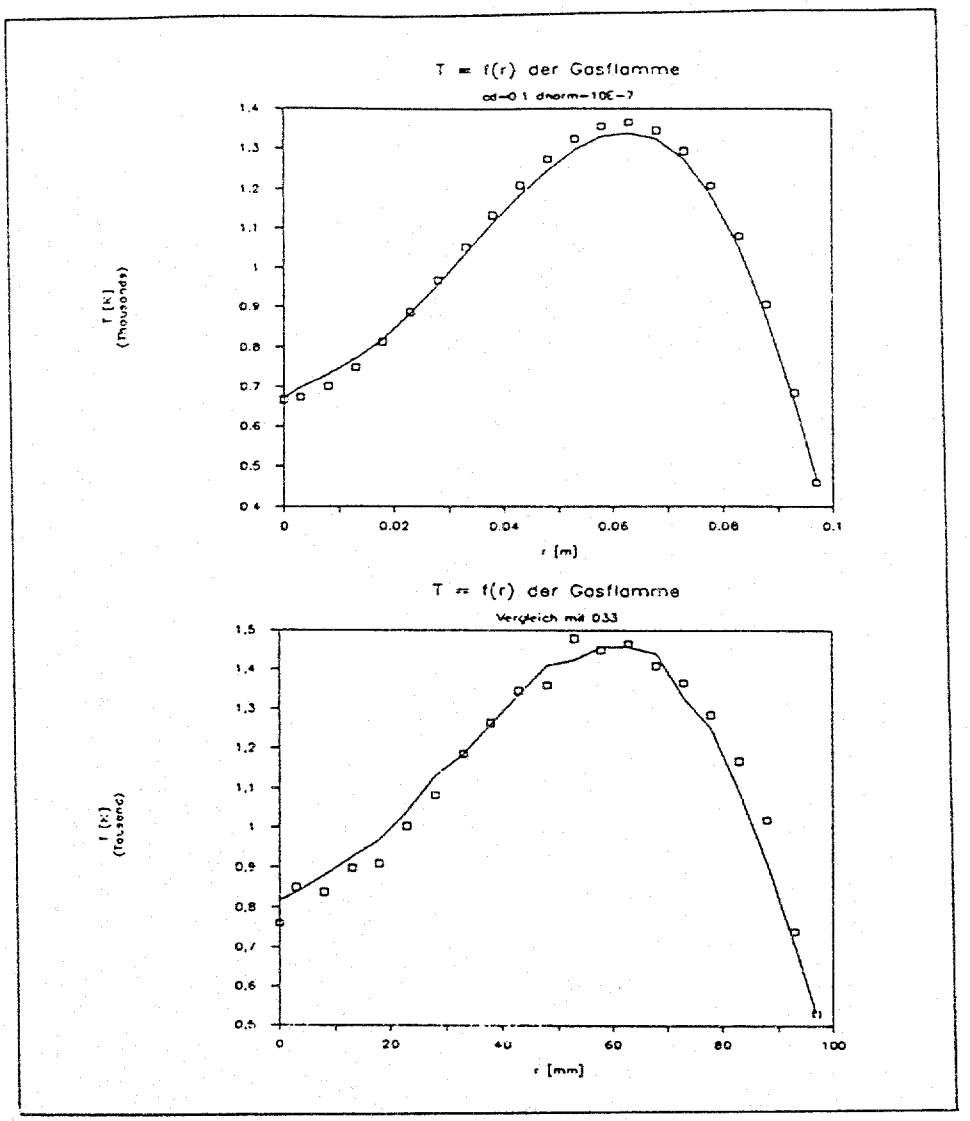


Fig 3. Vorgegebene (□) und rekonstruierte (—) Temperatur

4 Internationale Zusammenarbeit.

Zur Zeit besteht keine offizielle internationale Zusammenarbeit. Inoffizielle Kontakte bestehen zum TECFLAM-Projekt in Baden-Württemberg, BRD. Wegen der Komplexität aller Verbrennungsvorhaben ist aber eine Einbettung der eigenen Projekte in internationale Vorhaben wünschenswert.

OFEN — PROJETS DE RECHERCHE ÉNERGÉTIQUE 1987

BEW — ENERGIE - FORSCHUNGS - PROJEKTE 1987

NUMERISCHE SIMULATION VON VERBRENNUNGSVORGÄNGEN

Ziel des Projekts:

Numerische Simulation einer turbulenten Diffusionserdgasflamme als Werkzeug zur Entwicklung schadstoffarmer Flammen; Bestimmung der Strömungsgeschwindigkeits-, Temperatur- und Konzentrationsfeldern (CO, CO_2, OH, NO, ...)

Dauer des Projekts: 2 Jahre

Beitragsempfänger:

Berichterstatter: D. Aiulfi

Adresse:

Telephon: 01 / 256 36 45

Prof. Dr. P. Suter
Institut für Energietechnik
Laboratorium für
Energiesysteme
ETH-Zentrum
8092 Zürich

1. Anvisierte Zielpunkte für 1987

Die Hauptziele für 1987 waren die folgenden :

- Implementierung des Programs "PHOENICS" und Einarbeitung in dessen Benutzung.
  (Dieses Program kann die parabolischen, hyperbolischen oder elliptischen Gleichungen der Strömungslehre lösen)

- Berechnung der kalten Strömung in unserem zylindrischen Prüfkessel und Vergleich mit Messungen.

- Programierung eines ersten einfachen Verbrennungsmodells : Unendliche Verbrennungsgeschwindigkeit, simultane stochiometrische vollständige Verbrennung. Keine Berechnung der Reaktionskinetik der Verbrennung.

2. Durchgeführte Arbeiten 1987

Zuerst wurde die Berechnung der kalten Strömung mit einer Geometrie, wie sie dann auch für die Verbrennung gebraucht wird, durchgeführt. Der Vergleich mit den Messungen ist befriedigend.
Ueber erste Resultate für den Fall mit Verbrennung wird unter 3.2 berichtet.

3. Erreichte Ergebnisse

3.1 Kalte Strömung

3.1.1 Gelöste Gleichungen

Die Rechnung ist zweidimensional, stationär, mit axisymetrischer Geometrie.
Die gelösten Gleichungen sind :

- Impuls im z-Richtung	w (Gechwindigkeit)
- Impuls im r-Richtung	v
- Continuität des Massenflusses	p
- Kinetische Energie der Turbulenz	k
- Dissipation der Turbulenz	E

3.1.2 Beschreibung des Brennerkopfes

Der Brenner besteht aus einer konzentrischen Anordnung von Gas- und Luftdüsen. Der ringförmige Luftaustritt ist durch eine Stauscheibe teilweise abgedeckt, welche die für die Flammenstabilisierung notwendigen Turbulenzen erzeugt.

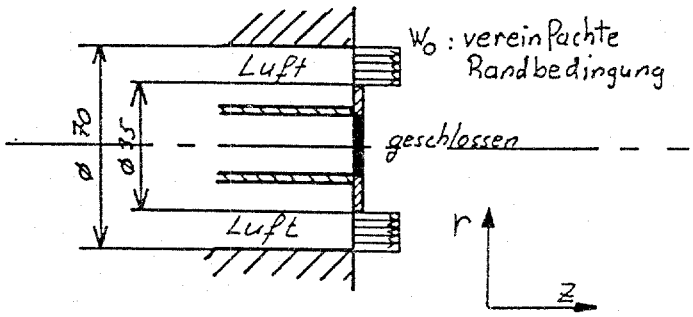


Fig 1 Querschnitt des Brennerkopfes

3.1.3 Vergleich zwischen Messung und Rechnung

Fig 2 zeigt einen Vergleich der Geschwindigkeitskomponenten in z-Richtung (Hauptkomponente) für einen Abstand von 19 cm vom Brennerkopf, Fig 3 für einen Abstand von 52 cm.

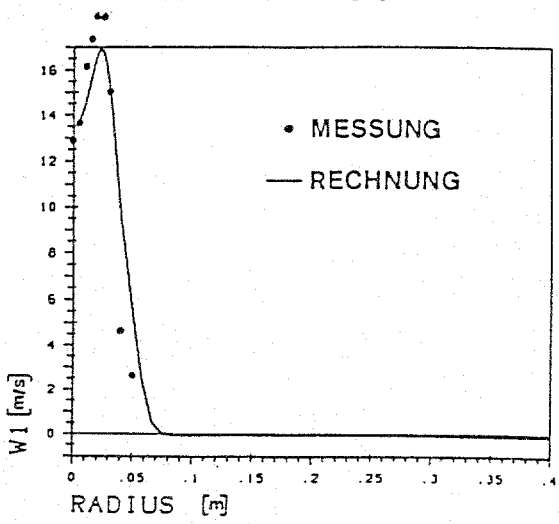


Fig 2 Geschwindigkeitsverteilung für z = 19 cm

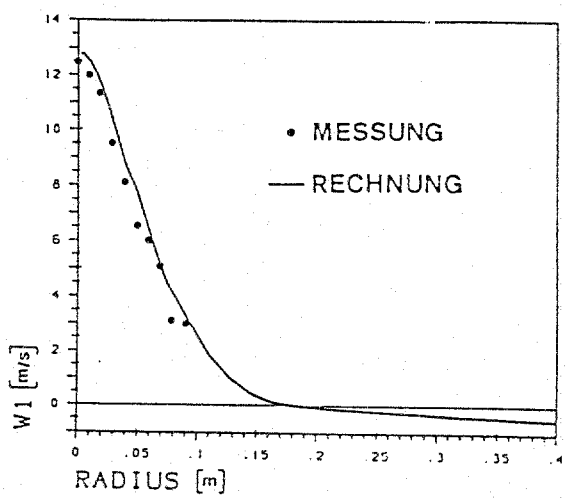


Fig 3 Geschwindigkeitsverteilung für z = 52 cm

Die Abweichung besonders in der Nähe des Düsenaustrittes sind durch die Unsicherheiten der Randbedingungen der eintretenden Luft erklärbar.

3.2 Warme Strömung

3.2.1 Gleichungen

Für die warme Strömung braucht man die Gleichungen der kalten Strömung und noch einige zusätzliche Gleichungen :

- 1 Erhaltungsgleichung für die Enthalpie h
- 2 Gleichungen für die IR-Strahlung
- 1 Erhaltungsgleichung für die Verbrennungsvariable f

3.2.2 Rechenresultate

Im Moment sind noch keine Messungen vorhanden, die uns einen Vergleich mit den Rechnungen erlauben. Dieser Vergleich sollte anfangs 1988 stattfinden können.
Ein interessantes Ergebniss ist der Einfluss der Absorption und Emission der IR - Strahlung im Verbrennungsgas, welche vor allem mit dem Gehalt an CO_2 und H_2O, natürlich aber auch an allfälligen Russ zusammenhängt; pro Meter Laufweg der Strahlung ist eine Absorption der Grössenordnung 0.3 schon ohne Russ durchaus möglich. Deshalb ist in der Flammenzone der Temperaturunterschied mit / ohne Strahlung gross (ca 200°), siehe Fig 4. Mit Russ wäre der Unterschied noch grösser.
Fig 5 zeigt noch den Einfluss einer korrekten Erfassung der Abhängigkeit der spezifischen Wärme.

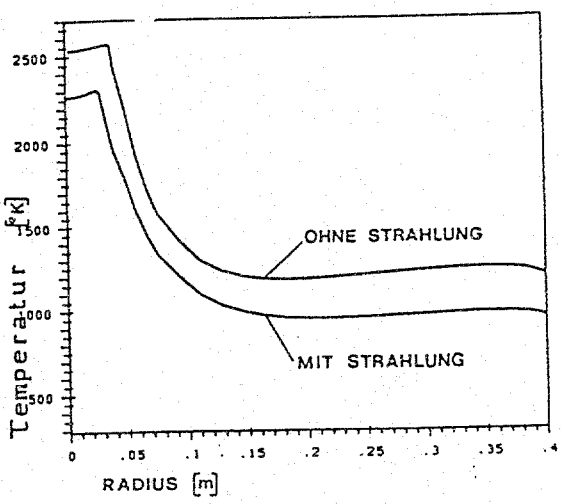


Fig 4 Vergleich der Rechnung mit/ohne IR Strahlung, z = 1.25 m
Eintrittsgeschwindigkeit $W_{Luft} = w_{Gas} = 17$ m/s

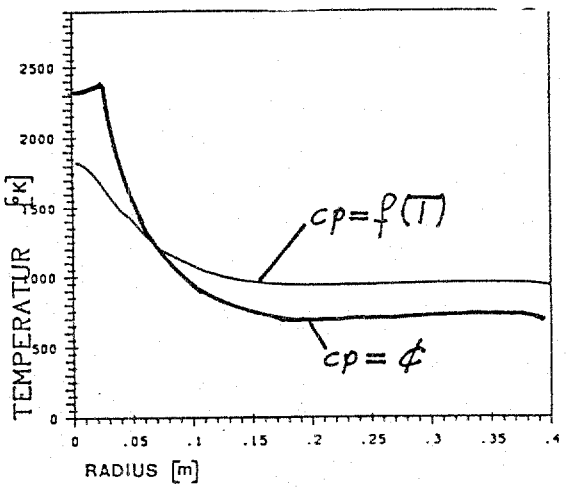


Fig 5 Temperaturprofil mit IR-Strahlung und cp = g(T) y = 1.25 m

Die maximale Temperatur ist jetzt kleiner, weil die spez. Wärme bei hohen Temperaturen stark ansteigt (die adiabatische und stochiometrische Temperatur der Erdgasflamme beträgt ungefähr 2200°K).
Zum Schluss ist das Geschwindigkeitsfeld in der Fig 6 dargestellt.
Die geometrischen Randbedingungen für die Rechnung entsprechen denjenigen der vorhandenen Versuchsbrennkammer. Somit können im Prinzip alle theoretischen Resultate später experimentell überprüft werden.

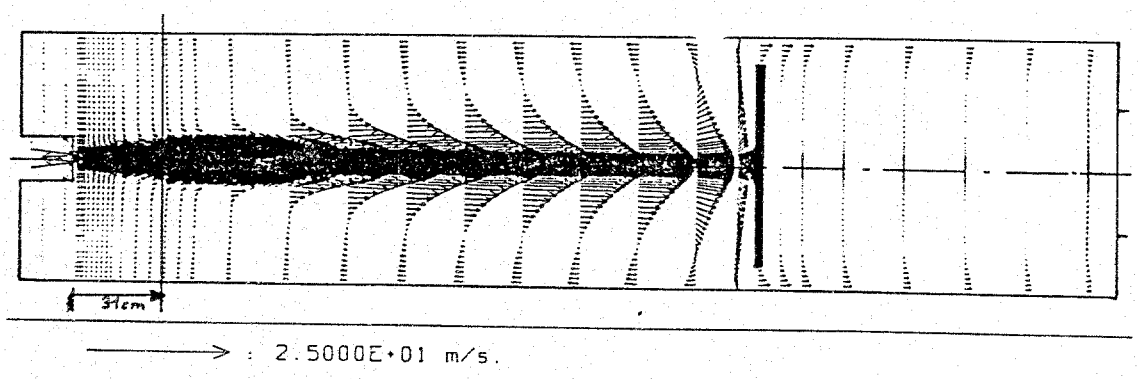


Fig 6 Geschwindigkeitsfeld der heissen Strömung

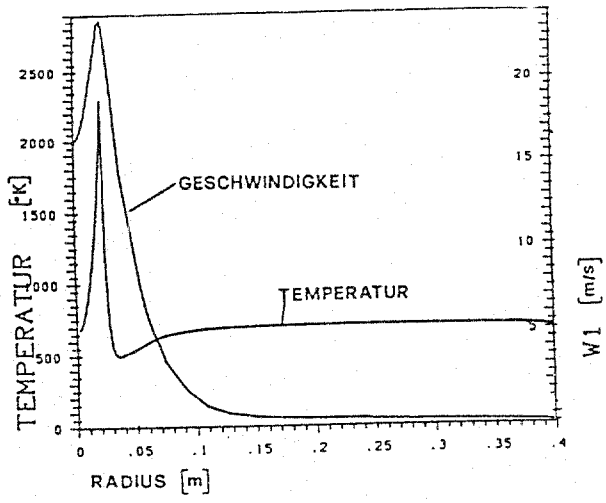


Fig 7 Temperatur und Geschwindigkeitsprofile für z=0.31 cm

3.4 Ziele für 1988

- Validierung unserer Berechnungen mit Verbrennung für eine Diffusionsflamme ohne Drall durch Messungen.
- Verfeinerung des reaktionskinetischen Modelles für die Berechnung der verschiedenen Radikalen (Reaktionen mit mehreren Stufen).
- Zusätzliche Berücksichtigung des Durchschnittes der fluktuierenden Grössen mittels Wahrscheinlichkeitfunktionen. Was besonders wichtig ist für die Produktionsterme der verschiedenen Radikale (NO, CO, OH ...).
- Berücksichtigung der Emissions- und Absorbtionskoeffizienten des Gases in Funktion zu ihren ortlichen Konzentrationen (CO_2, H_2, ..) und Temperaturen.

4. Internationale Zusammenarbeit

Zur Zeit besteht noch keine offizielle internationale Zusammenarbeit. Ein informeller Kontakt besteht zur Zeit mit der TU Darmstadt, wo im nächsten Frühjahr ein Mitarbeiteraustausch vorgesehen ist.
Generell gesehen ist die Verbrennungsforschung ein so komplexes und umfangreiches Gebiet, dass es unbedingt notwendig ist, die eigenen Aktivitäten in international koordinierte Vorhaben einzubetten. Sehr gute Möglichkeiten bieten sich hierzu :

- innerhalb der IFRF (International Flame Research Foundation) mit Sitz in Ijmuiden, NL
- oder innerhalb der IEA Working Party on Conservation in Combustion.

OFEN PROJETS DE RECHERCHE ÉNERGÉTIQUE 1987

BEW ENERGIE - FORSCHUNGS - PROJEKTE 1987

ABLAGERUNGSMECHANISMEN & KORROSION IN HEIZKESSELN

Ziel des Projekts:

- Verständnis der Ablagerungs- und Korrosionsmechanismen bei ölgefeuerten Heizkesseln
- Grundlagen erarbeiten, um durch geeignete Kesselkonstruktionen und Betriebsbedingungen (Rauchgas- und Kesselwassertemperatur) diese Probleme zu vermeiden

Dauer des Projekts: 4 Jahre

Beitragsempfänger:

Berichterstatter: P. Benz

Adresse:

Telephon: 01 256 25 88

Prof. Dr. P. Suter
Institut für Energietechnik
Laboratorium für
Energiesysteme
ETH-Zentrum
8092 Zürich

2.5

1. Ziel des Projektes

Beim Betrieb von Heizkesseln, welche mit schwefelhaltigem Heizöl betrieben werden, setzen letztendlich rauchgasseitige Korrosionserscheinungen dem energiesparenden Absenken der Kesselwasser- und Rauchgastemperaturen eine praktische Grenze. Das Ziel unserer Arbeit ist ein besseres Verständnis der Ursachen und Reaktionswege dieser Korrosionprozesse, um daraus Grundlagen für Kesselkonstruktionen und Betriebsbedingungen ableiten zu können.

2. Durchgeführte Arbeiten

- SO_2/SO_3-Messmethodik erarbeitet. Wahl eines diskontinuierlichen Verfahrens, basierend auf der Absorption von SO_3 in Isopropanol
- SO_2/SO_3-Messungen an etwa 30 praktisch betriebenen Kesseln
- chemische Analysen der Korrosionprodukte aus Feld- und Laborproben (nasschemische- und Röntgenbeugungsuntersuchungen)
- ausgedehnte Korrosionsversuche auf Prüfstand unter unterschiedlichen Betriebsbedingungen
- experimentelle und theoretische Untersuchungen des Schwefelsäuretransportes vom Rauchgas auf die Kesselwände
- experimentelle Untersuchungen der Schwefelbilanz in ölgefeuerten Kondensationsheizkesseln

3. Ergebnisse

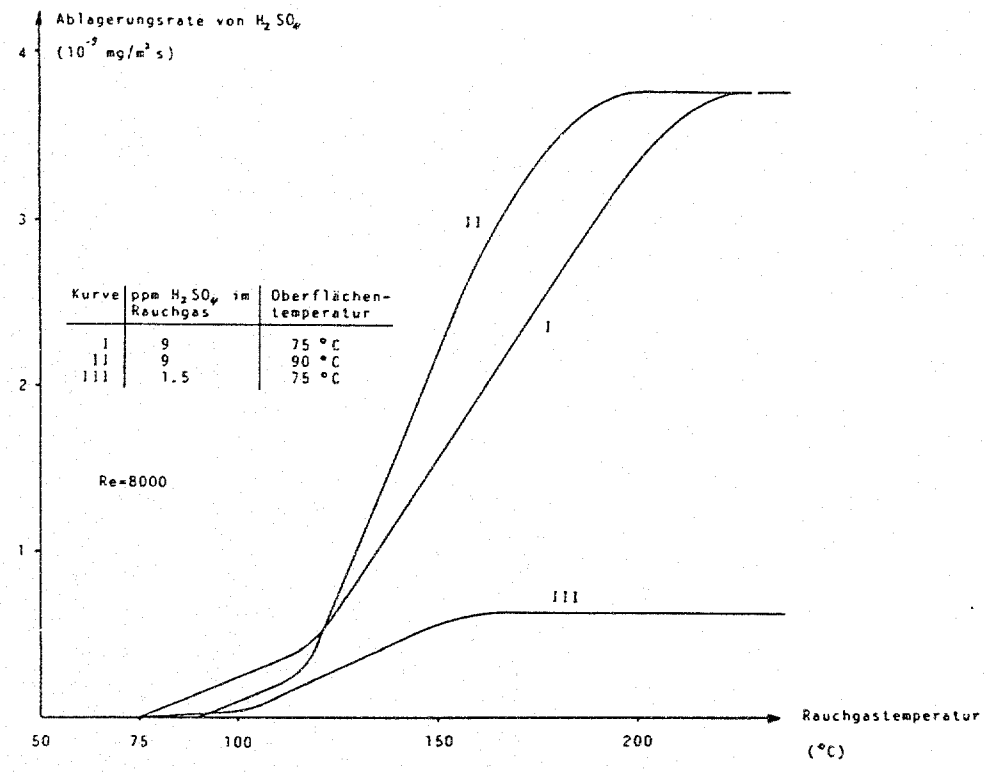
Hauptverantwortlich für den Korrosionsangriff sind die Rauchgaskomponenten Schwefeltrioxid (SO_3) bzw. Schwefelsäure (H_2SO_4), die aus dem im Heizöl enthaltenen Schwefel stammen. Bei konventionellen (d.h. nicht kondensierenden) Kesseln liegen die rauchgasseitigen Materialtemperaturen zwar oberhalb der Wasserdampftaupunktstemperatur (ca.50 °C), jedoch unterhalb der Schwefelsäuretaupunktstemperatur (ca. 120 °C), so dass die Säure kondensieren kann. Unter diesen Umständen ist der Korrosionsangriff, der in der Regel maximal einige Zehntel mm pro Jahr beträgt, direkt durch die Ablagerungsgeschwindigkeit der Schwefelsäure auf die Kesselwände bestimmt. Die Ablagerungsgeschwindigkeit hängt dabei einerseits von der SO_3-Bildungsrate, sowie andererseits vom Stoffübergang der Säure auf die Metalloberflächen ab.

SO_3-Messungen im Felde:
Die Ergebnisse von Feldmessungen, durchgeführt an etwa 30 praktisch betriebenen Kesseln im Leistungsbereich 20 - 1000 kW, ergaben SO_3-Konzentrationen am Kesselaustritt zwischen 0.4 und 6.2 Volumen-ppm (bezogen auf trockenes Rauchgas). Bezogen auf den Gesamtschwefel entspricht dies SO_3-Bildungsraten von 0.3 bis 3.8 % . Der Rest des Schwefels liegt im Rauchgas als SO_2 vor. Am Brennkammeraustritt, vor dem Eintritt in die Nachschaltheizfläche, liegen die SO_3-Konzentrationen meistens etwas höher als am Kesselaustritt, in

einigen Fällen jedoch auch tiefer. Diese Messungen haben uns daher die ursprüngliche Vermutung bestätigt, dass die SO_3-Bildungsrate über einen weiten Bereich streuen kann. Ueberraschend war hingegen der klare Hinweis auf eine katalytische SO_3-Bildung in der Nachschaltheizfläche selbst. Diese katalytische SO_3-Bildung trägt bei einigen Kessseln, vor allem bei solchen mit einer hohen Brennkammeraustrittstemperatur und mit stark verschmutzten Heizflächen, weitaus mehr zum total gebildeten SO_3 bei als der Anteil, welcher in homogener Gasphasenreaktion in der Brennkammer gebildet wird. Sie steht auch in weitgehender Korrelation zur Schadenanfälligkeit von Kesseln, welche an sich korrekt, d.h. ohne Unterschreitung des Wasserdampftaupunktes, betrieben werden.

Untersuchungen der Korrosionsprodukte:
In den Nachschaltzügen eines Prüfkessels wurden zylinderförmige, längsangeströmte Probekörper eingebaut und jeweils während 2-3 Wochen dem Rauchgas ausgesetzt. Dabei wurde bei unterschiedlichen Probekörpertemperaturen, Rauchgasgeschwindigkeiten und SO_3-Konzentrationen gefahren. Die Analyse der Korrosionprodukte ergab, dass oberhalb des Wasserdampftaupunktesbei kontinuierlich laufendem Brenner reines $FeSO_4 \cdot H_2O$ (Szomolnochit) gebildet wird. Diese Untersuchungen erfolgten vorwiegend mittels Röntgenbeugung, wurden jedoch ebenfalls durch klassisch-nasschemische Untersuchungen unterstützt. Sobald jedoch der Brenner intermittierend betrieben wird, treten die verschiedensten sauren, neutralen und basischen Sulfate des dreiwertigen Eisens auf, welche den Hauptteil der Korrosionprodukte in praktisch betriebenen Kesseln ausmachen. Szomolnochit darf daher wohl als primäres Produkt der Schwefelsäurekorrosion betrachtet werden. Wesentlich ist dabei, dass das molare Verhältnis $Fe:SO_4$ etwa bei 1 liegt. Ein Schwefelsäuremolekül kann somit 1 Eisenatom "auflösen", d.h. die Korrosionsrate ist, wie bereits gesagt, durch die Ablagerungsrate der Säure auf dem Metall bestimmt. Wird der Wasserdampftaupunkt im Betrieb unterschritten, so bilden sich anstelle der verschiedenen Eisensulfate vor allem Eisenoxidhydrate, insbesondere Goethit=α-FeOOH. Dies steht im Einklang mit der quantitativen Analyse der Korrosionsprodukte, wonach unter diesen Bedingungen das Verhältnis $Fe : SO_4$ weit über 1 ansteigt.

Stoffübergang der Schwefelsäure:
Es zeigt sich dass der Taupunkt der Schwefelsäure bereits in einem gewissen Abstand von der Oberfläche unterschritten wird. Die Säure kann somit nicht nur auf der Oberfläche selbst, sondern auch schon in einer wandnahen Zone unter Aerosolbildung kondensieren. Diese Aerosole driften unter der Wirkung der Thermophorese in Richtung fallender Temperatur, d.h. gegen die Wand, und werden ebenfalls abgelagert.



Das Diagramm zeigt Resultate von Messungen und Berechnungen des Stoffüberganges. Mit sinkender Rauchgastemperatur (im Kern der Strömung) nehmen die Ablagerungsraten wegen zunehmender Aerosolbildung ab. Bei Rauchgastemperaturen unterhalb der Säuretaupunktes (unterhalb 120-130 °C) ist die Säure bereits im ganzen Strömungsquerschnitt praktisch vollständig kondensiert, so dass sich nur Aerosole ablagern. Die Ablagerungsraten sind hier proportional zum Temperaturgradienten an der Wand. Die Kurve II liegt teilweise oberhalb I, da sich bei höherer Oberflächentemperatur die Aerosolbildung vermindert. Bei kleineren H_2SO_4-Konzentrationen (Kurve III) ist die Nebelbildung ebenfalls vermindert, so dass die Ablagerungsraten in geringerem Masse abnehmen als die Säurekonzentrationen.

Schwefelbilanz in Kondensationskesseln:
Bei Kondensationskesseln entsprechen die ausgewaschenen SO_2-Mengen etwa den Mengen, die sich aus der reinen SO_2-Löslichkeit im Kondensat berechnen. Insbesondere findet in einem Kondensator keine Nachoxidation von SO_2 zu SO_3 statt, die zu höheren SO_2-Abscheidegraden führen würden. (SO_3 besitzt als Vorstufe von H_2SO_4 gute Wasserlöslichkeit.)

4. Veröffentlichungen

- Dr. M. Koebel, M.Elsener: Korrosion von ölgefeuerten Zentralheizungen durch saure Verbrennungsprodukte des Brennstoffschwefels in
  Heizung, Klima, 14 (1986), Nr. 9, S. 71 und
  Wärmetechnik, (1987), Nr. 1, S. 9 und
  Schweiz. Kaminfegermeisterzeitung, 82 (1987), Nr. 4,5,6
- Zwischenberichte des EIR Würenlingen und des Laboratoriums für Energiesysteme der ETH Zürich, Autoren: Dr. M. Koebel M. Elsener, P. Benz
- Schlussbericht und weitere Veröffentlichungen folgen

OFEN — PROJETS DE RECHERCHE ÉNERGÉTIQUE 1987

BEW — ENERGIE - FORSCHUNGS - PROJEKTE 1987

SOLARERZEUGTE CHEMISCHE GRUNDSTOFFE

Ziel des Projekts:
Forschung - insbesondere auch mit langfristigen Zielen - zur Umwandlung von Sonnenenergie in transportierbare und für lange Zeit speicherbare Energieformen, wie z.B. sekundäre chemische Energieträger. Das Programm wird im Rahmen der Phase 3 des Small Solar Power Systems Projekt (SSPS-Projekt) der IEA abgewickelt und enthält in kleinem Umfang auch noch Arbeiten, die als Abschlussarbeiten der SSPS-Phase 2 (solarthermische Stromerzeugung) einzustufen sind.

Dauer des Projekts: 1986 - 1988

Beitragsempfänger: EIR

Berichterstatter: P. Kesselring

Adresse: Paul Scherrer Institut (PSI), 5303 Würenlingen

Telephon: 056 / 99 27 23

1 ANVISIERTE ZIELPUNKTE

Dieser Bericht befasst sich mit den im Rahmen des IEA-SSPS Projektes, Phase 3, in der Schweiz durchgeführten Arbeiten (SSPS: Small Solar Power Systems). Das Hauptgewicht liegt dabei auf dem Programmteil "Solar Fuels and Chemicals". Das unter anderem aus der Phase 2 des IEA-SSPS-Projektes hervorgegangene PHOEBUS-Projekt zum Studium der Errichtung eines 30 MW(e) Solarturm-Demonstrationskraftwerkes durch ein vorwiegend privates, internationales Firmenkonsortium wurde ebenfalls in bescheidenem Umfang unterstützt. Der Bericht enthält auch die Resultate dieser Arbeit.

Die Hauptzielpunkte 1987 auf dem Gebiet der Solarchemie waren:

- Initiierung und Durchführung von Arbeiten in der Schweiz. Die entsprechenden Aktivitäten sind in Abschnitt 2 aufgeführt.
- Koordination der internationalen Arbeiten zu den langfristigen Aspekten der Solarchemie innerhalb des SSPS-Projektes als "Operating Agent" (OA) der sogenannten Task VI: "Long Term Solar Fuels and Chemicals".

Die Zielsetzung des PHOEBUS-Beitrages bestand darin, das Schweizer Konsortium SOTEL bei der Leistung eines erfolgreichen Beitrages zur Phase 1 des PHOEBUS-Projektes zu unterstützen und damit die Stellung der Schweiz im Projekt zu stärken.

2 DURCHGEFUEHRTE ARBEITEN 1987

2.1 Hochtemperaturempfängerexperiment Almeria

H. Fricker von der Firma Gebrüder Sulzer in Winterthur schlug ein Experiment zum Bau und Test eines neuartigen Solarturmempfängers zur solaren Aufheizung von Luft auf 800 °C für Hochtemperaturprozesszwecke vor. Der sogenannte "Wirepack Volumetric Receiver" von 200 kW(th) Leistung wurde im Berichtsjahr gebaut, auf dem solaren SSPS-Testgelände in Almeria montiert, erfolgreich getestet und die Resultate ausgewertet. Das Experiment wurde unter internationaler Beteiligung (Deutschland, Spanien, USA) durchgeführt. Von Schweizer Seite waren neben der Firma Sulzer auch das EIR beteiligt. Ein Folgeexperiment mit einem verbesserten Absorber für 1988 sowie das Konzept für einen grösseren Receiver im MW-Bereich wurden von H. Fricker ausgearbeitet.

2.2 Photokatalysierte Reaktionen an Gas/Festkörper-Grenzflächen

Im Rahmen einer Dissertation (Claude Révilliod) werden unter der Leitung von Prof. M. Grätzel, unterstützt von den Drs. A.J. Mc Evoy und R. Thampi, am Institut für physikalische Chemie an der EPFL Arbeiten über photokatalysierte Reaktionen an Gas/Festkörper-Grenzflächen durchgeführt. Die Dissertation begann anfangs 1987. Im Berichtsjahr wurden erste erfolgreiche Experimente zum Lichteinfluss bei der Reduktion von CO_2 zu CH_4 mit Hilfe eines lichtempfindlichen Katalysators durchgeführt.

2.3 Beitrag zur Untersuchung der Reaktion zwischen atmosphärischem Kohlendioxid und Calciumoxid

Die Reaktion zwischen atmosphärischem Kohlendioxid und Calciumoxid stellt einen wichtigen Schritt in potentiell für die Solarenergietechnik geeigneten Prozessen dar. Unter der Leitung von Dr. A. Reller, Anorganisch-Chemisches Institut der Universität Zürich, wurde deshalb ein dreimonatiger Studienaufenthalt von Dr. M. Maciejewski (Institute of Basic Chemistry, Warsaw University of Technology, Polen) für experimentelle Untersuchungen zu dieser Thematik genutzt. Der Beitrag von Dr. Maciejewski, der ein Spezialist für Festkörper/Gas-Reaktionen ist, trägt dazu bei, Vorschläge für weiterführende Arbeiten (z.B. Disserationen) beurteilen zu können. (Die Resultate werden aus Platzgründen in Abschnitt 3 nicht dargestellt. Siehe jedoch Publikationen, Abschnitt 5).

2.4 Internationale und nationale Koordinationsarbeit

Im Auftrag des BEW vertrat der Schreibende die Interessen der Schweiz an drei Sitzungen des SSPS Executive-Committee, dem er als Vizepräsident angehört. Die Arbeit als OA von Task VI (Long Term Solar Fuels and Chemicals) umfasst im Berichtsjahr die Erfassung und Kurzdokumentation der in den Partnerländern vorhandenen Aktivitäten sowie die Propagierung einer verstärkten theoretischen Untersuchung kombinierter thermo-/photochemischer Prozesse bei hohen Temperaturen. Es wurden dazu u.a. zwei Sitzungen des "International Coordination Board" (ICB) für Task VI organisiert und durchgeführt.

Die sich daraus auf nationaler Ebene ergebenden Arbeiten wurden vom Vorsitzenden des "National Coordination Board" (NCB) für Task VI (Dr. H.P. Eicher, Uni Basel und Mitinhaber der Firma Dr. Eicher und Pauli AG) an einer Sitzung des NCB organisiert. Die weitere Koordination erfolgte in bilateralen Kontakten mit den Teilnehmern aus 7 Hochschulen.

3 ERREICHTE ERGEBNISSE

Aus Platzgründen greifen wir lediglich Resultate aus drei Teilprojekten heraus.

3.1 Hochtemperaturempfängerexperiment Almeria

Die Ergebnisse der zwischen August und Dezember 1987 von einem internationalen Team von Ingenieuren und Wissenschaftlern (Mitarbeiter der Testequipe in Almeria, DFVLR Stuttgart, Sandia National Lab, Albuquerque, EIR und Sulzer) durchgeführten Experimente können wie folgt zusammengefasst werden:

- Bei einer Luftaustrittstemperatur von 550 °C wurden Transienten gemessen. Wie erwartet ergab sich eine sehr kurze Zeitkonstante (Grössenordung Minute). Auch bei grossen Leistungssprüngen liess sich die Austrittstemperatur trotzdem problemlos praktisch konstant halten.

- Die vorgesehene Luftaustrittstemperatur von 800 °C und die Leistung von 200 kW(th) konnten ohne betriebliche Probleme erreicht werden.
- Es zeigte sich ein wesentlicher Mangel. Die gewählte Struktur des Drahtabsorbers erwies sich als geometrisch zu wenig stabil und verformte sich unter dem Einfluss von Temperatur und Eigengewicht. Daraus ergaben sich Wirkungsgrade, die je nach Betriebszustand um 5 bis 25 % unter dem erwarteten Wert von ca. 80 % liegen. Die Ursachen sind erkannt. Ein verbesserter Absorber ist in Vorbereitung.
- Der eben erwähnte Mangel führte zu örtlicher Ueberbelastung des Absorbers, die dieser ohne Schaden überstand. Das lässt erwarten, dass solche Empfänger bis zu Leistungsdichten von 1 MW/m^2 belastet werden können, was sonst nur bei Kühlung durch flüssige Metalle üblich ist.

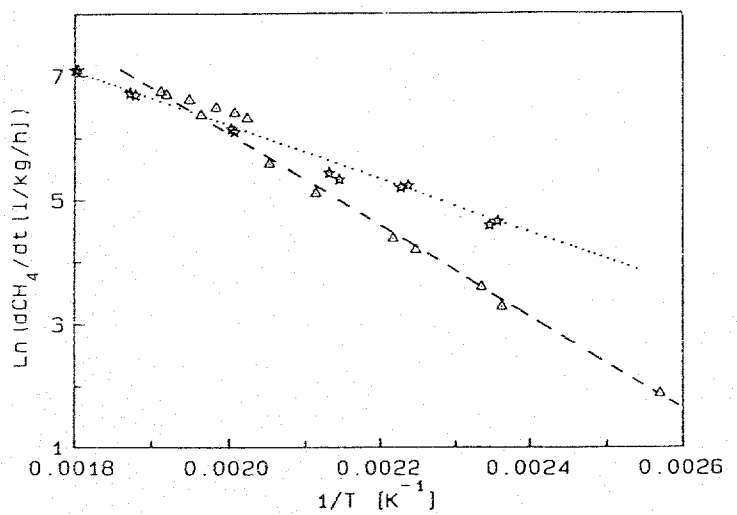
Als Fazit kann festgehalten werden, dass die Experimente befriedigend verlaufen sind und die Resultate zu grossen Hoffnungen für diese Art von Empfängern Anlass geben. Kurzzeitspeicherung (einige Stunden) sowie fossile Zusatzfeuerung (Hybridbetrieb) lassen sich relativ leicht bewerkstelligen. Die so gewonnene Wärme kann für chemische Hochtemperaturprozesse wie auch zur Stromerzeugung verwendet werden.

3.2 Photokatalytische Reaktionen an Gas/Festkörper-Grenzflächen

Die unter 2.2 erwähnten Experimente waren in doppelter Hinsicht bemerkenswert:

- Der an der EPFL hergestellte Katalysator (substöchiometrisches Rutheniumoxid auf einem Titanoxidträger) reduzierte in Anwesenheit von Wasserstoff das CO_2 bereits bei 20 °C und Atmosphärendruck selektiv in messbaren Mengen zu Methan (gemäss Literatur wurde dies bisher erst bei 300 °C und erhöhtem Druck erreicht).
- Bis hinauf zu Temperaturen von 500 K bewirkt die Einstrahlung von Licht mit sonnenähnlichem Spektrum (Xenon-Hochdrucklampe) eine Erhöhung der Methanproduktionsraten. Vorläufige Resultate ergeben bei 80 °C z.B. eine Beschleunigung der Reaktion um etwa den Faktor 15. Die erhöhten Reaktionsraten unter Einfluss der konzentrierten Strahlung (400 kW/m^2) gehen einher mit einer erniedrigten Aktivierungsenergie von 37 kJ/mol gegenüber 62 kJ/mol bei der thermisch aktivierten Reaktion (Bild).

Der Effekt wird mit Bandlückenabsorption im Halbleiter in Zusammenhang gebracht. Zur Zeit laufende Versuche mit Licht variabler spektraler Zusammensetzung sollen zeigen, ob dies zutrifft oder ob andere Mechanismen zur Erklärung des Effektes gesucht werden müssen.



Reduktion von CO_2 und CH_4 mit und ohne Licht

Logarithmus der Methanproduktionsrate als Funktion der reziproken absoluten Temperatur. Die gestrichelte Kurve zeigt den Fall rein thermischer Aktivierung der Reaktion, die punktierte Linie den Fall der Aktivierung mit Licht (Xenon Lampe, Details siehe Text). Aus den Steigungen der beiden Geraden ergeben sich Aktivierungsenergien von 62 kJ/mol ohne Licht und ein stark reduzierter Wert von 37 kJ/mol mit Licht.

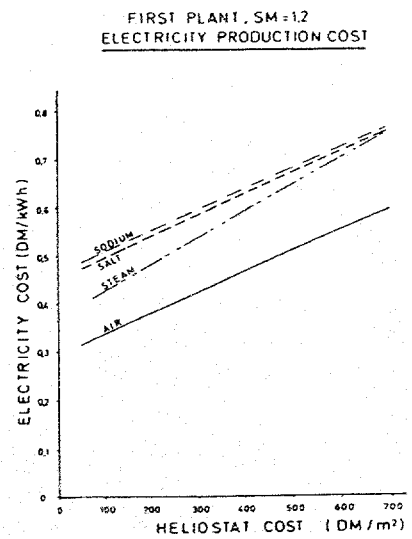
3.3 Ergebnisse der PHOEBUS Machbarkeitsstudie

Die Ergebnisse der Phase 1 des PHOEBUS-Projektes (Machbarkeitsstudie und Standortevaluation) können wie folgt zusammengefasst werden:

- Es wurden vier Systeme untersucht, die sich in der Wahl des Wärmeträgermediums im Empfängerkreislauf - Natrium, Salz, Luft und Wasser/Dampf - unterscheiden.
- Zwei dieser Systeme, nämlich das Salz- und das Luftsystem werden zur Weiterbearbeitung empfohlen. Der Entwicklungsstand der Salzsysteme ist weltweit weiter fortgeschritten als derjenige der Luftsysteme. Dafür sind Luftsysteme einfacher im Aufbau, haben weniger Stillstandsverluste und produzieren potentiell billigeren Strom.
- Hohe "Solare Vielfache", d.h. grosse Heliostatfelder (bei gegebener Turbinenleistung) verbilligen die Stromgestehungskosten. Das solare Vielfache (Solar Multiple, SM) gibt an, um wieviel mal grösser die maximale thermische Leistung ab Empfänger im Vergleich zur Turbinennennleistung ist. Beispeil: SM = 2 heisst, dass bei maximaler Einstrahlung die eine Hälfte der Energie, welche vom Heliostatfeld geliefert wird, direkt von der Turbine verarbeitet werden kann, die andere Hälfte aber - z.B. für die Stromproduktion am Abend - thermisch gespeichert werden muss.
- Bei der Auswahl eines Standortlandes sind die "technopolitischen" Aspekte und die Finanzierungsmöglichkeiten bei weitem wichtiger als die rein technischen Aspekte.

Die Tabelle zeigt Grössenordungen von Investitionen und Stromgestehungskosten für eine 30 MW(e) Demonstrationsanlage (1. Anlage) im Vergleich zur 3. Anlage, je für die Solaren Vielfachen SM = 1.2 und SM = 2.5. Die Bandbreite bei den Investitionen bezieht sich auf die vier betrachteten verschiedenen Systeme.

		Investitionen Mio.DM	Stromgestehungskosten DM/kWh
SM = 1.2	1. Anlage	250 - 350	0,5 (Luft)-0,7 (Salzsystem)
	3. Anlage	160 - 250	0,4
SM = 2.5	1. Anlage	550 - 640	0,4
	3. Anlage	380 - 450	0,3



Obige Zahlen wurden mit konservativen Heliostatkosten (> 600 DM/m^2 für europäische Fabrikate) berechnet. Würde man Heliostaten unter 200 DM/m^2 einsetzen - in den USA werden Zahlen um 100 $/m^2 genannt - so ergäben sich wesentlich tiefere Stromgestehungskosten, wie sie für die Erstanlage mit SM = 1.2 der nebenstehenden Figur entnommen werden können.

4 BEDEUTUNG DER EINBINDUNG DER ARBEITEN IN INTERNATIONALE PROJEKTE

Die Schweiz ist ein aktiver Partner sowohl im SSPS- wie im PHOEBUS-Projekt:

- Der Hochtemperaturempfänger war das erste grössere Experiment in der Phase 3 des SSPS-Projektes.
- Es besteht international reges Interesse an der von der Schweiz propagierten Task VI, "Solar Fuels and Chemicals".
- Die Schweiz stellte in H. Fricker, Gebrüder Sulzer AG, den Projektleiter für die Phase 1 des PHOEBUS-Projektes.

Andererseits ist die Schweiz auf die Zusammenarbeit in internationalen Projekten angewiesen, wenn sie die internationale Entwicklung auf dem Gebiet der solaren Hochtemperaturtechnik verfolgen und durch eigene Beiträge aktiv mitgestalten will. Ein Alleingang wäre nur schon finanziell nicht verkraftbar. Die üblichen Nachteile der Zusammenarbeit mit vielen Partnern, wie komplexe Organisation und Koordinationsprobleme oder Fragen des Schutzes von geistigem Eigentum, sind unvermeidlich. Die Vorteile überwiegen aber die Nachteile bei weitem.

5 VEROEFFENTLICHUNGEN

K.R. Thampi, J. Kiwi, M. Grätzel:
"Methanation and Photo-Methanation of Carbon Dioxide at Room Temperature and Atmospheric Pressure"
Nature, Vol 327, No. 6122, 506-508, 1987

M. Maciejewski and A. Reller:
"Investigations on the crystallization of metastable metal compounds obtained by solid-gas-processes"
(9th International Conference on Thermal Analysis, Jerusalem 1987).

M. Maciejewski and A. Reller:
"Formation and Thermochemical Reactivity of Metastable Earth Alkali Metal Carbonates Obtained from Solid-Gas-Reactions"
eingereicht an Thermochim. Acta.

F.G. Casal:
"Solar Thermal Power Plants"
edited by P. Kesselring and C.J. Winter
Springer 1987, ISBN 3-540-17458-3
(Resultate SSPS-Projekt Phase 2 in Buchform)

6 NEUE FORSCHUNGSARBEITEN

Zum Thema "Hochtemperatur-Thermochemie unter konzentrierter Solarstrahlung" zeichnen sich folgende Arbeiten ab:

- Dissertation bei Prof. Jungen, Uni Basel mit einer quantenchemischen Fragestellung
- Am PSI ist der Aufbau einer Gruppe vorgesehen, die theoretische und experimentelle Fragen bearbeiten soll.

An den Universitäten Basel (Prof. Güntherodt) und der Universität Zürich (Dr. A. Reller) besteht die Absicht, Dissertationen zum Thema thermische Solarchemie zu definieren.

OFEN PROJETS DE RECHERCHE ÉNERGÉTIQUE 1987

BEW ENERGIE - FORSCHUNGS - PROJEKTE 1987

SOLARCAD & SOLARIN

But du projet: Poursuivre les travaux effectués dans le cadre de la Tâche VI de l'AIE (systèmes avec capteurs solaires évacués) et plus précisément, concernant les systèmes étudiés **SOLARCAD** et **SOLARIN**, terminer les mesures et leur analyse, évaluer les performances, les comprendre au moyen de diverses simulations et effectuer la synthèse des connaissances acquises sur ces systèmes solaires actifs.

Durée du projet: 2 ans (1986-1987)

Mandataire: **CUEPE**, Université Genève

Rapporteur: Prof. Olivier **Guisan**

Adresse: 20, rue de l'Ecole-de-Médecine, 1211 Genève 4

Téléphone: 022 21 93 55

2.7

1. Objectifs visés pour 1987

Dans le cadre des 2 systèmes étudiés, **SOLARCAD** où 1000 m^2 de capteurs sont raccordés à un réseau de chauffage à distance et **SOLARIN** où 400 m^2 de capteurs produisent de la chaleur pour une fabrique alimentaire, il s'agissait de:

- terminer les mesures sur le système **SOLARCAD** et leur analyse, présenter les résultats suivant le "format AIE".
- simuler sur ordinateur les systèmes **SOLARCAD** et **SOLARIN**.
- élaborer une méthode de calcul simplifiée pour de tels systèmes et vérifier sa validité sur les systèmes étudiés. En présenter les résultats.
- faire une synthèse de l'ensemble des travaux effectués sur les systèmes à capteurs évacués étudiés.

2. Travaux effectués en 1987

Compte tenu d'un arrêt imprévu de l'installation **SOLARCAD** en hiver 85-86, les mesures ont été prolongées jusqu'en mai 1987. Leur analyse détaillée s'est poursuivie jusqu'à fin 1987. Résultats et performances, suivant "format AIE", sont l'objet d'un rapport prévu pour janvier 88.

Le rapport final sur **SOLARIN** a été présenté en 1986.

Un modèle simplifié de calculs, appelé G^3, a été élaboré. Il simule, sur une base journalière, les sytèmes **SOLARCAD** et **SOLARIN** de façon très satisfaisante. Sa validité s'étend bien au-délà des conditions rencontrées, ce qui a été vérifié par comparaison avec une autre simulation complète et détaillée sur **SOLARCAD**.

Ce modèle G^3 a été incorporé dans un programme G^3 permettant le calcul sur PC des performances annuelles, mensuelles ou autres de nombreux systèmes solaires actifs. Ce programme est opérationnel et disponible. Il reste encore à le documenter.

Ce programme G^3 est l'aboutissement et la synthèse de nos travaux. L'information correspondante est éparpillée dans des rapports divers et fragmentaires. Il manque encore quelques documents de synthèse.

3. Résultats obtenus en 1987

Nous présentons ici quelques résultats définitifs, complets et parmi les plus significatifs sur **SOLARCAD**, le dernier et le plus performant des systèmes étudiés (1000 m^2 de capteurs évacués Cortec branchés sur un réseau de chauffage à distance, CAD). Ces résultats sont normalisés à la "surface d'ouverture" des capteurs.

La Figure 1 est un diagramme "entrée/sortie", en valeurs journalières. Sont montrés, chaque point étant représentatif d'un jour, la chaleur fournie au réseau CAD en fonction du rayonnement solaire sur le plan des capteurs (rayonnement corrigé d'effets angulaires liés à l'inclinaison des absorbeurs par rapport au plan des capteurs), pour une tranche en ΔT (ΔT est la différence de température moyenne entre le CAD et l'ambiant). La dispersion des points est liée à la dispersion des conditions (ΔT, longueur du jour, angles), comme le montre le modèle G^3 appliqué pour des conditions moyennes et extrêmes. Ce diagramme caractérise la réponse journalière du système, tous effets intégrés.

La Figure 2 représente en moyenne annuelle les flux énergétiques les plus significatifs. L'efficacité du champ de capteurs est 35%, celle du système solaire 32%, pour une température moyenne de production de chaleur de 82°C. Les faibles pertes du système sont le fruit de bonnes optimisations à la conception et à la construction. A noter que cette efficacité du système de 32% est 2 fois supérieure à celle obtenue sur les systèmes-pilotes réduits étudiés antérieurement. A noter également, et c'est le résultat de simulations, que pour la géométrie adoptée (absorbeurs inclinés de 30° dans leurs tubes et capteurs quasi-horizontaux) les pertes due à l'orientation (par rapport à des capteurs inclinés à 30°) sont, dans nos conditions, compensées aux 2/3 par la sensibilité accrue des capteurs avec absorbeurs inclinés.

Les valeurs mensuelles détaillées de ces mêmes grandeurs sont illustrées sur la Figure 3.

Mentionnons encore que notre méthode simplifiée, basée sur G^3, est caractérisée par une très bonne précision (écart quadratique moyen entre valeurs mesurées et calculées pour la chaleur produite à la journée) de:

$$0.3\ MJ/m^2.jour$$

soit l'équivalent de 5 minutes de beau soleil. Cette valeur est à peine supérieure à celle obtenue pour une simulation complète et détaillée dans le meilleur des cas (**SOLARCAD**), soit 0.2 $MJ/m^2.jour$.

FIGURE 1

DIAGRAMME ENTREE/SORTIE — SOLARCAD

EN VALEURS JOURNALIERES — 1/6/86 - 31/5/87

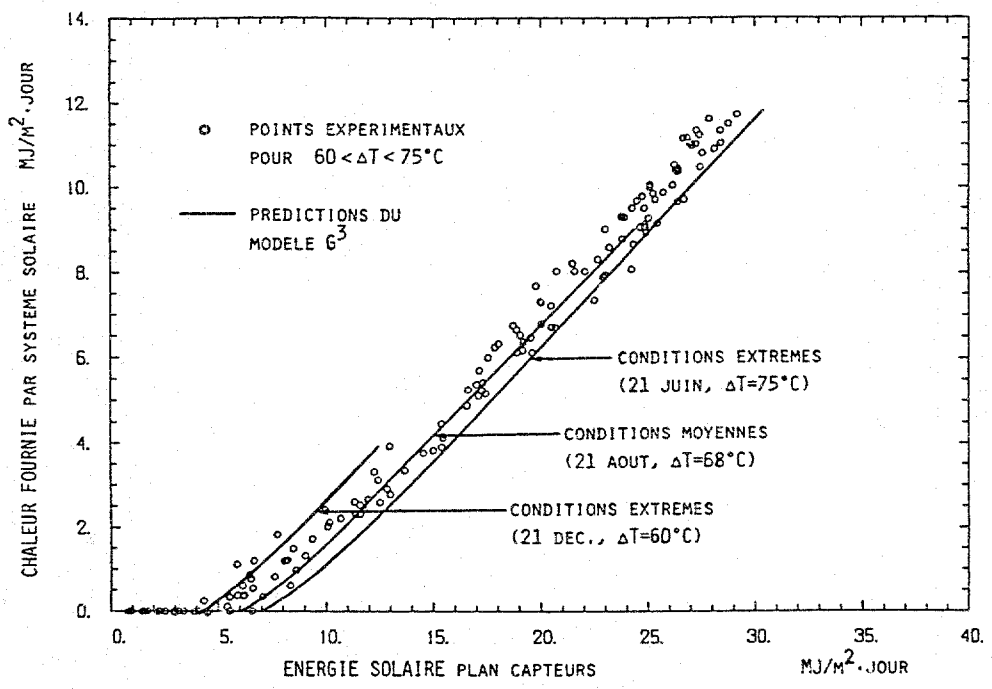


FIGURE 2

FLUX ENERGETIQUES ANNUELS (BASES SUR 280 JOURS) — SOLARCAD 1/6/86 - 31/5/87

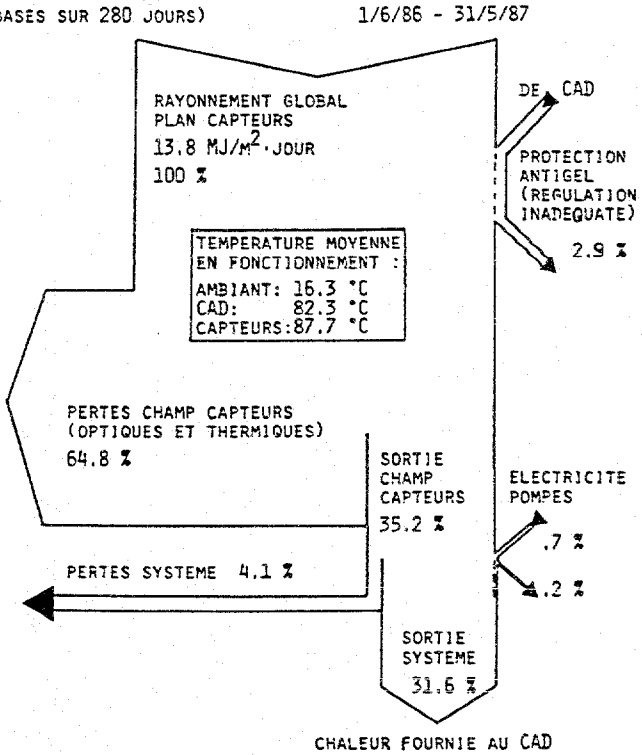
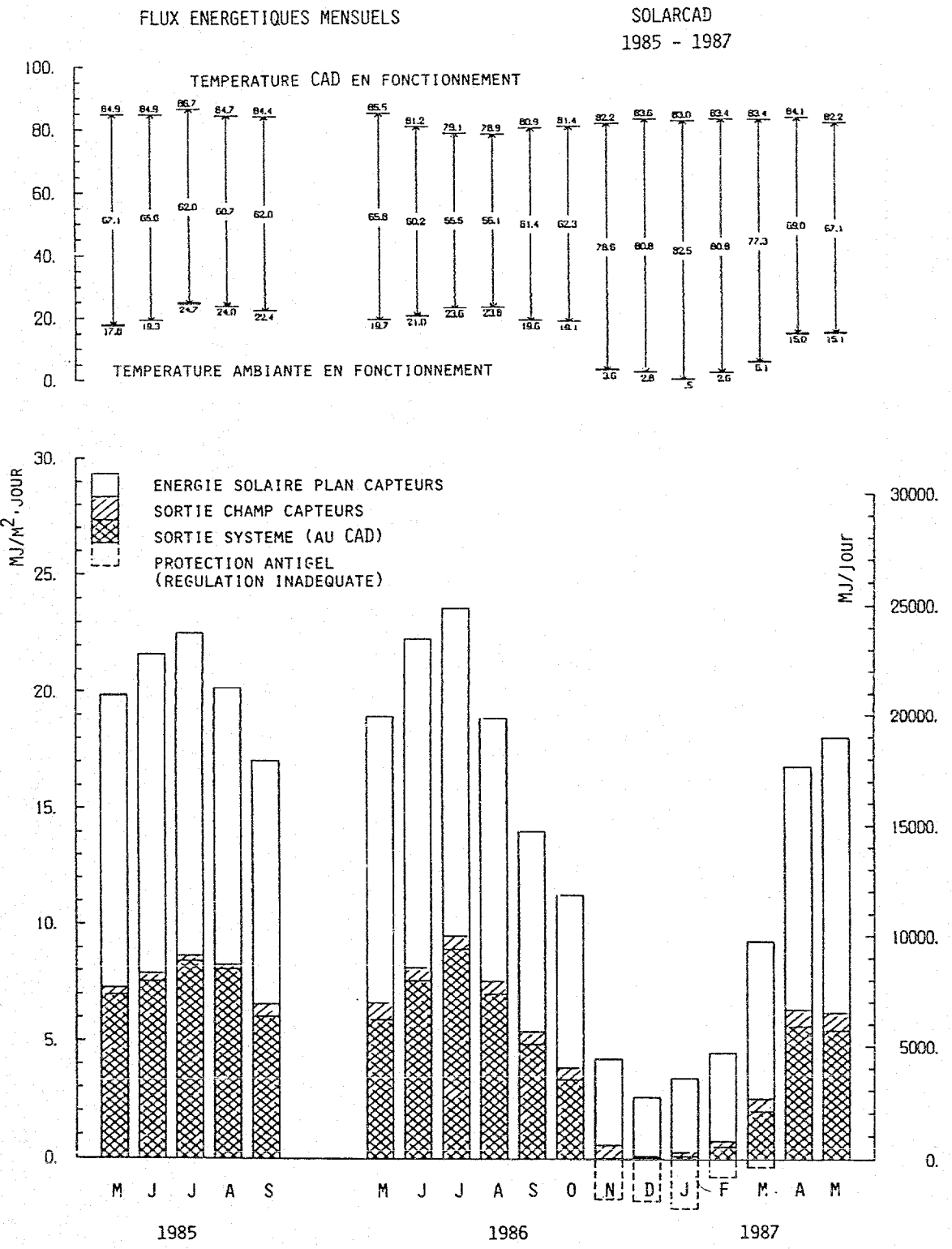


FIGURE 3


FLUX ENERGETIQUES MENSUELS
SOLARCAD
1985 - 1987
TEMPERATURE CAD EN FONCTIONNEMENT
TEMPERATURE AMBIANTE EN FONCTIONNEMENT
100.
80.
60.
40.
20.
0.
ENERGIE SOLAIRE PLAN CAPTEURS
SORTIE CHAMP CAPTEURS
SORTIE SYSTEME (AU CAD)
PROTECTION ANTIGEL
(REGULATION INADEQUATE)
MJ/M2.JOUR
MJ/JOUR
30.
25.
20.
15.
10.
5.
0.
30000.
25000.
20000.
15000.
10000.
5000.
0.
M J J A S M J J A S O N D J F M A M
1985
1986
1987

4. Collaboration AIE Tâche VI.

Par rapport aux autres membres de la collaboration, nous avons la ferme impression d'avoir pris, ces dernières années, de l'avance, plus particulièrement sur:

- le nombre de systèmes étudiés
- la caractérisation des capteurs et des autres composants
- la compréhension des diagrammes "entrée/sortie"; nous sommes les seuls à avoir trouvé une méthode simple permettant de générer ces diagrammes pour divers systèmes et conditions
- la rigueur dans les définitions et méthodes à suivre où à adopter.

Même si ces dernières années de collaboration ne nous ont pas apporté directement beaucoup, il est indéniable que, durant les premières années, nous avons énormément bénéficié des expériences et connaissances des autres membres et que le climat général d'une telle collaboration est toujours stimulant et enrichissant.

Encore un point positif: le "workshop" organisé à Hamburg sur "Design of Systems with Evacutated and Other Advanced Collectors".

5. Publications.

- Congrès ISES 1987, Hamburg:
  - G^3-model (proceeding et poster)
  - 3 contributions au "workshop" (collector characteristics, **SOLARCAD**, G^3-program)
- 3 rapports internes:
  - utilisation et validation du modèle simplifié G^3
  - modèle détaillé pour la simulation d'un système solaire actif
  - analyse d'effets angulaires à **SOLARCAD**.

6. Nouvelles recherches.

Nos connaissances pourraient être utilisées fructueusement dans des collaborations pour la conception et le suivi de nouveaux projets suisses en solaire actif. Divers projets sont à l'examen, en collaboration avec J. Hurdes, ing. SH.

Nos connaissances en solaire actif peuvent et doivent s'étendre et s'intégrer à des systèmes énergétiques plus complexes. Nous envisageons actuellement l'étude d'un bâtiment à Meyrin où se combinent solaires actif et passif, stockage souterrain, pompe à chaleur, gaz, mazout, bois.

OFEN PROJETS DE RECHERCHE ÉNERGÉTIQUE 1987

BEW ENERGIE - FORSCHUNGS - PROJEKTE 1987

UNTERSUCHUNGEN AN UNVERGLASTEN SONNENKOLEKTOREN

Ziel des Projekts:

Vom EIR wurde ein Verfahren zur Charakterisierung von unverglasten Sonnenkollektoren entwickelt und an einem einzigen Kollektor aufgrund von Freiluftprüfstandsmessungen validiert. Ziel dieses Projektes ist es, dieses Verfahren derart zu verallgemeinern, dass es einerseits den Betriebsbedingungen bei beliebigen Wettersituationen (insbesondere hohe Luftfeuchtigkeit oder klarer Himmel) genügt, anderseits auf verschiedene Kollektorbauarten anwendbar ist. Die im Formalismus auftretenden kollektorspezifischen Parameter sollen sich in einem Test auf dem Freiluftprüfstand bestimmen lassen.

Dauer des Projekts: 1.September 1986 bis 1.März 1988

Beitragsempfänger: Eidgenössisches Institut für Reaktorforschung

Berichterstatter: Dr.J.Keller

Adresse: 5303 Würenlingen

Telephon: 056 / 99 21 11

1 ANVISIERTE ZIELPUNKTE FÜR 1987

Hauptziele des Projekts sind einerseits die Ausmessung von 5 verschiedenen Kollektortypen auf dem Freiluftprüfstand für Niedertemperaturkollektoren am EIR, anderseits die Validierung des Charakterisierungsverfahrens an der EPFL aufgrund dieser Messdaten. Diese Charakterisierung umfasst Betriebszustände mit und ohne Kondensation von Luftfeuchtigkeit sowie bei variabler Infrarotzustrahlung aus der Umgebung ("Himmelstemperatur"). Als Kollektortypen sind Schwimmbadkollektoren, Konvektoren und Energiedächer einzubeziehen.

2 DURCHGEFUEHRTE ARBEITEN 1987

Gegen Ende des Jahres 1986 wurden aufgrund der bisherigen Erfahrungen mit der Nutzung von Energie aus der Umwelt (z.B. im NEFF-Projekt "Kombinierte Nutzung von Luft und Sonne für Wärmepumpenanwendungen" /1/) folgende Elemente mit den in Klammern aufgeführten Bezugsflächen beschafft:

- Ziegelenergiedach Keller (F=6.37 m^2)
- Schwimmbadkollektor FAFCO I (Referenzkollektor) (F=5.86 m^2)
- Schwimmbadkollektor Solarüesch (F=6.17 m^2)
- Wärmetauscher FAFCO II (Energiezaun) (F=7.44 m^2)
- lamelliertes Wärmetauscherregister (Konvektor) (F=3.60 m^2)

Zur selben Zeit wurde der Freiluftprüfstand für unverglaste Kollektoren auf die Bedürfnisse des vorliegenden Projektes umgebaut, nachdem er zuvor für Messungen an Luft/Wasser-Wärmetauschern eingesetzt worden war. Die Plazierung der beiden Schwimmbadkollektoren und des Energiedaches erfolgte unter einem Anstellwinkel von 40^0, wogegen die beiden Wärmetauscher vertikal montiert wurden. Für jedes Element wurden folgende Messgrössen erfasst: Ein- und Austrittstemperatur T_i und T_o, Volumendurchfluss V, Einstrahlung in Elementebene I, Windgeschwindigkeit v_w und Windrichtung a_w in Elementebene (FAFCO I, Solarüesch, Ziegelenergiedach) oder in Horizontalebene (FAFCO II, Konvektor). Als Meteodaten wurden weiter die Lufttemperatur T_a, der Taupunkt T_{TP} und der Luftdruck p_0 gemessen. In Fig. 1 sind die getesteten Elemente und in Fig. 2 ein Detail der Windmessung abgebildet.

3 ERREICHTE ERGEBNISSE

Am EIR wurden von Mitte Dezember 1986 bis Mitte Mai 1987 der Grossteil der Messungen durchgeführt. Der volumetrische Durchfluss der in Serie geschalteten Elemente betrug rund 700 l/h, die Eintrittstemperatur T_i lag ca. 9 ^{0}C unterhalb der Umgebungstemperatur T_a. Fig. 3 zeigt anhand eines Rohdatenplots für einen klaren Tag den Verlauf der Temperaturerhöhung des Wärmeträgers in den fünf Prüflingen. In Tabelle 1 sind repräsenative Werte für die pro Bezugsflächeneinheit berechnete Temperaturerhöhung (spezifische Temperaturerhöhung) $\Delta T/F$ aufgelistet.

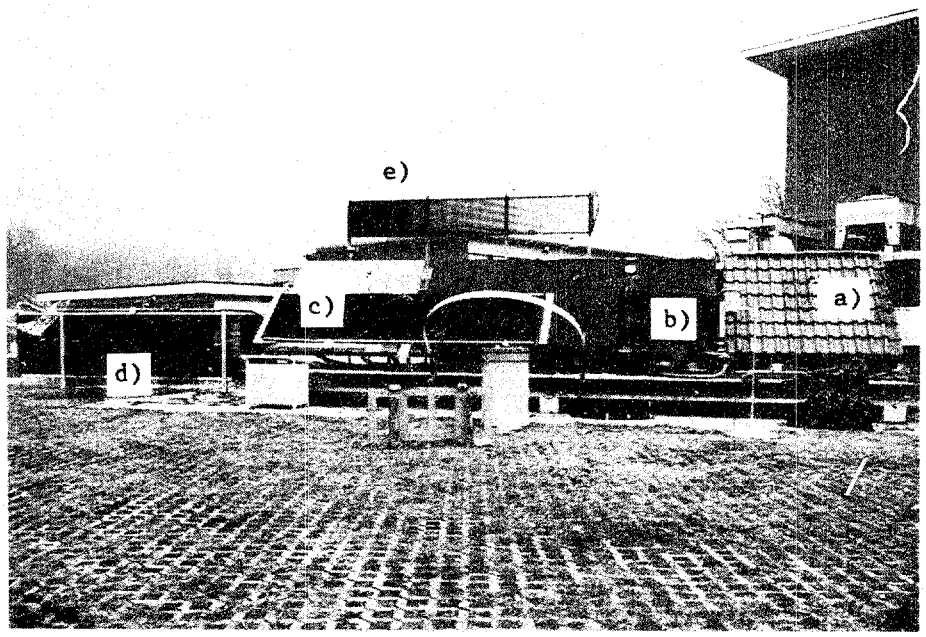


Fig. 1 Ziegelenergiedach (a), FAFCO I (b), Solarüesch (c), FAFCO II (d) und Konvektor (e) auf dem Freiluftprüfstand des EIR

Fig. 2 Detail der Windmessung

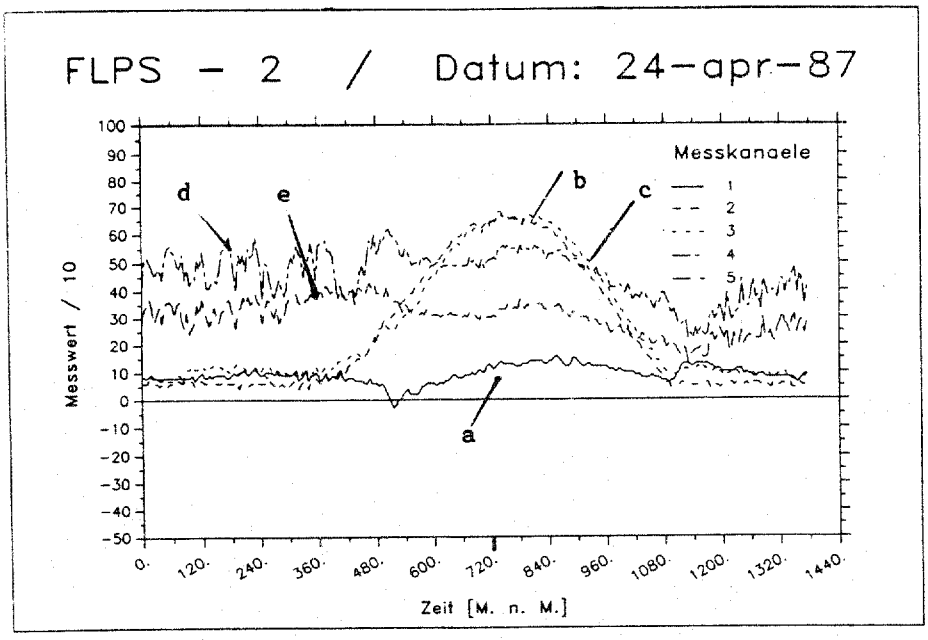


Fig. 3: Rohdatenplot für Ziegelenergiedach (a), FAFCO I (b), Solarüesch (c), FAFCO II (d) und Konvektor (e)

Nr	Element	Nacht		Mittag	
		ΔT (K)	ΔT/F (K/m2)	ΔT (K)	ΔT/F (K/m2)
1	Ziegeldach	0.8	0.13	1.4	0.22
2	FAFCO I	0.6	0.10	6.6	1.26
3	Solarüesch	1.0	0.16	6.6	1.07
4	FAFCO II	5.0	0.67	5.4	0.73
5	Konvektor	3.2	0.89	3.5	0.97

Tab. 1: Temperaturerhöhung ΔT und spezifische Temperaturerhöhung ΔT/F für die Nacht- und die Mittagszeit des 24.4.87 (Schönwetterbedingungen). $T_a - T_i \simeq 10\ ^0C$.

Aufgrund der Rohdaten können bereits folgende Schlüsse gezogen werden:

- Während der Nachtperioden sind sich Ziegeldach, FAFCO I und Solarüesch mehr oder weniger ebenbürtig. Die grösste spezifische Leistung weist naturgemäss der lamellierte Konvektor auf, gefolgt vom Energiezaun FAFCO II.

- Am Mittag eines schönen Tages wachsen die Leistungen von FAFCO I und Solarrüesch infolge der maximalen Sonneneinstrahlung von rund 950 W/m² auf das 12- bzw. 6-fache an. Das Ziegelenergiedach dagegen vermag wegen seiner grossen thermischen Trägheit der Sonnenstrahlung nur minim zu folgen. Insbesondere ist während der morgendlichen Strahlungs- und damit Eintrittstemperaturzunahme ein thermischer Verlust zu verzeichnen, da die Ziegel noch während 1 - 2 Stunden kalt bleiben. Die beiden restlichen Elemente sind ebenfalls kaum strahlungsempfindlich, weil der grösste Teil des Wärmegewinns auf Konvektion beruht. Allerdings sind die Leistungsschwankungen dieser Elemente bei Strahlung wesentlich kleiner als nachts.

- Der Konvektor vereist, wie bereits bei früheren Untersuchungen festgestellt, weniger stark als die übrigen Elemente. Vereist der Energiezaun, so sinkt die Leistung um etwa einen Drittel auf diejenige des Konvektors ab. Bei den übrigen Elementen bewirkt die Vereisung der Elemente während der Nacht keine merkliche Leistungseinbusse, wogegen bei Tag das Absorptionsvermögen für Sonnenstrahlung abnimmt. Beim Ziegelenergiedach kann der Eisansatz an den Rohren zu einer Verschiebung der Ziegel führen.

Gemäss dem Zusammenarbeitsvertrag zwischen dem EIR und der EPFL wurden die Rohdaten auf den Computer der EPFL übertragen und von Dr.N.Lan ausgewertet. Das Schwergewicht der Auswertungen liegt vorerst auf der Untersuchungen der Nachtmessungen, insbesondere der Windgeschwindigkeitsabhängigkeit des K-Wertes ohne Wasserdampfkondensation. Die Basis bildet das vom EIR vorgeschlagene Verfahren /2/. Die K-Werte weisen, wie bereits in /1/ und /2/ festgestellt, beträchtliche Streuungen auf. Mittelwerte für v = 0.7 m/s und v = 2.4 m/s sind in Tab. 2 zusammengestellt.

Nr	Element	K (v=0.7 m/s) (W/m2 K)	K (v=2.4 m/s) (W/m2 K)
1	Ziegeldach	15	20
2	FAFCO I	15	22
3	Solarüesch	19	22
4	FAFCO II	90	120
5	Konvektor	115	150

Tab. 2: Nächtliche K-Werte (ohne Kondensation) für v = 0.7 m/s und v = 2.4 m/s.

Aus diesen Daten resultieren die Parameter k und U_i gemäss /2/. Zum Zeitpunkt der Berichterstattung werden im Rahmen der Auswertungen diese Grössen berechnet, deren Abhängigkeit von der Windrichtung untersucht und mit den bereits verfügbaren Werten /2/ verglichen.

Die Messdaten der 5 Elemente werden im weiteren herangezogen, um im Rahmen des IEA Solar Heating and Cooling Programs, Task III eine an der Universität München bereitgestellte Charakterisierungsmethode zu validieren. Diese Methode basiert im wesentlichen auf der Hottel-Willier-Bliss Gleichung. Die

den Kollektor charakterisierenden Parameter sind $F_R\alpha$ und F_RU_L (optischer Wirkungsgrad und K-Wert, falls T_i als Referenztemperatur angenommen wird), die als Funktion der Windgeschwindigkeit v dargestellt werden. Erste Auswertungen zeigen, dass $F_R\alpha$ je nach Element konstante Werte zwischen 0.70 und 0.85 annimmt. Der Parameter F_RU_L ist wie erwartet abhängig von der Windgeschwindigkeit. Für Nacht- bzw. Tagesperioden ergeben sich allerdings verschiedene Zahlenwerte.

Das einschneidenste unvorhergesehene Ereignis war die Rückkehr von Herrn E.Passos nach Brasilien vor einem Jahr. Damit lag die gesamte Last der Auswertungen auf den Schultern von Herrn Dr.N.Lan. Er wurde dabei allerdings von Studenten der EPFL unterstüzt.

Die Auswertungen werden erschwert durch die Tatsache, dass die Messdaten, insbesondere die K-Werte, eine relativ grosse Streuung aufweisen. Es zeigt sich, dass Outdoor-Tests von unverglasten Elementen wesentlich heikler sind als entsprechende Untersuchungen an verglasten Kollektoren.

4 INTERNATIONALER RAHMEN

Die vorliegenden Arbeiten sind eine Fortsetzung der bereits im Rahmen des IEA "Solar Heating and Cooling Program", Task III erfolgten Untersuchungen von Niedertemperaturkollektoren. Diese früheren Arbeiten stiessen bei den Experten auf grosses Interesse. In der Zwischenzeit haben verschiedene Länder (z.B. BRD, NL etc.) derartige Kollektoren experimentell und theoretisch untersucht. Mit unseren Messdaten können gegenwärtig vereinfachte Kollektormodelle, die an der Universität München entwickelt worden sind, validiert werden. Die entsprechenden Resultate werden laufend an den IEA Experts Meetings den internationale Fachkollegen vorgestellt.

5 VEROEFFENTLICHUNGEN

keine

6 LITERATUR

/1/ J.Keller, A.Imhof, J.Buchli, "Kombinierte Nutzung von Luft und Sonne für Wärmepumpenanwendungen". Schlussbericht des NEFF-Projektes Nr. 200. EIR-Bericht (C) Nr. 3. Eidg. Institut für Reaktorforschung, Würenlingen. Dezember 1985.

/2/ J. Keller, "Characterization of the thermal performance of uncovered solar collectors by parameters including the dependence on wind velocity, humidity and infrared sky radiation as well as on solar irradiation". 2nd IEA-CEC workshop on solar assisted heat pump systems. Wien, 8.-10. Mai 1985.

OFEN
BEW

PROJETS DE RECHERCHE ÉNERGÉTIQUE 1987
ENERGIE - FORSCHUNGS - PROJEKTE 1987

ESSAI ET PERFORMANCE DE CAPTEURS SOLAIRES

But du projet: Le Projet III de l'A.I.E. a pour but le développement de méthodes d'essai de capteurs solaires et de chauffe-eau solaires (performances thermiques, durée de vie et fiabilité). Les contributions de la Suisse sont rattachées à divers projets de l'OFEN (voir les rapports respectifs). L'EIR assure la coordination scientifique des activités du Projet III en Suisse et la représentation de notre pays aux réunions d'experts. En outre, il contribue de cas en cas directement aux travaux du groupe A.I.E. (rédaction de rapports, développement proprement dit des méthodes d'essai).

Durée du projet: 1.1.84 - 30.6.88 (fin du Projet III A.I.E.)

Mandataire: Institut fédéral de recherches en matière de réacteurs (EIR), Würenlingen
Rapporteur: Dr. J.M. Suter
Adresse: EIR, 5303 Würenlingen
Téléphone: 056 / 99.27.95

1. Objectifs visés pour 1987

L'année 1987 étant la dernière du Projet III du Programme solaire de l'A.I.E. - mise à part la rédaction de rapports pendant le premier semestre de 1988 - il s'agissait pour les participants de réaliser et de terminer les travaux expérimentaux et théoriques de développement des méthodes d'essai. Ces méthodes concernent des capteurs solaires de types divers (sous-projet D) et les petits chauffe-eau solaires (sous-projet E). Elles sont destinées à la mesure des performances thermiques par des laboratoires spécialisés en vue, par exemple, de la comparaison des produits testés ou de leur homologation. Les travaux touchant à leur durée de vie et à leur fiabilité (sous-projet F) sont terminés depuis 1986 ou poursuivis dans un autre cadre (Projet X de l'A.I.E.).

2. Travaux effectués en 1987

2.1. Coordination scientifique des activités du Projet III en Suisse et représentation de notre pays aux réunions d'experts du Projet III:

A ce titre, nous suivons les deux projets de la SOFAS /1,2/ en participant activement à l'élaboration du programme de travail détaillé, à la discussion des résultats et à l'élaboration des rapports. L'EIR assure aussi la liaison entre le Projet III et le Technicum intercantonal de Rapperswil (ITR), engagé dans le projet "Durée de vie et fiabilité des installations solaires". Enfin, nous avons pris ou prendrons part à trois réunions d'experts du Projet III en 1987. En particulier, nous avons présenté les résultats de l'EIR en matière de capteurs à air pour le séchage du foin et le chauffage des locaux /3/. Ces travaux, effectués hors A.I.E., intéressaient nos partenaires.

2.2. Performances thermiques des capteurs sans couverture:

Ces travaux font l'objet d'un projet OFEN séparé, avec sous-traitance par l'EPFL (voir le rapport ad hoc).

2.3. Méthode rapide d'essai d'installations solaires:

L'A.I.E. prépare trois contributions dans ce domaine:

- un manuel décrivant les procédures d'inspection, préalables aux essais d'installations solaires proprement dits. Ces inspections ont pour buts la vérification de la conformité de l'installation à sa fiche technique et la détection des défauts de construction ou de fonctionnement les plus grossiers, ceux qui rendent inutile toute mesure de performance thermique. Ce manuel est élaboré par l'ITR avec le soutien de l'EIR. En 1987, la 2e version (provisoire) en a été rédigée /4/.

- une méthode rapide d'essai basée sur des corrélations entre les principales grandeurs déterminant le bilan énergétique annuel de l'installation. Par des tests appropriés en laboratoire, d'une durée d'une journée chacun, les coefficients de la corrélation sont déterminés expérimentalement. On utilise ensuite cette corrélation pour calculer le bilan annuel. La Suisse ne participe pas à l'élaboration de cette méthode, à laquelle elle s'intéresse à moyen terme; elle suit cependant les travaux de ses partenaires.

- une méthode rapide d'essai basée sur l'étude en laboratoire des composants de l'installation. Les mesures portent sur les capteurs, l'échangeur de chaleur et l'accumulateur, dont on détermine séparément les paramètres caractéristiques respectifs. Les paramètres caractéristiques des autres composants (p.ex. le circuit des capteurs) sont empruntés à la fiche technique de l'installation ou déterminés par des mesures élémentaires (géométrie). On utilise ensuite un programme détaillé de simulation sur ordinateur pour recalculer le bilan énergétique sur une période de fonctionnement de quelques semaines au plus, période pendant laquelle l'installation complète a été au

préalable soumise à des mesures en continu. Enfin, s'il y a accord entre la théorie et l'expérience pendant cette période d'essai, on utilise le même programme de simulation pour prédire le bilan énergétique annuel. La Suisse participe à cette approche du problème, qui est la plus proche de celle qu'elle suit au plan national (voir à ce propos le rapport de la maison A. Eggenberger Bauphysik AG sur le Projet SOFAS /2/). L'essentiel de sa contribution A.I.E. peut être tiré des travaux antérieurs du Projet SOFAS /1/ (maison E. Schweizer AG et Ecole d'ingénieurs de Berthoud). Seule manquait l'expérience en matière d'essais des échangeurs de chaleur. Cette lacune vient d'être comblée par l'EIR qui a procédé à des mesures à Hedingen en automne 1987 sur les chauffe-eau solaires expérimentaux du Projet SOFAS /1/.

3. Résultats obtenus en 1987

Nous nous limitons ici aux travaux de l'EIR dans le domaine des méthodes rapides d'essai d'installations solaires. Nous relèverons d'abord la parution du premier rapport international de ce sous-projet A.I.E. /5/, pour lequel nous avons rédigé en 1986 un résumé de l'avant-projet 1985-86 du Projet SOFAS /2/.

Quant à l'approche basée sur l'étude en laboratoire de composants de l'installation testée, les points suivants seront repris, lors de la rédaction en 1988 du rapport international A.I.E., des rapports antérieurs du Projet SOFAS /1/:

- mesure du coefficient de pertes thermiques de l'accummulateur
- bilan énergétique détaillé des chauffe-eau solaires expérimentaux installés à Hedingen (bilan sur une courte période et bilan annuel)
- simulation de ce bilan énergétique au moyen des programmes SIWW développés par l'Ecole d'ingénieurs de Berthoud (cette simulation a servi à la validation des programmes)

Les capteurs utilisés à Hedingen ont été testés en 1981 par nos soins.

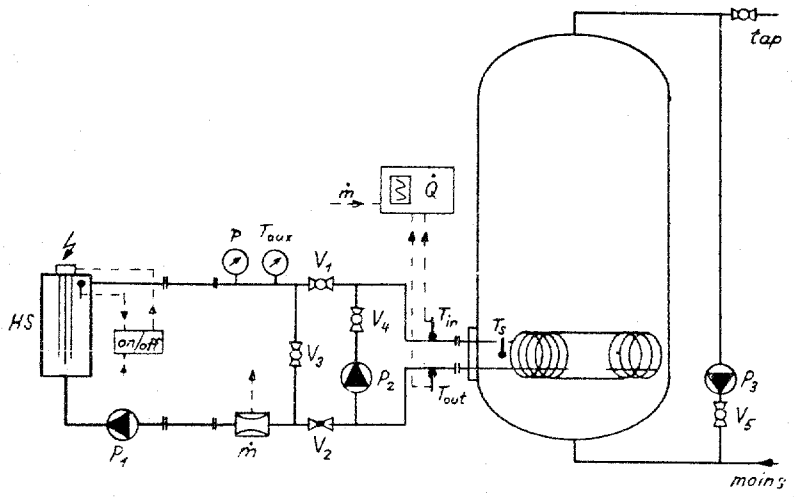


Fig. 1: Schéma de principe du dispositif de mesure. Le test a lieu en 2 temps: 1) avant t_0 défini à la Fig. 2: V_3 et V_4 ouvertes, V_1 fermée, P_1 et P_2 en service; 2) après t_0: V_3 et V_4 fermées, V_1 ouverte, P_1 seule en service. V_2 sert à ajuster le débit $\dot{m}$.

La méthode d'essai des échangeurs immergés, en cours de développement, a pour but la mesure du coefficient de transfert de chaleur (ou valeur K) de l'échangeur en fonction de différents paramètres. Suivant le modèle théorique adopté dans le programme de simulation, la grandeur à déterminer peut aussi être l'efficacité de l'échangeur. On désire effectuer les mesures sans devoir placer une sonde de température à la hauteur de l'échangeur dans le réservoir. Comme les différences de température en jeu sont de l'ordre de 10 K entre le circuit des capteurs et l'intérieur de l'accumulateur, il faut, pour atteindre une précision de quelques pourcents sur la valeur K, prendre des précautions particulières pour la mesure à ± 0,1 K près de la température de l'eau dans l'accummulateur: il faut assurer une température homogène autour de l'échangeur avant cette mesure par un brassage adéquat. Cette température est alors mesurée indirectement, en l'absence de transfert de chaleur du circuit des capteurs à l'accummulateur, par les sondes placées aux bornes de l'échangeur. On enclenche ensuite brusquement le courant de chaleur et utilise les deux mêmes sondes pour déterminer la température à l'entrée et à la sortie de l'échangeur pendant les 3 premières minutes du transfert de chaleur. Un compteur de chaleur mesure la puissance transferée, ce qui permet de calculer la valeur K de l'échangeur.

Un schéma du dispositif de mesure est donné à la Fig. 1. La Fig. 2 précise le principe de dépouillement des mesures et la Fig. 3 donne quelques résultats provisoires pour un échangeur à tube à ailettes parcouru, côté primaire, par un mélange eau/glycol 65%/35%. On voit que la valeur K dépend en premier lieu de la température de l'accummulateur, et moins fortement, pour ce type d'échangeur, de la puissance transférée et du débit dans le circuit primaire. Pour les essais, on choisira donc, pour ces derniers paramètres, des valeurs typiques des conditions d'exploitation réelles, tandis que les mesures seront effectuées à toutes températures. A titre de comparaison, nous avons aussi reporté à la Fig. 3 quelques points obtenus par une méthode de mesure plus classique utilisant 3 sondes de température: 2 aux bornes de l'échangeur et 1 dans l'accummulateur. La mesure étant faite en continu pendant le chauffage du stock au moyen de l'échangeur, la difficulté réside ici dans le positionnement de la sonde dans l'accummulateur pour que celle-ci indique une valeur représentative de l'ensemble du volume chauffé. Pendant l'échauffement, des inhomogénéités de température jusqu'à 2 degrés ont été observées à un instant donné.

Un rapport complet sera présenté à nos partenaires à la dernière réunion d'experts du Projet III /6/.

4. A propos de la collaboration internationale et de ses incidences sur les programmes nationaux.

La collaboration internationale a ses avantages et ses inconvénients. Grâce à la division du travail entre les partenaires du Projet III, les résultats acquis en matière d'essais de capteurs et d'installations solaires auront une portée assez générale malgré les moyens (trop) réduits à disposition. Mais ils auront été obtenus beaucoup plus lentement que prévu. Ainsi qu'il ressort de discussions que j'ai eues avec mes partenaires, il y a principalement deux causes à cela:

- les chercheurs du Projet III sont les derniers spécialistes en matière d'essai de capteurs et d'installations et ils sont absorbés par de nombreuses tâches plus nécessaires les unes que les autres dans leurs pays respectifs (p. ex. normalisation, expertises, rédaction de manuels, conseils aux fabricants, etc.). La "taille critique" des groupes de recherche n'est plus atteinte et l'engagement au niveau international en souffre. Dans plusieurs pays, dont la Suisse, il y a bien eu octroi de subsides ponctuels supplémentaires pour terminer honorablement le Projet III. Les chercheurs en sont reconnaissants, mais font remarquer en même temps que la recherche demande la continuité du financement et la stabilité de l'environnement de travail.

- il y eut souvent conflit d'intérêts entre le programme du Projet III, qui se développe de manière concertée au rythme des réunions d'experts, et les différents projets nationaux

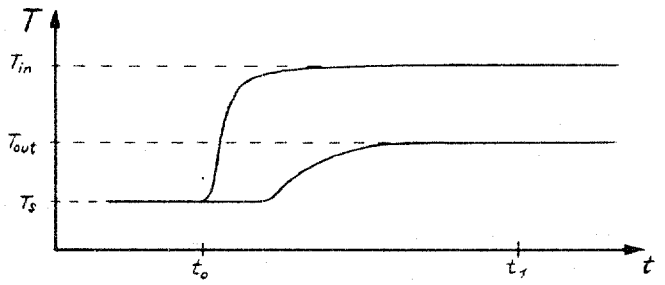


Fig. 2: Principe du dépouillement des mesures

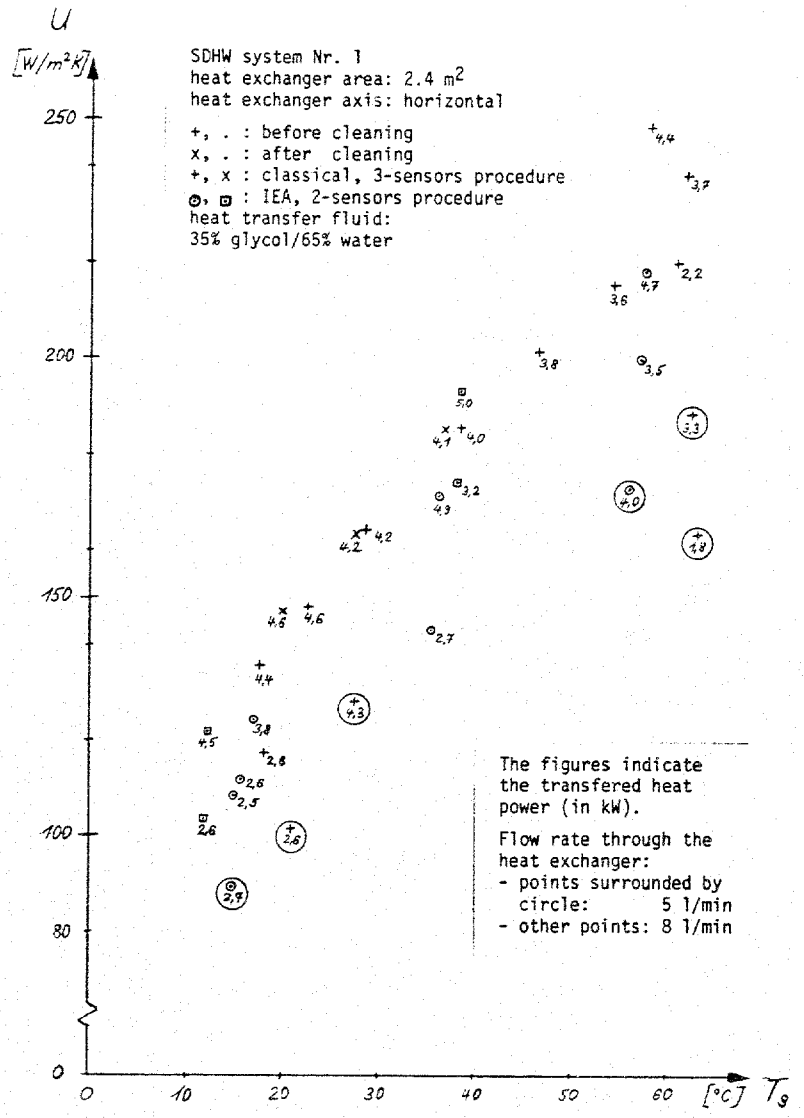


Fig. 3: Coefficient de transfert de chaleur d'un échangeur à tube à ailettes (cuivre), mesuré selon 2 méthodes

apparentés du Projet III, mais dont les programmes détaillés avaient été fixés d'emblée au départ, indépendamment du Projet III. La participation aux projets internationaux demande par définition une plus grande flexibilité dans les plans de travail de façon à pouvoir adapter ceux-ci continuellement, au fur et à mesure de l'élaboration du consensus international.

5. Références

/1/ Projet de recherches de la SOFAS "Praxisgerechte Regeln zur optimalen Planung und Ausführung von Sonnenenergieanlagen"
(mandat de l'OFEN)

/2/ Projet de recherches de la SOFAS "Kurztestmethode für Sonnenenergieanlagen" (mandat de l'OFEN)

/3/ V. Kyburz, J. Keller
Air collectors for hay drying and for air conditioning.
Outdoor experiments to determine the thermal and hydraulic performance of roof integrated and modular air collectors.
Contribution to the IEA Task III Experts Meeting,
June 29 - July 3, 1987, Kingston (Canada)

/4/ U. Frei, J. Keller, R. Brunner
Inspection procedure to check the system configuration and operational performance of active solar systems (DHW/space heating) 2nd draft, Dec. 87

/5/ Summary of national approaches to short-term SDHW systems testing.
IEA Task III Technical report, 1987 (B. Wood ed., Arizona State University, USA)

/6/ J.M. Suter, M. Brack
Development of a test procedure for immersed heat exchangers.
Contribution to the IEA Task III Experts Meeting,
Dec. 14-18, 1987, Sevilla (Spain)

6. Activités à encourager plus largement que jusqu'ici

En matière d'utilisation active de l'énergie solaire, on a atteint, en Suisse aussi, un niveau de développement et de connaissances réjouissant, grâce aux sommes importantes consacrées à la recherche. L'application pratique de ces connaissances n'est malheureusement que très partielle pour l'instant. Il faudrait intensifier l'effort de formation (continue et de base) en la matière, en commençant par la réalisation de la synthèse des connaissances acquises.[1] Cette synthèse est un travail de longue haleine et une affaire de spécialistes. Elle comprendra aussi l'analyse critique et la comparaison des résultats à disposition et intégrera, après adaptation éventuelle, les résultats obtenus à l'étranger (ce qui suppose le maintien des contacts internationaux). Les personnes qui la réaliseront seront avantageusement associées à l'enseignement ou au suivi des projets de recherche encore en cours.

---

[1] Le Programme d'impulsions "Installations techniques du bâtiment" a fait plusieurs pas dans cette direction

OFEN
BEW

PROJETS DE RECHERCHE ÉNERGÉTIQUE 1987
ENERGIE - FORSCHUNGS - PROJEKTE 1987

PLANUNG & AUSFÜHRUNG VON SOLARANLAGEN, PRAXISGERECHTE REGELN

Ziel des Projekts:
- Richtlinien (gemäss Titel) für solare Wassererwärmungsanlagen und kombinierte Anlagen für Wassererwärmung und Raumheizung
- Mit Messungen validierte Rechenmethoden für die Ermittlung de Zusatzenergieverbrauchs und des Ertrages "beliebig" dimensionierter Sonnenenergieanlagen der oben genannten Typen

Dauer des Projekts: Februar 1984 - März 1988

Beitragsempfänger: SOFAS, vertreten durch Ernst Schweizer AG

Berichterstatter: Dr.P. Schneiter, B. Schläpfer

Adresse: c/o Ernst Schweizer AG, Metallbau, 8908 Hedingen

Telephon: 01/763 61 11

1. Ziele für 1987

1.1 Teilprojekt Warmwasseranlagen

Basierend auf einer Parameterstudie mit den PC-Simulationsprogrammen der Ingenieurschule Burgdorf (ISB) waren 1987 Empfehlungen für die Planung solarer Wassererwärmungsanlgen zu erarbeiten und in einem Schlussbericht festzuhalten.

Die PC-Simulationsprogramme der ISB selbst waren so zu erweitern, dass neben den üblichen Ein- und Zweispeicheranlagen auch Anlagen mit Thermosyphon-Kollektorkreis und Anlagen mit Vakuum-Röhrenkollektoren simuliert werden können.

1.2 Teilprojekt Heizanlagen

Für die beiden 1986 in Dübendorf ausgemessenen kombinierten Anlagen für Warmwasser und Heizung setzten wir uns für das laufende Jahr das Ziel, theoretische Rechenmodelle zu entwickeln und diese mit den Messungen zu validieren.

2. Durchgeführte Arbeiten 1987

2.1 Teilprojekt Warmwasseranlagen

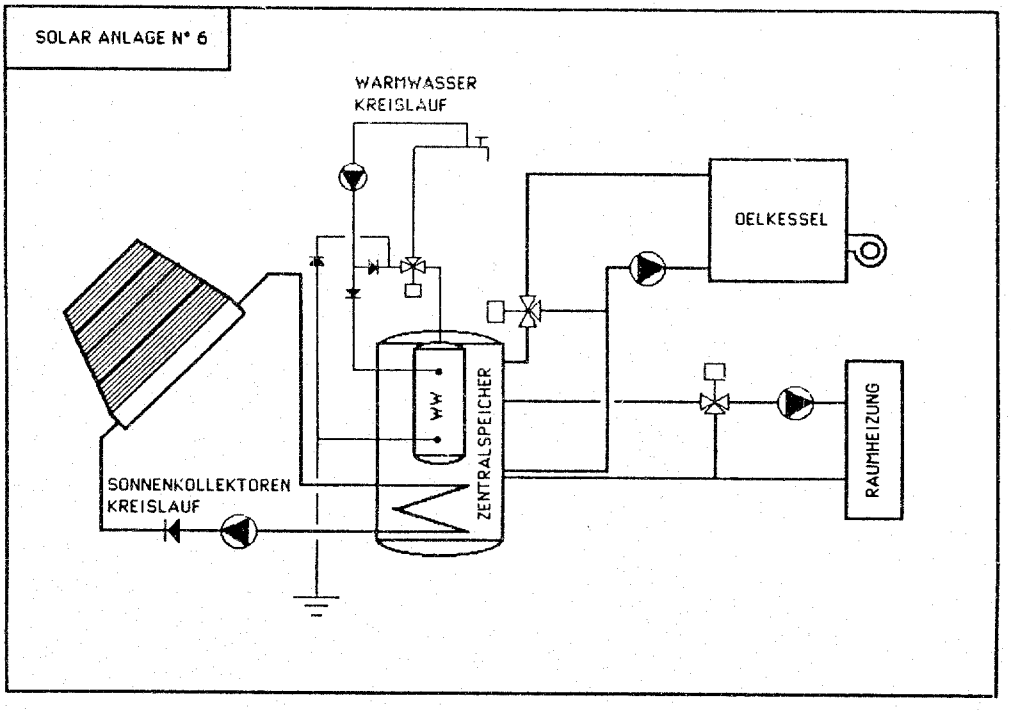
Die Parameterstudie wurde abgeschlossen. Sie umfasst die Untersuchung einfacher Anlagen mit nur einem Speicher. Die Ergebnisse wurden in einem ausführlichen Bericht /1/ festgehalten.
Zur Optimierung der Kollektorfläche wurde ein graphisches Verfahren entwickelt, welches für einen weiten Bereich von praxisgegebenen technischen und kostenseitigen Randbedingungen anwendbar ist. Auch für die übrigen technischen Anlagenparameter wurden Dimensionierungsrichtwerte gefunden. Die Ergebnisse wurden in der Kurzfassung des Berichts /2/ in Form einer Auslegungsmethode zusammengefasst.

Das PC-Programmpaket der ISB, welches bei INFOSOLAR, Postfach 311, 5200 Brugg, erhältlich ist, wurde an der Ingenieurschule Burgdorf durch folgende Programme erweitert: SIWW1N (numerische Simulation von Einspeicheranalgen), SIWWT (Thermosyphonanlagen) und SIWWTCWK (Hilfsprogramm). Ferner wurde das bestehende Bruttowärmeertragsprogramm BWE für Vakuum-Röhrenkollektoren erweitert.

2.2 Teilprojekt Heizanlagen

Die Modellierung der Kompaktanlage (Nr. 6) (siehe Figur 1) wurde durch die Firma SORANE SA Lausanne ausgeführt. Sie beruht auf dem bestehenden modularen Simulationsprgramm TRNSYS, welches durch spezielle Module insbesondere für den zentralen Speicher (mit mehreren Rohranschlüssen und eingebautem Wassererwärmer) und für die Heizungsregelung erweitert werden musste. Die Validierung mit den Messdaten von Dübendorf wurde durchgeführt. Die analogen Arbeiten sind zurzeit auch für die Anlage mit Direkteinspeisung ins Heizsystem (Nr. 7) im Gang.

Figur 1: Kompaktanlage für Warmwasser und Heizung



3. Erreichte Ergebnisse

3.1 Teilprojekt Warmwasseranlagen

Basierend auf einer ausführlichen Parameterstudie für solare Warmwasseranlagen mit einem Speicher wurde eine Auslegungsmethode für die Kollektorfläche erarbeitet. Sie umfasst folgende Vorgehensschritte:

a) Abklären der Randbedingungen des Gebäudes (Warmwasserverbrauch, Klima, Neigung und Orientierung für das Kollektorfeld)

b) Abklären der kostenseitigen Randbedingungen (Kostenstruktur der Anlage in Abhängigkeit der Kollektorfläche, Annuitätsfaktor, Zusatzenergiepreis, Energiepreis-Mittelwertfaktor zur Berechnung des für den Betrachtungszeitraum durchschnittlichen Zusatzenergiepreises)

c) Bestimmung der Kollektorfläche bei den oben ermittelten Randbedingungen. Dabei werden drei Varianten berücksichtigt:

- Bei vorgegebener maximaler Investitionssumme geht die Kollektorfläche aus der Kostenstruktur hervor.
- Bei vorgegebenen Anforderungen an die Einsparung kostenpflichtiger Energie kann sie anhand des zutreffenden Ertragsdiagramms (Beispiel siehe Figur 2) ermittelt werden.

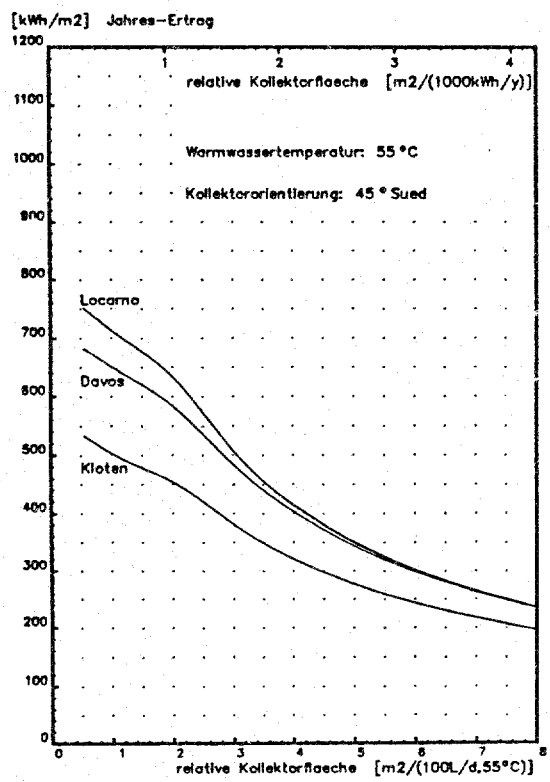
- Die optimale Kollektorfläche lässt sich mit dem graphischen Verfahren bestimmen. Sie führt zu minimalen Gesamtkosten (Kapitalkosten und Zusatzenergiekosten). Bei grösseren Anlagen und üblichen Randbedingungen sind oft etwa 2 m2 Kollektoren pro 100 Liter Tages-Warmwasserverbrauch optimal.

d) Beurteilung der Dimensionierung anhand des zu erwartenden Ertrages (Figur 2) oder der solaren Deckungsrate oder anhand des Sonnenenergiepreises(Figur 3)

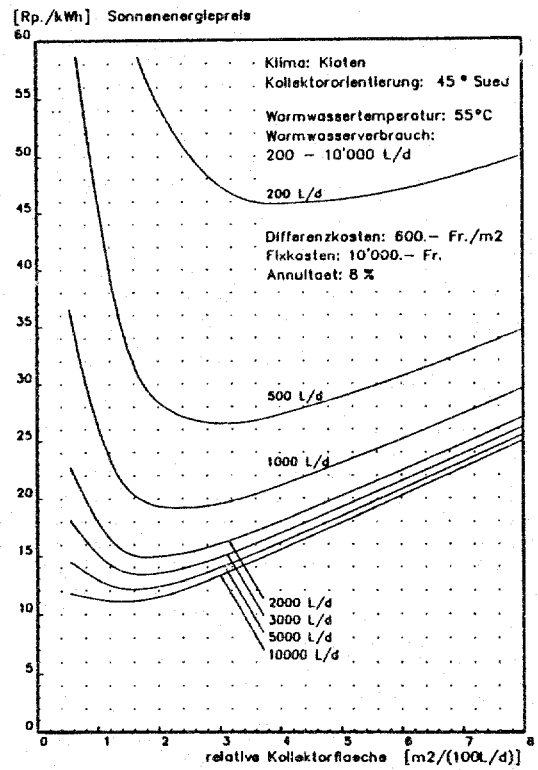
Figur 2 zeigt ein Beispiel des jährlichen Anlagen-Ertrages bezogen auf 1 m2 Kollektorfläche in Abhängigkeit der "relativen Kollektorfläche" (Verhältnis Kollektorfläche zu Warmwasserverbrauch). Bei 2 m2 pro 100 L/d beträgt der Jahres-Ertrag in Kloten rund 450 kWh/m2, in Davos und Locarno rund 600 kWh/m2.

Als weiteres Beispiel zeigt Figur 3 den Sonnenenergiepreis in Abhängigkeit der bereits oben erwähnten "relativen Kollektorfläche" für das Klima von Kloten und für folgende Kostenstruktur: Die Mehrkosten der Solaranlage betragen Fr. 10'000.-- (Fixkosten) plus Anzahl m2 Kollektoren mal 600.-- Fr./m2 (Differenzkosten). Wir erkennen, dass der Sonnenenergiepreis bei kleinen Anlagen (Kurven für kleinen Warmwasserverbrauch) bedeutend höher ist als bei Grossanlagen. In Grossanlagen ab rund 2000 Liter Tages-Warmwasserverbrauch sinken die Sonnenenergiepreise in Kloten in den Bereich 10 - 15 Rp./kWh, in Davos und Locarno entsprechend tiefer.

Figur 2: Anlagen-Ertrag



Figur 3: Sonnenenergiepreis



Neben der Auslegungsmethode für die Kollektorfläche werden im Bericht /2/ auch Richtwerte für die übrigen Analgenparameter empfohlen und die Auswirkung allfälliger Abweichung von den Richtwerten aufgezeigt.

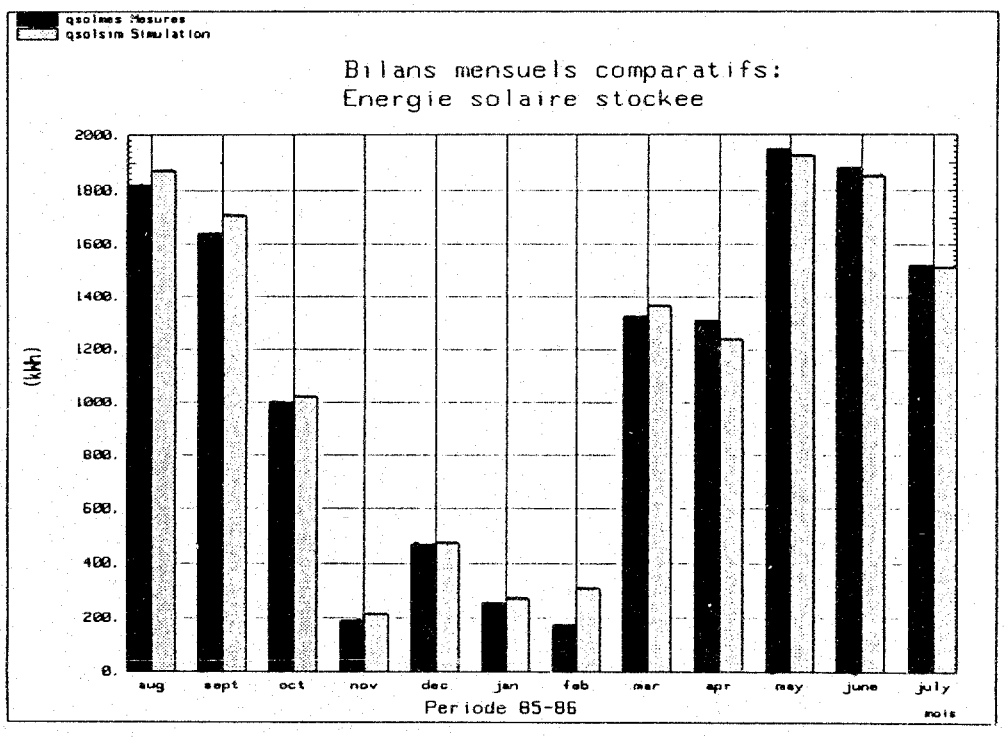
3.2 Teilprojekt Heizanlagen

Der Vergleich der monatlichen Energiebilanzen der gespeicherten Sonnen-Energie (Figur 4) sowie der vom Oelkessel an den Speicher abgegebenen Energie (Figur 5) zeigt, dass die Genauigkeit des Modelles während des ganzen Jahres zufriendenstellend ist.

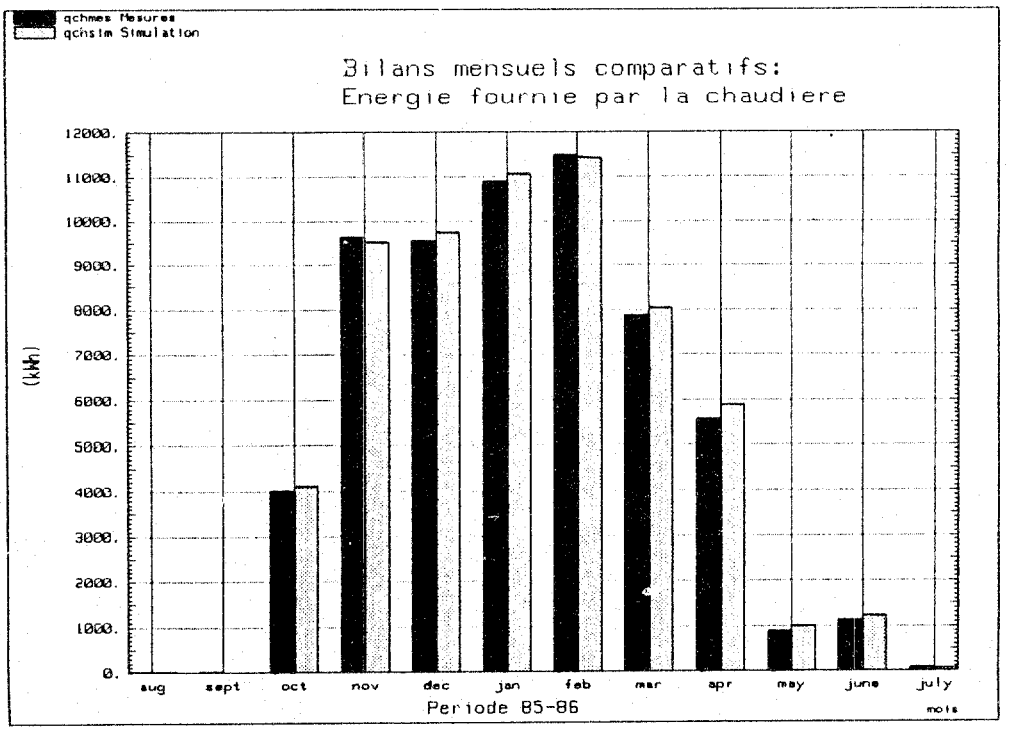
Mit Ausnahme der Monate Februar und November, wo die Sonnenenergie vernachlässigbar klein ist, liegt der Unterschied zwischen der gemessenen und der gerechneten Sonnenenergie bei weniger als 6 %. Was die vom Oelbrenner abgegebene Energie betrifft, liegt der Fehler des Modelles für alle Monate der Heizperiode unter 6 %.

Der Vergleich des Temperaturverlaufs im Innern des zentralen Speichers zeigt während der ganzen Periode eine gute Uebereinstimmung der gerechneten mit den gemessenen Werten.

Figur 4: Gespeicherte Sonnenenergie (Messung - Simulation)



Figur 5: Energie aus dem Oelkessel (Messung - Simulation)



4. Veröffentlichungen

/1/ B.Schläpfer, P.Schneiter, K.Wellinger
"Planung solarer Wassererwärmungsanlagen"
Hedingen, November 1987
Bezugsquelle: INFOSOLAR, Postfach 311, 5200 Brugg

/2/ B.Schläpfer, P.Schneiter, K.Wellinger
"Planung solarer Wassererwärmungsanlagen, Kurzfassung"
Hedingen, Dezember 1987
Bezugsquelle: INFOSOLAR, Postfach 311, 5200 Brugg

/3/ B.Schläpfer, K.Wellinger
"Guidelines for Optimal Planning of Solar Energy Systems"
Beitrag zur "European Conference on Architecture"
der Commission of the European Communities,
München, April 1987

/4/ M.O.Nilsson, C.Calatayud, P.Bremer, L.Keller
"Effects of Control Strategies on Solar Fraction, a Measured Comparison"
Beitrag zum "International Congress on Building Energy Management"
Lausanne, September 1987

/5/ M.Zogg, M.Rieder, Ch.Zahnd, M.Arnet
"Handbuch zum PC-Programmpaket SIWW zur Auslegung solarer Warmwasserbereitungsanlagen (Version 3.00)
Bezugsquelle: INFOSOLAR, Postfach 311, 5200 Brugg

OFEN PROJETS DE RECHERCHE ÉNERGÉTIQUE 1987

BEW ENERGIE - FORSCHUNGS - PROJEKTE 1987

KURZ - TEST - METHODE FÜR SOLARANLAGEN

Ziel des Projekts:

Die Kurztestmethode hat zum Ziel, den jährlichen Zusatzenergiebedarf einer im Betrieb stehenden Sonnenenergieanlage für Warmwasser und Raumheizung zu ermitteln. Dazu soll der Test Auskunft geben über die Leistungsfähigkeit der wichtigsten Komponenten der Anlage, damit bei schlechtem Deckungsgrad die Ursache eingekreist werden kann. Die Testkosten sollen möglichst klein sein.

Dauer des Projekts: Herbst 1986 - Frühjahr 1989

Beitragsempfänger: EGGENBERGER BAUPHYSIK AG

Berichterstatter: A. Eggenberger

Adresse: Brunnmattstr. 6, 3401 Burgdorf 1

Telephon: 034/22 06 61

1. ZIELPUNKTE UND DURCHGEFÜHRTE ARBEITEN 1987

In der Berichtsperiode war beabsichtigt, die Hochrechnungssoftware zu evaluieren und die Entwicklung an einen Unterauftragnehmer zu vergeben. Dies erfolgte mit Vertragsabschluss am 19.2.1987 mit der Ingenieurschule Burgdorf, Herr Dr. M. Zogg.

Als weiterer Schritt war beabsichtigt, das Messkonzept, basierend auf den Forderungen des Vorprojektes und den Forderungen der Hochrechnungssoftware zu entwerfen und zu optimieren. Zur Zeit sind wir an der Bereinigung der Offerten für das Teilprojekt Messwertverarbeitung und Messwerterfassung, um eine Arbeitsvergebung vornehmen zu können. Der Entwurf des Messkonzeptes erfolgt erst nach diesem Schritt. Es ist eine zeitliche Verzögerung vorhanden (vergl. Punkt 2.4).

2. ERREICHTE ERGEBNISSE

Gemäss den erarbeiteten Teilkonzepten unterteilen wir das Projekt KTSA in drei Teilprojekte

- Messdatenerfassung
- Messdatenverarbeitung
- Anlagesimulation (Hochrechnung auf Jahresbilanz)

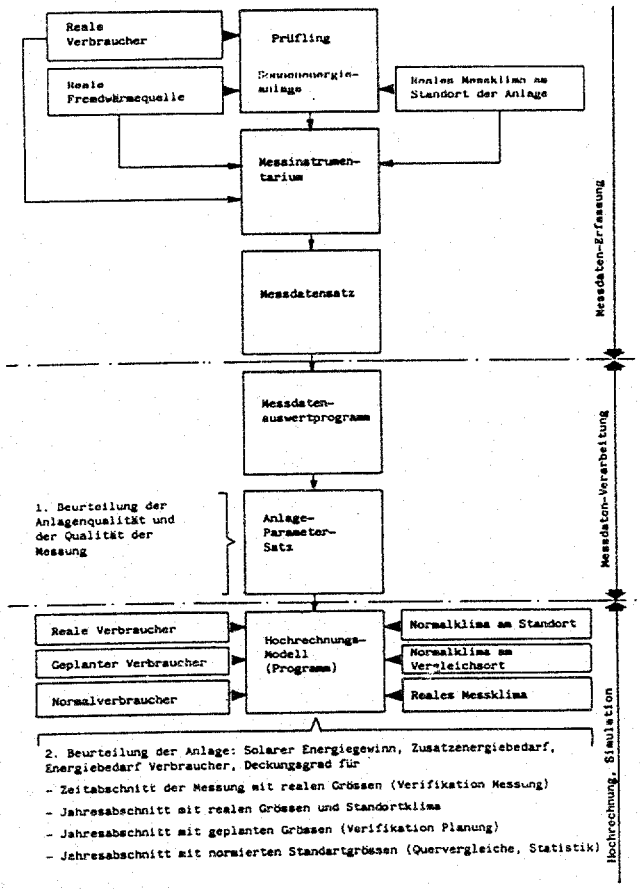


Bild 1: Testkonzept und Datenflussdiagramm

Die Testmethode konzentriert sich im Rahmen dieses Projektes auf die drei Anlagetypen gemäss Bild 2, 3 und 4.

Von den im Vorprojekt erfassten 182 Anlagen decken wir mit dieser Auswahl 135 Anlagen (entsprechend 75 %) ab.

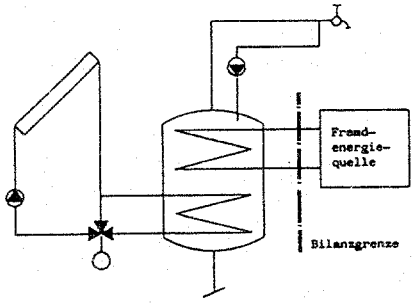


Bild 2: Anlage A

Warmwasseranlage mit einem Speicher

(Programmpaket SIWW1)

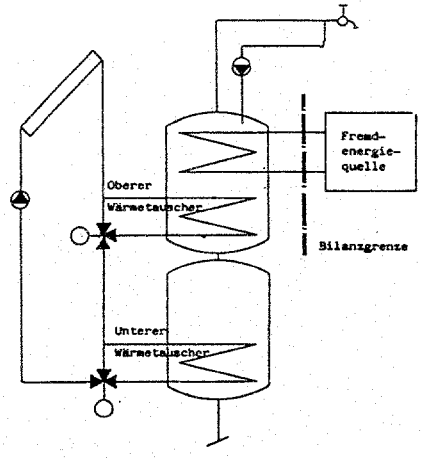


Bild 3: Anlage B

Warmwasseranlage mit zwei Speichern

(Programmpaket SIWW2)

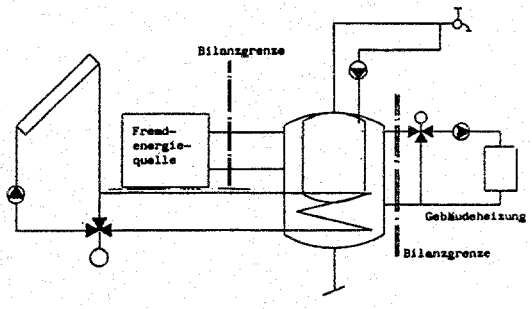


Bild 4: Anlage C

Kombinierte Warmwasser- & Heizanlage mit einem Speicher

(Programmpaket im Aufbau)

2.1 Teilprojekt Hochrechnung

Seit 1. August 87 ist dieses Teilprojekt in Arbeit. Der Auftrag ging an die Ingenieurschule Burgdorf (ISB), unter der Projektleitung Dr. M. Zogg, Abt. Maschinentechnik. Die Solaranlagen Typ A und B sind durch die Programmpakete SIWW1 und SIWW2 beschrieben. Diese Programme müssen für die Testmethode umgebaut und erweitert werden.

Für die Anlage C sind die Spezifikationen erstellt und vom begleitenden Projektkomitee begutachtet worden. Der Programm-Modul für die thermische und hydraulische Speicherbewirtschaftung ist lauffähig.

Die Simulation der Gebäudeheizung und die Wechselwirkung zwischen Heizung und Gebäude, sowie deren Rückwirkung auf die Solaranlage sprengt den Rahmen dieses Projektes. Es wird versucht, dieses Modul durch ein vorgegebenes Lastprofil zu ersetzen. Darunter verstehen wir die Simulation des realen Gebäudes auf einem grösseren Rechner mit bestehenden Simulationsprogrammen. Der Output dieser Simulation (Klimadaten, Uhrzeit, Wärmebedarf, Vorlauftemperaturen) wird als Input bei der Anlage C verwendet. In einem späteren Zeitpunkt kann diese Behelfslösung durch eine allgemein gültige ersetzt werden. Im Kurztest wird das Lastprofil des realen Gebäudes gemessen. Die Problematik liegt hier jedoch in der Umlegung der Daten aus einer zeitlich kurzen Periode auf eine ganze Heizperiode.

(Literatur: Zogg, M., Rieder, M., Zahnd, Ch.: Auslegung von solaren Warmwasseranlagen auf dem PC; Technische Rundschau, 1986 (Nr. 35, S. 52 - 60)

2.2 Teilprojekt Messwertverarbeitung

Dieses Teilprojekt ist das Kernstück der Testmethode. Es beinhaltet die Analyse des Prozesses und das Konzept der Methode.

Die Messwert-Verarbeitung ermittelt aus den bereinigten Messdaten einen Anlageparametersatz und alle notwendigen Daten, die von der Hochrechnungs-Software als Input benötigt werden.

Dieses Teilprojekt befindet sich in der Vergebungsphase

2.3 Teilprojekt Messdatenerfassung

Dieses Teilprojekt setzt die Bedingungen des Teilprojektes Messdatenverarbeitung in konkrete Hardware um. Es beinhaltet auch die Feldmessungen.

Die Hauptarbeit an diesem Teilprojekt beginnt erst ab Frühjahr 1988. Zur Zeit wird geprüft, ob sich eine organisatorische und technische Einheit mit dem obigen Teilprojekt ergeben könnte.

2.4 Projektentwicklung

Das Projekt erleidet eine zeitliche Verzögerung um ca 3/4 Jahre. Es wird erst im Frühjahr 1989 abgeschlossen. Die Hauptgründe liegen in den Kapazitäten der beteiligten Firmen, aber auch in den Kapazitäten der Branche. Z.B. wurden auf elf Offerteinladungen zum Teilprojekt Messdatenverarbeitung nur gerade zwei vollständige, und zwei Teilofferten eingereicht. Einer sagte schriftlich die Teilnahme ab, sechs reagierten überhaupt nicht. Wir haben Mühe, kompetente Fachleute für den geplanten Zeitraum zu finden. Wir müssen das Projekt zeitlich den Unterauftragnehmern anpassen.

Auch zeigen die verbindlichen Offerten, dass der drastisch gekürzte Forschungskredit nicht ausreicht, um eine ausgetestete, einsatzbereite Testmethode bereitzustellen. Es wird beim improvisierten Nachweis der Machbarkeit bleiben müssen.

Diese Einschränkung ist keine neue Erkenntnis, sie wird nur laufend bestätigt. Das Projekt ist diesbezüglich in Ueberarbeitung.

3. Das Projekt im internationalen Rahmen

Unser Projekt KTSA ist in das IEA Solar-Projekt Task III, eingegliedert. Die Testphilosophie ist jedoch komplementär zu derjenigen der IEA: Wir streben Feldtest, die IEA Labortest an. Das IEA-Projekt läuft dieses Jahr aus.

Wir stellten am ISES-Kongress 1987 in Hamburg fest, dass auch in der Bundesrepublik Deutschland Anstrengungen zur Erarbeitung von Kurztestmethoden gemacht werden.

Vier wesentliche Merkmale konnten wir feststellen:

a. Es sind für Feldtests zwei Methoden möglich:
   - Input/Output-Methode mit Ja/Nein-Auskunft
   - Methode mit Messung von Anlageparametern und Hochrechnung über Simulationsprogramm

   Langfristig dürfte sich die zweite Methode durchsetzen. Diese entspricht in der Philosophie und der Testveranlagung unserer KTSA.

b. Die Mittel für das BRD-Projekt stehen noch nicht bereit. Es wird für Ende 87/Anfang 88 mit der Mittelfreigabe gerechnet.

c. Die Wahl der Simulationsprogramme ist noch nicht getroffen.

d. Das Projekt soll die Grundlage für eine DIN-Norm ergeben.

Für eine Koordination der Arbeiten Schweiz - BRD und einen Erfahrungsaustausch spricht vieles. Nebst befruchtendem Erfahrungsaustausch und Vermeidung von Doppelspurigkeiten (Kosten) ist die Angleichung der Testverfahren BRD (DIN) und der Schweiz erstrebenswert.

Eine Prüfung der Möglichkeiten ergab:

- Einem Erfahrungsaustausch zwischen den Projekten steht nichts im Wege.
- Unser Projekt KTSA soll wie geplant durchgezogen werden. Dadurch sammeln wir wesentliche Erfahrungen, die uns eine spätere, allfällige Koordination mit der BRD erleichtern. Zum zweiten müssen wir den Nachweis der Tauglichkeit der Testmethode zuerst erbringen, bevor über eine Normierung gesprochen werden kann.
- Beim Abschluss des Projektes KTSA können wir klar sagen, wie die Testmethode sein muss, die praxisgerecht und technisch richtig ist. Eine allfällige Ueberarbeitung der Testmethode, auch im Hinblick auf eine koordinierte Normierung, ist einem weiteren Schritt möglich und wünschbar.

4. VERÖFFENTLICHUNGEN

Noch keine

5. NEUE FORSCHUNGSARBEITEN

Zur Zeit haben wir keine neuen Anregungen für weiterführende Forschungsarbeiten. Wir möchten nochmals auf die Verlautbarung im vorjährigen Jahresbericht 1986, Ziffer 5, hinweisen.

EGGENBERGER BAUPHYSIK AG

A. Eggenberger

OFEN
BEW

PROJETS DE RECHERCHE ÉNERGÉTIQUE 1987
ENERGIE - FORSCHUNGS - PROJEKTE 1987

LEISTUNGSVERGLEICH AUSLÄNDISCHER BILLIGKOLLEKTOREN MIT SCHWEIZERISCHEN PRODUKTEN

Ziel des Projekts : Vergleich von Leistung und Lebensdauer verschiedener Flachkollektoren (Ausländische Billigprodukte kontra Schweizerprodukte)

Dauer des Projekts: 1.1.1987 bis 1.3.1988

Beitragsempfänger : Interkantonales Technikum Rapperswil
Berichterstatter : U.Frei
Adresse : Oberseestrasse 10, CH-8640 Rapperswil
Telephon : 055/21'91'41

1. Anvisierte Zielpunkte für 1987

Lebensdauerprüfstand:

Detaillierte Auswertung der Messresultate der ersten Charge. (Beginn: 10.10.1985, Ende: 10.10.1986) Wie weit decken sich die visuellen Veränderungen mit den Messergebnissen?

Wie gut sind Billigkollektoren (Fr. 150.-- bis max. Fr. 250.-- pro m^2) im Vergleich zu einem schweizerischen Qualitätsprodukt in Bezug auf deren Leistung und Lebensdauer?

Anmerkung:

Auf dem Lebensdauerprüfstand wurden immer 2 Kollektoren des selben Fabrikats simultan geprüft (Fabrikat 1 aus Spanien: Kollektoren 1 und 2, Fabrikat 2 aus Schweden: Kollektoren 3 und 4, Schweizer Fabrikat 3: Kollektoren 5 und 6).

Stagnationsprüfstand:

Untersuchung des Langzeitverhaltens neuer Kollektorfabrikate.

2. Durchgeführte Arbeiten

Lebensdauerprüfstand:

Der Betrieb der Anlage erfordert neben der täglichen Kontrolle verschiedenste Unterhaltsarbeiten von ca. 6 Stunden pro Woche. Dank der intensiven Betreuung konnten die Betriebsausfälle auf wenige Tage pro Jahr reduziert werden.

Die Messresultate der Charge 1 wurden grösstenteils ausgewertet; die noch fehlende Software wird zur Zeit erstellt. Für die Interpretation der einjährigen Prüfung wurde der Normentwurf "Methoden für die Prüfung der Qualität und der Lebensdauer von Sonnenkollektoren" mit einem Punktbewertungssystem für die Bestimmung des Qualitätsniveaus ergänzt. Ebenfalls enthalten ist die Abschätzung der zu erwartenden Lebensdauer.

Stagnationsprüfstand:

6 Kollektoren wurden mit Temperaturfühlern ausgerüstet und auf dem Stagnationsprüfstand exponiert.

3. Erreichte Ergebnisse

Lebensdauerprüfstand

Auswertung der Charge 1

Die visuell erkennbaren Veränderungen an den 3 geprüften Fabrikaten wurden bereits im letzten Jahresbericht vorgestellt. Wie weit diese Veränderungen durch die Messresultate bestä-

tigt werden, wird nachfolgend beschrieben.

Fabrikat 1: Massive Verschlechterung der Kennwerte, durch das Eindringen von Feuchtigkeit in das undichte Kollektorgehäuse. Zudem ist der Kollektor nicht gezielt belüftet, was die Austrocknung der internen Feuchte verunmöglicht. Der gravierende Abfall des Wirkungsgrades ist hauptsächlich auf die durch Kondensationsniederschlag bedingte Reduktion des Transmissionsgrades zurückzuführen. Der Einfluss der Feuchte auf den K-Wert ist wesentlich geringer als erwartet.

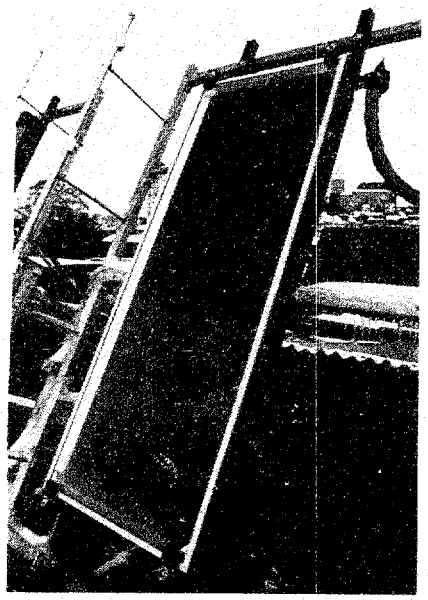


Fig. 1 Fabrikat 1 ohne Kondensationsniederschlag

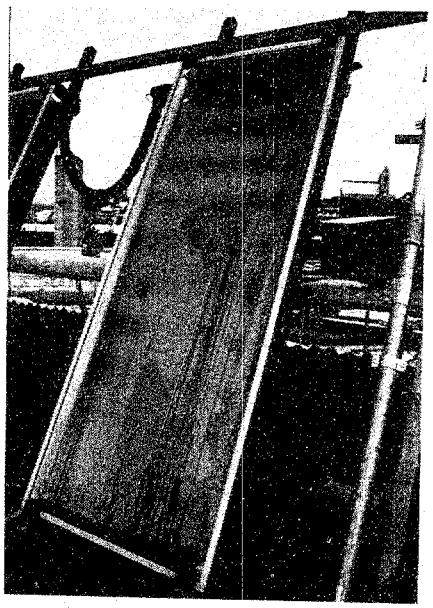


Fig. 2 Fabrikat 1 mit Kondensationsniederschlag

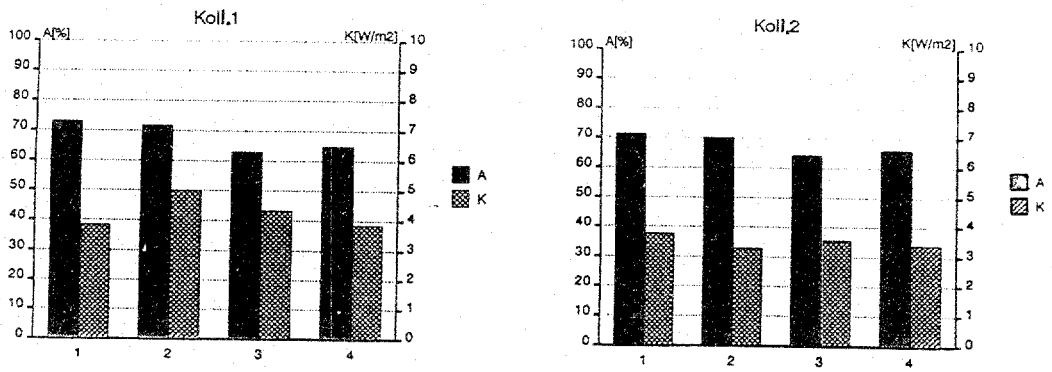


Fig. 3 Wirkungsgrad A und K-Wert im Verlauf der einjährigen Prüfung (Mittelwerte der Quartale 1 - 4) der beiden spanischen Kollektoren (Koll. 1 und Koll. 2).

Fabrikat 2: Wie in Figur 4 ersichtlich verändern sich die Kennwerte im Verlauf der Prüfung ebenfalls. Das massive An-

steigen des K-Wertes des Kollektor 4 im dritten Quartal kann mit Hilfe der visuellen Veränderungen nicht erklärt werden.

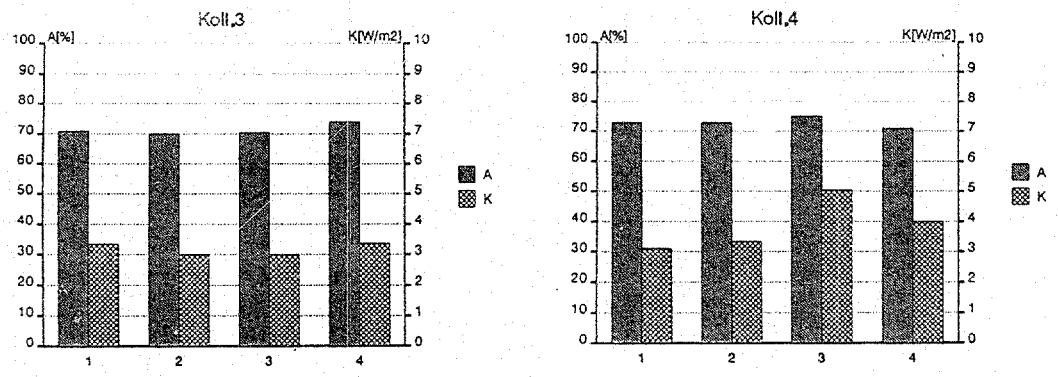


Fig. 4 Wirkungsgrad A und K-Wert im Verlauf der einjährigen Prüfung (Mittelwerte der Quartale 1 - 4) der beiden schwedischen Kollektoren (Koll.3 und Koll.4).

Fabrikat 3: Beide exponierten Kollektoren zeigen exakt das selbe Verhalten. Der Wirkungsgrad sinkt um beinahe 5%; der K-Wert verändert sich während der gesamten Testperiode nicht wesentlich.

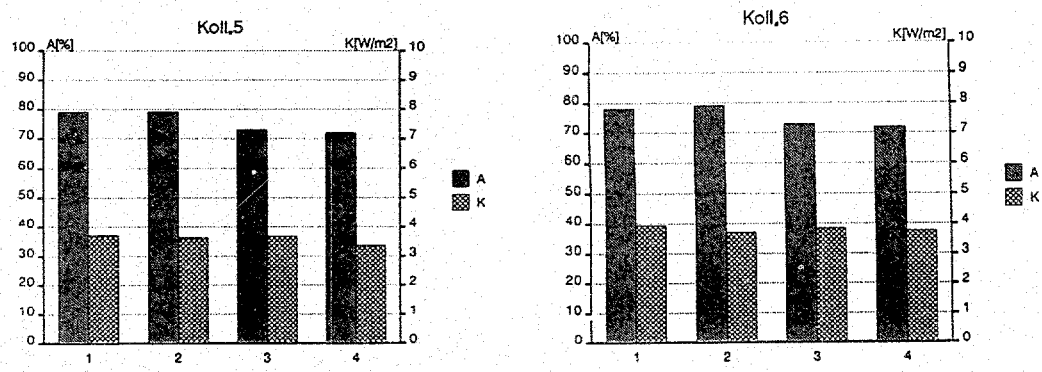


Fig. 5 Wirkungsgrad A und K-Wert im Verlauf der einjährigen Prüfung (Mittelwerte der Quartale 1 - 4) der beiden Schweizer Kollektoren (Koll.5 und Koll.6).

Auswertung der Charge 2:

Ziel der Charge 2 war es, die Qualität von ausländischen Billigkollektoren, mit der eines teuren, anerkannten Schweizerprodukts zu vergleichen. Kernpunkt ist dabei die Frage, ob diese Billigkollektoren unter unseren klimatischen Bedingungen, die minimale geforderte Lebensdauer von 15 Jahren erreichen können. Die Daten sind noch nicht im Detail ausgewertet, da die Messungen erst Ende Dezember abgeschlossen wurden.

Fabrikat 1: Die aus Spanien stammenden Kollektoren haben die ersten 8 Monate problemlos überstanden; danach bildete sich im einen Kollektor Kondensationsniederschlag welcher, auf die mangelnde Belüftung des Elements hindeutet. Der hohe Feuchtegehalt im Innern bewirkte Korrosionsangriffe am Rahmen. Wie weit diese Korrosion die Lebensdauer des Elements einschränkt, kann erst nach der Demontage des Kollektors beurteilt werden. Leistungsmässig liegt der Kollektor im Bereich der heute üblichen einheimischen Produkte.

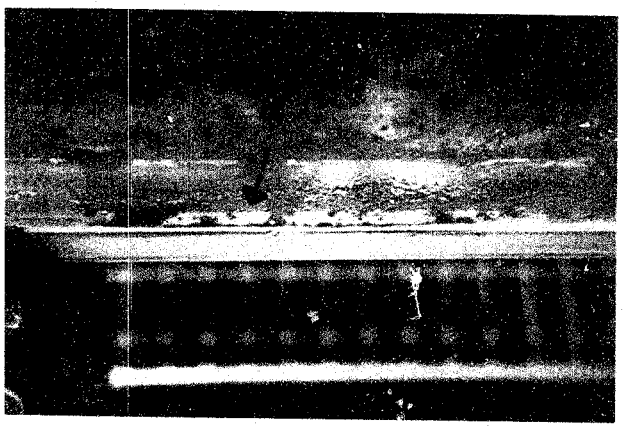


Fig. 6 Korrosion am Rahmen

Fabrikat 2: Der schwedische Kollektor überzeugt durch sein geringes Gewicht und den einfachen Aufbau. Leider ist die Abdeckung nur sehr bedingt geeignet; bereits nach wenigen Wochen wurden grüne Verfärbungen sichtbar (Algenbildung in der Doppelstegplatte). Lobenswert ist die gute Belüftung, welche jede Kondensationsbildung verhindert.
Der Wirkungsgrad ist deutlich schlechter als derjenige heute üblicher inländischer Produkte, was hauptsächlich auf die geringe Transmission der Abdeckung zurückzuführen ist.

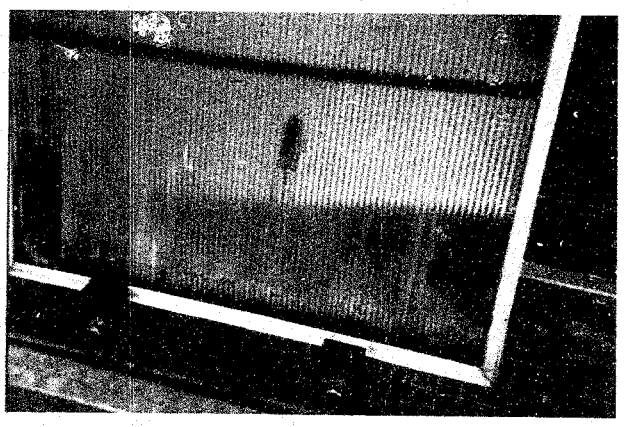


Fig. 7 Verfärbung der Abdeckung

Fabrikat 3: Das als Referenz gewählte Schweizerprodukt zeigte bereits nach wenigen Tagen deutliche Schwachpunkte. Der Absorber des einen Kollektors verformte sich bei Erwärmung derart, dass er die Abdeckung berührte. Beide Kollektoren waren undicht gegen Regenwasser, was zu massiver Kondensationsbildung führte. Die Kennwerte waren zu Beginn der Prüfung geringfügig besser als diejenigen des spanischen Produkts.

Fig. 8 Kondensationsniederschlag an der Abdeckung

Stagnationsprüfstand

Es liegen noch keine Resultate vor.

4. Zusammenarbeit innerhalb der IEA

Das Projekt bildet einen Teil des schweizerischen Beitrags zum Task III des "Solar Heating and Cooling Program" der Internationalen Energie Agentur (IEA). Als Abschlussarbeit wurde in Zusammenarbeit mit der Fa. Dr. Brunner und Partner sowie dem EIR ein Beitrag zur Subtask E geleistet (siehe Kp.5). Mangels weiterer aktiver Zusammenarbeit können keine konkreten Vor- oder Nachteile angeführt werden.

5. Veröffentlichungen

U.Frei, J.Keller, R.Brunner; Inspection procedure to check the system configuration and operational performance; IEA Task III, Subtask E; Dezember 1987

6. Neue Forschungsarbeiten

Verhinderung von Kondensationsbildung in Flachkollektoren durch optimale Belüftung

Der Berichterstatter:

U. Frei, Projektleiter

OFEN
BEW

PROJETS DE RECHERCHE ÉNERGÉTIQUE 1987
ENERGIE - FORSCHUNGS - PROJEKTE 1987

NEUE MATERIALIEN ZUR VERBESSERUNG VON LEBENSDAUER & BETRIEBSSICHEREIT VON SOLARANLAGEN

Ziel des Projekts : Einsatz neuer Materialien zur Verbesserung von Lebensdauer und Betriebssicherheit von Solaranlagen

Dauer des Projekts: 1.1.1986 bis 31.12.1990

Beitragsempfänger : Interkantonales Technikum Rapperswil
Berichterstatter : U.Frei
Adresse : Oberseestrasse 10, CH-8640 Rapperswil
Telephon : 055/21'91'41

1. Anvisierte Zielpunkte

Infrastruktur

Charakterisierung der optischen und thermischen Eigenschaften von Absorber- und Abdeckungsmaterialien mit Hilfe von diversen Spektrometern. Entwicklung und Erstellung der notwendigen Hard- und Software für den routinemässigen Betrieb.
Hard- und Softwareentwicklung für den automatischen Betrieb der Klimakammer sowie der Simulation beliebiger Klimaverläufe.

Absorberbeschichtungen

Entwicklung geeigneter beschleunigter Alterungstests als Basis für die Lebensdauerabschätzung.
Untersuchung der Einsatzgrenzen industriell hergestellter Absorberbeschichtungen.

Wärmeträgerflüssigkeiten

Verhalten von Ethylen- und Propylenglykolen im Einsatzbereich von Vakuumröhrenkollektoren um 180°C.
Untersuchung von neu auf dem Markt erschienen Wärmeträgerflüssigkeiten in Bezug auf ihren Korrosionsschutz.
Einfluss der Chloride im zugemischten Wasser auf das Korrosionsschutzverhalten bei der Verdünnung von konzentriertem Glykol zu Gebrauchsmischungen.

Transparente Abdeckungen

Bei welchen, der in Rapperswil und Davos exponierten Abdekkungsmaterialien, ist bereits eine signifikante Reduktion des Transmissionsgrades zu verzeichnen? Wie ist das Verhalten von Kunststoffen im Vergleich zu Gläsern?

2. Durchgeführte Arbeiten 1987

Infrastruktur

Entwicklung und Bau eines Spektrometers für den Wellenlängenbereich von 0.3 bis 2.5µm mit einer Ulbrichtschen Kugel für die Messung der normalen-hemisphärischen Transmission.
Erweiterung des Infrarot-Spektrometers mit einer diffusgoldbeschichteten Ulbrichtschen Kugel für die Messung der normalen-hemisphärischen Reflektion und der normalen-hemisphärischen Transmission (die meisten Teile für diese Erweiterung wurden freundlicherweise durch die Werkstatt des EIR gefertigt).
Für die Auswertung der Daten wurde die Software erstellt.
Die Klimakammer wurde mit einem Computer für die Simulierung beliebiger Klimaverläufe ergänzt.

Absorberbeschichtungen

In Zusammenarbeit mit der Universität Stuttgart wurden in der Berichtsperiode die Hauptuntersuchungen an 6 verschiedenen, industriell hergestellten Absorberbeschichtungen durchgeführt. Neben Temperatur und Feuchtetests wurden in der Klimakammer extreme Betriebszustände simuliert und deren Einfluss auf die diversen Beschichtungen untersucht. Da auch innerhalb der Internationalen Energie Agentur (IEA), Task X (SHAC-Programm),ein starkes Interesse an Absorberbeschichtungen besteht wurde ein internationales Programm definiert (siehe Kp.4). Als erste Aktivität wurde ein Round Robin Messprogramm,an dem sich die Schweiz ebenfalls beteiligte, durchgeführt.

Wärmeträgerflüssigkeiten

An der EMPA wurden die 4 Testloops für die Untersuchung von Wärmeträgerflüssigkeiten bei 180°C betrieben. Bedingt durch grosse Probleme mit den Zahnradpumpen der Fa.Maag musste eine Verzögerung von ca. 2 Monaten in Kauf genommen werden.
Die Resultate der Versuche sind nur bedingt brauchbar, da bei den ständigen Reparaturarbeiten an den Pumpen Versuchslösung verloren ging und durch neue Flüssigkeit ersetzt werden musste. Der Versuch wird mit neuen Pumpen eines anderen Herstellers wiederholt!
Die Prüfungen neuer Produkte sowie Versuche mit Lösungen unterschiedlichen Chloridgehalts sind in Betrieb.

Transparente Abdeckungen

Die Prüfstände in Rapperswil und Davos wurden weiter betrieben und unterhalten. Von den insgesamt über 700 exponierten Proben (ca. 70 verschiedene Materialien) wurden die ersten 120 nach 30 bzw.130 Sonnentagen (G=4000Wh) im Spektralbereich von 0.3 bis 2.5 µm gemessen und die Daten ausgewertet. Die Messung einer Probe dauert ca. 20 bis 25min.

3. Erreichte Ergebnisse

Absorberbeschichtungen

Die untersuchten industriell hergestellten Absorberbeschichtungen representieren die heute weltweit eingesetzten Materialien. In der Abbildung 1 sind als Beispiel die Auswirkungen eines beschleunigten Alterungstests auf 2 Absorbermaterialien dargestellt. Der durchgeführte Alterungstest beinhaltet eine starke Belastung durch Feuchte, wie sie in einem Kollektor auftreten kann. Die kanadische Beschichtung "Sunstrip" wird heute in verschieden Kollektorfabrikaten, auch in der Schweiz, eingesetzt. Die Belastung verursacht starke Degradationen, die sich im markanten Anstieg der Emission zeigt. Im Gegensatz dazu ist die Schweizer Beschichtung "Energie Solaire" in Bezug auf die applizierte Prüfung äusserst stabil.

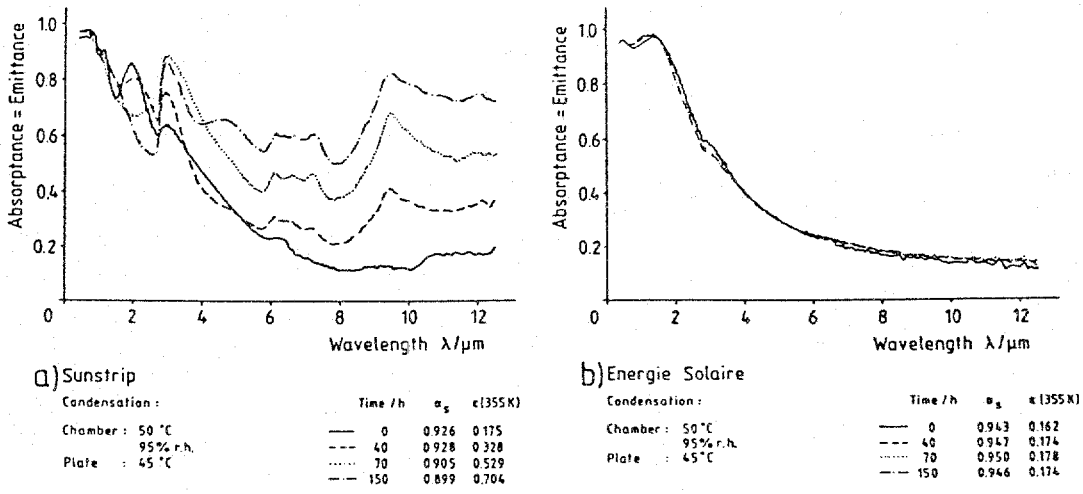


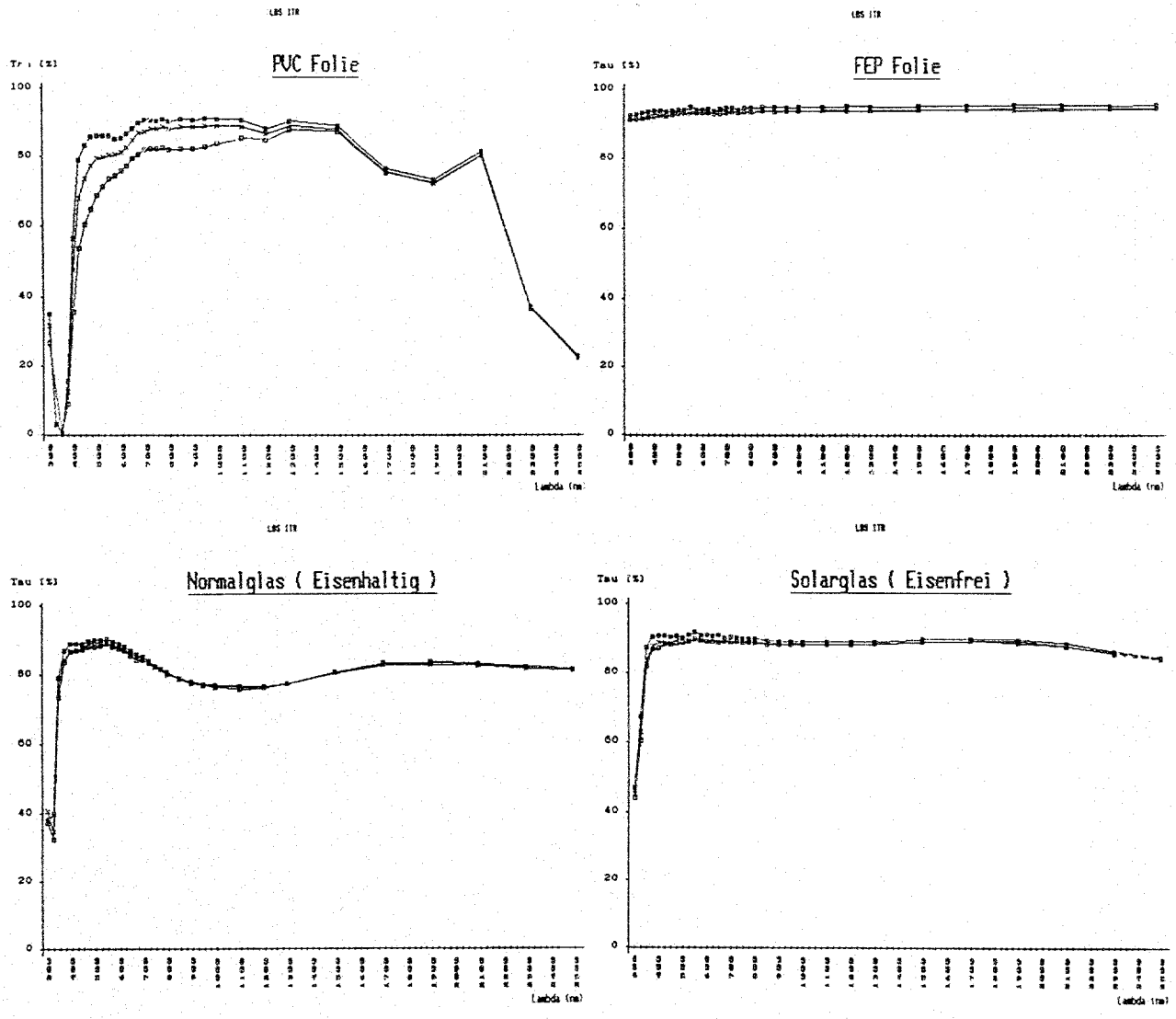
Abb. 1 Alterungstests Absorberbeschichtungen

Wärmeträgerflüssigkeiten

Die Ergebnisse der 180°C-Prüfungen von Ethylen- und Propylenglykol liegen für die Probenentnahme nach 1 bzw. 3 Monaten vor. Allerdings sind sie, infolge der Betriebsprobleme mit den Umwälzpumpen, nur bedingt brauchbar.
Die Proben im inhibierten Ethylenglykol (Antifrogen N) weisen vergleichsweise hohe Gewichtsverluste der Kupferproben auf; keine messbaren Reduktionen der Aluminium-,Stahl- bzw. Chrom-Nickel-Stahlproben. Das inhibierte Propylenglykol (Antifrogen L) erzeugte auf allen Proben harte, schwarze und braune Beläge. Bei beiden Parallelversuchen konnten Gewichtsverluste der Aluminiumproben gemessen werden. Die weitere Auswertung mittels Rasterelektronenmikroskop und Mikrosonde erfolgt nach Abschluss der einjährigen Testdauer Ende Januar 1988.
Der Versuch wird mit neuen Pumpen ab ca. Juli 1988 wiederholt!

Transparente Abdeckungen

Die ersten Resultate demonstrieren die unterschiedliche Beständigkeit der diversen Fabrikate sehr deutlich. Der Versuchsaufbau lässt den direkten Vergleich mit der Belastung als Abdeckung eines Flachkollektors zu. Nach nur 130 Sonnentagen Exponierung, konnten an sämtlichen Proben Reduktionen der Energietransmission festgestellt werden. Allerdings sind die Differenzen je nach Material sehr unterschiedlich. Die grössten Reduktionen konnten an den wenig stabilen PVC-Proben gemessen werden. Die höchsten Transmissionswerte erreichten die FEP-Folien (Teflon), durch die Exponierung reduzierte sich die Transmission von 95,3% auf 94,1%. Auch bei Gläsern sind die Unterschiede der Transmission erheblich; eisenfreie Gläser weisen eine um mehr als 6% höhere Transmission auf als "normales" Fensterglas. Auch bei den Gläsern konnten bereits Differenzen zum Ausgangszustand gemessen werden; allerdings ist noch nicht klar, wie weit diese Differenzen auf die Verschmutzung der Proben zurückzuführen sind. In einem weiteren Schritt werden alle Proben nach einer gründlichen Reinigung noch einmal gemessen.



- ■ Referenzprobe (ungealtert)
- x Probe nach 30 Sonnentagen, Exponierung in Davos
- ◘ Probe nach 130 Sonnentagen, Exponierung in Davos

Abb. 2 Messresultate transparenter Abdeckungen

4. Internationale Zusammenarbeit

Das Projekt bildet den Schweizerischen Beitrag zum Vorhaben der Internationalen Energie Agentur (IEA, Task X, SHAC-Programm). Durch die Neustrukturierung der Task während der Berichtsperiode, konnten neue materialspezifische Subtasks gebildet werden. Für die Schweiz sind die Subtasks B, "Absorberbeschichtungen" und C, "Verglasungen" von Interresse. Im Subtask B wurde ein Forschungsprogramm in Zusammenarbeit mit 7 Ländern definiert (Schweden, Deutschland, England, Dänemark, Japan, Spanien, Schweiz). Das Ziel ist es, anhand von Resultaten beschleunigter Alterungstests und einem Rechenmodell, die Lebensdauer von Beschichtungen in Abhängigkeit von der Anwendung und der zugelassenen Degradation abzuschätzen. Dies wäre ein wichtiger Schritt nicht nur für die Entwicklung neuer Beschichtungen sondern auch für die Evaluierung geeigneter Absorber für fortgeschrittene Kollektortypen, wie Vakuumröhrenkollektoren oder Billigkollektoren. Damit dieses Vorhaben gelingt muss das Verhalten der interressierenden Beschichtungen unter allen möglichen Betriebszuständen genau bekannt sein (Degradationsmechanismen, Kinetik der ablaufenden Prozesse, Effekte kombinierter Belastungen, wie Bestrahlung, Feuchte und erhöhte Temperaturen). Ein so umfangreiches Programm wäre für die Schweiz alleine kaum durchführbar!
In der Subtask C stehen 3 Schwerpunkte zur Diskussion:

- "Smart Windows", Verglasungen die ihre Transmissionseigenschaften in Abhängigkeit einer Stellgrösse verändern
- Niederemittierende Beschichtungen für Gläser und Kunststoffe
- Transparente Isolationen

In einer ersten Phase soll ein Round Robin Test der Messinfrastruktur durchgeführt werden. Konkrete Forschungszusammenarbeiten sollen am Expertentreffen im Frühling 1988 definiert werden. Generell sind die durch die IEA bedingten internationalen Kontakte für die Vorhaben der Schweiz von grossem Nutzen.

5. Veröffentlichungen

U.Frei, M.Köhl, K.Gindele, Accelerated indoor ageing tests of six industrially manufactured solar absorber coatings, ISES Solar World Congress, Hamburg, 1987

6. Neue Forschungsarbeiten

Messung der halbräumlichen Emission von niederemittierenden Beschichtungen für Gläser und transparente Kunststoffe im spektralen Bereich von 20 bis 50µm.

Spektrale, halbräumliche, winkelabhängige Transmission von grob strukturierten Abdeckungen und transparenten Isolationen mittels grosser Ulbrichtscher Kugel.

Der Berichterstatter:

U.Frei

OFEN PROJETS DE RECHERCHE ÉNERGÉTIQUE 1987

BEW ENERGIE - FORSCHUNGS - PROJEKTE 1987

TISO

VERIFICA DI UN MODELLO, STUDI DELL'INVECHIAMENTO, ANALISI DEL SISTEMA DI PROTEZZIONE DEI FULMINI

Ziel des Projekts:
- Modelizzazione di un impianto fotovoltaico reale e validazione del modello con i valori misurati con l'impianto TISO
- Analisi approfondita del degradamento progressivo dei moduli fotovoltaici
- Studio dell'effetto dei fulmini

Dauer des Projekts: dicembre 1985 - dicembre 1987

Beitragsempfänger: Ufficio federale dell'energia

Berichterstatter: Dipartimento dell'ambiente

Adresse: 6500 Bellinzona

Telephon: 092/24 37 50

1. Obiettivi prefissati e lavori eseguiti

1.1 Modello per la simulazione di un impianto fotovoltaico (P.V.)

Obiettivi

Sviluppo di un modello numerico per simulare un sistema contenente un campo P.V. in interazione con le condizioni meteorologiche e dei componenti non P.V. (carico, accumulatore, elettronica ausiliaria).

Lavori

Sono state realizzate procedure che eseguono i seguenti compiti:

- simulazione del comportamento elettrico di un campo P.V. (semplificata), accumulatore, regolatore di tensione, sistema di inseguimento di potenza e della loro interazione;
- simulazione dell'evoluzione delle condizioni meteorologiche e della loro interazione col campo P.V.;
- preparazione dei dati necessari alla simulazione meteo a partire dai dati misurati all'impianto TISO.

1.2 Analisi dei segni di invecchiamento dei moduli P.V.

Obiettivi

Osservazione, documentazione ed analisi dell'invecchiamento dei moduli P.V. e del decadimento delle loro caratteristiche elettriche.

Lavori

L'ispezione visiva, periodica e sistematica di una parte dell'impianto, e la sua documentazione fotografica sono state continuate.

1.3 Sistema protezione dai fulmini

Obiettivi

Verificare l'efficenza del sistema protezione dai fulmini.

Lavori

Un fulmine è caduto sul cavo di collegamento del computer senza che ci fosse nessun danneggiamento alle apparecchiature.

2. Risultati ottenuti

2.1 Modello di un impianto P.V.

E' stato sviluppato un modello numerico per la simulazione di un impianto P.V. completo, con calcolo semplificato della caratteristica I-V del campo P.V. Il modello permette di simulare 8 diverse configurazioni di sistema, ottenute includendo o meno un accumulatore, un regolatore di tensione, un sistema di inseguimento di massima potenza del campo.

L'utente deve fornire, per una simulazione, i seguenti dati d'entrata:

- tipo di configurazione (cioè con o senza accum., regolatore, inseguimento)
- tipo di componenti (nome dei files con le loro caratteristiche individuali)
- dimensioni dell'impianto: nr. di moduli in serie e in parallelo, nr. di celle accumulatrici in serie, capacità batt.
- orientamento del campo P.V. (azimut ed angolo rispetto al suolo)
- durata del periodo simulato (diviso in intervalli di 10.30 o 60 minuti).

Il risultato consiste in un elenco contenente, per ogni intervallo, il valore dei parametri interessanti (insolazione, corrente e carica della batteria, tensioni e potenze di lavoro). Il modello, nella sua versione attuale, percorre le tappe rappresentate in figura 1.

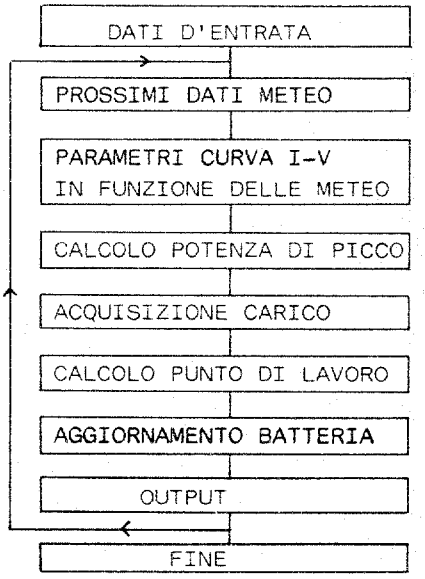


Figura 1

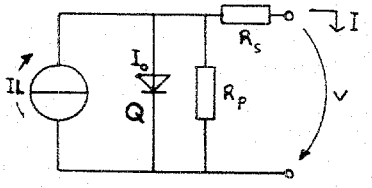
2.1.1 Descrizione del modello

Dati meteorologici (1,2)

Partendo dai dati acquisiti dall'impianto TISO si è costruito un archivio con i valori medi, calcolati ogni 10 min. per 15 giorni, di: radiazione diretta su piano perpendicolare (RbN), radiazione diffusa su piano orizzontale (RdH), temperatura ambiente (Ta), posizione del sole. La radiazione globale (Rt) sui moduli viene calcolata come segue: $Rt = RbN \cdot \cos\theta \cdot (1-r(\theta)) + RdH \cdot Cdif$, dove θ è l'angolo di incidenza della radiazione diretta, r(0) è il corrispondente coefficiente di riflessione e Cdif tiene conto approssimativamente della frazione di cielo vista dai moduli.

Caratteristica I-V dei moduli (1,3,4)

Il modello a 5 parametri di figura 2 e la sua equazione $I = IL - Io(\exp(Q(V+I.Rs))-1) - (V+I.Rs)/Rp$ può simulare un intero modulo P.V. (vedi § 2.1.2). L'equazione viene risolta con il metodo di Newton-Raphson combinato con un metodo di bisezione (5).



Per ottenere la caratteristica dell'intero campo si moltiplicano I e V di un singolo modulo rispettivamente per il numero di moduli in parallelo ed il numero di quelli in serie. I valori di Rs e Rp si assumono costanti, mentre IL, Io, Q sono calcolati in funzione delle condizioni meteorologiche e di altre costanti che caratterizzano il tipo di modulo e che vanno determinati con misure e/o dai dati forniti dal costruttore (vedi § 2.1.2).

Accumulatore (1,3)

La caratteristica I-V della batteria viene simulata con le formule seguenti:

carica : $V = Vc + a.P + (b + c.P) \cdot F$ se $P < g$

$V = Vc + a.P + d.(P-h) \cdot F$ se $P > g$

scarica+ $V = Vs + a.P - (e-f.P) \cdot F$

dove V è la tensione ai capi di una singola cella accumulatrice
P = carica/capacità, è la frazione di carica dell'accumulatore
F = I/In, è la frazione di corrente nominale
a,...,H sono costanti che caratterizzano il tipo di batteria
e per i quali abbiamo preso i valori tipici proposti in ref.(1).
Corrente e tensione dell'intero accumulatore si ottengono moltiplicando I e V rispettivamente per la corrente nominale dell'accumulatore e per il numero di celle accumulatrici in serie.

Carico
Il carico è specificato come un insieme di carichi periodici aventi periodo e andamento scelti dall'utente (si può formare un archivio permanente di carichi).

Punto di lavoro
Una volta determinate le caratteristiche elettriche dei vari componenti le correnti, tensioni e potenze di lavoro del sistema sono calcolate analiticamente o con metodi numerici diversi secondo il tipo di configurazione scelto.

2.1.2 Misure su un modulo

Per verificare l'adeguatezza del modello di figura 2 per un intero modulo e per ricavare i valori delle costanti che lo caratterizzano, sono state misurate ed analizzate alcune caratteristiche I-V di un modulo ARCO ASI-2300. Minimizzando lo scarto quadratico medio delle curve teoriche rispetto a quelle misurate (con il metodo del gradiente (5)), si sono ottenute delle ottime riproduzioni ma con molti valori possibili dei parametri per una stessa curva.
Un approccio basato su un'interpretazione fisica più diretta (3,6) ha dato risultati soddisfacenti.

2.1.3 Calcolo delle ombre (1,7,8)

Come strumento per il dimensionamento del nostro nuovo impianto P.V., e per essere eventualmente inserite in futuro nel modello, sono state realizzate delle procedure per il calcolo, ad ora e data fissate, di: angolo orario, declinazione, azimut ed elevazione solari, ombra proiettata da un pannello su un altro, parallelo e traslato arbitrariamente rispetto al primo.

2.1.4 Comportamento elettrico del campo

Nel 1986 era stato realizzato il programma VIGLOB (vedi rapporto CREDA, 1986), che permette di trovare la caratteristica I-V di un campo P.V. formato da moduli connessi arbitrariamente ed aventi caratteristiche individuali diverse e fisse (cioè senza evoluzione in relazione con le condizioni meteorologiche). Esso è stato utilizzato per confrontare due diversi cablaggi (serie-parallelo e parallelo-serie) di 16 moduli, di cui 15 identici e normalmente illuminati ed uno oscurato. Si è osservato che se si inseriscono i diodi di protezione nel circuito, i due tipi di cablaggio favoriscono porzioni diverse della curva I-V globale. Usato con il circuito del modello a 5 parametri (fig. 2), VIGLOB ha aiutato nella derivazione dei parametri caratteristici del modulo ARCO ASI-2300.

L'abbinamento di VIGLOB con le procedure discusse nei paragrafi precedenti, in particolare quelle per la simulazione delle condizioni meteorologiche, richiede la preparazione di programmi per calcolare l'influenza della meteo e le caratteristiche elettriche per ogni modulo separatamente (fra cui il programma per il calcolo delle ombre del § 2.1.3). Tale lavoro non ha potuto essere realizzato nei termini previsti per questo progetto.

2.2 Analisi dell'invecchiamento

A partire dal mese di giugno 1986 sono state eseguite sistematicamente analisi visive di 72 moduli (2'520 cellule) allo scopo di osservare il degrado nel tempo dei pannelli e delle cellule.
Le osservazioni sono state eseguite a ritmo mensile, durante 6 mesi, in seguito ogni 6 mesi.
Durante le analisi sono stati fotografati, mediante un sistema per riprese ravvicinate preparato appositamente, ogni modulo o cellula che presentasse anomalie, in modo da poterne osservare l'evoluzione nel corso del tempo.

2.2.1 Risultati delle osservazioni visive

17 moduli (24%) presentano delle cellule con colorazione bruna in corrispondenza degli elettrodi. Nel 1984 i moduli con le medesime caratteristiche erano 12 (17%).
In totale sono state riscontrate 26 cellule con colorazione bruna, pari al 1% delle cellule analizzate. Di queste 16 (62%) sono in corrispondenza della scatola posteriore dei contatti elettrici, mentre le altre 10 (38%) si trovano tutte nella parte inferiore dei moduli; la colorazione inizia dal basso della cellula e tende ad espandersi verso l'alto. 14 cellule (54%) presentano un aumento della superficie bruna, solo in 5 casi (19%) questo aumento è ben marcato. Gli aumenti di colorazione bruna sono avvenuti prevalentemente fra novembre e febbraio.

Le osservazioni non hanno permesso di constatare nessuna variazione del numero e delle dimensioni delle fessure delle cellule, presenti probabilmente già al momento della fornitura (20% dei moduli).
Il 58% dei moduli presenta un ingiallimento del materiale d'incapsulamento delle cellule.
In tutti i moduli, in modo più o meno marcato, si nota una vulcanizzazione, con relativa espansione e fuoriuscita, del silicone usato per sigillare la cornice d'alluminio. Questa fuoriuscita del silicone vulcanizzato interessa circa il 10% del perimetro delle cornici.

In 29 moduli (40%) si osservano tracce probabilmente d'acqua, prevalentemente vicino al telaio, fra la lastra sintetica trasparente ed il materiale d'incapsulamento posteriore. Queste tracce non si sono modificate durante il periodo di osservazione.

2.2.3 Degrado del rendimento elettrico dei moduli

18 moduli di cui 12 che formano una serie e 6 distribuiti a caso nel resto dell'impianto, sono stati portati al laboratorio di prova delle Comunità Europee a Ispra (ESTI, CCR-Ispra) nel 1982,'83-'85-'86, e sottoposti a misure eseguite in condizioni standard.

Tranne per un modulo (nr. serie 6872), non si osserva nessun degrado delle caratteristiche elettriche. Le differenze fra i valori ottenuti nel 1986 e quelli del primo rilevamento nel 1982, per la potenza Pm, il fattore di riempimento FF e il rendimento Rc, espresse in % del valore del 1982, sono le seguenti:

	dPm	dFF	dRc
diminuzione massima registrata in (%)	-0.288	-0.69	-0.327
aumento massimo registrato (%)	+1.68	+1.11	+1.67
nr. dei moduli nei quali si misura una diminuzione dei valori	5	3	5
nr. dei moduli con aumento dei valori	13	14	11

Queste variazioni rientrano nei limiti di tolleranza e stabilità nel tempo degli strumenti di misura.
Per il modulo 6872 le differenze (%) sono le seguenti:
dPm = -2.62% dFF = -2.07% dNc = - 2.46%

2.3 Protezione dai fulmini

Un fulmine ha colpito il cavo che collega il sistema d'acquisizione dei dati con il computer centrale, danneggiando la linea. Nessuna altra parte dell'impianto ha subito danni. I contatori inseriti sul parafulmine non hanno registrato nessun segnale.

3. Contatti e collaborazioni

Sono continuati i contatti con il "EC Photovoltaic users group" delle Comunità Europee. Il 4° incontro del gruppo è stato tenuto a Lugano presso l'impianto TISO, con la partecipazione di 24 esperti di 12 nazioni. E' pure continuata la collaborazione con il Centro congiunto di ricerche di Ispra per la sorveglianza dell'impianto TISO.

4. Pubblicazioni

L. Castellari: TISO SP: Simulation of a PV Plant with arbitrary configuration, inoltrato per l'8th EC Photovoltaic Solar Energy Conference, Firenze maggio 1988.

Bibliografia

(1) La progettazione degli impianti fotovoltaici, F.P. Califano et alt., Liguori, Napoli 1984
(2) The interrelationship ... of directi, diffuse and total solar radiation, B.Y.H.Liu.R.C.Jordan, Solar Energy, vol. 4, 1960, p.1
(3) Photovoltaic Transient Analysis Prog. User Guide (3 vol, ETHZ Sand-78-7038) T.J.Lambarsky et al., the BDM Corp., Albuquerque, N.M., Sandia lab., 1978
(4) PVSS-A Photovoltaic System Simulation Program, H. Goldstein, G.R. Case, Solar Energy, vol, 21, 1978, p. 37
(5) Methodes de calcul numerique, J.P.Nougier, Masson, Paris
(6) A method for direct measurement of the solar cell junction ideality factor, J.Quanxil, L.Enke, Solar Cells, vol, 22, 1987, p. 393
(7) Calculating the position of the sun, R.Walraven, Solar Energy, vol, 20, 1978, p. 393
(8) Shadow effect of adjacent solar collectors in large scale systems, J.Appelbaum, J.Bany, Solar Energy, Vol. 23, 1979, p. 497

OFEN — PROJETS DE RECHERCHE ÉNERGÉTIQUE 1987

BEW — ENERGIE - FORSCHUNGS - PROJEKTE 1987

PHOTOVOLTAIK, PILOT-INSTALLATIONEN

Ziel des Projektes:

Das Vorprojekt will das Potential und die Möglichkeiten zur Benützung der Landressourcen im schweizerischen Schienen- und Autobahnnetz zum Bau von Photovoltaikinstallationen z.B. in Kombination mit Schallschutzmassnahmen untersuchen.

Dauer des Projektes:

Februar 1987 bis März 1988

Beitragsempfänger: TNC Consulting, Unternehmens- & Energieberatung
Berichterstatter: Thomas Nordmann, Geschäftsführer TNC
Adresse: Alexanderstrasse 18, 7000 Chur
Tel: 081/22 07 53

1. Anvisierte Zielpunkte für 1987

- Erstellung eines schweizerischen Flächenkatasters zur Potentialabschätzung Autobahn- und Schienennetz.
- Entwicklung eines Standortevaluationsverfahrens zur Ueberprüfung des Strahlungsangebotes unter Berücksichtigung des lokalen Horizontes, der Emissions- und Immissionsverhältnisse.
- Entwicklung einer Pilotmesseinrichtung zur messtechnischen Validierung des vorgesehenen Anlagestandortes.
- Erarbeitung einer Ideenskizze für eine modulare PV-Anlage z.B. auf einer Lärmschutzwand sowie der elektrischen Verschaltung der 100kWe Anlage.
- Untersuchung der ästhetischen Integration solcher Installationen in bestehende Bauwerke.
- Vorabklärungen mit den zukünftig betroffenen Behörden.
- Vorabklärungen mit Zellenhersteller über die einsetzbare Technologie und die zu erwartende Preisentwicklung.

2. Durchgeführte Arbeiten

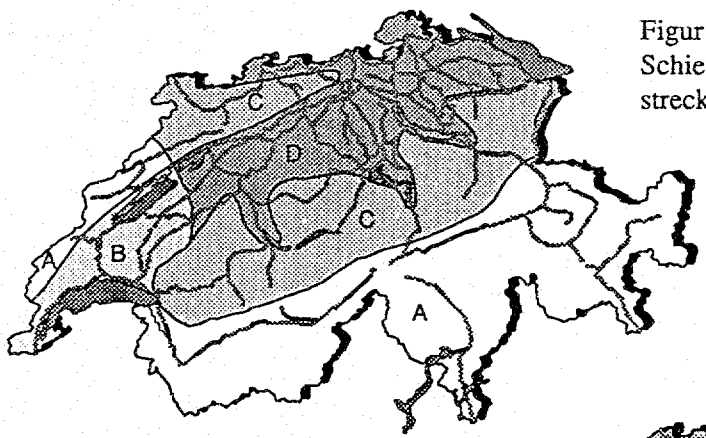
- Der schweizerische Flächenkataster Autobahn und Schienennetz wurde aufgebaut und ausgewertet.
- Das Standort-Evaluationsverfahren wurde entwickelt und an 20 Pilotstandorten erprobt.
- Die Pilotmesseinrichtung wurde als Prototyp entwickelt, hergestellt und im Feld an einem Standort erprobt.
- Die Vorbereitungen für eine Messkampagne für einen repräsentativen Nord/Süd-Alpenquerschnitt Chur (Graubünden) bis Melide (Tessin) werden im Dezember 87 abgeschlossen, so dass die Messkampagne ab Winter 87/88 durchgeführt werden kann.
- Ein Immissionsmessprogramm wurde in Zusammenarbeit mit der Abteilung Korrosion der EMPA Dübendorf aufgestellt. Dieses Programm wird in Kombination mit den Pilotmesseinrichtungen ab Winter 87/88 durchgeführt.
- Eine Ideenskizze für die Realisierung einer 100 kWe Pilotanlage am möglichen Standort N13, Höhe Felsberg wurde erarbeitet.
- An einem möglichen Anlagestandort wurden Prototyp Panels auf der Schallschutzwand installiert, um Vorabklärungen bezüglich der ästhetischen Integration in bestehende Bauwerke zu ermöglichen.
- Die Abklärungen mit den zuständigen Behörden: Bundesamt für Strassenbau, SBB, RhB, Kantonale Tiefbauämter, Energiefachstellen usw. wurden eingeleitet.
- Die Vorabklärungen mit verschiedenen Zellenherstellern in der BRD, USA und Japan sind soweit vorangeschritten, dass in der Pilotmesskampagne verschiedene Produkte aus verschiedenen Zellen-Technologien versuchsweise eingesetzt werden können.
- Vorabklärungen mit verschiedenen internationalen Know-how Trägern im PV-Bereich führten insbesondere zu einem Gedankenaustausch mit der Projektleitung des RWE Essen Photovoltaik-Demonstrationsprojektes in der BRD, das eine ähnlich gelagerte Aufgabenstellung mit einer totalen Installation von einem MW abwickelt.

3. Erreichte Ergebnisse

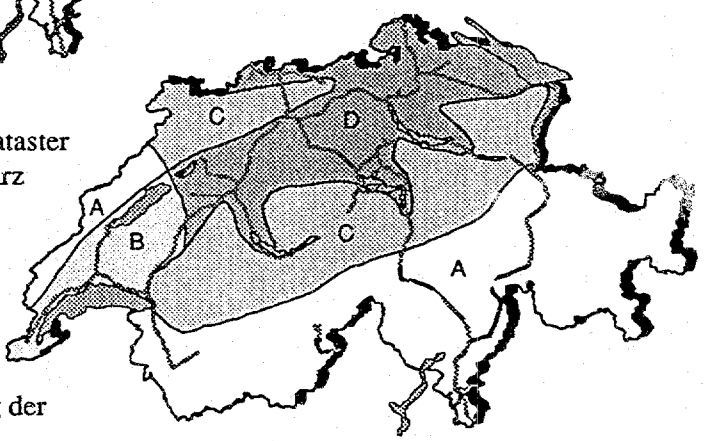
Flächenkataster

Auf Grund von zwei Randbedingungen:

- Globalstrahlung in Panelebene > 1'200 kWh/m2 a und
- mindestens 36% der Einstrahlung im Winterhalbjahr wurde ein Flächenkataster (Figur 1 und 2) erstellt. Die resultierende Ausbeute ist in Tabelle 1 zusammengefasst. Demnach besteht ein erhebliches Realisierungspotential im Schienen- und Nationalstrassennetz. Einzelne besonders geeignete ost/west-orientierte Streckenabschnitte wurden mit dem entwickelten Standort-Evaluationsverfahren lokal überprüft. An vier besonders geeigneten und repräsentativen Standorten werden die Feldmessungen im Winter 87/88 durchgeführt.



Figur Nr. 1 Flächenkataster Schienennetz (schwarz Teststrecken)



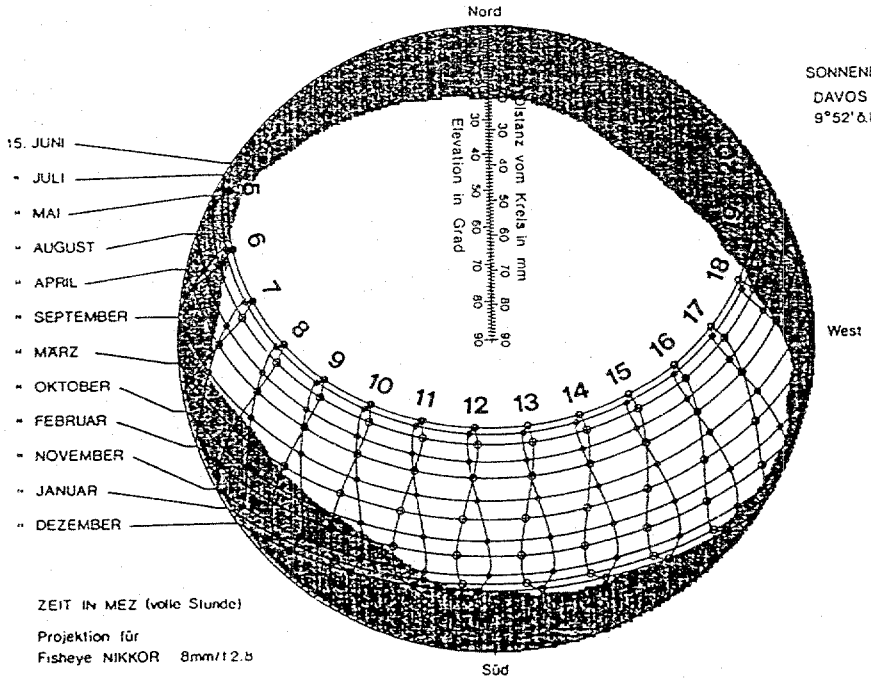
Figur Nr. 2 Flächenkataster Autobahnnetz (schwarz Teststrecken)

Tabelle 1 quantitative Auswertung der Flächenkataster

Jahres Globalstrahlung (60° nach Süden)		Strahlungs Anteile: besser >36%:64% [lkm]	[%]	Winter-Sommer schlechter <36%:64% [lkm]	[%]
grösser> 1'200 kWh/m2 a		Quadrant A		Quadrant B	
Nationalstrassen		330	26.0%	159	12.5%
Bahnen		737	25.0%	369	12.5%
kleiner< 1'200 kWh/m2 a		Quadrant C		Quadrant D	
Nationalstrassen		158	12.5%	621	48.9%
Bahnen		485	16.5%	1425	48.3%

Legende:		Quadrant A	Quadrant B
		Strahlung ok•••	Strahlung ok•••
	[km]	Winter ok •••	Winter schlecht
Nationalstrassen:	1259	Quadrant C	Quadrant D
Bahnen:	2948	Strahlung schlecht	Strahlung schlecht
(Stand: 1987)		Winter ok •••	Winter schlecht

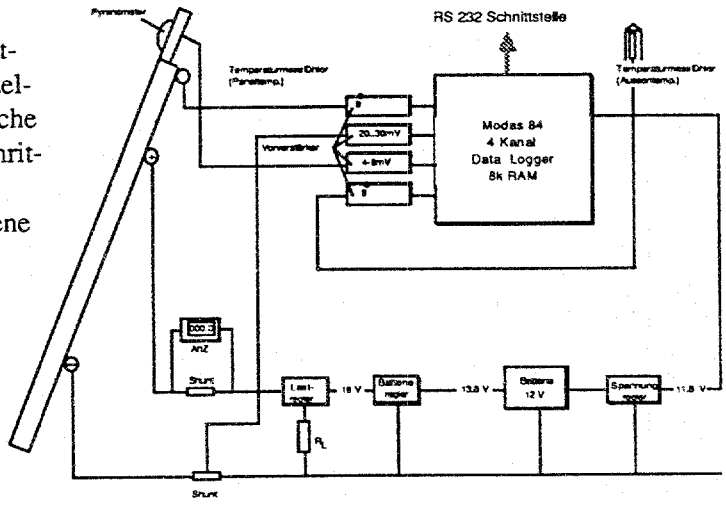
Figur 3 Standortevaluation grafische Auswertung
Mit Hilfe einer fotografischen Fischaug-Aufnahme zum Zenit wird am möglichen Anlagestandort der lokale Horizont aufgezeichnet. Die Ueberlagerung des jährlichen Sonnenbahn-Verlaufes ermöglicht die Quantifizierung der zusätzlichen Abschattungen, verursacht durch den lokalen Horizont.



Figur 4 Pilotmesseinrichtung
Die mobile netzunabhängige Pilotmesseinrichtung betreibt ein Einzel-Panel. Der eingebaute, elektronische Datenlogger misst in Stunden Schritten:

- die Grobalstrahlung in Panelebene
- den elektronischen Panelertrag
- die Paneltemperatur und
- die Aussentemperatur.

Gleichzeitig wird die Messeinrichtung durch das Panel mit der elektrischen Betriebsenergie versorgt.



Messkampagne Alpenquerschnitt Nord/Süd

Tabelle Nr. 2 fasst das vorgesehene Messprojekt für die fünf Standorte zusammen. Am Standort Felsberg werden (Side by Side) Vergleichsmessungen mit mechanisch gereinigten und ungereinigten PV-Panels durchgeführt.

Tabelle 2 Uebersicht Messkampagne

Stations Nr:	1	2	3	4	5
Vorgesehner Standort:	Felsberg	Felsberg	S.Bernadino N	S.Bernadino S	Melide
Verkehrsträger (§1	N13/RhB	N13/RhB	N13	N13	N2/SBB
Höhe ü.M.	581	581	1569	~1200	271
Panel Typ	Arco-Dünnfilm G 4000	Arco-Dünnfilm G 4000	AEG poly Si PQ 10/40/01-02	Hoxan mono Si H-5310	Kyocera Poly Si LA441J49
A-Netz Referenz Station	Reichenau	Reichenau	??	??	Lugano
a)Meteo-Messgrössen:					
1. Aussentemp. [C°]	ja	---	ja	ja	ja
2. Globalstrahlung [kWh/m2] (§2	ja	ja	ja	ja	ja
3. Windgeschwindigkeit [m/sec]	---	ja	---	---	---
b) PV-Messgrössen:					
1.Brutto Panelertrag [kWh/m2] (§3	ja	ja	ja	ja	ja
2. Paneltemp. [C°] (§4	ja	ja	ja	ja	ja
c) Immissions-Messungen					
1. Staubablagerung Vergleich zwei Gläser (§5	ohne Reinigung	mit Reinigung	-	-	-
2. Oberflächen EMPA Wischtest	ohne Reinigung	mit Reinigung	ohne Reinigung	ohne Reinigung	ohne Reinigung
2. Metallurgische Proben (§6	ja	ja	ja	ja	ja

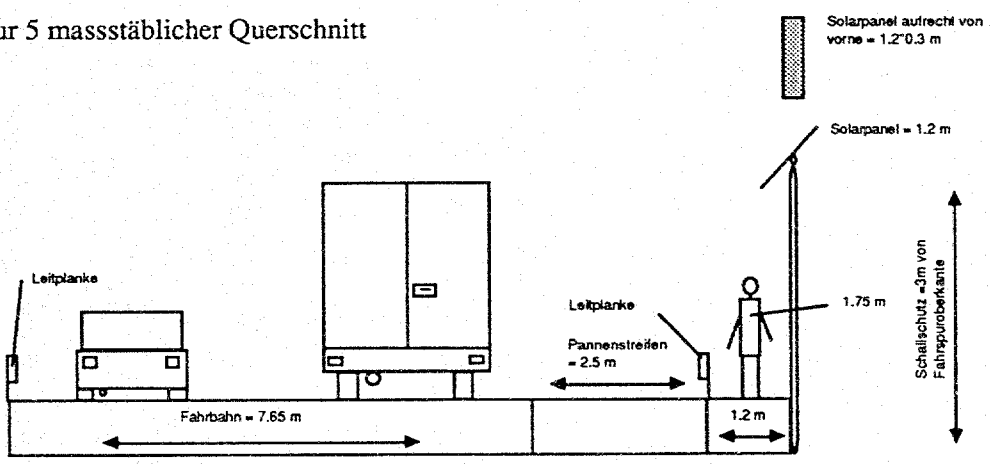
Fussnoten:

(§1 Belastung durch .....
(§2 Gemessen in Panelebene nach Süden mit CM11 Stundenwerte
(§3 Gemessen nahe bei MPT (fix)
(§4 Gemessen auf Panelrückseite
(§5 bei Station 1 & 2 Direktvergleich Mit 2 CM 11
(§6 Bewitterung mit NABEL Proben

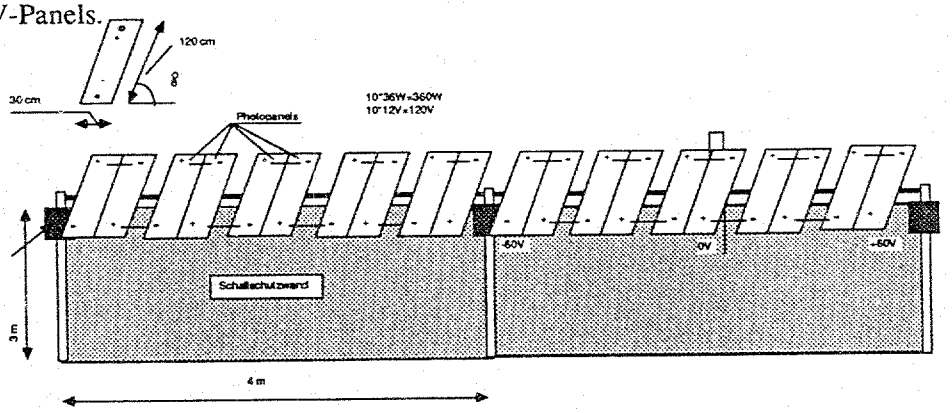
Ideenskizze Realisierung einer 100 kWe Pilotanlage

Figur 5 zeigt einen massstäblichen Querschnitt des Autobahnabschnittes N13 (einspurig) bei einfacher Panelbelegung auf der Schallschutzseite Nordseite. Für die Realisierung von 100 kWe benötigt man am ost/west-verlaufenden Strassenabschnitt ca. 1.2 km.

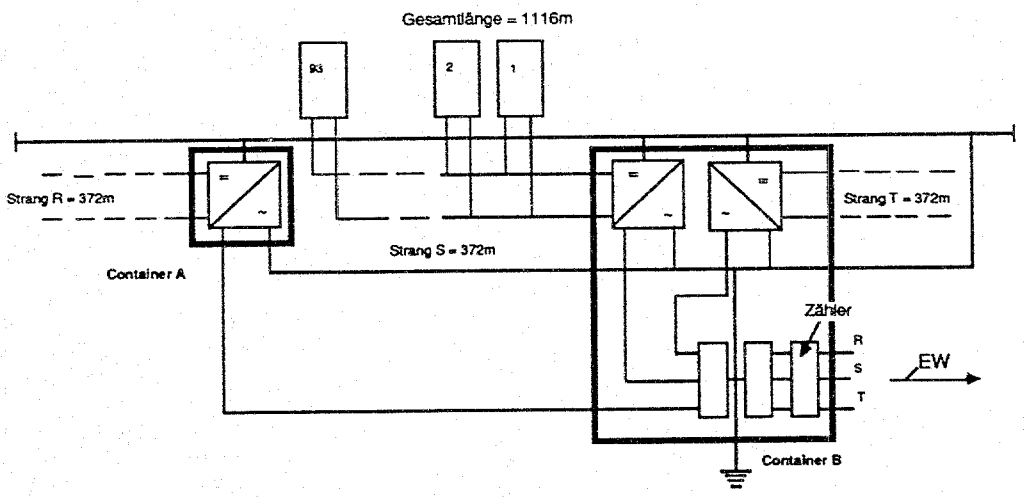
Figur 5 massstäblicher Querschnitt



Figur 6 zeigt eine massstäbliche Darstellung der auf der Schallschutzwand modular angeordneten PV-Panels.



Figur 7 zeigt die mögliche elektrische Verschaltung der 100kWe Gesamtinstallation unter Berücksichtigung der langen Ausdehnung des Bauwerkes.



5. Veröffentlichungen

Noch keine.

6. Neue Forschungsgebiete

Projektgemäss wird nach Abschluss der Vorstudie die Realisierung von vier 100kWe Anlagen angestrebt. Um das Know-how der Einzelanlagen auswerten zu können, ist die Realisierung hintereinander in Jahresschritten vorgesehen.

Es besteht weltweit eine Know-how und Produktelücke für die Inverter-Technologie im Leistungsbereich 10 KW bis 1 MW.

OFEN — Projets de Recherche énergétique 1987

BEW — Energie - Forschungs - Projekte 1987

Solarzellen aus amorphem Silizium

Ziel des Projekts: Entwicklung von Verfahren zur preisgünstigen Herstellung von amorphen Siliziumschichten und ganzen Solarzellen, Untersuchung der Schichten und ihrer Stabilitätsprobleme; Beitrag zur Konzeption und Herstellung von leistungsfähigen Solarzellen.

Dauer des Projekts: 1.01.1985 - 31.12.1987

Beitragsempfänger: Institut de Microtechnique, Université de Neuchâtel

Berichterstatter: Prof. A. Shah

Adresse: rue A.-L. Breguet 2, 2000 Neuchâtel

Telephon: 038-24'60'00

1. Anvisierte Zielpunkte für 1987

Mit der Einführung der neuen VHF-Glimmentladung für die Herstellung amorpher Siliziumschichten gelang unserer Forschungsgruppe in 1986 ein womöglich entscheidender Schritt in Richtung kostengünstige Produktion von Solarzellen . Im Jahr 1987 ging es nun darum:
(1) die schnelle Abscheidung amorpher Siliziumschichten mit der VHF-Glimmentladung zu konsolidieren und besser zu verstehen.
(2) die bei VHF abgeschiedenen Schichten systematisch auszumessen und auf ihre Tauglichkeit für die Herstellung von ganzen Solarzellen zu prüfen.
(3) die Infrastruktur vorzubereiten und das Know-How zu erwerben für die spätere Konzeption und Herstellung von p-i-n Solarzellen.

2. Durchgeführte Arbeiten 1987

(a) Systematische Abscheidung und Untersuchung von intrinsischen und n-dotierten Schichten in der VHF-Glimmentladung (VHF-Plasma): und zwar speziell bei der für unsere jetzigen Systeme optimalen Plasma-Anregungsfrequenz von 70-80 MHz; der Einfluss von Druck, Silanfluss und anderen makroskopischen Parametern wurde untersucht; (b) Ausmessen von intrinsischen VHF-Schichten bezüglich Wasserstoffgehalt [inklusive $(SiH_2)_n$ - Ketten] und lichtinduzierter Degradation [Staebler-Wronski-Effekt] - wir konnten auch bei diesen Messungen bestätigen, dass die Qualität unserer VHF-Schichten gut ist; (c) Versuch, die Diffusionslänge der Löcher L_p im VHF-Material auszumessen; dabei fanden wir heraus, dass die bisher übliche "surface photovoltage (SPV)"- Methode aus grundsätzlichen Gründen keine zuverlässige Resultate liefert; (d) Herstellung von MIS-Solarzellen in Zusammenarbeit mit der Universität Konstanz (Prof.Dr.E. Bucher); dabei zeigte sich, dass unsere VHF-Schichten eine überraschend hohe Leerlaufspannung V_{oc} von über 900 mV ermöglichen; (e) Vorbereiten der Infrastruktur für die Fabrikation von p-i-n Solarzellen [Aufbau eines staubfreien Depositionslabors; Einführung der Substratreinigung; Aufbau einer Messaparatur für I/V-Messung und für die Spektralantwort von Solarzellen - bei den beiden letzten Punkten sind noch schwierige Probleme zu lösen].

3. Erreichte Ergebnisse

3.1 Allgemeiner Hintergrund
Dünnschichtsolarzellen aus amorphem Silizium sind z.Zt. eine der aussichtsreichsten Möglichkeiten, um die Herstellungskosten künftiger Solarzellen auf ein für Energieproduktion geeignetes Niveau zu reduzieren. Als kostenmässige Engpässe gelten im Moment vor allem zwei Aspekte: einerseits die Substrate (z.B. Glas), und andererseits Rohmaterialien (Gase), Energieaufwand und Geräteinvestionen für die Schichtdeposition. Durch eine Beschleunigung der Schichtdeposition, wie sie von unserem Institut, durch das Einführen der VHF-Plasmaabscheidung (in 1986), erreicht wurde, kann potentiell die Produktionskapazität einer Beschichtungsanlage um einen Faktor ca. 5 bis 10 erhöht werden. Das reduziert natürlich den Anteil Investitionskosten pro hergestellte Solarzellenfläche sehr stark. In der Zwischenzeit (Nov. 87) wurde ein ähnliches Resultat von einer amerikanischen Firma (Glastech GSI, Boulder, Colorado) gemeldet; diese Firma verwendet aber das z.Zt. 4x teurere Disilan als Ausgangsmaterial, statt Silan (wie allgemein üblich, und auch bei uns verwendet). Wir haben deshalb Grund anzunehmen, dass unsere neue VHF-Methode im Moment weltweit durchaus die geeignetste Methode sein könnte, um sehr billige und trotzdem gute Solarzellen aus amorphem Silizium abzuscheiden (Fig.1). Mit der VHF-Glimmentladung (70-80 MHz) erhält man nun ein Material das in seinen Eigenschaften z.T. anders ist als die üblichen Schichten, die bei einer Plasma-Anregungsfrequenz von 13.56 MHz abgeschieden werden. Deshalb konzentrierten wir unsere Anstrengungen in 1987 darauf, die VHF-Glimmentladung besser zu verstehen und vor allem auch die bei VHF hergestellten Schichten genauer zu charakterisieren. Dafür mussten die Konzeption und Herstellung ganzer p-i-n Solarzellen gegenüber dem ursprünglichen Programm zurückgestellt werden. Immerhin wurden auch für diese späteren Ziele wichtige Vorbereitungsarbeiten durchgeführt.

3.2 Abscheidung von intrinsischen und n-dotierten Schichten bei 70-80 MHz

Während wir in 1986 einen grossen Frequenzbereich (30-130 MHz) innerhalb des VHF-Gebietes (30-300 MHz) abgetastet haben und feststellen konnten, dass das Optimum für unsere Depositionssysteme bei 70-80 MHz liegt, konzentrierten wir uns in 1987 darauf, die makroskopischen Abscheidungsparameter (Reaktordruck, Silanfluss, Energiedichte des Plasmas) in der Gegend dieser optimalen Frequenz systematisch zu varieren.

Wir haben dabei festgestellt:

a) Intrinsische Schichten guter Qualität können mit 15-20 Å/sec Abscheidungsrate reproduzierbar hergestellt werden; werden die Abscheidungsparameter so variiert, dass die Abscheidungsraten geringer werden, so wird die Qualität der hergestellten Schichten eher schlechter.
Eine Serie hergestellter intrinsischer Schichten unterschiedlicher Dicke d (mit Dicken zwischen 0,02µ und 100µ) hat uns erlaubt, systematisch den Einfluss der Grenzschichten zu erfassen. Es wurde klar gezeigt, dass die ersten 200 Angström die auf das Substrat aufgebracht werden, von sehr viel geringerer Qualität sind, als der grosse Rest des Materials. Diese Oberflächendefekte haben offenbar eine Wirkung auf die Photoleitfähigkeit der Schicht, die sich über 1µ Schichtdicke erstreckt. Der Effekt, der auch bei den konventionellen Abscheidungsmethoden durchaus bekannt ist, wurde zum ersten Mal systematisch untersucht und erfasst. Er ist für Solarzellen, die eine Dicke von nur ca. 0.5µ besitzen, entscheidend wichtig. Es gelang uns zudem - und das ist unseres Wissens ebenfalls weltweit eine Erstleistung - eine Schicht von fast 100µ Dicke abzuscheiden. Bei konventionellen Abscheidungsmethoden sind die bisher maximal erreichten Schichdicken um 10µ und es sind die inneren mechanischen Spannungen der Schichten welche eine Limite setzen. Es ist also klar geworden, dass unsere VHF-Schichten relativ geringe innere mechanische Spannungen aufweisen, was für die Anwendung vorteilhaft ist.

b) n-dotierte Schichten hoher Qualität mit Leitfähigkeiten bis 10^{-2} $(\Omega\,cm)^{-1}$ konnten bei 70 MHz hergestellt werden. Durch Vergleich unserer Resultate mit jenen, die andere Forscher bei 13.56 MHz erreicht hatten, kommen wir zum Schluss, dass wahrscheinlich die "doping incorporation ratio" bei 70 MHz sehr viel geringer wird, sobald die Abscheidungsrate hoch ist: Es werden dann beim gleichen Gasmischverhältnis offenbar weniger Fremdatome in der aufwachsenden Siliziumschicht eingeschlossen als im konventionellen RF-Plasma bei 13.56 MHz. Dieser Effekt ist für Dotierungen an sich unerwünscht, könnte aber bei der Herstellung der wichtigen intrinsischen (i)-Schicht innerhalb einer p-i-n Solarzelle ein weiterer, entscheidender Vorteil sein. Der Vorgang sollte nun 1988, durch SIMS-Messungen (und zwar in Zusammenarbeit mit einer anderen Hochschule, da wir selber kein SIMS-Gerät haben) quantitativ bestätigt werden.

3.3 Charakterisierung von intrinsischen VHF-Schichten

a) In Zusammenarbeit mit der Universität Zürich (P.D.Dr.S.Veprek) wurden mit Infrarotspektroskopie der Wasserstoffanteil unserer VHF-Schichten bestimmt. Er entspricht mit 5-6% Atomprozenten dem üblichen Optimum, das bei qualitativ guten Schichten erreicht wird. (Höhere Wasserstoffgehalte, die sehr oft bei schnell aufgewachsenen Schichten entstehen, deuten auf "Microvoids" und schlechten elektrooptischen Materialeigenschaften hin. Ein Minimum an Wasserstoff ist nötig, um die "Dangling Bonds" weitgehend abzusättigen). Das Fehlen eines ausgeprägten Signals bei 2100 cm^{-1} Wellenlänge (Fig.2) ist ein weiteres Indiz guter Materialqualität, und bedeutet, dass die schädlichen $(SiH_2)_n$ - Ketten, welche ebenfalls zu Microvoids und auch zu zusätzlichen Degradationerscheinungen führen, in unserem VHF-Material praktisch kaum vorhanden sind.

b) Die lichtinduzierte Degradation ist im Moment eine der entscheidenden Limiten bei der Erhöhung des Wirkungsgrades von kommerziellen Solarzellen. Die Degradation unseres VHF-Materials wurde im Sommer 1987 ausgemessen; die Messresultate zeigen, dass unsere Schichten etwa gleichviel Degradation aufweisen (Reduktion der Photoleitfähigkeit σ_{ph} um einen Faktor 5 bis 8 nach 6 Stunden AM1.5-Beleuchtung) wie gute intrinsische Schichten, die von anderen Labors bei 13.56 MHz hergestellt werden. Das Degradationsproblem soll im Laufe von 1988 in Zusammenarbeit mit Dr.M.Vanecek (Tschechoslowakische Akademie der Wissenschaften) eingehender studiert werden.

c) Wir versuchten, in Zusammenarbeit mit der Universität München (Dr.R.Schwarz), die Diffusionslängen L_p der Löcher in unserem Material mit Hilfe der bekannten Surface Photovoltage (SPV)-Methode auszumessen. Nach mehreren Messungen wurde klar, dass die SPV-Methode falsche Resultate liefert, was wir - durch theoretische Rechnung - auf das gleichzeitige Vorhandensein von Diffusion und Drift im Löchertransport zurückführen konnten. Dies widerspricht den Annahmen, die gemacht werden müssen, damit die SPV-Methode gültig wäre. In der Zwischenzeit mussten wir feststellen, dass amerikanische Forscher den gleichen Effekt mit Hilfe umfangreicher numerischer Simulation festgestellt haben; entsprechende Publikationen sollen von uns und von der anderen Gruppe im Laufe von 1988 herausgebracht werden. Als Alternative zur SPV-Methode, werden wir in 1988 die neue, israelische SSPG-Messmethode (steady-state photoconductive grating) aufbauen und anwenden müssen.

d) Es hat sich durch verschiedene preliminäre Messungen eindeutig erwiesen, dass sich der Charakter unseres VHF-Materials in Funktion der Plasma-Anregungsfrequenz f ändert: wenn wir f erhöhen, geht das Material über von einem leichten n-Charakter (wie allgemein üblich) zu einem völlig intrinsichen Material. Dabei werden die entsprechenden Transporteigenschaften der Löcher besser und jene der Elektronen eher schlechter: das Material wird für Solarzellen-Anwendungen wohl besser. Ein entsprechendes, detailliertes Messprogramm ist in Zusammenarbeit mit der Universität Princeton (USA) (Prof.Dr.S.Wagner) im Gang. Ein Teil der Messapparatur (speziell die "Time-of-flight"-Messapparatur) wird z.Zt. auch in unserem Labor aufgebaut.

3.4 MIS-Solarzellen

Fig. 3 zeigt Querschnitt und Messdaten einer MIS-Solarzelle die in Zusammenarbeit mit der Universität Konstanz (Prof.Dr.E.Bucher) realisiert wurde. Die hohe erreichte Leerlaufspannung von 905 mV stellt einen Rekord dar und zeigt, dass unser VHF-Material sicher "Solarzellen-tauglich" ist. Der Kurzschlussstrom ist hingegen leider noch recht tief. Warum dies so ist, müssten wir im Laufe von 1988, zusammen mit den Konstanzer Forschern, abklären.

3.5 Infrastruktur-Aufbau für Solarzellenherstellung

a) Durch Spezialkredite des BEW und des Kantons Neuenburg (NE) wurde unser Technologielabor umgebaut und teilweise neu eingerichtet.
Dies umfasst:
- Aufdampfanlage mit Elektronenkanone und thermisches Aufdampfen, für Metallkontakte (Spezialkredit BEW)
- staubfreier Raum mit Luftqualität 10'000, Luftschleuse und Filter (Spezialkredit NE)
- Arbeitsplatz mit laminarem Luftfluss (Luftqualität 100) (Kredit BEW)
- Substratreinigungs-Kette (Kredit BEW)

b) Die Dimensionierung und Charakterisierung von Solarzellen wird z.Zt. ebenfalls vorbereitet. Wir müssen uns aber bewusst sein, dass dieser Sektor noch einen sehr grossen Arbeitsaufwand (etliche Mannjahre) bedingen wird, wenn wir wirklich fundierte Resultate erreichen wollen (und nicht bloss einige "Demonstrations-Solarzellen" abliefern): Das amorphe Silizium ist im Gegensatz zum monokristallinen in seinen Eigenschaften und Limiten heute nur teilweise erforscht; zudem verhält sich unser "VHF-Material" erst noch teilweise anders als die üblichen amorphen Schichten, die bei 13.56 MHz hergestellt werden. Wir sind deshalb der Meinung, dass wir sehr systematisch und vorsichtig weiter voranschreiten müssen, wenn wir Fehlschlüsse vermeiden und praktisch verwertbare Resultate erzielen wollen. Anderseits ist das "VHF - Gebiet" aber für weitere Durchbrüche und Innovationen durchaus offen!

PUBLIKATIONSLISTE

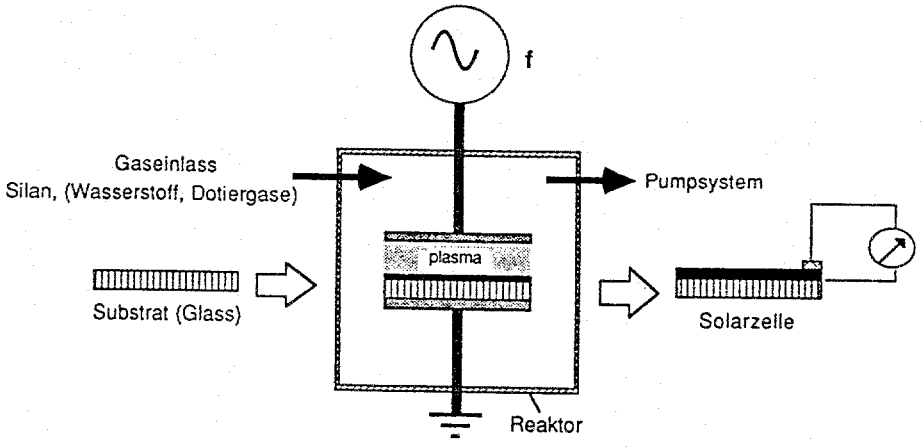
[1] H.Curtins, N.Wyrsch, M.Favre, K.Prasad, M.Brêchet, A.V.Shah, Materials Research Society (MRS) Conference, April 21-23, 1987 Anaheim Ca

[2] H.Curtins, N.Wyrsch, M.Favre, K.Prasad, M.Brêchet, A.V.Shah, 19th IEEE PV Specialists Conference, 1987, New Orleans, pp. 695-698

[3] M.Favre, H.Curtins, A.V.Shah, 12th International Conference on Amorphous and Liquid Semiconductors (ICALS 12) Prague, Aug. 24-28, 1987

[4] R.Schwarz, S.Goedecker, N.Wyrsch, A.V.Shah, H.Curtins, 12th International Conference on Amorphous and Liquid Semiconductors (ICALS 12) Prague, Aug. 24-28, 1987

[5] H.Curtins, N.Wyrsch, M.Favre, A.V.Shah, Plasma Chem. and Plasma Process. 7 (1987) 267



Abscheidezeit: bei f=13.56 MHz : ca. 1 Stunde
bei f=70-80 MHz : ca. 10 Minuten

Fig.1: Die Abscheidung eines intrinsischen Dünnfilms im Plasmareaktor ist einer der kostenmässig entscheidenden Schritte bei der Produktion von Solarzellen aus amorphem Silizium: Durch die Wahl einer Anregungsfrequenz f im VHF-Bereich werden die Abscheidezeiten reduziert; dies könnte potentiell zu einer Erhöhung der Produktionskapazität und deshalb zu einer Kostenreduktion führen.

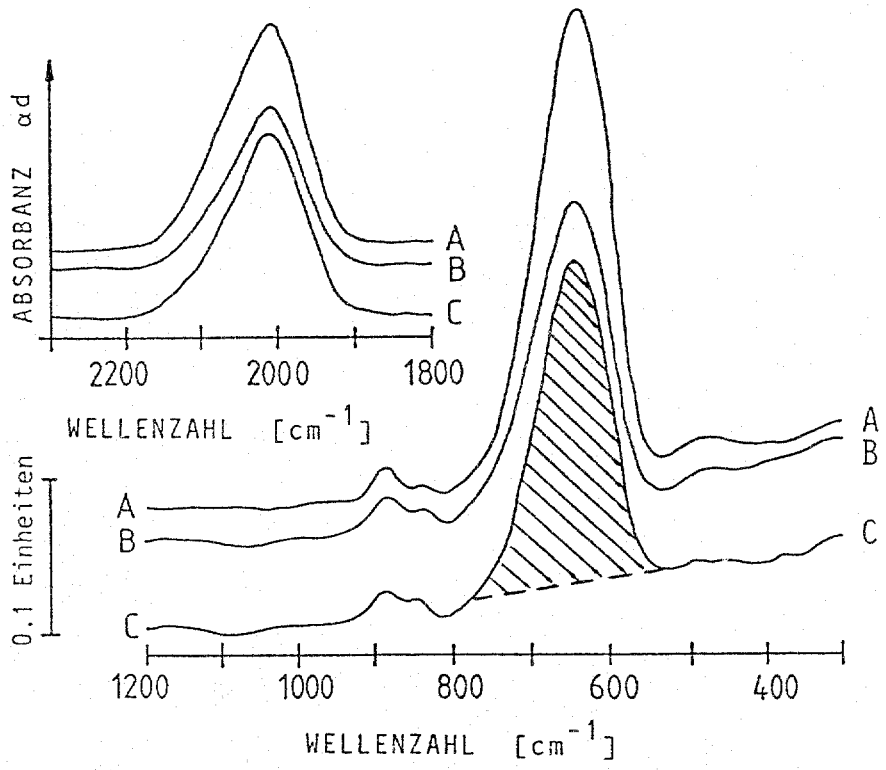
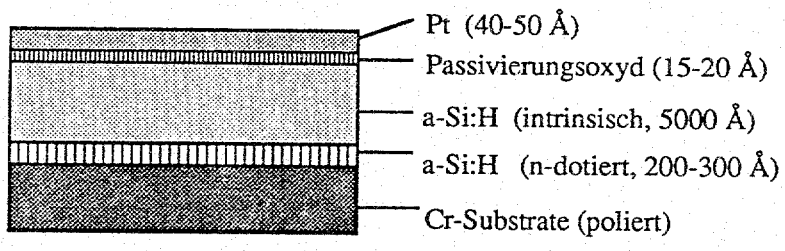


Fig.2: In Zusammenarbeit mit der Universität Zürich (P.D. Dr.S.Veprek) gemessene Infrarot-Absorptionsspektra von 3 VHF-Schichten A,B,C, welche bei f=70MHz abgeschieden wurden. Die Ordinate entspricht der Absorbanz α.d, wobei α=Absorptionskoeffizent und d=Schichtdicke (α d ist dimensionslos). Die schraffierte Fläche ist ein Mass für den gebundenen Wasserstoffgehalt und entspricht bei allen Schichten A,B, und C den heute als optimal angesehenen Wert von 5-6% (atomar). Die Schicht A wurde bei 3.6 A/sec abgeschieden, B bei 9.5 A/sec und C bei 15.7 A/sec.



Experimentell erreichte Werte: Voc = 905 mV
Jsc = 4.5 mA/cm2 (bei 77 mW/cm2 AM1.5)
FF = 55-60 %

Fig.3: In Zusammenarbeit mit der Universität Konstanz (Prof.Dr.E.Bucher) hergestellte Solarzelle vom Typ MIS (Metal-Insulator-Semiconductor): Struktur und Kenndaten.

OFEN PROJETS DE RECHERCHE ÉNERGÉTIQUE 1987

BEW ENERGIE - FORSCHUNGS - PROJEKTE 1987

DÉVELOPPEMENT DE SYSTÈMES CATALYTIQUES POUR LA PHOTOLYSE DE L'EAU

But du projet:
Le projet se situe dans le domaine de la conversion de l'énergie solaire. Les buts visés concernent d'une part le développement de systèmes catalytiques permettant la production d'hydrogène par la photolyse de l'eau. D'autre part, nous avons réussi à sensibiliser des couches d'oxydes semi-conducteurs avec des rendements remarquables et étudions l'application pratique de ces dispositifs pour la conversion de la lumière en courant électrique.

Durée du projet: ler février 1986 au 31 décembre 1988

Mandataire: Institut de chimie physique II, Ecole Polytechnique Fédérale, Lausanne

Rapporteur: Prof. Dr. M. Grätzel

Adresse: Institut de chimie physique II, Ecole Polytechnique Fédérale, Lausanne

Téléphone: (021) 47'31'12

1. - 2. Objectifs visés et travaux effectués

Le projet se situe dans le domaine de la conversion de l'énergie solaire par voie photochimique et photoélectrochimique. Les buts visés par nos recherches concernent d'une part le développement de systèmes catalytiques permettant la production d'hydrogène par photodissociation de l'eau. D'autre part, nous avons découvert une nouvelle méthode de conversion de l'énergie lumineuse en courant électrique. Celle-ci est basée sur la sensibilisation de couches très rugueuses d'oxydes semi-conducteurs. L'utilisation de telles couches dans des piles photoélectrochimiques régénératrices a donné des rendements étonnants de conversion, ce qui justifie l'intensification de nos activités dans ce domaine.

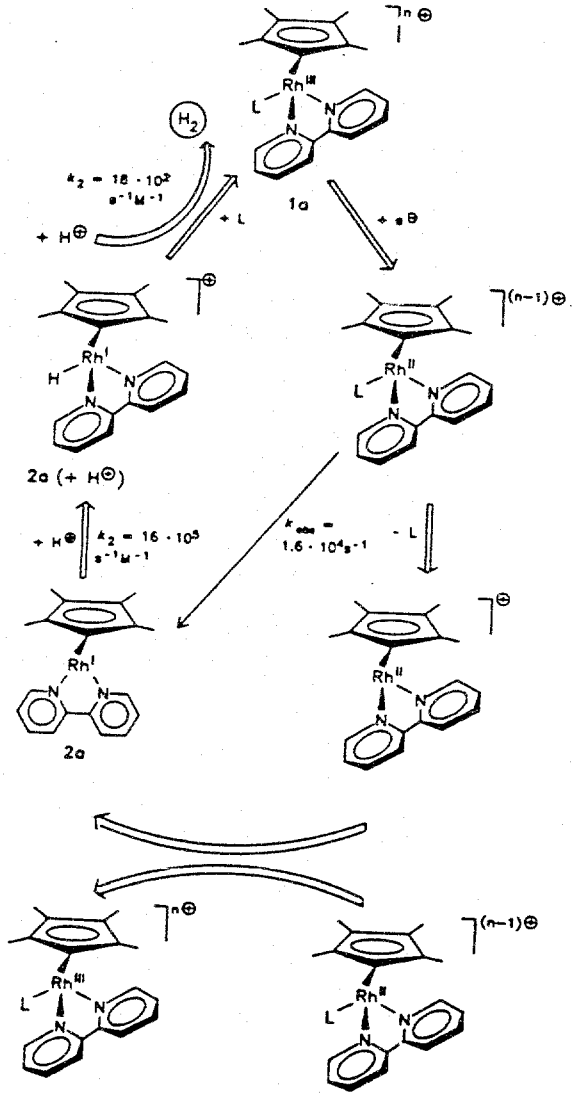
3. Résultats obtenus

a) Production d'hydrogène par la photolyse de l'eau en milieu microhétérogène contenant des dispersions de semi-conductors

Nos travaux scientifiques ont été poursuivis selon le plan de recherche soumis à l'Office Fédéral de l'Energie. Le résultat le plus remarquable obtenu pendant la période faisant l'objet de ce rapport concerne le développement d'un catalyseur moléculaire, complexe organo-métallique de rhodium (réf. 1), qui intervient de façon active et sélective dans le processus de la réduction de l'eau. Nous avons synthétisé ce catalyseur pour la première fois et l'avons caractérisé par voie électrochimique et spectroscopique. La génération catalytique d'hydrogène par la photolyse de l'eau a été étudiée dans des dispersions colloïdales de TiO_2. La photoexcitation des particules minces du semi-conducteur donne lieu à la formation de paires électron-trou dans les particules et est suivie par la diffusion des porteurs de charge à l'interface où ont lieu les réactions d'oxydation et de réduction de l'eau. L'intervention de catalyseurs à ce stade est primordiale pour assurer un haut rendement quantique de la photolyse. En ce qui concerne la réduction de l'eau, on utilise habituellement des catalyseurs hétérogènes de Pt déposés à la surface des particules de TiO_2. L'inconvénient de cette méthode est que la préparation réproductible de dépôts de Pt finement divisés et liés au TiO_2 par une jonction ohmique est très difficile. Le nouveau catalyseur a l'avantage qu'il s'absorbe facilement sous forme moléculaire à la surface du TiO_2 où il réagit rapidement avec les électrons de la bande de conduction. Nous

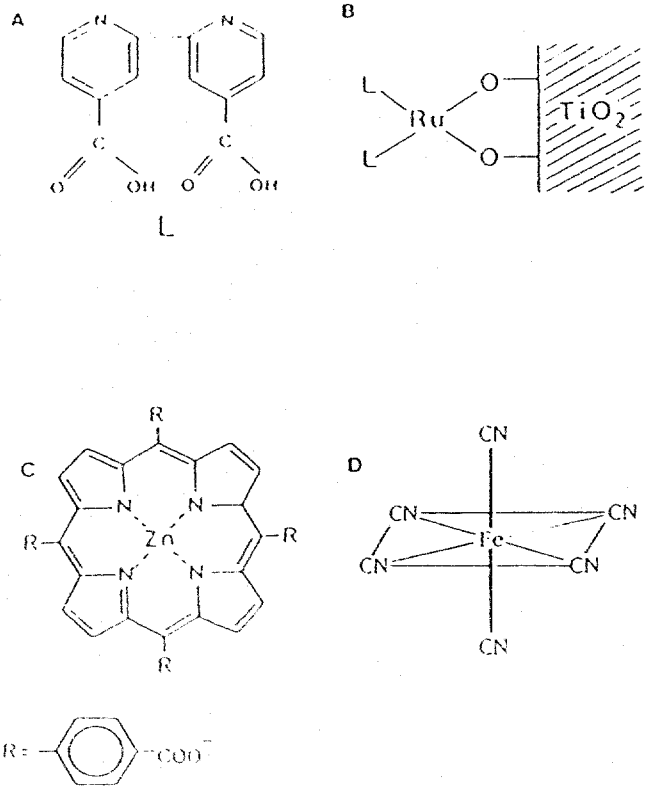
avons établi le cycle des réactions catalytiques aboutissant à la formation d'hydrogène qui s'enchaîne à la réduction du complexe de rhodium et nous résumons ces données cinétiques dans le premier diagramme. De futurs travaux seront dirigés vers l'utilisation de ce catalyseur en combinaison avec des particules de TiO_2 sensibilisées par un chromophore dont le spectre d'absorption se recouvre avec le spectre d'emission solaire.

Diagramme 1



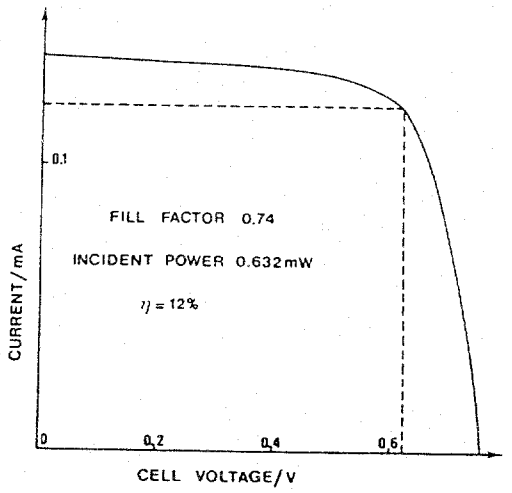
b) Fabrication de couches semi-conductrices à grande rugosité et conversion d'énergie lumineuse par leur sensibilisation spectrale

Nous avons réussi à fabriquer des couches minces d'oxydes semi-conducteurs tels que le TiO_2 ayant une grande rugosité (facteur de rugosité environ 200) en utilisant la technique sol-gel. La lumière visible est absorbée par un colorant adsorbé à la surface du semi-conducteur produisant un état excité. Ce dernier injecte un électron dans la bande de conduction du semi-conducteur offrant la possibilité de rendre le TiO_2 photoactif dans le visible. Jusqu'à présent, toute tentative d'appliquer cette méthode pour la conversion de l'énergie solaire a échoué à cause des rendements extrêmement faibles obtenus avec de dispositifs conventionnels. Nous avons cependant réussi à augmenter ces rendements de façon spectaculaire en utilisant les couches rugueuses de TiO_2 offrant une large capacité pour l'adsorption du sensibilisateur. On arrive ainsi à capter toute la lumière incidente dont la longueur d'onde est située proche du maximum de la bande d'absorption du sensibilisateur. Ci-dessous, nous donnons la structure des chromophores investigués pendant l'année faisant l'objet de ce rapport:



Tous ces composés sont fortement adsorbés à la surface du TiO_2 et montrent un rendement quantique d'injection de charge très élevé. Les complexes de ruthénium RuL_3 et $RuL_2(H_2O)_2$ se sont avérés particulièrement prometteurs par leur efficacité et par leur grande stabilité. Le rendement monochromatique du photocourant dépasse 70% dans le cas du RuL_3 et 60% dans le cas du $RuL_2(H_2O)_2$. A titre d'exemple, nous présentons dans le diagramme 2 la caractéristique d'une pile régénérative basée sur la sensiblisation d'un film rugueux de TiO_2 (taille 2x2 cm, épaisseur 0.02 mm) avec RuL_3. Le photocourant obtenu sous irradiation avec de la lumière monochromatique (470 nm) est reporté en fonction de la force électromotrice de la pile. Des facteurs de remplissage de l'ordre de 75% ont été obtenus. Il s'agit de valeurs très élevées étant donné que le TiO_2 utilisé est polycrystallin. Ce résultat montre que les pertes provenant de la recombinaison de porteurs de charge sont minimales dans le cas de nos couches sensibilisées.

Diagramme 2



4. Collaboration internationale

Elle concerne le développement du catalyseur moléculaire pour la production de l'hydrogène à partir de l'eau. Le laboratoire du Prof. U. Kölle (TH Aachen) a participé à ce projet, notamment en ce qui concerne le plan préparatif. D'autre part, le projet de sensibilisation de couches minces se fait en partie en collaboration avec l'Institut de Recherche d'Energie Solaire (SERI) aux Etats-Unis. Les travaux principaux s'effectuent cependant à Lausanne.

5. Publications

U. Kölle and M. Grätzel
"Metallorganische Rhodium(III)-Komplexe als Homogenkatalysatoren für die Photoreduktion von Protonen zu Wasserstoff an kolloidalem TiO_2"
Angew. Chem. 99, Nr. 6, 572-574, 1987.

E. Vrachnou, N. Vlachopoulos and M. Grätzel
"Efficient Visible Light Sensitization of TiO_2 by Surface Complexation with $Fe(CN)_6^{4-}$"
J.Chem Soc.,Chem.Comm. 868-870, 1987.

K. Kalyanasundaram, N. Vlachopoulos, V. Krishnan, A. Monnier and M. Grätzel
"Sensitization of TiO_2 in the Visible Light Region Using Zinc Porphyrins"
J.Phys.Chem. 91, 2342-2347, 1987

N. Vlachopoulos, P. Liska, A.J. McEvoy and M. Grätzel
"Efficient Spectral Sensitisation of Polycrystalline Titanium Dioxide Photoelectrodes"
Surface Sci. 189/190, 823-831, 1987.

N. Vlachopoulos, P. Liska, J. Augustynski and M. Grätzel
"Very Efficient Visible Light Energy Harvesting and Conversion by Spectral Sensitization of High Surface Area Polycrystalline Titanium Dioxide Films"
J.Am.Chem.Soc., in print.

6. Nouvelles recherches

Les résultats remarquables que nous avons obtenus dans le domaine de la sensibilisation de couches rugueuses d'oxydes semi-conducteurs justifient un élargissement de l'effort de recherche. Il s'agit dans un premier temps d'améliorer la performance de ces systèmes de façon à rendre leur application pratique possible. Nous avons démontré que des piles régénératives basées sur notre découverte sont à la fois bon marché et durables. Les caractéristiques obtenues sont excellentes. Il faut donc optimaliser ce dispositif. Quant au choix du sensibilisateur, beaucoup de travail reste à faire. Ainsi, il faudrait mieux adapter l'absorption du colorant (ou une combinaison de différents sensibilisateurs) au spectre d'émission solaire tout en maintenant son caractère durable et photoactif. Au sujet de la préparation de couches, celle-ci devrait être étendue au TiO_2 dopé par Al ainsi qu'aux perovskites ($SrTiO_3$) dont le niveau de Fermi est plus négatif que celui du TiO_2. Finalement, le choix du relais d'électrons intervenant comme porteur de charge dans l'électrolyte est important et un test de différents candidats s'impose. Une proposition se référant à ce projet sera adressée à l'Office Fédéral de l'Energie au courant de l'année 1988.

OFEN — Projets de Recherche énergétique 1987

BEW — Energie - Forschungs - Projekte 1987

Entwicklung neuer Materialien für die Photoelektrolyse

Ziel des Projekts: Das Ziel des Projekts bestand in der Entwicklung neuer Elektrodenmaterialien für die Photoelektrolyse. Aus wissenschaftlichen Gründen (bessere Charakterisierungsmöglichkeiten, definierte Materialien) sollten die photoelektrochemischen und physikalischen Untersuchungen vorerst an einkristallinen Halbleitern durchgeführt werden, allerdings ausschliesslich an solchen mit einer direkten Bandlücke in der Nähe von 1.5 eV (optimal für Umwandlung von Solarenergie). Wegen hoher Absorption ist damit die Möglichkeit für die Anwendung in der Form dünner Schichten gegeben. In einem weiteren Schritt sollte versucht werden, die Photokorrosion der Halbleiterelektroden durch eine oxidische Schutzschicht zu verhindern. Die Oxidschichten sollten durch reaktive Kathodenzerstäubung hergestellt werden.

Dauer des Projekts: 1.1.86 - 31.12.87

Beitragsempfänger: Laboratorium für Festkörperphysik

Berichterstatter: Dr. H. von Känel

Adresse: ETH - Hönggerberg, 8093 Zürich

Telephon: 01' 377'22'58

1. Anvisierte Zielpunkte

Um dem Ziel, brauchbaren Elektroden für die Photoelektrolyse, einen Schritt näherzukommen, sollten die Arbeiten auf zwei Hauptpunkte konzentriert werden:

a) Versuch zur Stabilisierung von früher her bekannter, günstiger Halbleiter. In Frage kam hauptsächlich β-ZnP_2, dessen Kristallzucht, sowie n- und p-Dotierung beherrscht werden und das sehr günstige optische und photoelektrische Eigenschaften aufweist, jedoch in wässrigen Elektrolyten unter Belichtung zu schnell korrodiert.

   Die Stabilisierung sollte erreicht werden durch das Aufbringen eines stabilen Oxids auf die Halbleiterelektrode. Der zeitliche Verlauf dieser Arbeiten war durch das anvisierte Ziel vorgegeben:

   - Herstellung einer durchsichtigen, leitenden Oxidschicht durch reaktive Kathodenzerstäubung. Als Oxide wurden In_2O_3 und Fe_2O_3 gewählt.
   - Herstellung und Optimierung der entstehenden Schottky-Dioden.
   - Austesten der Heterostruktur aus Elektrolyt-Kontakt und ev. Oberflächenmodifizierung durch katalytische Metallpartikel.

b) Neue Materialien: Kristallzucht und Dotierung der ternären Phosphide und Arsenide mit Chalkopyrit-Struktur sollten vorangetrieben werden. Diese Halbleiter besitzen die erforderliche Bandlücke (Hohe Absorption!) im Bereich zwischen 1.5 und 1.7 eV und sind z.T. chemisch ausserordentlich stabil.

2. Durchgeführte Arbeiten

2.1. Oxidschichten und Heterojunctions

Im ersten Projektjahr (1986) wurden mit der bestehenden DC-Sputterapparatur durchsichtige In_2O_3 und Fe_2O_3-Schichten hergestellt und ihre optischen, elektrischen und photoelektrochemischen Eigenschaften untersucht. In_2O_3/β-ZnP_2 Heterojunctions wurden auf p-leitenden Einkristallen realisiert und die Diodenkennlinien ausgemessen. Wegen unlösbarer apparativer Probleme - trotz Einbau einer Substratheizung und verbesserter Druckregelung konnten keine reproduzierbaren Leitfähigkeiten erzielt werden - wurde die ETH gegen Ende 1986 um Unterstützung für den Ersatz der Sputtermaschine ersucht.

Der bewilligte Kredit zur Anschaffung dreier Sputterkanonen ermöglichte 1987 die Konstruktion einer neuen Apparatur. Sie wurde grösstenteils von der Werkstatt des Physikdepartements der ETHZ gebaut und ist demnächst betriebsbereit. Die Maschine verfügt über drei unabhängige Sputterkanonen (RF und DC) und eine Substratheizung und Rotation. Es können damit Oxide und Halbleiterschichten hergestellt werden.

2.2. Chalkopyrit-Halbleiter

In der Gruppe von Prof. Lévy (EPFL) wurden Einkristalle von $CdGeP_2$, $ZnSiAs_2$ und $CdSiAs_2$ gezüchtet. Aus Stabilitätsgründen wurde beschlossen, vorderhand nur p-leitende Elektroden (Photokathoden) zu betrachten. Das

Dotieren stellte sich als grösstes Problem heraus. Besonders $CdGeP_2$, das chemisch stabilste Material von den dreien, konnte nicht genügend leitend gemacht werden. Die Arsenide, $ZnSiAs_2$ und $CdSiAs_2$, zeigten dagegen brauchbare p-Leitung (10-100 Ωcm).

An der ETHZ (R. Hauger) wurde schliesslich $ZnSnP_2$ synthetisiert und erste, noch recht kleine, Kristalle gezüchtet. Das Material ist chemisch ausserordentlich stabil und unter den gewählten Zuchtbedingungen p-leitend (~ 10 Ωcm).

Erste photoelektrochemische Untersuchungen wurden an $CdSiAs_2$ und $ZnSnP_2$ durchgeführt (Quantenausbeute, Flachbandbestimmung aus Elektroreflexion und Impedanzmessung, etc.).

2.3. Weitere (Photo)elektrochemische Untersuchungen

Die Impedanzmessung konnte dank eines neu angeschafften ansteuerbaren Lock-in's vollständig automatisiert werden. Sie gestattet nun Cole-Cole Diagramme in einem Frequenzbereich von 4 Hz bis 100 kHz aufzunehmen und eine Netzwerkanalyse mit einer nichtlinearen Fitroutine durchzuführen. Beliebige Ersatzschaltkreise können vorgegeben und die Parameter an die Messdaten angepasst werden.

Die Arbeiten an hochohmigen Halbleitern, bzw. an Isolatoren, wurden mit der Dissertation von Herrn O.E. Hüsser abgeschlossen. Die früher beschriebene Doppelstrahl-Methode wurde mit der Elektroreflexions- und Impedanzmessung kombiniert, was nicht nur eine vollständige Charakterisierung der Isolator/Elektrolyt-Grenzfläche erlaubte, sondern den endgültigen Beweis für die früher gemachten Aussagen über die Randschichtbildung lieferte (s. auch unten).

Die spektroskopische Untersuchung von Elektrodenreaktionen durch den resonanten und den oberflächenverstärkten Raman-Effekt wurde an glatten und aufgerauhten Silberoberflächen, sowie an blanken, bzw. mit Ag-Partikeln belegten β-ZnP_2-Elektroden fortgesetzt.

3. Erreichte Ergebnisse

3.1. Oxidschichten

Kurz zusammengefasst, lieferten die im ersten Projektjahr (1986) hergestellten Oxidschichten den Hinweis, dass sich die angestrebte Elektrodenstabilisierung im Prinzip erreichen lässt. Leider waren aber unsere zahlreichen Versuche zur Herstellung von Oxid/Halbleiter-Heterojunctions stark beeinträchtigt durch apparative Probleme. Es stellte sich nämlich heraus, dass mit der zur Verfügung stehenden 20-jährigen Apparatur weder reproduzierbare Leitfähigkeitswerte noch vernünftige Zerstäubungsraten zu erreichen sind, und dies trotz verschiedener technischer Verbesserungen (Druckregelung, Substratheizung, Blendenmechanismen, etc.). So konnten z.b. In_2O_3-Schichten genügend hoher Leitfähigkeit (≈ 100 $(\Omega cm)^{-1}$) nur sporadisch realisiert werden. Immerhin zeigten in solchen Fällen In_2O_3/β-ZnP_2 Heterojunctions, hergestellt auf p-leitendem Material, gute Diodencharakteristiken mit einer Barrierenhöhe in der Gegend von 0.7 eV. Auch die Zerstäubungsraten erwiesen sich als untolerierbar niedrig (z.b. ca. 500Å/h bei Fe_2O_3). Trotz allem konnten photoleitende Fe_2O_3-Schichten abgeschieden werden. Sowohl rein optische Messungen (Transmission & Reflexion)

als auch Photostrom-Messungen an solchen n-leitenden Schichten in NaOH ergaben eine indirekte Bandlücke von 2.1 eV und eine höher gelegene direkte Lücke von 2. 75 eV, in guter Uebereinstimmung mit Literaturwerten.

Da bald einmal feststand, dass die erwähnten experimentellen Schwierigkeiten durch eine weitere Modifikation der vorhandenen Sputtermaschine nicht zu beseitigen sein würden, erschien es uns sinnvoller, die Anstrengungen im 2. Projektsjahr (1987) auf die neuen Chalkopyrit-Halbleiter zu konzentrieren und während dieser Zeit die apparativen Probleme durch die Konstruktion und den Bau einer modernen Sputterapparatur (Planare Magnetrons) zu lösen.

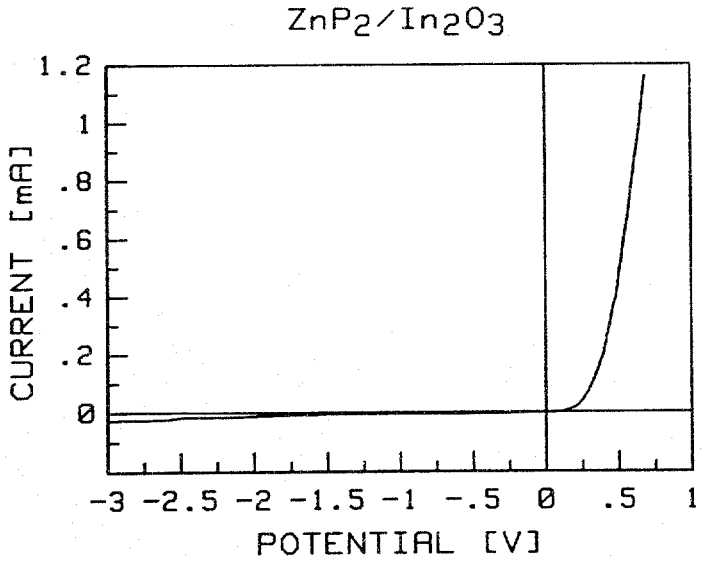


Fig. 1: Strom-Spannungs Kennlinie einer p-Typ β-ZnP_2/In_2O_3 Schottky-Diode. Barrierenhöhe ~ 0.7 eV.

3.2 Chalkopyrit-Halbleiter

3.2.1 $CdSiAs_2$

Dieses an der ETH Lausanne bei Dr. F Lévy hergestellte Material ist mit seiner direkten Energielücke von E_g = 1.55 eV (aus eigenen Elektroreflexionsmessungen) nahe dem theoretischen Wert für das Maximum bei der Sonnenenergieumwandlung. Die Quantenausbeute liegt bei 60 % über einen grossen Teil des Spektrums. Ebenfalls mit Hilfe der Elektroreflexionsmessung wurde das Flachbandpotential bestimmt und mit dem Resultat aus den Messungen der komplexen Impedanz verglichen. Daraus wurde ersichtlich, dass das Flachbandpotential V_{fb} bei frisch geätzter Oberfläche in 1M H_2So_4 positiv (+0.35 V_{SCE}) liegt, aber schon nach kurzer Zeit ins negative schiebt. Für die Anwendung in einer photoelektrochemischen Zelle muss versucht werden, dieses Schieben zum Beispiel durch spezifische Adsorption zu verhindern. Für die photounterstützte Elektrolyse liegt V_{fb} etwas günstiger als bei z.B. nackten β-ZnP_2 Photokathoden, jedoch immer noch nicht genügend positiv.

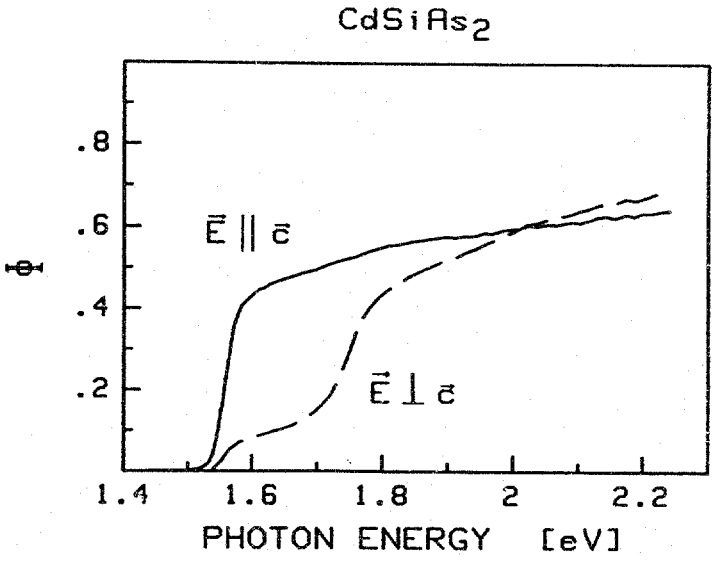


Fig 2: Quantenausbeute für polarisiertes Licht einer p- $CdSiAs_2$ Elektrode in 1M H_2So_4. Reflexionsverluste nicht berücksichtigt.

3.2.2 $ZnSnP_2$

Im Gegensatz zu $CdGeP_2$ erwies sich der Widerstand von $ZnSnP_2$ Einkristallen ohne Fremddotierung als genügend tief für sämtliche photoelektrochemische Untersuchungen, nämlich ≈ 10 Ωcm (p-Leitung). Die Kristallzucht stellte sich aber als grosses Problem heraus, sodass nach zweijährigen Bemühungen immer noch lediglich einige wenige mm^2 grosse Kristalle zur Verfügung stehen.

Erste Messungen der Quantenausbeute ergaben Werte bis zu 60 %. Messungen der Langzeitstabilität zeigten, dass der Photostrom auch über längere Zeit konstant bleibt. Mott-Schottky Messungen ergaben Flachbandwerte im Bereich von +0.5 bis +0.7 V_{SCE} bei pH 0, in Abhängigkeit des pH wurde eine Flachbandverschiebung von ca 60 mV pro pH-Einheit festgestellt, also Nernst'sches Verhalten.

Wenn es gelingt, die Flachbandverschiebungen, welche unter Beleuchtung auftreten, zu verhindern, so haben wir hier ein sehr interessantes Material. Art und Grösse der Bandlücke sind beinahe optimal (1.66 eV, direkt), das Flachbandpotential liegt günstig und nicht zuletzt ist die chemische Stabilität, sowohl im Dunkeln wie unter Beleuchtung, sehr gut.

3.2.3. Hochohmige Halbleiter

In den abschliessenden Arbeiten zu diesem Thema wurde ein direkter Beweis der früher gemachten Aussagen über die Generation einer Raumladungszone in einem Isolator mittels geeigneter Beleuchtung angestrebt. Dieses Ziel wurde vollumfänglich erreicht durch die Kombination der Elektroreflexionsmessung (EER) mit der Doppelstrahlmethode. Anhand von BiI_3 und α-HgI_2 Einkristallen konnte nachgewisen werden, dass tatsächlich eine Randschicht wie in einem Halbleiter entsteht, deren Ausdehnung sich mit der Intensität der Hintergrundstrahlung variieren lässt. Gleichzeitig folgt aus der Potentialabhängigkeit des EER-Signals die Lage des Flachbands V_{fb}, was z.B. für BiI_3 in 1M H_2SO_4 V_{fb} ~ 0.4 V_{SCE} ergab.

Damit steht endgültig fest, dass die beschriebene Methode die Bestimmung des Energieniveauschemas an der Isolator/Elektrolyt-Grenzfläche gestattet.

3.2.4 Raman-Effekt

Die Untersuchung der Reaktion MV^{2+} +e → MV^{+} (MV=Methyl-Viologen) an glatten und aufgerauhten Silberoberflächen mittels oberflächenvertärktem, bzw. resonantem Raman-Effekt, liess eine neue, adsorbierte Form des Moleküls erkennen, deren Raman-Spektrum sich in charakteristischer Weise von demjenigen von sowohl MV^{2+} als auch MV^{+} unterscheidet.

An Halbleiterelektroden können dank des erhöhten Wirkungsquerschnitts des resonanten Raman-Effekts Molekülkonzentrationen nachgewiesen werden, die sonst weit unterhalb der Detektionslimite liegen. Im Falle der Reaktion MV^{2+} +e → MV^{+} an β-ZnP_2 Photokathoden korreliert das Raman-Signal von MV^{+} klar mit dem simultan gemessenen Photostrom.

4. Internationale Zusammenarbeit

Die Kontakte zu den anderen zum IEA-Wasserstoff-Programm Task VI gehörenden Gruppen sind leider seit dem Rückzug von Belgien und der gleichzeitigen Verwaisung des Postens des Operating Agents völlig unterbrochen.

5. Veröffentlichungen

1. Beobachtung der Reduktion von Methylviologen auf Ag und β-ZnP_2 Elektroden
   I. Mörke, H. von Känel and P. Wachter, Helv. Phys. Acta 59, 1085 (1986)

2. Observation of the Reduction of Methyl Viologen at Ag and β-ZnP_2 Electrodes by Means of Raman Scattering
   I. Blatter-Mörke, H. von Känel, P. Wachter, J. Phys. Chem., 91, 663 (1987)

3. Electroreflectance at the BiI_3/Electrolyte Interface
   O.E. Hüsser, F. Hulliger, H. von Känel, Helv. Phys. Acta, 60, 263 (1987)

4. Photoconductivity of $TlSbS_2$ Measured at the Solid/Electrolyte Interface
   O.E. Hüsser, F. Hulliger, H. von Känel, J. Electrochem. Soc. 134, 477 (1987)

5. Optically Generated Space Charge Layer in Insulators: Electrolyte Electroreflectance at the BiI_3/Electrolyte Interface
   O.E. Hüsser, H. von Känel, Ber. Bunsenges. Phys. Chem. 91, 379 (1987)

OFEN
BEW

PROJETS DE RECHERCHE ÉNERGÉTIQUE 1987
ENERGIE - FORSCHUNGS - PROJEKTE 1987

VERFAHREN DER BIOGASPRODUKTION AUS FESTMIST

Ziel des Projekts: In rund 80% aller Landwirtschaftsbetriebe der Schweiz fallen Anteile der tierischen Exkremente in Form von Mist an. Etwa ein Viertel aller Betriebe produziert ausschliesslich Festmist.

Die Entwicklung des Biogasanlagenbaus für Festmistsysteme war in den späten 50iger Jahren stehen geblieben, d.h. sie war nie über die Technik der Batch-Vergärung hinaus gekommen.

Das Ziel des Projektes war es, verfahrenstechnische Möglichkeiten von kontinuierlichen Systemen zur Vergärung von Festmist aufzuzeigen und sie in Labor- und Pilotuntersuchungen so weit zu entwickeln, dass ein scale-up für den Bau einer Demonstrationsanlage technisch möglich wurde.

Dauer des Projekts: 1. Januar 1985 bis 31. Dezember 1987

Beitragsempfänger: Eidg. Forschungsanstalt für Betriebswirtschaft und Landtechnik

Berichterstatter: Dr. A. Wellinger

Adresse: 8356 Tänikon

Telephon: 052 47'20'25

1. Anvisierte Zielpunkte für 1987

Das gesamte Projekt hatte zum Ziel, ein kontinuierliches System zur Vergärung von Festmist in Labor- und Pilotversuchen so weit zu entwickeln, dass auf Grund der Parameter eine Demonstrationsanlage gebaut werden könnte.

Das im ersten Jahr erarbeitete Versuchskonzept sah die Untersuchung von drei verfahrenstechnischen Grundvarianten des Stofftransportes vor:

A. Der feste Mist und die flüssige Harngülle werden gemischt in einem kontinuierlich betriebenen Fermenter vergoren.

B. Die abgetrennte flüssige Harngülle bleibt stabil in einem Fermenter, während der feste Anteil in Körben in rund 20 bis 30 Tagen durch die Flüsssigkeit gezogen, und während dieser Zeit anaerob abgebaut wird.

C. Die verdünnte flüssige Harngülle perkoliert durch den Mist und laugt die abbaubaren, organischen Bestandteile aus. Die angereicherte Flüssigkeit durchströmt anschliessend einen anaeroben Filter in sehr kurzen Aufenthaltszeiten von weniger als 5 Tagen und wird anschliessend für die erneute Extraktion rezirkuliert.

Die Untersuchungen der Jahre 1985/86 galten den Systemen A + C. Dabei erwies sich das System A als erfolgsversprechend und soll in einer Demonstrationsanlage weiter verfolgt werden. Die Zielsetzungen für 1987 waren

1. die 1986 begonnen Extraktionsversuche zur Variante C abzuschliessen
2. die anaeroben Filter in Bezug auf die Beladung zu optimieren, sowie deren maximale Belastung zu bestimmen und
3. Eine Pilotanlage für die Untersuchungen der Grundvariante B zu planen, zu bauen und in Betrieb zu nehmen.

2. Durchgeführte Arbeiten 1987

2.1 Extraktion

Die umfangreichen Extraktionsversuche, welche 1986 durchgeführt wurden erlaubten uns, für eine erfolgreiche Auslaugung die folgenden Richtlinien zu definieren:

1. Eine aerobe Extraktion ist einer anaeroben vorzuziehen, da sie gleiche Leistung bei geringerem technischen Aufwand erbringt.
2. Während der Extraktion muss der Mist vollständig in die Flüssigkeit eingetaucht sein. Eine reine Perkolation laugt den Mist rund 10 Mal schlechter aus.
3. Eine Behandlung bei Temperaturen unter 15°C bringt nur noch eine ungenügende Extraktion.

Wegen des grossen apparativen und platzmässigen Aufwandes musste bei diesen Versuchen auf eine Vergärung verzichtet werden. Die Reduktion des chemischen Sauerstoffbedarfes (CSB) wurde daher mit einer vierfachen Verdünnung der angereicherten Flüssigkeit mit Wasser simmuliert.

In den Versuchen von 1987 ging es darum, einmal die zitierten Befunde unter Einbezug der anaeroben Vergärung zu bestätigen und zum anderen einige Parameter wie Mistalter und Extraktionszeit etwas detaillierter zu untersuchen.

2.2 Optimierung der Anaerobfilter

Die Leistung eines Filters wird an der maximalen Raumbelastung gemessen welche angibt, wieviel organische Substanz ausgedrückt als CSB pro Tag und Fermenterinhalt zugeführt werden kann (kg CSB/m3.d). Die Raumbelastung wird bestimmt durch die Konzentration des zufliessenden Substrates und der Aufenthaltszeit. Es galt also die Filter nach diesen zwei Grössen zu optimieren sowie die Grenzwerte zu bestimmen.

2.3 Pilotanlage zur Untersuchung der Grundvariante B

Es wurde ein Gärkanal von rund 500 Litern Flüssigvolumen gebaut durch welchen insgesammt 12 Körbe mit je 11 kg Mist gezogen werden können. Jeweils 8 der Körbe befinden sich dabei in der Zone der aktiven Fermentation.

3. Erreichte Ergebnisse

3.1 Extraktion

Um den maximal extrahierbaren Anteil an CSB aus Mist bestimmen zu können, wurde je ein Ansatz bei 15°C und bei 30°C mit Wasser ausgelaugt. Nach Erreichen der Sättigungsgrenze wurde zweimal das Wasserbad mit frischem Wasser erneuert (Abb. 1). Insgesammt konnten pro kg frischem Mist bei 15°C rund 30g CSB und bei 30°C rund 37g CSB ausgewaschen werden. Abbauversuche in Batch-Ansätzen zeigten, dass nur rund 50% des ausgelaugten löslichen CSB vergoren werden kann. Die Gasausbeute der vereinigten Extrakte bei 30°C ist in Abbildung 4 (Mist Nr.1) wiedergegeben.

Je nach Ansatz wurde die in den Anaerobfiltern abgebaute Gülle zwischen 8 und 30 Tagen über denselben Mist rezirkuliert. Die rezirkulierte Gülle beinhaltete CSB-Konzentrationen zwischen 8'000 und 13'500 mg/l. Trotzdem konnten bei 30°C die gleichen Mengen an CSB aus dem Mist herausgelöst werden wie mit reinem Wasser. Das bedeutet, dass der nicht abbaubare CSB keinen Einfluss auf die Löslichkeit des abbaubaren CSB hatte.

3.2 Optimierung der Anaerobfilter

Die Batch-Vergärung von verschiedenen Extrakten aus aeroben und anaeroben Auslaugversuchen zeigte bezüglich der Gasausbeute keine Unterschiede. Das

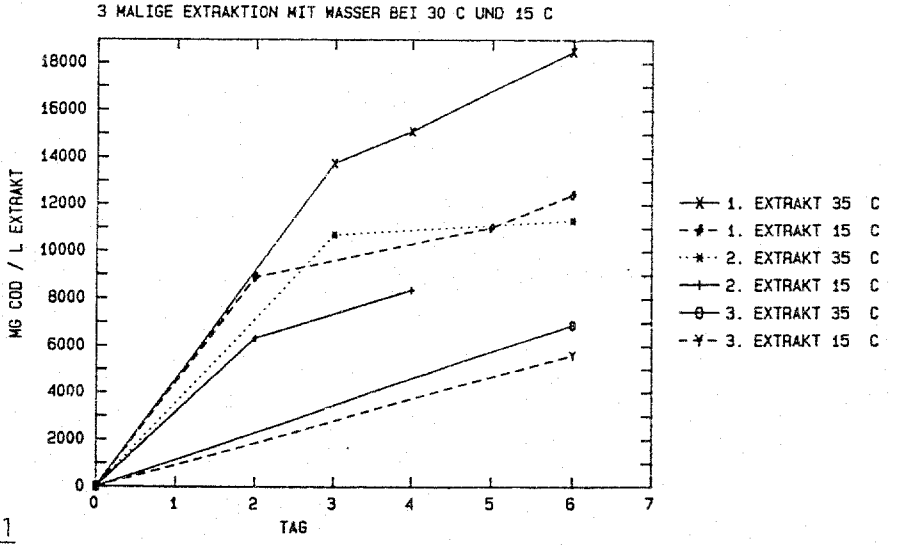


Abb. 1

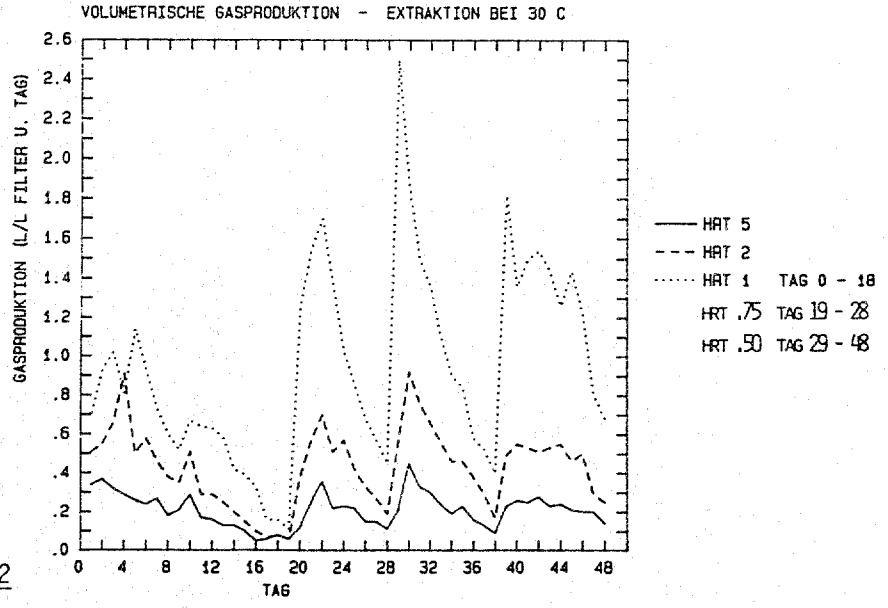


Abb. 2

aerobe Verfahren war deshalb auch aus dieser Sicht die Methode der Wahl.

Als Parameter der Filterversuche dienten die Konzentration an löslicher CSB im Extrakt, sowie die hydraulische Verweilzeit (HRT). Die Gärtemperatur wurde in allen Versuchen auf 30°C eingestellt. Abbildung 2 zeigt, dass die tägliche Gasproduktion sehr schnell auf die jeweilige CSB-Konzentration anspricht. An den Tagen 0, 19, 28 und 38 gelangten jeweilen Extrakte von frischen Mistansätzen zur Fermentation. Die volumenspezifischen Gasproduktionen (l Gas/l Fermenter.d) sind typischerweise bei kurzen HRT grösser als bei langen, was zeigt, dass die Filter auch bei nur 1 Tag Aufenthaltszeit nicht überladen waren. Gegensätzliches Verhalten zeigen die Ausbeuten (Abb.3), welche bei 0.5 Tagen HRT auf 50% des Wertes bei 5 Tagen HRT absinken.

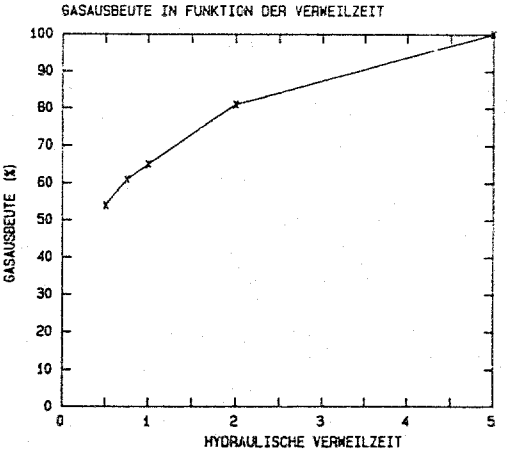


Abb. 3

Die Gasausbeute bei 5 Tagen HRT wurde gleich 100% gesetzt

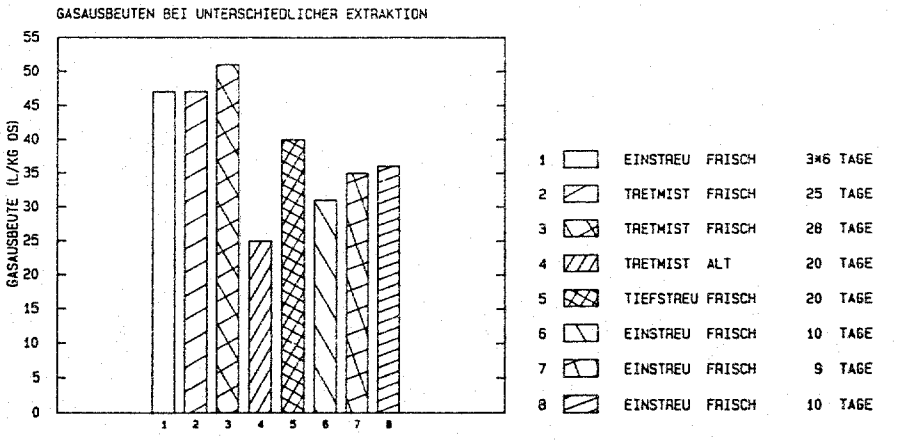


Abb. 4

Wichtig ist die Feststellung, dass auch bei hohen CSB-Konzentrationen und kurzen Aufenthaltszeiten mit Raumbelastungen bis zu 40 kg CSB pro m^3 und Tag keine Hemmung der Gasproduktion durch eine mögliche Anreicherung von Inhibitoren eintrat. Eine Rezirkulation des vergorenen Substrates zur Verdünnung des Zuflusses, wie sie insbesondere in der amerikanischen Literatur propagiert wird, ist demnach nicht notwendig.

Abbildung 4 fasst eine Reihe verschiedenster Versuche zusammen. Sie belegen, dass die Gasausbeute von einer Reihe weiterer Parameter als die oben erwähnten abhängig ist wie Mistart, Mistalter und Extraktionszeit. Bezogen auf den Gehalt an org. Substanz (OS) im frischen Mist ergeben sich Unterschiede in der Ausbeute von über 50%. Entscheidend ist jedoch die Feststellung, dass auch im besten Falle die Ausbeute nicht über 52 l pro kg OS steigt. Im Vergleich dazu erreicht man bei der Batch-Vergärung von Vollmist 300 bis 350 l pro kg OS. Eine Nachträgliche Vergärung in Batch-Ansätzen des ausgelaugten Mistes zeigt (Abb.5: die Zahlen beziehen sich auf den entsprechenden Mist in Abb.4), dass praktisch noch das ganze Gaspotential vorhanden ist.

Obwohl das Filtersystem rein wirtschaftlich betrachtet eine faszinierende Alternative zur Vergärung des ganzen Mistes bieten würde, muss diese Variante auf Grund des minimalen Gaspotentials von einer weiteren Entwicklung ausgeschlossen werden. Der Anaerobfilter würde dann wieder interessant, wenn ein neues Extraktionsverfahren gefunden werden könnte.

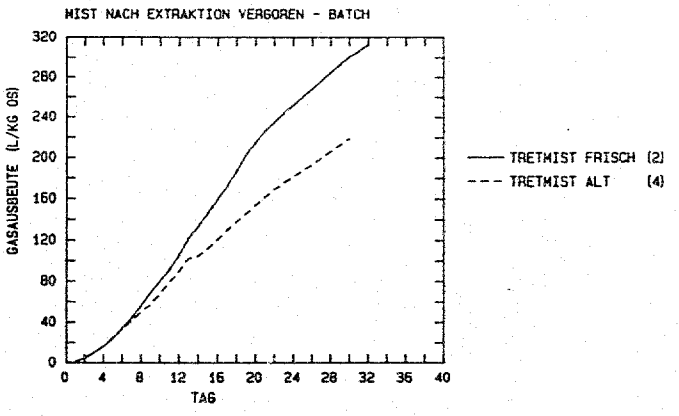


Abb. 5

3.3 Vergärung von Mist im Gärkanal

Der Gärkanal von rund 500 l Flüssiginhalt wurde aus PVC-Rohren zusammengesetzt (Abb.6). Die zylindrischen Metallkörbe zur Aufnahme des Mistes wurden nach Mass in den FAT-Werkstätten hergestellt. Sie bieten für rund 11 kg Mist Platz.

Als Vorversuche wurden einzelne Batch-Vergärungen mit je einem Mistkorb von 11 kg Inhalt in ausgegorener Harngülle angesetzt. Die Gasproduktion stieg jeweilen sehr schnell an und erreichte um den 13. Tag ein Maximum. Die Ausbeuten nach 26 Tagen Gärdauer betrugen 278 l/11 kg für Kuhmist und 480 l/11 kg für Tiefstreu aus einem Jungviehstall.

In einem ersten kontinuierlichen Versuch mit insgesamt 12 Körben (davon 8 in der anaeroben Zone) bei einer Aufenthaltszeit von 24 Tagen wurde eine tägliche Gasproduktion von durchschnittlich 140 Litern erzielt bei einer Ausbeute von 270 l/kg OS.

Diese Methode scheint eine vielversprechende Variante darzustellen und soll parallel zur Variante A in einem Nachfolgeprojekt weiter untersucht werden.

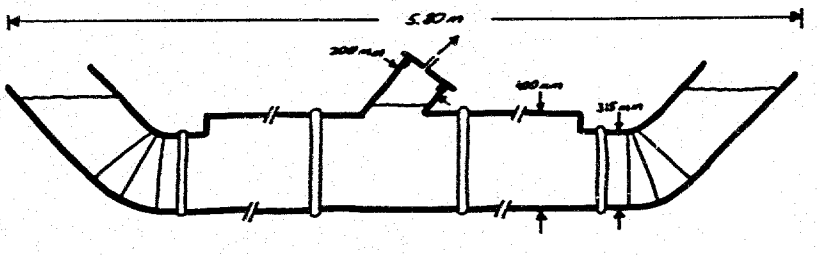


Abb. 6

4. Veröffentlichungen

Sutter, K. und Wellinger, A. 1987. Güllengrube als Biogasanlage. FAT-Berichte 304: 1-8.

Sutter, K. and Wellinger, A.1987. ACF-system: A new low-temperature biogas digester. Proc. CIEC/FAL-Symposium on Agricultural Waste Management and Environmental Protection.

Sutter, K.; Egger, K. and Wellinger, A.1987. Psychrophilic methane production: a low rate but economically viable technique. Alternative Energy Sources VII (4): 87-98. Springer Verlag.

OFEN — PROJETS DE RECHERCHE ÉNERGÉTIQUE 1987

BEW — ENERGIE - FORSCHUNGS - PROJEKTE 1987

EMISSION VON HOLZFEUERUNGEN

Ziel des Projekts:

Untersuchung der Auswirkung moderner Holzfeuerungen auf die Luftreinhaltung und Verbesserung des Verständnisses über die Entstehung von Emissionen bei der Holzverbrennung.

Die Resultate dienen als Grundlage für neue Vorschriften und Verbesserungsmöglichkeiten für die Hersteller.

Dauer des Projekts: 1.4.1986 - 29.2.1988

Beitragsempfänger: Prof. Dr. P. Suter
Institut für Energietechnik
Laboratorium für
Energiesysteme
ETH-Zentrum
8092 Zürich

Berichterstatter: Th. Nussbaumer

Adresse:

Telephon: 01 256 25 89

Bedeutung der Holzenergie

Holz stellt eine ideale Form gespeicherter Sonnenenergie dar. Unter der Voraussetzung einer nachhaltigen Waldpflege geschieht die Nutzung von Holz im Kreislauf der Natur. Das bei der Verbrennung freiwerdende Kohlendioxid wird beim Nachwachsen der nächsten Baumgeneration wieder abgebaut.

Zusätzlich zum Kohlendioxid werden aber bei der Holzverbrennung auch verschiedene umweltbelastende Schadstoffe freigesetzt. Das Ziel des Projektes "Emissionen von Holzfeuerungen" ist eine Bestandesaufnahme der Schadstoffbelastung moderner Holzfeuerungen in der Schweiz. Die Messungen werden an handbeschickten Stückholzkesseln, an automatischen Feuerungen, an einem Kachelofen und an einem Warmluftcheminée durchgeführt. Unter Berücksichtigung der verschiedenen Betriebseinflüsse werden die Schadstoffe Kohlenmonoxid, Kohlendioxid, Gesamtkohlenwasserstoffe, Stickoxide und Staub gemessen. Anhand eines Vergleichs der verschiedenen Feuerungstypen soll abgeklärt werden, in welchem Mass die einzelnen Schadstoffkomponenten vermeidbar sind. Die Resultate dienen einerseits als Grundlage zur Ausarbeitung neuer Vorschriften und sollen andererseits den Herstellern Impulse für Verbesserungen geben.

Der Anteil des Holzes am Gesamtenergieverbrauch der Schweiz beträgt heute rund 1,6%. Holz ist damit nach der Wasserkraft der zweitwichtigste inländische Energieträger. Aus forstwirtschaftlicher Sicht ist eine Erhöhung des Holzverbrauches wünschenswert, da die Pflege der Wälder dadurch verbessert werden könnte. In bezug auf die Luftverschmutzung ist die Holzenergie nur dann förderungswürdig, wenn das Holz umweltfreundlich verbrannt wird. Notwendige Voraussetzung dazu bildet eine gut konstruierte und richtig betriebene Feuerung.

Leider werden bei Feuerungsleistungen unter 70 KW auch heute noch viele in bezug auf die Verbrennungsqualität unbefriedigende Anlagen angeboten (Zum Vergeleich: Holzzentralheizungen für Einfamilienhäuser liegen im Bereich um 20 KW). Anlagen über 70 KW unterstehen der Luftreinhalte-Verordnung, so dass eine gewisse Kontrolle gewährleistet ist.

Grundlagen der Verbrennung von Holz und die Entstehung von Emissionen

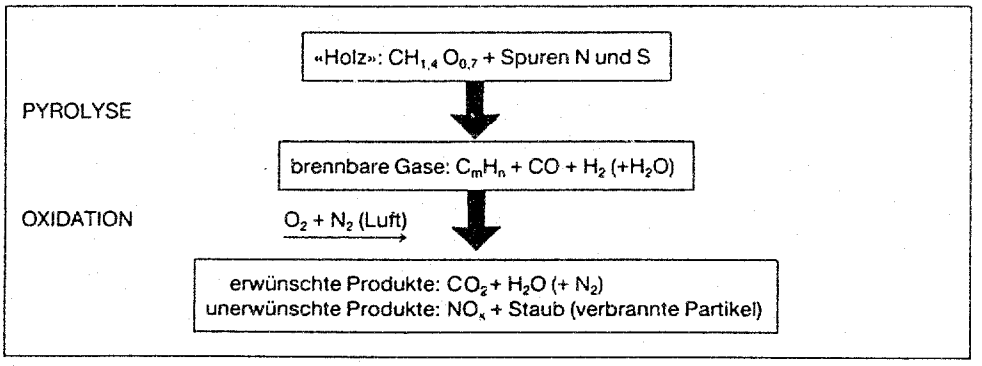
Die Verbrennung von Holz teilt sich in mehrere Teilprozesse auf. Man spricht deshalb auch von einer Stufenverbrennung. Mit zunehmender Temperatur laufen folgende Prozesse ab:

- Trocknung (Verdampfung des Wassers im Holz)
- Pyrolyse (thermische Zersetzung der makromolekulare Holzbestandteile in kleinere, gasförmige Moleküle)

- Oxidation (Reaktion der bei der Pyrolyse entstandenen brennbaren Gase mit Sauerstoff; eigentlicher Verbrennungsschritt bei dem Wärme frei wird.)

Schreibt man für Holz vereinfacht die chemische Summenformel (Elementarzusammensetzung), so kann die Verbrennung gemäss Darstellung 1 formuliert werden:

Darstellung 1: Reaktionsgleichung der Holzverbrennung



Die Schadstoffe können nach ihrer Entstehung in folgende zwei Hauptgruppen unterteilt werden:

- <u>Emissionen aus unvollständiger Verbrennung:</u> (vor Oxidation)
  - Kohlenwasserstoffe C_mH_n
  - Kohlenmonoxid CO
  - Unverbrannte Partikel (organischer Staubanteil)

- <u>Emissionen aus vollständiger Verbrennung:</u> (nach Oxidation)
  - Kohlendioxid CO_2 (geschlossener Kreislauf)
  - Aschepartikel (anorganischer Staubanteil)
  - Stickoxide NO_x

Die aus unvollständiger Verbrennung herrührenden Emissionen sind durch einen vollständigen Ablauf der Verbrennungsreaktion vermeidbar, man spricht dann von einer vollständigen Verbrennung.

Wie gut das Ziel einer vollständigen Verbrennung erreicht wird, hängt massgebend von der Konstruktion der Feuerung ab. Wichtigste Voraussetzung für eine schadstoffarme Verbrennung bildet eine Feuerung, die dem Verbrennungsverhalten des Holzes Rechnung trägt, indem die Teilprozesse Entgasung, Oxidation und Wärmeabgabe örtlich getrennt werden.

Als Grundvoraussetzung für eine gute Verbrennung gilt die Regel, dass die brennbaren Gase genügend Zeit brauchen, um bei hohen Temperaturen vollständig zu verbrennen. Für die Feuerung bedeutet dies die Aufteilung der Verbrennungsluft in Primär- und Sekundärluft, eine möglichst homogene Vermischung mit den brennbaren Gasen, sowie eine richtig dimensionierte und ungekühlte Nachbrennkammer.

Zusätzlich zur Konstruktion wirkt sich auch die Betriebsweise stark auf den Schadstoffauswurf aus. Schlechte Verbrennungsphasen (Anfahrphasen, bei vielen Feuerungen auch Drosselung der Leistung) müssen möglichst vermieden werden, da während diesen Phasen ungleich mehr Schadstoffe gebildet werden als während des stationären Betriebes.

Die Stickoxide, die auch bei einer vollständigen Verbrennung entstehen, können durch die Verbrennungsführung nur wenig beeinflusst werden. Wie anhand einer Stoffbilanz in einer Laborverbrennungsanlage gezeigt werden konnte, bildet der in der Holzsubstanz chemisch gebundene Stickstoff die Hauptquelle der Stickoxide. Stickoxide aus dem Luftstickstoff, die bei Oel- und Gasfeuerungen von grosser Bedeutung sind, spielen bei der Holzverbrennung praktisch keine Rolle.

Der Verbrennungsvorgang am Beispiel einer Unterschubfeuerung

Eine wichtige Feuerungsart in der Leistungsklasse über 70 KW stellt die automatische Schnitzelfeuerung nach dem Unterschubprinzip dar. Anhand eines typischen Verbrennungsvorganges werden im folgenden die wichtigsten Merkmale dieser Feuerungsart aufgezeigt. Die Messungen wurden an einer Unterschubfeuerung durchgeführt, die auch für den Betrieb mit waldfrischen Schnitzeln geeignet ist. In den Diagrammen 1.1 bis 1.7 sind die zeitlichen Verläufe der Verbrennung abgebildet, die Diagramme 2.1 bis 2.6 zeigen die Abhängigkeiten der wichtigsten Grössen untereinander.

Der zeitliche Verlauf des Luftüberschusses Lambda lässt den Anfahrvorgang gefolgt von einer Vollastphase erkennen (Diagramm 1.1). Der stationäre Zustand mit optimaler Verbrennung wird erst nach rund 3 Stunden erreicht (Flammtemperatur TF hoch und auf konstantem Niveau, Diagramm 1.2; Werte an unverbrannten Schadstoffen CO und HC tief und ebenfalls konstant, Diagramme 1.3 und 1.4). Nach einem Stillstand der Anlage erfolgt ein weiterer Anfahrprozess, der infolge der noch warmen Feuerung kürzer ausfällt. In der zweiten stationären Verbrennungsphase wird die Anlage im Teillastbereich (50% der Nennleistung) betrieben. Bei einer etwas tieferen Flammtemperatur liegen die Werte an Schadstoffen aus unvollständiger Verbrennung (CO und HC) im Teillastbetrieb deutlich höher als beim Vollastbetrieb.

Die Staubmessung zeigt, dass nebst erhöhten Emissionen an unverbrannten gasförmigen Schadstoffen auch der Auswurf an Feststoffen während der Anfahrphase deutlich grösser ist als im stationären Betrieb (Diagramm 1.7).

Die Diagramme 2.1 bis 2.6 zeigen die wichtigsten Abhängigkeiten der gemessenen Grössen untereinander auf. In Diagramm 2.5 kann man eine deutliche Abhängigeit zwischen CO und HC erkennen. Dieses

Zeitlicher Verlauf der Verbrennung:

(Messungen an einer automatischen Schnitzelfeuerung nach dem Unterschubprinzip, geeignet für den Betrieb mit waldfrischen Schnitzeln, Nennleistung 200 KW)

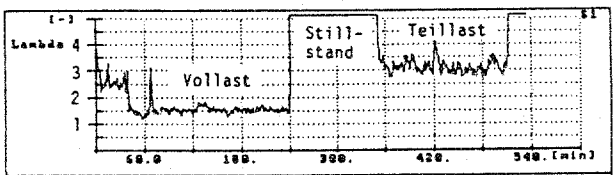


Diagramm 1.1:
Luftüberschusszahl Lambda
in Funktion der Zeit

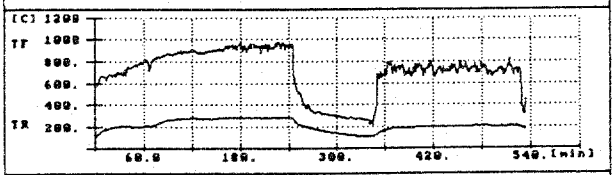


Diagramm 1.2:
Flammtemperatur TF und
Rauchgastemperatur TR
in Funktion der Zeit

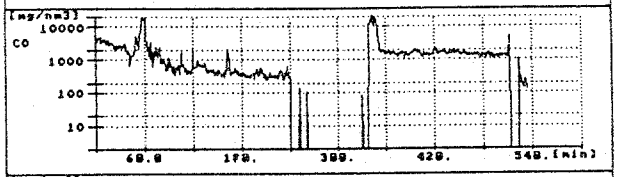


Diagramm 1.3:
Kohlenmonoxid CO
in Funktion der Zeit
(logarithmischer Massstab)

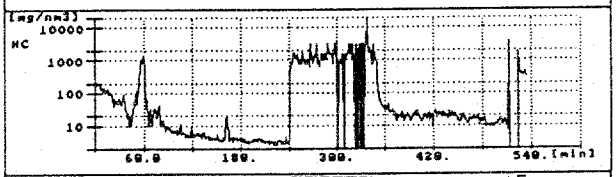


Diagramm 1.4:
Kohlenwasserstoffe HC
in Funktion der Zeit
(logarithmischer Massstab)

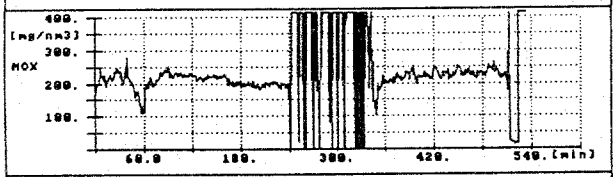


Diagramm 1.5:
Stickoxide NO_x
in Funktion der Zeit

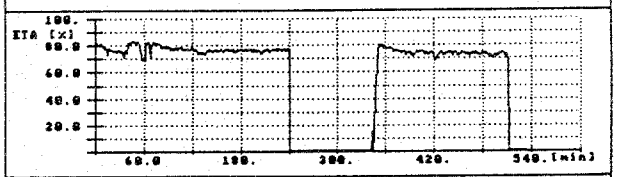


Diagramm 1.6:
Feuerungstechnischer
Wirkungsgrad ETA
in Funktion der Zeit

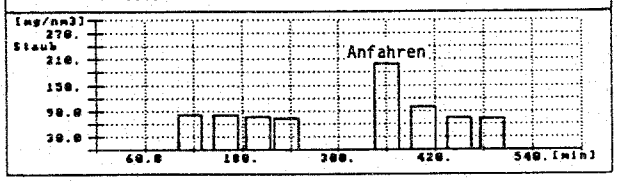
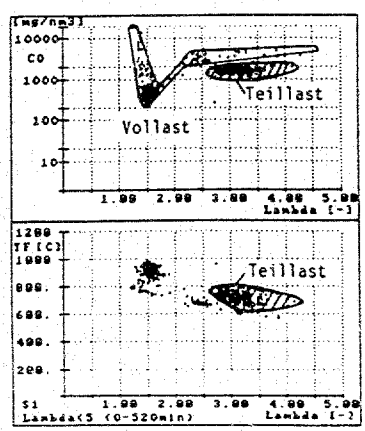
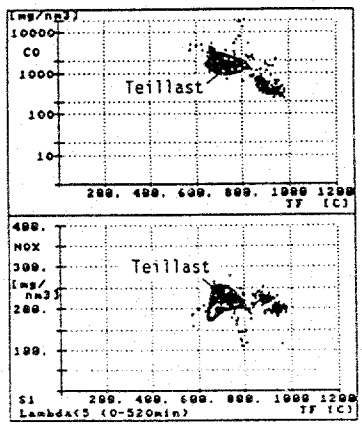


Diagramm 1.7:
Staubgehalt
in Funktion der Zeit

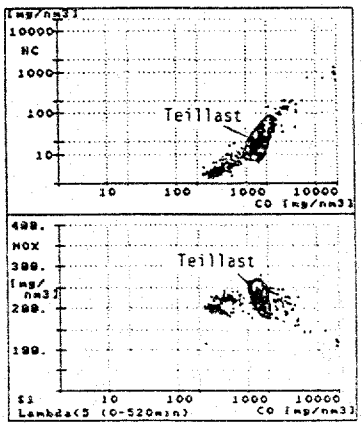
Wichtige Abhängigkeiten der gemessenen Grössen untereinander:



2.1
2.2



2.3
2.4



2.5
2.6

Verhalten lässt sich mit der Gleichartigkeit der Entstehung erklären (siehe Darstellung 1). Wenn diese Abhängigkeit einer Feuerung bekannt ist, kann in erster Näherung der CO-Wert als Indikator der Verbrennungsqualität betrachtet werden.

Die Charakteristik einer Feuerung kann somit im Diagramm 2.1 (CO in Funktion des Luftüberschusses) am deutlichsten dargestellt werden. Die Anfahrphase im Vollastbetrieb zeigt einen Bereich sehr schlechter Verbrennung bei Lambda-Werten über 2,2 auf. Nach Durchlaufen dieser Anfahrphase erreicht die Feuerung ihren optimalen Betriebspunkt bei Lambda 1,5. Zeitweise werden auch geringere Lambda-Werte erreicht. In der Feuerung treten nun Zonen mit örtlichem Luftmangel auf, so dass die Verbrennungsqualität insgesamt drastisch schlechter wird.

Der Punkt optimaler Verbrennung (hier Lambda = 1,5; CO = 200...1000mg/nm3) bildet zusammen mit der Steilheit der Charakteristik gegen höhere Werte von Lambda einen geeigenten Faktor zur Beurteilung der Feuerungskonstruktion. Der Lambda-Wert und die zugehörigen CO-Werte sollten möglichst niedrig sein, um während des stationären Betriebes geringe Emissionen bei hohem Wirkungsgrad zu erreichen. Die Kurve CO(Lambda) sollte flach sein, damit das Anfahrverhalten möglichst unkritisch ist.

Die Tatsache, dass im optimalen Betriebszustand tiefe Werte an CO und HC erreicht werden, zeigt, dass es sich um eine konstruktiv gute Feuerung handelt. Dennoch sind die Nachteile der langen Anfahrzeit und des schlechten Teillastbetriebes zu erkennen. Als wichtiger Grundsatz bei der Planung solcher Anlagen muss deshalb beachtet werden, dass die Feuerung keinesfalls überdimensioniert werden darf. Eine ideale Betriebsweise kann bei Kombination mehrerer Feuerungen erreicht werden, was vor allem bei grösseren Wärmeleistungen in Frage kommt. So kann zum Beispiel die Nennleistung von 900 KW für ein Fernwärmenetz auf zwei Feuerungen mit 300 KW und 600 KW aufgeteilt werden. Bei geringem Wärmebedarf wird nur die kleinere Feuerung betrieben, bei mittlerer Leistung die grössere und bei der nur wenige Tage im Jahr notwendigen Nennleistung arbeiten beide Anlagen zusammen.

Veröffentlichungen:

Th. Nussbaumer: Emissionen von Holzfeuerungen, Wald und Holz Nr. 10/11 1987

Th. Nussbaumer, D. Kerschbaumer: Normierung und Mittelwertbildung von Emissionsmessdaten, Heizung Klima Nr. 11 1987

Th. Nussbaumer: Luftbelastung durch Holzenergie - Bestandesaufnahme und Verbesserungsansätze, Heizung Klima Nr. 11 1987

OFEN
BEW

PROJETS DE RECHERCHE ÉNERGÉTIQUE 1987
ENERGIE - FORSCHUNGS - PROJEKTE 1987

EMISSIONSARME HOLZFEUERUNG NACH DEM VERGASUNGSPRINZIP

Entwicklung einer emissionsarmen automatischen Holzfeuerung nach dem Vergasungsprinzip für die Verbrennung von Schnitzel und Pellets, bei der die fünf Verbrennungsphasen Trocknung, Pyrolyse, Oxidation, Reduktion und Sekundärverbrennung sowie der Wärmetausch konsequent örtlich getrennt sind.

Der Anwendungsbereich erstreckt sich bei einem Leistungsbereich von 100 bis 1'000 kW von holzverarbeitenden Betrieben über öffentliche Gebäude bis zu kleinen Fernwärmesystemen. Dank der Modulbauweise kann das System den jeweils gegebenen Rahmenbedingungen kostensparend angepasst werden.

Dauer des Projekts: 3 Jahre

Beitragsempfänger:

Berichterstatter: Dr. R. Favre

Adresse:

Telephon:

Prof. Dr. P. Suter
Institut für Energietechnik
Laboratorium für
Energiesysteme
ETH-Zentrum
8092 Zürich

1. Anvisierte Zielpunkte für 1987:

Vertiefende Literatur-Recherche zur Abklärung von Detailproblemen

Zusammenstellen der Berechnungsgrundlagen und Dimensionierung des Prototyps

Vorbereitung der Messinfrastruktur inklusive Auswertung

2. Durchgeführte Arbeiten 1987:

Vertiefende Literatur-Recherche zur Abklärung von Detailproblemen

Die Resultate dieser Studie lassen sich folgendermassen zusammenfassen:

-In Patent- und Fachzeitschriften älteren und neueren Datums lassen sich für den vorgegebenen Leistungsbereich keine wesentlichen feuerungstechnischen Entwicklungen herauskristallisieren. Die meisten Publikationen befassen sich mit Lösungen punktueller Probleme wie Luftzufuhr, Brennstoffeintragung, Rost, Wärmetauscher, Regelung etc. der angewandten Feuerungstechniken. Erst seit kurzer Zeit scheinen sich die Hersteller von Holzfeuerungen grundsätzliche Gedanken über die verbrennungsgerechte Gestaltung des Kessels zu machen. Ueber die entsprechenden Entwicklungen dringt aber zum Schutz des gesammelten Know-hows wenig an die Oeffentlichkeit.

-Das ursprünglich vorgesehene Prinzip der Querstromvergasung kann als Stand der Technik eingestuft werden. Die geplante Zusammenarbeit mit einem Schwedischen Ingenieurbüro wird deshalb nicht weiter verfolgt.

Zusammenstellen der Berechnungsgrundlagen und Dimensionierung des Prototyps

Die massgebenden konzeptionellen Entscheide wurden gefällt. Der Prototyp soll flexibel konstruiert werden, so dass Aenderungen ohne grossen Aufwand vorgenommen werden können.

Vorbereitung der Messinfrastruktur inklusive Auswertung

Bei den Versuchen werden die Energieflüsse und die Schadstoffemissionen gemessen. Vor allem die Analyse der Rauchgase auf die Komponenten Sauerstoff, Kohlendioxid, Kohlenmonoxid, Kohlenwasserstoffe, Stickoxide und Feststoffe bedingt einen beachtlichen Aufwand an Messgeräten. Die ersten Erfahrungen mit der Messinfrastruktur der ETH-Z (Lab. für Energiesysteme) konnten im Rahmen einer ETH-Diplomarbeit an einem Holzkessel HOVAL VENTOLYT gesammelt werden. Dabei wurde auch die entsprechende Software für die Datenerfassung erstellt. Für die Auswertung stehen Programme aus dem NFP-12-Projekt 'Emissionen

von Holzfeuerungen' zur Verfügung. Danach kann ein Versuch anhand der Diagramme in kurzer Zeit interpretiert werden.

Aufwendig gestaltet sich auch die Bestimmung der einzelnen Luftströme. Diese werden mittels einer Messstrecke, der wahlweise der Volumenstrom der Oberluft, der Primärluft, der Sekundärluft oder der rezirkulierten Rauchgases zugeleitet werden, bestimmt.

Zu Punkt 3: Die Messungen beginnen im Laufe des Frühlings 1988.

Zu Punkt 4: nationales Projekt; keine internationalen Kontakte geplant.

Zu Punkt 5: bisher keine Veröffentlichungen

6. Neue Forschungsarbeiten:

Erfahrungen aus dem oben erwähnten NFP-Projekt und einer sanierten automatischen Holzschnitzelfeuerung zeigen, dass die Restsauerstoff-Regelung einen interessanten Aspekt zur Verbesserung der Verbrennungsqualität und damit zur Reduktion der Schadstoffemissionen nicht nur für Neuanlagen, sondern auch für bestehende Anlagen darstellt. Da aber die Mechanismen der Holzverbrennung komplex sind, fällt die Umsetzung entsprechend schwer. Eine systematische Erfassung der wichtigsten Zusammenhänge könnte deshalb das Thema einer praxisnahen Forschungsarbeit sein. Das Labor für Energiesysteme der ETH-Z hat entsprechende Schritte zur Realisierung eines solchen Projektes in die Wege geleitet.

OFEN PROJETS DE RECHERCHE ÉNERGÉTIQUE 1987

BEW ENERGIE - FORSCHUNGS - PROJEKTE 1987

REGELUNG VON HOLZFEUERUNGEN

Ziel des Projekts:

Ziel des Projekts ist die Optimierung automatischer Holzfeuerungen grösserer Leistung durch Regelung der Verbrennung. In jeder Betriebsphase soll die Luftzufuhr der Brennstoffzufuhr angepasst sein, sodass auch die Schwankungen der Brennstoffeigenschaften ständig ausgeglichen werden.

Dauer des Projekts: 2 Jahre

Beitragsempfänger: Prof. Dr. P. Suter
Institut für Energietechnik
Laboratorium für
Energiesysteme
ETH-Zentrum
8092 Zürich

Berichterstatter: J. Good

Adresse:

Telephon: 01 256 24 83

1. Anvisierte Zielpunkte für 1987

Die Messung des Restsauerstoffgehaltes im Abgas ermöglicht eine feuerungstechnische Regelung, die in jeder Betriebsphase die Luftzufuhr der Brennstoffzufuhr anpasst. Es soll untersucht werden, ob und wie gut diese Methode geeignet ist, bestehende Anlagen zu sanieren. Bei Neuanlagen werden verschiedene Sauerstoffsondensysteme und weitere Parameter wie Flammtemperatur oder Kohlenmonoxid-Konzentration analysiert.

2. Durchgeführte Arbeiten 1987

Im Rahmen eines Vorprojektes wurden erste Untersuchungen an zwei automatischen Schnitzelfeuerungen durchgeführt, die mit einer Sauerstoffregelung ausgerüstet worden waren. Erfahrungen mit dieser Regelung aus Anwendungen bei Oel- und Gasfeuerungen wurden zusammengetragen.

3. Erreichte Ergebnisse

Erste grobe Resultate zeigen, dass die Sauerstoffregelung den Luftüberschuss konstant zu halten vermag. Die festgestellte Verminderung des Ascheanfalles deutet ebenfalls auf eine Verbesserung der Verbrennung hin. Es zeigten sich aber auch Probleme wie Verschmutzung der Sonde bei falscher Positionierung.

OFEN — Projets de Recherche énergétique 1987

BEW — Energie - Forschungs - Projekte 1987

Biomass Conversion Technical Information Center

Ziel des Projekts:

Dauer des Projekts: 1979 -1987

Beitragsempfänger: BCTIS,Dublin

Berichterstatter: Dr.W.Edelmann

Adresse: ARBI, 8933 Maschwanden

Telephon: 01 / 767 18 19

BIOMASS CONVERSION TECHNICAL INFORMATION SERVICE

JAHRESBERICHT 1987

Ziele des BCTIS und des vorliegenden Projekts:

Der "Biomass Conversion Techincal Information Service", BCTIS, ist ein Informationsdienst der IEA, welcher seit dem 24.5.78 besteht. Ziel des BCTIS ist, Informationen aus dem Bereich Biomasse aufzuarbeiten und in geeigneter Form an interessierte Kreise weiterzugeben. Zu diesem Zweck werden sechsmal jährlich Abstracts von einschlägigen Publikationen in Buchform, auf Computer-Tapes und als Microfiches veröffentlicht. Daneben werden Veranstaltungskalender und Literaturrecherchen publiziert. Neben Informationen der grossen Datenbanken wird auch sogenannte graue Literatur verarbeitet, welche von den Mitgliedstaaten direkt nach Dublin übermittelt wird.

Ziel des vorliegenden Projekts ist, die Teilnahme der Schweiz im BCTIS sicherzustellen. Neben der Schweiz unterstützten 1987 neun weitere Länder und die Europäische Gemeinschaft den BCTIS, wobei Norwegen per 31.9.87 aus dem Service austrat.

Die Aktivitäten des Service werden durch ein Executive Committee (EC) gesteuert. Die Schweiz ist darin vertreten durch W.Edelmann (Vertreter und zugleich Präsident des EC) und T.Hegetschweiler (Stellvertreter).

Situation zu Beginn der Berichtsperiode:

Die Publikation der "Biomass Abstracts" lief problemlos. Ebenfalls funktionierte die elektronische Datenbank "Biomass", zugreifbar am FIZ in Karlsruhe, zur vollsten Zufriedenheit. Für die "Biomass Abstracts" war ein privatwirtschaftlicher Publisher gefunden worden, um so die Kosten für die den Service unterstützenden Länder zu reduzieren.
Da es nun jederzeit mit wenig Aufwand möglich war, auf die persönlichen Bedürfnisse zugeschnittene Literaturrecherchen mit dem Computer durchzuführen, wurde auf die weitere Herausgabe von Literaturrecherchen in gedruckter Form zu generellen Themata verzichtet. Stattdessen wurde beschlossen, nach Wegen zu suchen, für die sogenannten "passive users", dh. für nicht direkt in der Bioenergie-Forschung tätige interessierte Kreise, wie Ämter, Industriebetriebe etc., konzentrierte Information über die neuesten Entwicklungen im Bereich Bioenergie zu verbreiten. Es war geplant, unter dem Titel "Bioenergy News" eine quartalsweise erscheinende Publikation mit Artikeln und Berichten über die neuesten Trends herauszugeben.

Diese an sich sehr positive Situation wurde getrübt durch die Gründung eines neuen Implementing Agreements der IEA, des "Energy Technology Data Exchange",ETDE. Unter diesem Namen wurde die Datenbank des US-Department of Energy den Mitgliedstaaten des neuen Agreements zugänglich gemacht. Da zwischen der Datenbank des US-Departments of Energy und dem BCTIS Daten ausgetauscht wurden, waren die Biomassedaten des BCTIS dort weitgehend ebenfalls abrufbar. Dies bewog mehrere Länder, welche der ETDE beitraten, ihre Mitgliedschaft im BCTIS zu kündigen: von ursprünglich 17 Kostenträgern verblieben anfangs 1987 nur noch 11 im BCTIS, was dessen finanziellen Freiraum stark beschnitt. Da noch weitere Länder

erwogen, per Ende 1987 den Service zu verlassen, drängte sich eine grundsätzliche Neuorientierung auf. Unter Leitung des schweizerischen Vertreters wurde daher eine Arbeitsgruppe zusammengestellt, welche für die Sitzung des EC im Herbst 87 Szenarien für die Zukunft des BCTIS ausarbeiten musste. (vergl. Jahresbericht 86)

Entwicklungen während der Berichtsperiode:

Bei der Suche nach neuen Lösungen ging die Arbeitsgruppe von der begründeten Annahme aus, dass der BCTIS einem echten Bedürfnis entspricht und dass daher ein Weg gefunden werden musste, welcher die Kontinuität der zehnjährigen Aufbauarbeit im BCTIS gewährleisten konnte.

Aus Kostengründen schien eine Zusammenarbeit mit anderen Agreements der IEA sinnvoll zu sein. Diverse Abklärungen führten unter anderem zur Erkenntnis, dass der Herausgeber vom "Forest Energy Newsletter" des "Bioenergy Agreements" beabsichtigt, in Zukunft auch andere Formen der Bioenergie, dh. nicht nur Holz, in seiner Publikation zu berücksichtigen. Da ausser Portugal und der Schweiz alle Länder des BCTIS auch Mitglied des Bioenergy Agreements sind, wurde es als sinnvoll erachtet, die Interessen der "passive Users" im "Forest Energy Newsletter", welcher auf "Bioenergy News" umgetauft werden soll, zu vertreten.

Eine Fortführung der Publikation der Biomass Abstracts durch die im BCTIS verbliebenen Länder hätte eine massive Erhöhung der Kosten pro Trägerland zur Folge gehabt, was sich wiederum in weiteren Kündigungen niedergeschlagen hätte. Die an sich naheliegende Herausgabe der Biomass Abstracts durch ETDB erschien als problematisch, da in der ETDE-Bank wich-

tige Schlagworte zu Randproblemen der Biomassenutzung fehlen. Die als Substitut in Betracht gezogenen, durch das US-Department of Energy herausgegebenen Abstracts "Energy From Biomass" sind qualitativ mit den Biomass Abstracts nicht zu vergleichen. Andererseits kamen andere Agreements als Herausgeber der Biomass Abstracts bei näherer Betrachtung nicht in Frage. Als Option für die Sitzung des EC des BCTIS wurde daher die Möglichkeit in Betracht gezogen, dass BCTIS nur noch Daten in die ETDE-Bank einspeist und dass die gedruckte Form der Abstracts durch ETDE geliefert wird.

Nach verschiedenen Abklärungen wurden dann an der EC-Sitzung des BCTIS vom 15.9.87 folgende Beschlüsse gefasst:

1. BCTIS beendet seine Tätigkeit per 31.12.1987.
2. Für die Trägerstaaten erwachsen keine zusätzlichen Kosten nach Bezahlung der ordentlichen Beiträge für 1987.
3. Der on-line-Service der "Biomass"-Datenbank in Karlsruhe wird bis Ende 1988 aufrechterhalten.
4. Übrigbleibende Mittel werden nicht an die Mitgliedstaaten verteilt, sondern für den regulären Abbruch der Arbeiten des Operating Agents im Jahr 1988 verwendet.
5. Ende 1988 verbleibende Mittel werden an das Bioenergy Agreement für Arbeiten an den "Bioenergy News" weitergeleitet.

Nach vorgängigen Kontakten wurde dem EC des ETDE mit grossem Nachdruck empfohlen, eine gedruckte Version der Biomass Abstracts ab Beginn 1988 herauszugeben, wobei darauf zu achten sei, dass

1. derselbe Umfang an Information verarbeitet wird, wie in den Abstracts des BCTIS (Erweiterung Schlagworte etc.),
2. die Publikation auch nicht-ETDE-Migliedern zugänglich ist und
3. das Jahresabonnement nicht mehr als 200 US$ kosten soll.

An einer nachträglichen Sitzung des ETDE-EC wurde den Wünschen des BCTIS (allerdings nicht einstimmig) Rechnung getragen: die Abstracts "Energy From Biomass" sollen erweitert und auch den Abonnenten von Biomass Abstracts angeboten werden. Momentan laufen Kontakte zwischen BCTIS und ETDE, um den Uebergang abzustimmen.

Zukunftsperspektiven:

Das EC des BCTIS kam zum Schluss, den Beitritt zu den beiden Implementing Agreements "Bioenergy" und "Energy Technology Data Exchange" den noch nicht teilnehmenden Ländern ans Herz zu legen.

Im Fall von "Bioenergy" betrifft dies die Schweiz und Portugal, da die anderen Staaten bereits Mitglied sind. "Bioenergy" legte bis 1985 Schwerpunkt auf die (vorallem grosstechnologische) Holznutzung. Seit 1986 laufen neue Forschungsprogramme in allen Bereichen der Bioenergie. Die Kosten sind - neben kleinen Fixkosten - proportional zur Aktivität des jeweiligen Landes innerhalb des Programms.

ETDE wurde Ende Januar 87 von 13 Ländern unterzeichnet. Von den Mitgliedern des BCTIS fehlen vorderhand Österreich, Finnland, Irland und die Schweiz. Die direkten Kosten dürften sich für die Schweiz auf rund 15'000.-US$ pro Jahr belaufen. Dazu kommen Kosten, die durch die Verpflichtung erwachsen, regelmässig Daten aus allen Gebieten der Energieerzeugung in genormter Form in die Datenbank einzuspeisen.

Vom Biomassestandpunkt aus betrachtet erscheint für die Schweiz speziell der Beitritt zu "Bioenergy" bedenkenswert.

OFEN PROJETS DE RECHERCHE ÉNERGÉTIQUE 1987

BEW ENERGIE - FORSCHUNGS - PROJEKTE 1987

LOSS OF FLUID TEST

(CONTRIBUTION SUISSE AU PROJET OCDE)

But du projet:

The purpose of the international LOFT project is to improve the understanding and predictability of transient behaviour and to enhance the reliability, economics and safety of nuclear reactors.

During the initial three years of the project, all of the planned six thermal-hydraulic and two fission product (FP) experiments were successfully completed. The program was extended for another three years, from the beginning of November 1986. The aim of this extension is to perform post irradiation examination (PIE) on the center fuel bundle which was severely damaged during the second fission product Experiment LP-FP-2. The objectives of this examination are to get information on fuel behaviour, Zr-steam oxidation, H_2 production and fission product distribution, release and retention. Remaining work until the end of the extended program is to complete the PIE on FP-2 center bundle and release the remaining documents.

Durée du projet: 1. Januar 1987 - 31. Dezember 1989

Mandataire: Eidg. Institut für Reaktorforschung (EIR)

Rapporteur: S. Güntay, Dr. O. Mercier

Adresse: Eidg. Institut für Reaktorforschung, 5303 Würenlingen

Téléphone: 056 / 99 26 77

1. OBJECTIVES AND ACHIVED WORKS

The purpose of the international LOFT project is to improve the understanding and predictability of transient behaviour and to enhance the reliability, economics and safety of nuclear reactors.

During the initial three years of the project, all of the planned six thermal-hydraulic and two fission product (FP) experiments were successfully completed. The program was extended for another three years, from the beginning of November 1986. The aim of this extension is to perform post irradiation examination (PIE) on the center fuel bundle which was severely damaged during the second fission product Experiment LP-FP-2. The objectives of this examination are to get information on fuel behaviour, Zr-steam oxidation, H_2 production and fission product distribution, release and retention. Remaining work until the end of the extended program is to complete the PIE on FP-2 center bundle and release the remaining documents.

Various analytical works to understand phenomena and to assess various computer programs have been underway. Two comparison reports covering individual participants calculations have been prepared. One Experiment Analysis and summary report (EASR) was issued.

Evaluations of the OECD-LOFT large break experiments LP-LB-1 and LP-02-6 were performed at EIR. Thermal-hydraulic analysis of the first fission product experiment LP-FP-1 was completed and results were published. The EIR work on the release fractions observed during the first fission product test (FP1) was completed. Post test analysis of the second fission product experiment LP-FP-2 was initiated. This analysis will cover the thermal hydraulic as well as fission product release and transport analyses using various computer programs.

An international workshop was organized by EIR in Grindelwald (Switzerland) to discuss LOFT large break LOCA experiments and associated analytical work and simulations of large break LOCA in large plants.

1.1 LOFT experiments

LP-FW-1

The comparison report has been completed by Italy in 1985 and has been sent to the member countries. Five member countries used three different codes to analyze LP-FW-1: Italy with RELAP5/MOD1/CY19, Japan with RELAP5/MOD1/CY18, Germany with DRUFAN-02, UK with RETRAN-2/MOD2 and USA with RELAP5/MOD1/CY18. The capability of each of the three codes to calculate system behaviour during the feed and bleed procedure was discussed in the comparison report.

LP-SB-1 and LP-SB-2

The comparison report was finalized in 1986. Three different codes were used for the post test calculations: UK with RELAP5/MOD1/CY19, Germany with DRUFAN-02, Japan with RELAP4/MOD1/CY18, Italy with RELAP5/MOD1/CY19, Finland with SMABRE and the project with RELAP5/MOD1/CY18. The capability of each of the three codes to calculate the system thermal-hydraulic behaviour was discussed in the comparison report.

LP-SB-3

The EASR was accepted and published by Italy in 1986, comparison report was finalized in 1987. Italy (RELAP5/MOD2), UK (RELAP5/MOD2), Finland (RELAP5/MOD2 and SMABRE), Switzerland (RELAP5/MOD2 and RELAP5/MOD1), Spain (RELAP5/MOD1) and Japan (RELAP5/MOD1) participated in the comparison work. The comparison of the computed results and the experimental data indicated the capabilities of the codes used for the analysis.

LP-LB-1

EASR of this report has been completed by UK. Comparison report draft prepared by UK was discussed during the LOFT Large LOCA meeting in Grindelwald 1987. Finland (RELAP5), Germany (DRUFAN and FLUT), Switzerland (RELAP5) and Italy (RELAP5) and UK (TRAC-PF1) and project (TRAC-PD2/MOD2) contributed the comparison analysis.

LP-02-6

The comparison report was compiled by Switzerland. The first draft was presented at the Grindelwald meeting and final draft at the PRG meeting in Vienna, 11-13 November 1987. UK (TRAC-PF1/MOD1), Switzerland (RELAP5/MOD2), Japan (RELAP5/MOD2), Spain (TRAC-PD2/MOD2), Germany (DRUFAN2), and project (TRAC-PD2/MOD2) contributed the analysis.

LP-FP-1

Various thermal hydraulic and fission product analyses were carried out by member countries. The results of these analyses will be incorporated in the experiment analysis summary report (EASR) of this experiment. The highlights of the test are as follows: (a) approximately 430 kg of water was unintentionally injected into the upper plenum, (b) as a result of this injection only 8 out of 22 pressurized fuel rods ruptured at an average temperature of 1149 K, (c) this injection resulted in a downward steam flow below the peak power plane (just below the mid point of the core) and upward steam flow above this level, (d) this flow pattern caused a non uniform radial and axial flow distribution in the core, (e) large part of the noble gases (more than 80%) was released outside of the primary coolant system, (f) about half of the iodine was retained in the primary coolant water, (g) other fission products, like Cs,Ba, and Te were retained in large quantities in the primary coolant water (more than 75%).

The experiment analysis and summary report (EARS) was prepared by GRS Germany and was released as Volumes 1 and 2.

The thermal hydraulic analysis of this test was performed by UK using TRAC-PF1, Germany using DRUFAN2 and TRAC-PF1, Switzerland using RELAP5/MOD2, and Spain using TRAC-PF1. The results of these analyses will be incorporated in the Volume 3 of the EASR by GRS Germany.

Fission Product analysis of the test was performed by UK, Germany and Switzerland. These analyses will also be incorporated in Volume 4 of the EASR by KWU/KFA Germany.

LP-FP-2

The data report covering thermal hydraulic and fission product data was released by the project. The post test irradiation analysis (PIE) has been initiated. The gamma scanning and neutron radiography of the damaged FP-2 center bundle were performed. Based on the observations on the pictures taken during the radiography, it is seen that the bundle was damaged quite extensively. In order to get more information on fuel behavior (cladding oxidation, fuel relocation and blockage, etc.) and fission product distribution, relocation and retention, the bundle is going to be sectioned for further examination.

Post test analysis of this test have been performed or underway by Spain, Japan and Switzerland. These analyses will be incorporated in the comparison report. The experiment analysis summary report is compiled by the project.

1.2 Post Test Analysis of LOFT Experiments at EIR

LP-SB-3

Two post test analyses were completed successfully. The results were documented. EIR contributed in the comparison work of LP-SB-3 with these two calculations.

LP-LB-1 and LP-02-06

The post test analyses were completed successfully. The results are to be documented. EIR contributed the comparison analysis of LP-LB-1 and LP-02-06. The comparison analysis for LP-02-06 was conducted by EIR. The document will be issued early in 1988.

LP-FP-1

Post test thermal-hydraulic analysis of the LP-FP-1 test using RELAP5/MOD2 was completed and published in an EIR document.

A complete fission product data analysis to evaluate the consistency of various measured data was performed. An analysis on the fission product gap release fractions was completed. The results of these analysis were presented at the program review group meetings and will be published in an EIR document.

The EIR thermal hydraulic and fission product analyses on this experiment will be incorporated in the EASR of this test.

LP-FP-2

Post test thermal hydraulic analysis of this test was initiated. The initial phase of the transient,(e.i, until 900 K is reached) in the core was analyzed with RELAP5/MOD2 code. The remaining high temperature phase of the transient was simulated using the combined code (RELAP5+SCDAP). The first phase is characterized by the blowdown and core boil off and the second phase is by the fuel behaviour and fission product release and transport. In addition to the combined code and RELAP analyses, additional analyses are underway to simulate control rod behaviour, fission product inventory, release, and transport in the primary system using various computer programs. The results of these analyses will be compared against experimented data. The results of the thermal hydraulic and fission product analyses will be incorporated in the comparison report as a joint work of US DOE and Switzerland.

1.3 LOFT Large Break LOCA Workshop Grindelwald Switzerland 24-27 March 1987

EIR organized a workshop to discuss various relevant issues concerning the LOFT large break experiments and simulation of large break LOCA in large power plants. The meeting was attended by 28 engineers and scientists from 10 OECD-LOFT countries. The objectives of holding this meeting was to provide a forum for presentation and interchange of information on (a) LOFT large break loss of coolant experiments and computer code simulations on some of these experiments, (b) applicability of LOFT large break data to large PWR plants, (c) applicability of computer codes to large PWR plant simulations. The proceeding of this meeting will be published by EIR.

Persons contributing:

Dr. O. Mercier
S. Güntay
Dr. D. Lübbesmeyer
Dr. M. Furrer
F. Aeby
H. Ahlborn

2. MITARBEIT IN DER IEA

In the period, covered by this report, three OECD-LOFT Programme Review Groups Meeting were held. During these meetings valuable contributions (to the post test analyses of LP-FP-1 and PIE of LP-FP-2) were achieved. These meeting have provided good opportunity to contact with other scientists working in the same field in other countries and also to compare our post-test analysis with those of other countries. Dr. O. Mercier was elected to be the chairman of the PRG (Program Review Group) during its last meeting this year and he will chair the group in 1988.

3. FUTURE WORK (1988)

The initial LOFT-OECD consortium agreement expired at the end of September 1986. The program was extended for another 3 years in order to perform PIE on the LP-FP-2's severely damaged center bundle. The objectives of this extension are to get information on fuel behaviour, Zr-steam oxidation and H_2 production and fission product distribution, release and retention.

LB-SB-1 and LP-SB-2

UK and Spain are planning to re-calculate the transients with TRAC.

LP-SB-3

UK is planning to recalculate the transients with TRAC-PF1 code.

LP-LB-1

UK will send out the draft of the comparison report. The conclusions will be discussed in the next PRG meeting.

LP-02-6

Switzerland released the final draft of the comparison report. The document will be finalized and released early in the next year.

LP-FP-1

The draft of the thermal-hydraulic EASR is being prepared by GRS (FRG). KWU (FRG) is going to prepare the fission product EASR of LP-FP-1. Switzerland will contribute to this analysis.

LP-FP-2

Analysis are underway by EPRI (MAAP), Japan (TRAP-MELT) and Spain (RELAP5 and SCDAP), Switzerland (RELAP5 and RELAP5+SCDAP). PIE on center bundle is underway. US is going to prepare three separate EASR's on thermal-hydraulic and fission products issues and on severe core damage. EPRI will conduct the comparison report.

4. PUBLICATIONS

- S. Güntay, A. Post Test Analysis Using RELAP5/MOD2 Computer Program for OECD-LOFT Experiment LP-FP-1, Gemeinschaftsbericht Nr. 15, February 1987.
- S. Güntay, O. Mercier, On the LP-FP-1 Release Fractions, to be published.
- S. Güntay, A Comparative Analysis on OECD-Loft experiment LP-02-6, to be published.
- O. Mercier, Report from the Program Review Group to the LOFT Program Board of Management, Idaho Falls, July 23-24, 1987, AN-31-87-07.
- M.L. Carboneau, M. Furrer, et al.,OECD-LOFT Fission Product Experiment LP-FP-2, Fission Product Data Report, OECD-LOFT-T-3805, May 1987.

5. NEW RESEARCH AREAS

The full analysis of the test FP-2 offers an unique opportunity to begin a research work on the fuel behaviour during severe accidental conditions, and/or the fission product release and behaviour in the primary circuitry. It will be of first importance to continue and to enlarge the studies in this field, by a closer cooperation with the severe accident program NRC.

OFEN — PROJETS DE RECHERCHE ÉNERGÉTIQUE 1987

BEW — ENERGIE - FORSCHUNGS - PROJEKTE 1987

HEISS - DAMPF - REAKTOR

Ziel des Projekts: Bestimmung der Sicherheitsabstände von Reaktorkomponenten.

Untersuchungen unter extremen Bedingungen sollen Informationen liefern, wo unnötig grosse Sicherheitsmargen bestehen. Mit der Teilnahme am Projekt HDR soll das erforderliche Know-how beschafft, erarbeitet und verifiziert werden, um es dann für schweizerische Verhältnisse anpassen und anwenden zu können.

Dauer des Projekts: 1. Januar 1987 - 31. Dezember 1988

Beitragsempfänger: Eidg. Institut für Reaktorforschung (EIR)

Berichterstatter: R.Attinger, Dr. O. Mercier

Adresse: Eidg. Institut für Reaktorforschung
5303 Würenlingen

Telephon: 056/99'21'11

1. Zielpunkte, durchgeführte Arbeiten und erreichte Ergebnisse

Seit dem am 30.8.1983 erfolgten Vertragsabschluss zwischen dem Eidg. Institut für Reaktorforschung (EIR) und dem Kernforschungszentrum Karlsruhe (KfK) nimmt das EIR zusammen mit schweizerischen Partnern aus Industrie und Hochschule am Sicherheitsprogramm Heissdampfreaktor (HDR) des KfK teil.

Hauptziel ist es, die Sicherheitsreserven von Reaktorkomponenten mit Rissen und andern Defekten zu bestimmen. Als Teilziele werden im Berichtsjahr gesetzt:

A. Bruchmechanische Berechnung zum vom KfK ausgeführten zyklischen Thermoschockversuch an Behälterwand und Stutzenkante mit einem dreidimensionalen Finite-Elemente Programm.
B. Vorausberechnung der stabilen Risslängenzunahme.
C. Auffinden von Unterscheidungsmerkmalen für die Klassifizierung verschiedener Entstehungsmechanismen von Schallemissionsquellen.
D. Vergleich von Experimenten und Näherungsverfahren bei Erdbebensimulationsversuchen am Reaktorgebäude.
E. Berechnung der plastischen Deformationen an den Flanken eines Rohrkrümmers.

Nachfolgend werden die vom EIR und schweizerischen Partnern aus der Industrie im Berichtsjahr 1986/87 durchgeführten Arbeiten dargestellt.

A. Zyklischer Thermoschockversuch: Einfluss der Modellgeometrie auf den Spannungsintensitätsfaktor eines Stutzenkantenrisses bei zyklischer Thermoschockbelastung (EIR)

An einem kreisförmigen Innenriss wurde die Mascheneinteilung für das Finite-Elemente Programm ADINA und das Verschiebungsschema zur Bestimmung des Spannungsintensitätsfaktors nach der virtuellen Rissverschiebungsmethode für ORVIRT optimiert. Das optimierte Berechnungsverfahren weicht von der bekannten analytischen Lösung weniger als 1 % ab. Resultate verschiedener geometrischer Modelle des Stutzens (Fig. 1), von realitätsnahen, sehr aufwendigen bis zu extrem vereinfachten, wie sie in der Literatur zu finden sind, wurden sowohl bei konstanter Einheitslast wie auch bei Thermoschockbelastung (Fig. 2) miteinander verglichen. Der Vergleich ergab, dass selbst bei Thermoschockbelastung die Berechnungen an vereinfachten geometrischen Modellen qualitativ auf die komplexe Struktur des Stutzens übertragen werden dürfen. Die Studie zeigte auch, dass alle betrachteten vereinfachten Modelle die Spannungsintensitätsfaktoren überschätzen und somit konservative Resultate liefern. Daraus folgt die bei praktischen Anwendungen bedeutende Erkenntnis, dass auf volle dreidimensionale Finite-Elemente Rechnungen verzichtet werden kann, wenn der Sicherheitsnachweis für entsprechend vereinfachte Modelle erbracht wurde.

Bearbeitung: R.Wanner (Projektleitung), S.Brosi, Dr.R.Rösel

B. Langzeitthermoschockversuche (EIR)

Die technische Mitteilung über "Beanspruchung der Wand des HDR Reaktordruckbehälters infolge eines Langzeitthermoschocks, gerechnet an einem 2D-Scheibenmodell" wurde erstellt. Die Langzeitthermoschockversuche mit Schallemissionsmessung finden 1988 statt.

Eine ingenieurmässige Näherungslösung zur Berechnung der instabilen Risslängenzunahme wurde anhand eines Literaturbeispiels verifiziert.

Bei dieser Näherungslösung wird das Verhalten eines Prüfkörpers mit verschiedenen Risslängen jede unter einer inkrementell erhöhten Kraft betrachtet. Durch Interaktion mit der Risswiderstandskurve kann daraus die instabile Risslängenzunahme bestimmt werden.

Bearbeitung: R.Wanner (Projektleitung), G.Duijvestijn

C. Schallemission: Unterscheidungsmerkmale für die Klassifizierung verschiedener Schallemissionsquellen (EIR)

Die Entwicklung einer Online Messkette sowie die Ermittlung der Uebertragungsfunktion von Probekörper und Sonde sind in Bearbeitung.

Die breitbandige 4-Kanalmesskette des EIR zur lokalen Ueberwachung eines Risses wurde am Druckbehälter des ZB2-Experiments in Mannheim und am Reaktordruckbehälter des HDR eingesetzt. Bei den Thermoschockversuchen am HDR im Januar 1987 zeigte sich, dass Gruppen gleicher Signalform mit verschiedenen Frequenzbereichen bis 2 MHz existieren; bei den Versuchen im Juli 1987 wurden keine Signale vom überwachten Riss gemessen, weil dieser im Verlauf des Experiments nicht wuchs. Bei den zyklischen Druckbelastungen am ZB2 konnten die wiederkehrenden Signale in Signaltypen mit gleicher Signalform und gleicher Quelle zusammengefasst werden. Die Signale weisen Frequenzkomponenten bis über 2 MHz auf (Fig. 3). Aufgrund des Frequenzinhalts der Signale kann nicht auf Risswachstum oder Rissuferreibung geschlossen werden. Die Lage der georteten Quellen entspricht dem ursprünglichen Riss (Fig. 4). Die aufgrund der erhaltenen Messresultate geschätzte Risstiefe ist noch unbefriedigend, da sie kleiner ist als die tatsächlich vorhandene.

Bearbeitung: R.Wanner/R.Attinger (Projektleitung), Dr.B.Tirbonod, L.Hanacek, K.Wulle, E.Schneider, M.Emmenegger

D. Erdbebenuntersuchungen am Reaktorgebäude: Auswertung der Ergebnisse (Basler & Hofmann, Zürich)

Im Sommer 1986 fanden am HDR-Reaktorgebäude Erdbebensimulationsversuche mit einem grossen Shaker statt. Vorgängig wurde das Verhalten des Gebäudes rechnerisch ermittelt. Die Uebereinstimmung der berechneten und der gemessenen Ergebnisse erwies sich in den wesentlichen Punkten als gut (Fig. 5 und 6). Da die Shakerdrehzahl stark vom dynamischen Gebäudeverhalten abhängt, darf daraus auf eine zutreffende Modellierung des Gebäudes geschlossen werden. In den Versuchsergebnissen war deutlich ein nichtlineares Verhalten der Struktur zu erkennen. Dies betrifft vor allem die Boden-Bauwerk-Interaktion. Auch rechnerisch wurde der Einfluss der Nichtlinearitäten untersucht. Lineare Vergleichsrechnungen zeigten dabei, dass ohne nichtlineare Modelle eine deutlich schlechtere Prognose der Versuchsergebnisse resultiert hätte. Sowohl die nichtlineare Vorausrechnung als auch die lineare Vergleichsrechnung ergaben im allgemeinen konservative Ergebnisse, wobei im ersten Fall die Konservativität deutlich geringer ausfiel.

Bearbeitung: P.Zwicky (Projektleitung), Dr.H.J.Schindler

E. Rohrkrümmerversuche: Vorausrechnung für einen Rohrversagensversuch (SDK-Ingenieurunternehmung für Spezielle Statik, Dynamik und Konstruktion, Basel)

Für einen Rohrversagensversuch, bei dem ein Krümmer unter Innendruck durch Biegewechsel bis zum Bruch belastet wird, wurden zunächst auf

der Grundlage einer linear-elastischen Spannungsberechnung der Ort (Krümmerflanken) und das erforderliche Biegemoment für den Uebergang zum plastischen Materialverhalten ermittelt. Anschliessend wurden mit einer elastisch-plastischen Analyse die Ausbreitung der plastischen Zonen bis zu einer Beanspruchung, die eine Dehnung von maximal 0.7 % bewirkt, verfolgt sowie Spannungs- und Dehnungsverläufe über den Rohrbogenumfang berechnet und graphisch dargestellt (Fig. 7).

Bearbeitung: Dr.H.J.Rensch (Projektleitung), B.Lohmeyer, H.Hofmann

2. Mitarbeit in der IEA

Die wichtigsten Ereignisse des laufenden Berichtsjahres wurden anlässlich des 11. Statusberichts am 9.Dezember 1987 im KfK vorgetragen. Die Interpretation der am HDR durchgeführten und geplanten Grossversuche erforderte das Beschaffen und Erarbeiten des notwendigen Know-hows sowie die Verifikation der eingesetzten Computer-Programme und Messverfahren.

3. Programm 1988

Neben dem Erstellen der Abschlussberichte sind die folgenden Arbeiten geplant:

- Rohrversagen: Bruchmechanische Analyse des Rissfortschritts und Risswachstums an Rohrkrümmern (EIR).
- Langzeitthermoschock: Berechnung des stabilen Risswachstums am Druckbehälter (EIR) und Schallemissionsmessungen (EIR).
- Schallemission: Laboruntersuchung des Einflusses der Temperatur auf die Entstehung und Ausbreitung der Schallemissionssignale (EIR).
- Vorbereitende Arbeiten für HDR-Phase III, Teilprojekt 2: "Komponentenschädigung und Ueberwachung im Langzeitbetrieb" (EIR).

4. Literatur

R.Wanner, S.Brosi, R.Rösel, O.Mercier: "Influence of Model Geometry on Stress Intensity for Cyclically Thermally Loaded Nozzle Corner Crack", Trans. 9th Int. Conf. Structural Mechanics in Reactor Technology, Lausanne, 17.-21. August 1987, Vol G, pp. 203-212.

H.Kussmaul, H.Diem, H.J.Rensch, H.Hofmann: "Elastic-Plastic Analysis of a Full-Size Elbow - Experimental and Numerical Investigations", Trans. 9th Int. Conf. Structural Mechanics in Reactor Technology, Lausanne, 17.-21. August 1987, Vol F, pp. 325-330.

P.Zwicky, H.J.Schindler, P.Bartelt: "Nonlinear Pre-Test Analysis of the Large Eccentric Mass Vibration Test for the HDR Reactor Building", Trans. 9th Int. Conf. Structural Mechanics in Reactor Technology, Lausanne, 17.-21. August 1987, Vol K1, pp. 473-478.

B.Tirbonod, L.Hanacek: "Anwendung der Schallemissionsanlage bei der lokalen Ueberwachung eines Risses im Druckbehälter", Berichtband 10 von der Jahrestagung der deutschen Gesellschaft für Zerstörungsfreie Prüfung e.V., Lindau, 25.-27. Mai 1987.

B.Tirbonod, L.Hanacek: "Some Properties of Acoustic Emission Signals Measured in the Vicinity of a Crack During the Cyclic Pressure Loading of a Vessel", Trans. 4th European Conf. Non Destructive Testing, London, 13.-18. September 1987 (wird veröffentlicht).

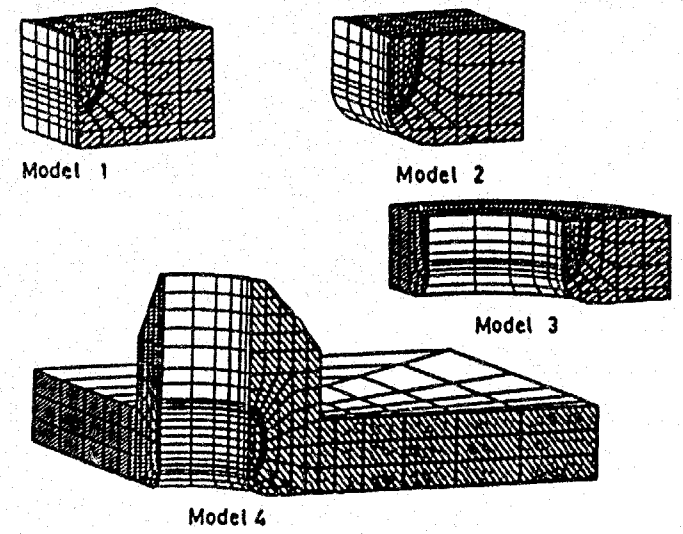


Fig. 1: Finite-Elemente Modelle des Stutzens A2. Die schraffierten Flächen stellen die Symmetrieebenen dar

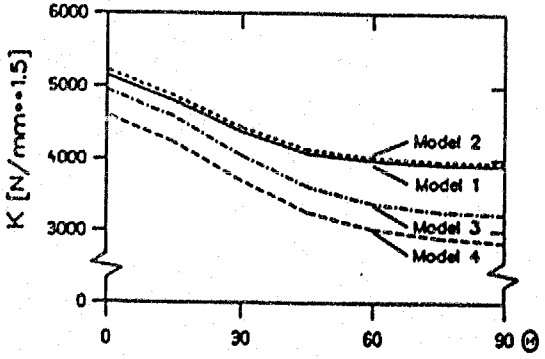


Fig. 2: Spannungsintensitätsfaktor K entlang der Rissfront für die verschiedenen Modelle

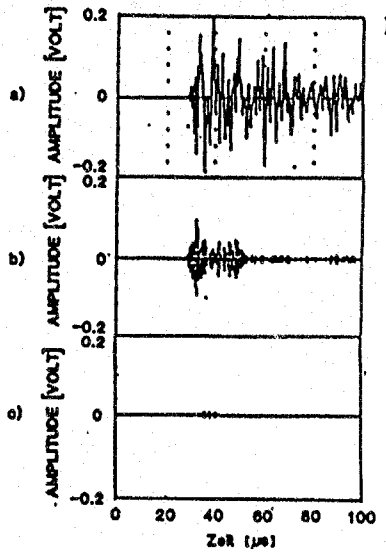


Fig. 3: Während der zyklischen Belastung bei Druckabnahme gemessenes Signal am Druckbehälter ZB2

a) Gemessenes Signal
b) Filtriertes Signal im Frequenzbereich 1 MHz bis 2 MHz
c) Filtriertes Signal im Frequenzbereich 2 MHz bis 3 MHz

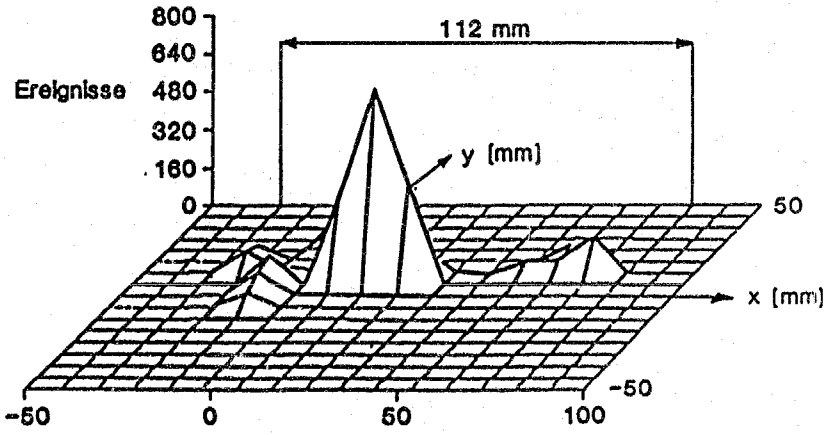


Fig. 4: Abschätzung des Orts und der Länge des Risses aus 3000 Signalen der Druckzyklen 3800 bis 14200 am Druckbehälter ZB2. Länge des ursprünglichen Risses ca. 110 mm.

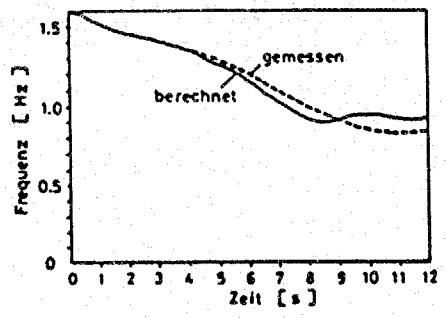


Fig. 5: Shakerdrehzahl beim Versuch T40.13

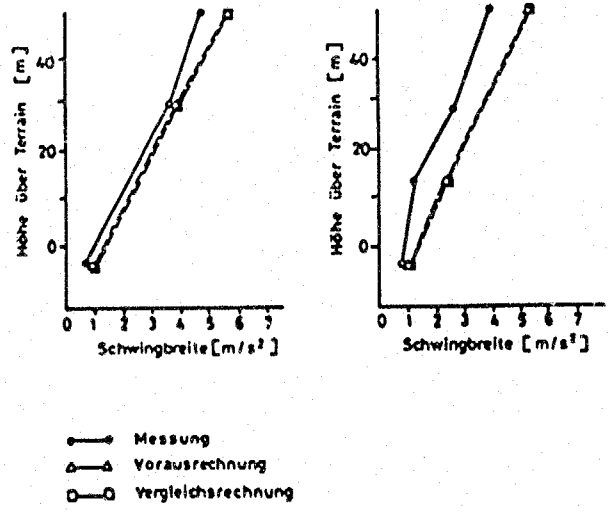


Fig. 6: Maximale Schwingbreite an verschiedenen Punkten
links: Innenstruktur
rechts: Abschirmgebäude

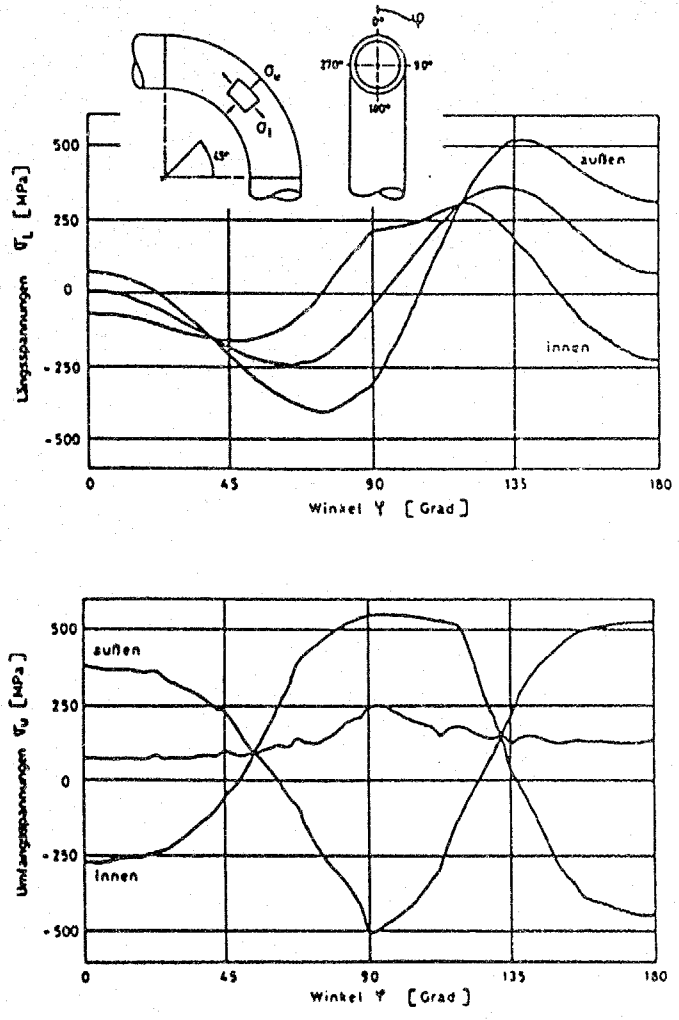


Fig. 7: Normalspannungen im Krümmer (Innendruck 11 MPa, Biegemoment 800 kNm)

OFEN
BEW

PROJETS DE RECHERCHE ÉNERGÉTIQUE 1987
ENERGIE - FORSCHUNGS - PROJEKTE 1987

THERMAL-HYDRAULIC TRANSIENT ANALYSIS

Ziel des Projekts: The objective of this research is to obtain the knowledge (the know-how) at EIR of computing nuclear power plant transients (from operating transients to accidental transients until the onset of core melt) with best-estimate thermal-hydraulic codes (TRAC,RELAP) and to adapt it to the specific requirement of the Swiss nuclear power plants. These codes were developed under the lead of the US.NRC in view of implementation for revision of Appendix K (evaluation model with conservative assumptions) to provide for best-estimate calculations in safety analysis with an accounting of uncertainties.

Dauer des Projekts: April 1988 (For extension, refer to section 6 of this report)

Beitragsempfänger:

Berichterstatter: S.N. Aksan — Prof. G. Yadigaroglu

Adresse: Eidg. Institut für Reaktorforschung, CH-5303 Würenlingen — Institut für Energietechnik, ETH-Zentrum, CH-8092 Zürich

Telephon: 056/99 27 10 — 01/256 46 15

1. DEFINED OBJECTIVES FOR 1987 (ANVISIERTE ZIELPUNKTE FÜR 1987)

The research program of the LWR Safety Project in the field of thermal hydraulic transient analysis is conducted partly in accordance with the bilateral agreement between the United States Nuclear Regulatory Commision (US.NRC) and the Swiss federal Office of Energy (BEW) covering the activities in the US.NRC Thermal-Hydraulic Transient Program and the ECCS/Reflood program of the Swiss Federal Institute for Reactor Research (EIR). From the Swiss side, the objective of this research is to obtain and to maintain the knowledge (the know-how) at EIR for computing nuclear power plant transients (ranging from operating transients to accidental transients until the onset of core melt) with best-estimate thermal-hydraulic computer codes (TRAC, RELAP). EIR obtains access to these codes in exchange of contributions to the programs, as defined in the above mentioned agreement.
The EIR program during this reporting period consisted of the continuation of three main tasks: (1) analytical model development using data from reflooding experiments, (2) work in experimental facilities and (3) computer code assessment.

2. WORK CARRIED-OUT IN 1987 (DURCHGEFÜHRTE ARBEITEN 1987)

2.1 Analytical model development

To satisfy the objectives mentioned in section 1, the work has been performed and continued on:
a) quench front propagation modelling
b) the multifluid modelling of post-burnout heat transfer with specific emphasis to dispersed flow film boiling heat transfer (DFFB) and
c) modelling of rewetting phenomena.

2.2 Work in experimental facilities

Simple-geometry reflooding experiments at atmospheric condition in the PEANUT test facility, investigating the effect of channel geometry.

Modification of the PEANUT test facility and desing and construction of a test section for investigating pulsating (water-steam) high flow (1-2 m/s) rewetting.

Experiments were conducted to verify the procedure used for estimating heat fluxes using the inverse heat conduction code INCON.

An experimental test apparatus was designed, constructed and is being used for investigating the rewetting phenomena of a heated wall at a microscopic level.

2.3 Code assessment work

Assessment of the RELAP5/MOD2 frozen version using NEPTUN boil-off and reflooding and FLECHT-SEASET reflooding experiments has been performed. Model improvements and modifications were suggested.

Parametric sensitivity calculations were made for two LOFT large break tests (LP-0 2-6 and LP-LB-1) using the RELAP5/MOD2 computer code.

An input deck for two plant start-up transients in a BWR/6 (Leibstadt) has been prepared for the TRAC-BD1 computer code. The initial calculation of the transients is underway.

3. RESULTS OBTAINED (ERREICHTE ERGEBNISSE)

3.1 Analytical model development

The work on quench front propagation has progressed regarding both analytical and numerical methods. The work on a semi-analytical method could not be continued this year due to shortage of manpower, but it is expected that this method will be implemented next year.
The analytical solution of a relatively simple two-region quenching model with precursory cooling was carried out for both slab and cylindrical geometries. Each model was solved by both the separation of variables method and the Wiener-Hopf technique. Detailed numerical tables were prepared for the values of the quench front velocity (Peclet number) as a function of model parameters (Biot number and dimensionless temperature). These tables serve as benchmark solutions. The analytical solution of more complete models, taking into consideration the presence of both cladding and fuel is underway.

The QFRONT computer code which solves the two-dimensional heat conduction equations numerically and calculates the quench front propagation for rod geometries was used to simulate quenching with the cladding (only), a nuclear fuel and the NEPTUN electrical heater rods. Using a step change in the heat transfer coefficient (two zones, wet and dry) calculations were performed and comparisons were made with available analytical models and correlations for the case of the cladding. Simulation and calculations for the case of a nuclear fuel rod indicated some programming problems. Necessary modifications are under investigation.

A detailed review of the literature concerning the modelling of drop dynamics and the heat transfer in dispersed flow film boiling has been completed and a report is in preparation. This report summarizes the state of the art in these areas and identifies the areas of future work and the needs specific to reflooding conditions.

In addition to the review of current rewetting models, a review of the literature on liquid-solid contacts in film- and transition boiling has been completed (Ref. 5). These reviews helped the design of the set-up to study experimentally the behavior of direct liquid-solid contacts in relation to the rewetting phenomena.

3.2 Work in experimental facilities

Simple-geometry reflooding experiments at atmospheric pressure were performed in the PEANUT test facility, investigating the effect of channel geometry for small hydraulic diameters. The analysis of the data compared to the data from large-diameter test sections was done by using an axial-conduction limited model of rewetting. This analysis indicated that when the correlations do not explicitly take into consideration the hydraulic diameter, the small-tube data follow the general trend of the large-tube data, while a peanut-shaped small-hydraulic-diameter section rewets at a much slower rate. It should also be noted that strong flow rate and wall temperature oscillations were recorded in all the small-hydraulic diameter tests in spite of the fact that the reflooding rate was steady (Reference 2).

The PEANUT test facility has been modified in order to perform reflooding rewetting tests at higher pressures (4-7 bars). It is now possible to have high flooding velocities (1 - 2 m/s) and also pulsating water-steam flow conditions (Figure 1). The test facility has gone through some shake-up tests; a series of experiments will be performed early next year. These tests will be contributing to the understanding of the LOFT-L2-6 type early rewetting phenomena observed during the blowdown phase.

An experimental set up (Single drop rewetting experiments SIDRE) was constructed to investigate the rewetting phenomena of a heated wall. The major part of the experimental set up is ready but problems related to placing fast-response thin film thermocouples under a very thin surface layer are still to be resolved and worked out together with the RCA (SIN) laboratory. A data acqusition system specially to be used for SIDRE has been developed.

The tests conducted to verify the methods used in connection with the inverse heat conduction code INCON are completed. The analysis of the experimental data provides thermal conductivities and thermal heat capacities for the different layers of the NEPTUN heater rods and confirms the adequacy of the method used to calculate surface heat fluxes from temperature measurements. Using these experimental values, it was also established that the INCON computer code is able to calculate the internal temperature profile of the NEPTUN heater rod quite well. A report analysing these data is in preparation.

3.3 Code assessment work

A large number of reflooding experiments in NEPTUN and FLECHT-SEASET and some boil-off experiments in NEPTUN have been analyzed via RELAP5 - Mod2/36.02 (frozen version) calculations. Based on the results obtained from the assessment work, specific flow and heat transfer regimes were examined in detail, and this led to some modifications in the inferfacial shear and reflooding heat transfer models of RELAP5/MOD2 (References 1, 3 and 4). The comparison of frozen- and modified-version calculations for one of the NEPTUN tests is shown in figure 3.

The calculations for two LOFT large break tests (LP-02-6 and LP-LB-1) using RELAP5-MOD2/36.02 were extended to analyze the sensitivity of the results to different nodalizations. These sensitivity calculations showed clearly the need for optimizing the nodalization shemes used. RELAP5-Mod2 (36.02) has calculated the general thermal-hydraulic behaviour of these experiments satisfactorily,although failing to predict some of the specific phenomena e.g. early quenching during the blowdown phase and top-down quenching (Figure 2).

The analysis of two start-up transients of the Leibstadt nuclear power plant (KKL) is underway. The first stage of the work, namely the data collection related to the geometrical and functional characteristics of the system that play a major role during the transients considered is nearly completed. Some specific data related to pump characteristics, geometry and performance of steam separators, core hydraulic characteristics, the flow control valve and the instrumentation are, however, still missing. The input deck for the first of the two start-up transients (2 5 B, MSIV closure) has been completed using test available assumptions for the missing data; initial calculations using the TRAC-BD1/MOD1 computer code are in progress. Due to delays in the delivery (May 1987) and shortage of manpower for adaptation to the CRAY Computer in Lausanne of TRAC-BF1 (fast version of TRAC-BD), it was decided to test the prepared input deck with the readily available TRAC-BD1/MOD1.

4. INTERNATIONAL COOPERATION

The US.NRC has established an International Code Assessment and Applications Program (ICAP) integrating the NRC bilateral agreements with different countries such that each country benefit from the contribution of the others. One of the main benefits is the

suggested code improvements and integration of these into the system codes. In this respect, EIR improvements to RELAP5 and TRAC-BWR in the interfacial shear and heat transfer models were proposed.

The ICAP program is driven by the needs of the ECCS rule change effort in relation to licensing. One of the main elements of this process is the applicability of codes to scaling and uncertainty analysis (CSAU). The work in this area at ICAP and the OECD-CSNI (Committee for the Safety of Nuclear Installations) is very closely followed by EIR. The regulatory significance of ICAP, centers around the use of international expertise to obtain acceptable and recognized standard best-estimate thermal-hydraulic codes.

5. SELECTED PUBLICATIONS (VERÖFFENTLICHUNGEN)

Selected five publications are listed:

1. G. Th. Analytis, S.N. Aksan, F. Stierli, G. Yadigaroglu
Dynamics of core voiding during boil-off experiments, 4th Miami International Symposium on Multi-Phase Transport and Particulate Phenomena, 15 - 17 December 1986, Miami Beach, Florida, USA

2. D. Lübbesmeyer, M. Flik, G. Yadigaroglu
Influence of channel shape and hydraulic diameter in reflood heat transfer, 4th Miami International Symposium on Multi-Phase Transport and particulate Phenomena, 15 - 17 December 1986, Miami Beach, Florida, USA

3. G. Th. Analytis, M. Richner, S.N. Aksan
Assessment of Interfacial shear and wall heat transfer fo RELAP5/Mod2/36.02 during reflooding, European Two-Phase Flow Group Meeting, June 1 - 4, 1987. Trondheim, Norway and EIR-Report Nr. 624, May 1987

4. S.N. Aksan, F. Stierli, G. Th. Analytis
Boil-off experiments with the EIR-NEPTUN facility: Analysis and code assessment overview report, EIR-Report NR. 629, September 1987

5. V. Gerweck
Liquid-Solid Contacts in Film and Transient Boiling: A short overview
EIR-Internal report TM-32-87-10, 30 June 1987

6. NEW RESEARCH AREAS (NEUE FORSCHUNGSARBEITEN)

The International Code Assessment Program (ICAP) is supported by the US.NRC and other countries and will be producing its final results in relation to safety analysis and licensing of nuclear power plants towards the end of 1992. In this respect it will be most beneficial to extend the present agreement (termination date April, 1988) with the US.NRC in the area of thermal hydraulic transient analysis. The application of the Code Scaling, Applicability and Uncertainty (CSAU) analysis to the licensing and the coordinated Code Improvement Program of NRC should also be part of the extended agreement.

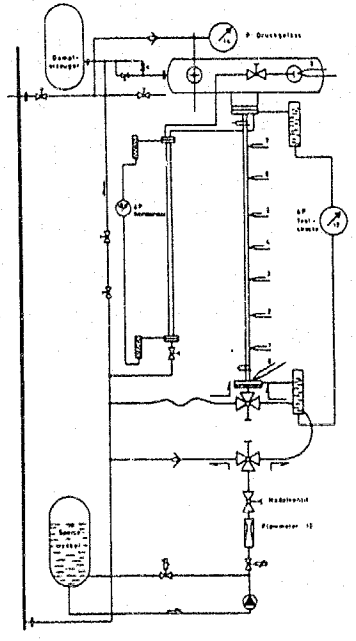


Figure 1: Schematic of modified PEANUT test facility

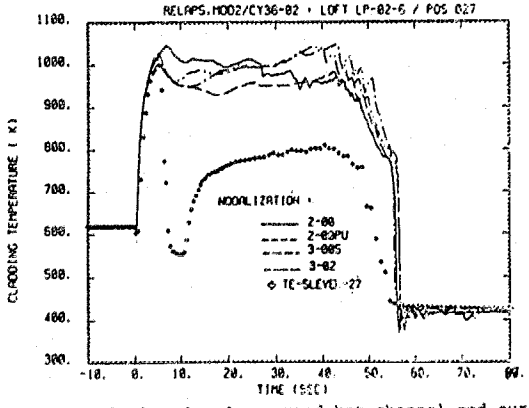
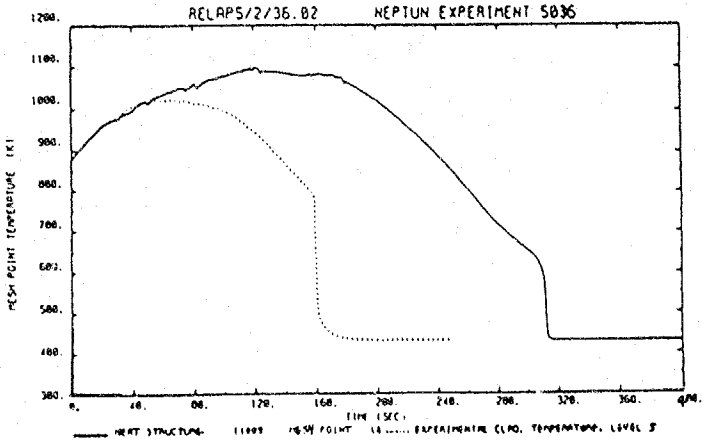


Figure 2: Comparison of calculated and measured hot channel rod surface temperature data for LOFT LP-02-6 test



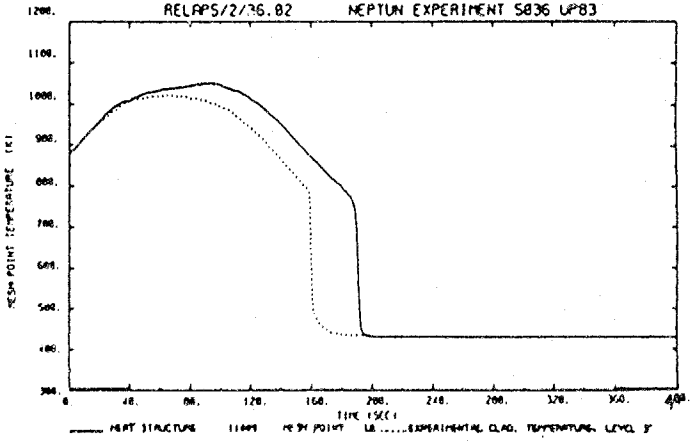


Figure 3: NEPTUN experiment no. 5036: Measured and calculated rod surface temperature histories at level 5 by frozen version RELAP5/MOD2 (above) and by RELAP5/MOD2 modified with EIR-UPD.83 (below)

OFEN — PROJETS DE RECHERCHE ÉNERGÉTIQUE 1987

BEW — ENERGIE - FORSCHUNGS - PROJEKTE 1987

RECHERCHES T C V (TOKAMAK À CONFIGURATION VARIABLE)

Ziel des Projekts:

Les températures électroniques moyennes les plus élevées obtenues dans des tokamaks chauffés ohmiquement sont, à ce jour, un ordre de grandeur au-dessous de la température d'un réacteur de fusion. L'absorption d'ondes électromagnétiques est une des techniques de chauffage complémentaire utilisée pour accroître cette température. Le but de l'expérience est de tester l'efficacité comme système de chauffage supplémentaire d'ondes basse-fréquences (appelées ondes d'Alfvén dont la fréquence est de l'ordre du mégahertz) dans un Tokamak conventionnel à section circulaire (TCA). En 1987, l'exploitation de TCA a été axée sur l'identification des effets multiples provoqués par ce chauffage.

Travaux dans le cadre du programme de l'association Suisse au programme fusion d'EURATOM 1987 - 89

Beitragsempfänger: Centre de recherches en physique des plasmas CRPP

Berichterstatter: Prof. Dr. F. Troyon

Adresse: CRPP, 21, Avenue des Bains, 1007 Lausanne

Telephon: (021)47 11 11

1 RAPPEL DES OBJECTIFS

Les températures électroniques moyennes les plus élevées obtenues dans des tokamaks chauffés ohmiquement sont, à ce jour, un ordre de grandeur au-dessous de la température d'un réacteur de fusion. L'absorption d'ondes électromagnétiques est une des techniques de chauffage complémentaire utilisée pour accroître cette température. Le but de l'expérience est de tester l'efficacité comme système de chauffage supplémentaire d'ondes basse-fréquences (appelées ondes d'Alfvén dont la fréquence est de l'ordre du mégahertz) dans un Tokamak conventionnel à section circulaire (TCA). En 1987, l'exploitation de TCA a été axée sur l'identification des effets multiples provoqués par ce chauffage.

Les tokamaks sont limités en courant, en densité et en pression. Les limites obtenues à ce jour dans les Tokamaks sont trop basses et entraineraient une très faible densité de puissance de fusion dans un réacteur thermonucléaire, ce qui se traduirait par une taille jugée inacceptable dans l'état actuel de la technologie et économiquement non compétitive. L'objectif du projet TCV, qui entrera en fonction en 1990, est de démontrer qu'il est possible d'accroître fortement ces limites de performance en déformant et en allongeant verticalement fortement la section méridienne du plasma . Les objectifs immédiats en 1987 étaient la poursuite des études théoriques sur lesquelles est basé TCV et le début de la phase de construction.

2 TRAVAUX EFFECTUES

Des améliorations techniques ont été apportées à TCA : allongement de la durée de l'impulsion de courant jusqu'à 0.2 s et mise au point du contrôle de fréquence et d'amplitude du générateur d'ondes. Les instruments de mesures ont été améliorés, en particulier les systèmes de détection des fluctuations de densité et magnétiques ainsi que le système d'analyse spectroscopique. Le programme d'expérimentation s'est concentré sur la détermination des coefficients de transport du plasma (conduction thermique et diffusion des particules) par modulation de l'amplitude du chauffage et détection des variations de densité et de rayonnement-X, ainsi que sur les transitions rapides qui se produisent pour certaines valeurs de la fréquence et de la densité et pour lesquelles il n'existe à ce jour aucune interprétation.

Dans le cadre du projet TCV des tests de résistance mécanique à la fatigue des joints des bobines toroïdales démontables ont été effectués avec succès. La génératrice, une partie des transformateurs et du système d'acquisition de données, le cuivre des bobines toriques ainsi que certains systèmes auxiliaires ont été achetés ou commandés au cours de cette année. Des contrats d'étude ont été passés pour l'analyse des efforts dans l'enceinte à vide et dans le noyau central de la machine. Un élément essentiel du projet TCV est sa flexibilité dans la création de formes de plasmas extrêmement diverses, ce qui exige un système sophistiqué de contrôle par rétroaction de tous les courants qui génèrent le champ de façonnage. Des simulations numériques sont effectuées afin de délimiter les plages de fonctionnement accessibles et les caractéristiques techniques du système électrique de contrôle. Une réunion de travail avec participation des experts en contrôle de tous les grands centres

américains et européens a permis de faire le point.

3 RESULTATS

La Fig. 1 montre une coupe du Tokamak TCV. Le plasma montré est une des formes possibles qui remplit bien l'enceinte. La Fig. 2 montre un scénario de création d'un plasma allongé, stable à tout instant, en partant d'un plasma quasi-circulaire formé en haut de l'enceinte et en changeant les courants dans les bobines de façonnage situées à gauche et à droite de l'enceinte.

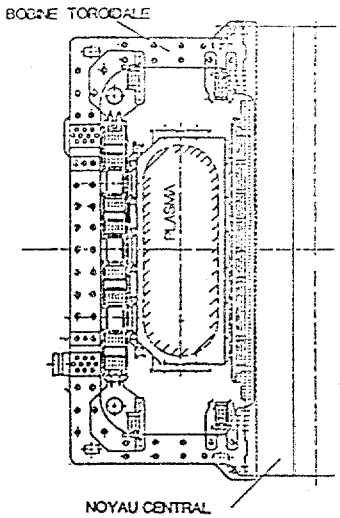


Fig. 1 : Demi-coupe méridienne de TCV montrant le noyau central, une des bobines toroidales démontables, les multiples bobinages de façonnage du plasma, l'enceinte à vide et le plasma. Les paramètres sont : champ magétique = 1.5T, courant dans le plasma = 1.0MA, grand rayon = 0.85m, demi-épaisseur/hauteur du plasma = 0.24/0.72m

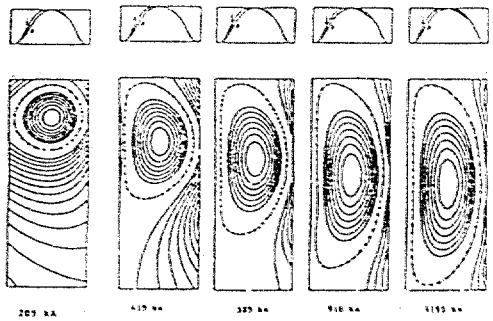


Fig. 2 : Séquence d'équilibres montrant les étapes de la formation d'un plasma allongé en forme de D, tous positionnellement stables. En-dessus les profiles de pression p et de courant j dans le plasma. En dessous de chaque forme, la valeur correspondante du courant. Les surfaces indiquées sont des lignes du champ magnétique poloidal (dans le plan méridien). Dans le plasma dont la surface est indiquée par les points, les lignes de champ sont aussi des isobares.

De nouvelles formes de plasma permettant d'atteindre de hautes performances, c'est-à-dire stables à haut courant et haute pression, contrôlables par une combinaison de stabilisation passive due à l'enceinte métallique, et de rétroaction sur les courants dans les 16 bobines qui génèrent le champ de positionnement et de façonnage,ont été trouvées par le calcul numérique, illustrant ainsi la flexibilité du concept de l'arrangement des bobines et de la forme de l'enceinte choisis pour TCV. La Fig. 3 montre un échantillon de formes possibles [1,2].

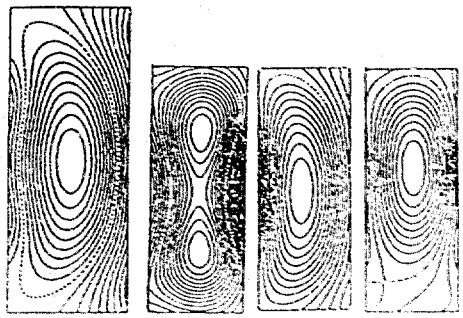


Fig. 3 : Un échantilon d'équilibres possibles montrant la flexibilité intrinsèque du système. Le deucième équilibre a deux axes magnétiques et le dernier est un exemple de configurations avec une arête vive dite à "diverteur".

Tous les résultats actuels confirment que c'est le courant qui circule dans le plasma qui contrôle les performances. Les simulations faites jusqu'à maintenant indiquent un courant maximum pour TCV plus de 4 fois supérieur à celui d'une section circulaire, ce qui se traduirait dans un réacteur par un accroissement d'un facteur de 20 de la puissance de fusion pour un même champ magnétique toroidal.

Un code de simulation de l'évolution du plasma mis à disposition par Princeton a permis d'étudier quantitativement l'influence des paramètres électriques du système de contrôle (constantes de temps des thyristors, nombre de paramètres de contrôle, choix des signaux de règlage) et de l'enceinte (épaisseur, resistivité) sur les performances afin de pouvoir spécifier totalement le système qui est l'élément critique du concept de TCV. Ce choix devra être fait en 1988.

L'application du chauffage d'Alfvén sur TCA a provoqué des changements profonds du comportement du plasma allant bien au-delà du simple chauffage. Cette année l'exploitation s'est concentrée sur l'étude de ces phénomènes [3, 4, 5].

Voici un résumé des points les plus intéressants : L'application du chauffage sur un plasma stationnaire dont les paramètres globaux importants(densité, courant) sont régulés provoque une croissance rapide de la densité et incontrôlable par le système de régulation de l'entrée de gaz accompagné d'autres changements globaux dont l'interprétation la plus simple est une amélioration soudaine de la qualité du confinement des particules. Ceci est très similaire au changement de régime de confinement observé dans certains Tokamaks et connu sous le nom de régime H mais nous n'avons pas pu mettre en évidence jusqu'à maintenant l'apparition des gradients de pression très élevés à la surface du plasma qui est considérée comme la signature de ce régime. Le début des décharges montrées en Fig. 4 est un exemple typique.

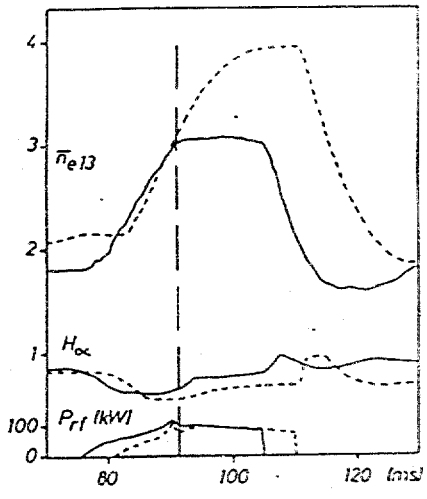


Fig. 4 : Bifurcation dans l'évolution de la densité après la traversée d'une résonance globale, visible sur la trace P_α qui montre l'évolution de la puissance délivérée au plasma. Les 2 traces correspondent à des "conditions expérimentales" identiques. La trace H_α montre l'émission d'une raie spectrale de l'hydrogène atomique et est un indicateur des phènomènes de surface.

Des phénomènes de transition ayant le caractère de bifurcations sont parfois observés lors de la montée de la densité. La Fig. 4 montre un exemple

d'une telle bifurcation clairement visible sur l'évolution de la densité avec comme référence une autre décharge très similaire qui ne subit pas de transition. Une des décharges montre une croissance régulière et l'autre au contraire montre une cassure nette, visible également sur presque tous les signaux mesurés (rayons X, inductance, pression, ...). La valeur de la densité à laquelle se situe la transition est proche d'une résonance globale du plasma et peut donc être prédite, mais le phénomène lui-même est incompris. Grâce à l'impulsion plus longue et à la possibilité de contrôler la fréquence et l'amplitude du générateur nous avons longuement étudié ces transitions et mis en évidence l'hystérèse de cette transition. Toutes les évidences semblent indiquer que ces transitions correspondent à des changements de profil de courant mais la rapidité du phénomène apparait incompatible avec une telle interprétation à moins d'accepter la perte de la symétrie toroidale au cours de la transition.

Les expériences de modulation de l'amplitude du chauffage et de mesure simultanée de tous les paramètres accessibles du plasma ont eu la priorité maximum au cours de cette année. De telles mesures dynamiques permettent en principe de déterminer les coefficients de transport et de contrôler la validité de la notion d'une conductibilité thermique locale. La Figure 5 montre quelques signaux d'une expérience de modulation récente. Les traces importantes sont celles de la puissance modulée et les rayons X dont la variation d'amplitude est beaucoup plus sensible à la température électronique qu'à la densité. Ces signaux X reflètent donc essentiellement la modulation de la température électronique. La décomposition harmonique donne la phase et l'amplitude dont l'analyse montre que le plasma se divise en deux régions séparées par une surface particulière. Les lignes de champ tracées sur cette surface se referment sur elles-mêmes après un tour autour de l'axe du tore. Cette surface est facilement localisable dans le plasma car elle joue aussi un rôle important dans d'autres phénomènes comme les oscillations rapides en "dents de sice" visible sur les traces X de la Fig. 5. La surprise est que le confinement soit mauvais à l'intérieur de cette surface, mais surtout que la phase relative entre la puissance et la température,

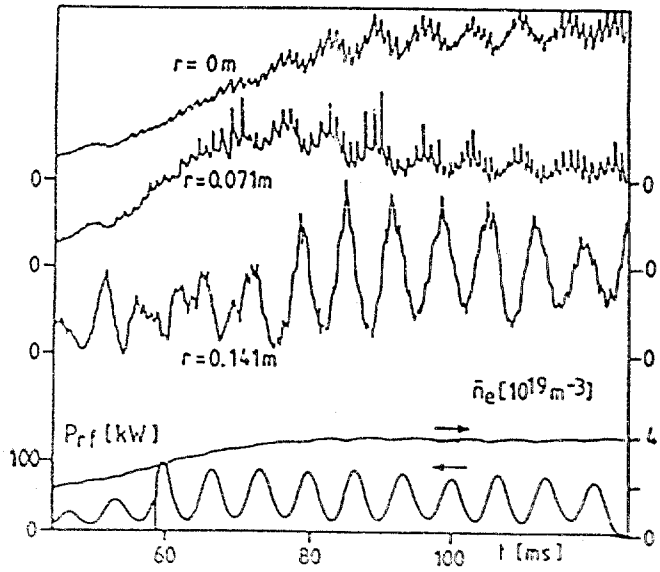


Fig. 5 : Expérience de modulation. La trace inférieure montre la puissance P_{rf} modulée à une fréquence de 150Hz. La deuxième trace représente la densité moyenne. Les traces suivantes montrent l'évolution de l'émission X à trois rayons, r=0 étant le centre du plasma où température et densité sont maximum et r=0.141m est à 4 cm à l'intérieur de la surface. Les modulations rapides périodiques sont dues à des relaxations internes dans le plasma appelées "dents de scie".

insensible à l'emplacement de la couche où l'absorption devrait se faire d'après la théorie, implique un mécanisme intermédiaire de déposition de l'énergie. Nous n'avons pas encore été à même de développer un modèle pour expliquer la forme de la réponse dynamique. Des expériences de modulation en "fonctions de Dirac" ont été effectuées et donnent des résultats aussi surprenants.

En ce qui concerne l'aspect "chauffage" pur, une limite disruptive de pression apparaît à la moitié de la pression maximum que l'on peut espérer atteindre dans un Tokamak de cette forme, similaire en cela à tous les autres systèmes de chauffage. Ceci est une évidence de plus que les phénomènes observés dans tous les Tokamaks en présence d'un chauffage auxiliaire sont essentiellement indépendants de la méthode de chauffage et sont des propriétes intrinsèques du plasma confiné.

4 CONTEXTE INTERNATIONAL

L'ensemble du programme est un maillon du programme Fusion Euratom et les deux installations, TCA et TCV, jouissent d'un statut préférentiel avec financement partiel d'Euratom.

Des machines concurrentes à TCV sont en discussion aux USA (General Atomic et MIT) et en URSS et tous les nouveaux projets de grandes installations Tokamak en discussion dans le monde utilisent des sections très allongées alors que les bénéfices escomptés n'ont jamais subi de vérification expérimentale. Le projet TCV est donc attendu avec beaucoup d'intérêt et d'impatience. L'alternative à un Tokamak très allongé comme réacteur est un Tokamak de taille extrêmement grande, ce qui n'est pas considéré favorablement à ce stade par la Communauté internationale.

REFERENCES

[1] F. Hofmann, Axisymmetric stability of triplet-shaped tokamak plasmas; Plasma Phys. and Contr. Fusion 29, 1053 - 1056 (1987)

[2] F. Hofmann, A.D. Turnbull and F.B. Marcus, Passive stabilization of axisymmetric modes in an elongated tokamak, Nucl. fusion 27, 743 (1987)

[3] G. Besson et al., Alfvén wave heating and current profile modification in TCA, Nucl. Fusion Suppl. 1987, 617 - 625 (1987)

[4] B. Joye, J.B. Lister, J.-M. Moret, A. Pochelon, C.W. Simm, Dynamical plasma response to additional heating, LRP 330/87 (Lausanne Report)

[5] TCA Team, Contributed papers presented at the 14th European Conf. on Controlled Fusion and Plasma Physics, Madrid, Spain, June 1987, LRP 324/87 (Lausanne Report)

OFEN PROJETS DE RECHERCHE ÉNERGÉTIQUE 1987

BEW ENERGIE - FORSCHUNGS - PROJEKTE 1987

PLASMA-WALL INTERACTION IN TEXTOR

Ziel des Projektes:

Untersuchung der Plasma-Wand Wechselwirkung und der Wanderosion im Hinblick auf die Bildung von Plasmaverunreinigungen, die das Erreichen der Zündbedingungen behindern würden. Entwicklung und Testen von in-situ abgeschiedenen Schutzschichten mit niedriger Ordnungszahl wie z.B. Bor-Kohlenstoff. Durchführung von in-situ Beschichtungen im TEXTOR und anderen Tokamaks.

Dauer des Projektes:

Gesamt: 1.10.1985 - 31.12.1988; Berichtsperiode: 1.12 1986 - 31.12.1987

Beitragsempfänger: Anorganisch-Chemisches Institut der Universität Zürich

Berichterstatter: PD Dr. S. Veprek

Adresse: Winterthurerstr. 190, 8057 Zürich

Telephon: 01/ 257'46'51 direkt

01/ 257'46'10 Sekretariat

1. Anvisierte Zielpunkte für 1987

Nachdem wir seit mehreren Jahren die in-situ Abscheidung und Charakterisierung von B-C Beschichtungen entwickelt haben, konnte im Frühjahr 1987 ein Durchbruch erzielt werden, indem das TEXTOR Team der KFA Jülich beschlossen hat diese Beschichtungen im TEXTOR baldmöglichst einzusetzen. Um die dafür notwendigen, für TEXTOR direkt relevanten Daten kurzfristig zu liefern, wurden die entsprechenden Umstellungen unseres Programmes vorgenommen. Die erzielten Resultate lassen auf einen Erfolg bei der Beschichtung im TEXTOR hoffen.

Die Messung der poloidalen Verteilung der Verunreinigungsflüsse im TEXTOR wurde fortgesetzt. Infolge technischer Schwierigkeiten mit dem Manipulator und z.T. mit dem TEXTOR-Betrieb sind jedoch gewisse Verzögerungen eingetren.

Die Untersuchungen von Wasserstoffrecycling an reinen Metalloberflächen wurden planmässig fortgesetzt und wichtige Daten für das vertiefte Verständnis der Prozesse gewonnen. Im Hinblick auf die bevorstehenden in-situ Beschichtungsversuche im TEXTOR wurde die Vorbereitung der Messungen von H-Recycling an einem mit B-C-beschichteteten Liner in unserem Simulator forciert.

2. Durchgeführte Arbeiten 1987

2. a) In-situ Abscheidung von Schutzschichten und plasmabedingte Erosion

Auf Grund der Pläne des TEXTOR Teams, den Liner des Tokamaks in der ersten Hälfte 1988 mit B-C zu beschichten wurden die Untersuchungen an SiC vorläufig abgeschlossen und auf BC Untersuchungen zurückgewechselt. Die Resultate über B-C aus den Jahren 1984-1985 wurden unter neuen Bedingungen (Trägergas, Apparaturgrösse, Hochfrequenzgenerator) verifiziert um näher an die Bedingungen im Tokamak zu kommen.

BC Schichten auf Inconel wurden im TEXTOR Tokamak dem normalen Schussbetrieb ausgesetzt und am ACI mit ESCA untersucht. Für die Beschichtung eines Test-Limiters sind die Vorversuche erfolgreich abgeschlossen.

In enger Zusammenarbeit mit EIR Würenlingen wurden grossflächige Abscheidungen im Massstab von ca. 1:1 zum TEXTOR durchgeführt. Dabei konnten gute Gleichmässigkeit der Beschichtung sowie Reinheit des Deposits erreicht werden. Diese Resultate werden in einen separaten Bericht des

EIR im Detail beschrieben.

2. b) Messungen von Plasmaverunreinigungsflüssen in Tokamaks

Die Proben der Experimente im TEXTOR Tokamak wurden mit ESCA ausgewertet. Die experimentelle Messanordung und das Probenmaterial wird auf Grund der Resultate der Jahre 1985 bis 1987 modifiziert.

Am TCA wurden Messungen von Ionen-Implantation bei kleinen Eindringtiefen durchgeführt. Zwei verschiedene Auswertungsmethoden führten zu übereinstimmenden Resultaten.

2. c) Wasserstoff-Recycling in Tokamaks und in einem Simulator

Für diese Untersuchungen wurde der Simulator im Sinne grösserer Reinheit sowie quantitativen Erfassung der Verunreinigungen verbessert. Nach Abschluss der Messungen an Inconel wurde für den TCA in Lausanne SS 316L untersucht. Zusätzlich wurde das Recycling an Liner aus reinem Eisen und Nickel gemessen, die elementare Legierungsbestandteile von Tokamak - relevanten Legierungen sind. An diesen Metallen wurden ebenfalls Untersuchungen von Strahlungsschäden durchgeführt.

Zur Zeit wird der Simulator für die Messungen an B-C Beschichtungen umgebaut. Im letzten Projektjahr sollen Recycling an B-C in-situ Beschichtungen durchgeführt werden, sowie mit Untersuchungen an Chrom und ev. Molybdän die Daten für das kinetische Modell vervollständigt werden.

3. Erreichte Ergebnisse

3. a) In-situ Abscheidungen von Schutzschichten und plasmabedingte Erosion

Für B-C Abscheidungen auf POCO-Graphit wurde die Probenvorbereitung detailiert untersucht. Beste Hafteigenschaften ergaben sich nach Schleifen der Substratoberfläche, anschliessendem Tempern im Vakuum bei 400°C während einer Stunde und abschliessendem Aetzen während drei Stunden im Wasserstoffplasma bei einer Temperatur von 420 °C.

Die Resultate aus den Jahren 1984-85 konnten mit B-C Proben aus der neueren, grösseren Apparatur mit einem neuen Hochfrequenzgenerator (80 anstatt 27 MHz) und Helium als Trägergas anstelle von Argon reproduziert werden.

Untersucht wurden die Kratzfestigkeit und Widerstandsfähigkeit gegen thermische Schocks (100 Mal -190 bis +250 °C). Zusätzlich wurde eine Apparatur aufgebaut um die Schichten im Vakuum mit einem Elektronenstrahl innerhalb ca. einer Minute auf 1200 °C erhitzen zu können. Auch nach fünfmaligem Erhitzen auf diese hohe Temperatur blieb die Haftung der Schichten ausgezeichnet. Das Verhältnis von B:C in der Gasphase wurde mit Hilfe von AES-Untersuchungen mit der Zusammensetzung der Schichten korreliert.

Die Exposition von B-C beschichteten Inconel-Proben im normalen TEXTOR-Betrieb (inkl. Carbonisierung) und die anschliessende Analyse mit ESCA bestätigten die Stabilität der B-C Schichten. Auf einem Aluminium-Modell-Testlimiter wurde die Gleichmässigkeit der Abscheidungen von BC untersucht und für gut befunden. Die Vorversuche für den B-C beschichteten POCO-Graphit-Testlimiter für den Textor Tokamak wurden erfolgreich abgeschlossen.

3. b) Messungen von Plasmaverunreinigungsflüssen in Tokamaks

Die Messungen der poloidalen Verunreinigsflüsse im TEXTOR Tokamak zeigte, dass die Effizienz für das Ansammeln von Schwermetallverunreinigungen (Fe, Ni, Cr) aus einer Serie von weniger als 30 Plasmaschüssen für Gold-Substrate rund 50 mal grösser ist als für POCO-Graphit. Zur Analyse wurden die obersten 20 nm der POCO-Graphit-Substrate in der ESCA-Apparatur mit einem H_{22}-Plasma geätzt, was zu einer Akkumulierung des Fe führt. Die Messung davon ergibt keine signifikante Erhöhung des Signals. Die wahrscheinlichste Erklärung für diese Tatsache ist, dass die Schwermetallverunreinigungen eher wieder ins Plasma zurückgehen als in die POCO-Graphit-Probe implantiert zu werden.
In den meisten Fällen zeigte sich im Bereich von ± 20 % keine poloidale Asymmetrie der Verunreinigungsflüsse von Fe, C, und O aus dem Plasma.

3. c) Wasserstoff-Recycling

Zeit- und arbeitsintensive Messungen an Inconel und Eisen zeigten, dass reproduzierbare Resultate erst dann möglich sind wenn Wasserstoff-Reinigungsentladungen bei Temperaturen oberhalb 300 °C auf der Zeitskala von Wochen und minuziöse Kontrolle der Reinheit durch periodische massenspektrometrische und Recycling-Messungen unter identischen Bedingungen durchgeführt werden.

Bei typischen Messbedingungen für Wasserstoff-Recycling liegen die Partialdrücke der wichtigsten Verunreinigungen (je nach Liner-Material H_2O oder CO) um den Faktor 10^{-4} tiefer als derjenige von H_2.

Der Effekt des H_2-Recyclings ist bei Inconel leicht grösser als bei den beiden Legierungen SS 304 und SS 316L. Deutlich kleinere Werte ergeben sich für Fe (mit 0.8 % C), Ni und Monel. Die Verarmung an C auf 0.2 % in Fe im Verlaufe der Experimente führte zu einer starken Verminderung des Effektes.

Bei den Messungen an Eisen konnte gezeigt werden, dass der Kohlenstoff aus dem Eisen im Laufe der Experimente sukzessive als Kohlenmonoxid abgegeben wird. Die Korrelation der CO Konzentration mit der Menge des H_2-Recyclings zeigte, dass erst ab einem Konzentrationsverhältnis $[H_2]/[CO]$ grösser als 10^3 reproduzierbare Resultate erhalten werden. Bei kleineren Unterschieden kann das effektiv gemessene Recycling den achtfachen Wert vom Recycling des reinen Eisens betragen.

4. Internationale Zusammenarbeit

Die Zusammenarbeit mit den Kollegen vom TEXTOR-Team in der KFA Jülich war, wie schon in den früheren Jahren, sehr gut.

5. Veröffentlichungen

1. Ch. Hollenstein, S. Vepřek and S. Rambert:
Impurity Transport in TCA - Tokamak Studied by Integral Collection Probes.
J. Nuclear Materials, 145 & 146 (1987) 717-719.

2. S. Vepřek, U. Stiefel and D. Ringer:
Development of in-situ Deposition of Protective Coatings for Fusion Devices.
ENC'86 Transactions, Vol. 3: Fusion Reactor Technology, p. 105-110.

3. S. Vepřek:
Materials Design by Means of Discharge Plasmas.
in: Design of New Materials, Eds. D. L. Cocke and A. Clearfield, Plenum publ. Co., N.Y. 1987, p. 135-167.

OFEN
BEW

PROJETS DE RECHERCHE ÉNERGÉTIQUE 1987
ENERGIE - FORSCHUNGS - PROJEKTE 1987

PLASMA-WALL INTERACTION IN TEXTOR

IEA Implementing Agreement for a Programme of Research and Development on Plasma Wall Interaction in TEXTOR

Beitragsempfänger: Paul Scherrer Institut, 5303 Würenlingen
Berichterstatter: U. Stiefel
Adresse: c/o Paul Scherrer Institut
Telephon: 056/99 20 77

1 Zielpunkte und durchgeführte Arbeiten

Die Wechselwirkung zwischen dem Plasma und den dieses direkt umgebenden Komponenten stellt aus folgenden Gründen ein wichtiges Problem für die Realisierung der kontrollierten Kernfusion dar:

- Die durch das Plasma verursachte Erosion der Wand führt zur Verunreinigung des Plasmas, was eine starke Erhöhung der Energieverluste durch Strahlungsverluste zur Folge hat. Übersteigt der Verunreinigungsgrad einen zulässigen Wert, so kann keine positive Energiebilanz erreicht werden.
- Die Erosion der ersten Wand bestimmt zusammen mit den Strahlenschäden durch die 14 MeV Neutronen die Lebensdauer der Wand und damit die wirtschaftliche Anwendbarkeit von Fusionsreaktoren.

Eine aussichtsreiche Möglichkeit zur Verlängerung der Lebensdauer der ersten Wand wäre die periodische Neubeschichtung. Besonders geeignet sind dafür Materialien mit kleinen Massenzahlen, da diese wesentlich höhere Verunreinigungen des Plasmas zulassen. Am Anorganisch-Chemischen Institut der Uni Zürich ist in den letzten Jahren unter Mitwirkung des EIR eine erfolgversprechende Methode für das Abscheiden von Materialien, nach dem plasmainduzierten CVD-Verfahren, im Labormassstab für kleine Proben entwickelt worden.

Untersuchungen für die praktische Anwendung am Tokamak TEXTOR werden am EIR in der grossen UHV-Kammer durchgeführt. Basierend auf dem Report von Dr. Dietz (anfangs 1987) und den Interessen der lokalen TEXTOR-Gruppe, konnte eine Gesamtbeschichtung des Liners im in-situ Verfahren an der Frühlings-Sitzung des Executive Commitees für 1988 durchgesetzt werden. Der Technologietransfer zur TEXTOR-Gruppe inklusive das Erarbeiten weiterer Parameter zur Erreichung einer optimalen Beschichtung wurde nun als Hauptziel anvisiert. Als weitere technische Unterstützung dient der EIR-Manipulator, welcher die Analyse der Schichten und der Reinigungszyklen ermöglicht.

2 Durchgeführte Arbeiten und erreichte Ergebnisse

2.1 P-CVD Beschichtung

Aus der Sicht eines heutigen Tokamak-Betreibers wäre es wünschenswert, die aufgetragene und in der Betriebszeit verunreinigte Schicht zu entfernen. Für eine lange Lebensdauer und einen möglichst kleinen Abkühlungseffekt durch den Partikelfluss ins Plasma, ist jedoch eine möglichst kleine chemische und physikalische Ätzbarkeit erwünscht. Eine reine Bor-Schicht wurde während 100 Stunden im Wasserstoffplasma geätzt. Es konnte nur eine leichte Ätzbarkeit nachgewiesen werden. Eine B-C-Schicht soll diese Eigenschaft noch verringern. Somit ergibt sich, dass entweder sehr dünne Schichten hergestellt werden, die in einer brauchbaren Zeit entfernt werden können, oder die verunreinigten Schichten wieder überdeckt werden.

Ab Frühjahr 87 wurden alle Arbeiten auf die praktische Realisierung im TEXTOR ausgerichtet. Da eine Änderung der Gaszufuhr und der Betrieb bei höherem Druck, für eine erhöhte Abscheidungsrate, nicht realisierbar war, wurden andere Parameter gesucht. Es ist nun möglich durch asymetrischen Gaseinlass, kleine Stromdichte und einem Gesamtdruck von $1 \cdot 10^{-3}$ mb eine homogene Abscheidung zu erlangen. Die Homogenität der Schichtdicke ist nun wesentlich vom Feldlinienverlauf abhängig. Verschiedene Anoden-Kathoden-Anordnungen konnten diese Aussage bestärken.

Der Kathodenfall konnte durch eine Sonde auf 2 bis 10 cm bestimmt werden. Er ist unter anderem vom Druck und der Stromdichte abhängig.

Die am Liner mit einem Druckmesser von 0.5 m erhaltenen Resultate mussten an einem Liner mit dem TEXTOR-Druckmesser von 1.0 m bestätigt werden. Dies erforderte einen Mehraufwand in der mechanischen Fertigung und der entsprechenden Heizung. Im wesentlichen konnten die gleichen Betriebsparameter gefahren werden. Auf eine Hochfrequenzüberlagerung wurde zu Gunsten der Vergleichbarkeit mit TEXTOR verzichtet. Auf speziellen Wunsch des ACI konzentrierte sich nun die Arbeit auf die Reproduzierbarkeit dünner Schichten bei hohen Temperaturen (> 300°C) mit konstantem B-C Verhältnis. Die Analyse des B-C Verhältnis wird am ACI durchgeführt.

Vorgängig zur für 1988 vorgesehenen Beschichtung des TEXTOR Liners mussten inten-

sive Untersuchungen der Tribologie von MoS_2-beschichteten Getrieben, die dem reaktiven B-C-Gasgemisch ausgesetzt sind, durchgeführt werden, da die Funktion der Antriebe der ALT II-Blätter nicht behindert werden darf.

2.2 EIR-Manipulator in Jülich

Nach der Einbauphase des ALT-II-Systems in den TEXTOR, konnte der EIR-Manipulator wieder erfolgreich angebaut werden. Der gekürzte Greifarm und die komplett neu programmierte Steuerelektronik ermöglichen nun die Umfahrung des ALT-Blattes, welches als Hindernis die Funktion verunmöglicht hätte. Eine Neudimensionierung des pneumatischen UHV-Antriebes ergab einen wesentlichen Mehraufwand. Nach einigen Testfahrten wurde der Manipulator dem Betrieb und dem dafür zuständigen Personal der KFA-Jülich übergeben. Eine Modifikation des 10 plätzigen Probenkoffers und die Herstellung von vorstehenden Molydän-Proben für das ACI wurden fristgerecht durchgeführt. Dies ermöglichte eine Vergrösserung der kollektierenden Probenfläche. Durch neue, vorstehende Probenhalter im TEXTOR-Liner konnten Schatteneffekte im Tokamak weitgehend eliminiert werden. Diese Massnahmen erlauben nun eine bessere Messung der poloidalen Verunreinigungsverteilung.

Zur Beurteilung der in-situ Kohlenstoffbeschichtung durch die TEXTOR-Gruppe wurde der Manipulator bereits wieder eingesetzt.

2.3 Exposition beschichteter Proben im TEXTOR

Ein Blech aus SS304, beschichtet mit a-B_xC:H, wurde in kleine Proben zerschnitten und durch die TEXTOR-Gruppe über eine Periode von mehreren Wochen im Innern des Liners montiert. Die Haftung der 2μm Schicht wurde durch den TEXTOR-Betrieb nicht beeinflusst. Dieser Versuch zeigt die Realisierbarkeit dickerer Beschichtungen von Komponenten in Tokamak's.

2.4 Beschichtung der RF-Antenne des TCA, Lausanne

Eine Testantenne mit neuen Abmessungen wurde für den TCA mit 1μm a-B_xC:H beschichtet. Diese Antenne ist bereits im TCA-Tokamak montiert und wird auf Abnützung und Verunreinigungseffekte untersucht werden.

2.5 Beschichtungen für IPP-Garching

Eine Anfrage des Max Plank Instituts in Garching zur Beschichtung von RF-Antennen steht noch offen. Die mit Elektrolytkupfer beschichteten Antennen sollen mit a-B_xC:H überzogen werden. Ein grober Vorversuch zeigt eine ungenügende Haftung bei einer Beschichtung ohne Zwischenschicht. Eine exakte Untersuchung steht an.

3 Mitarbeit in der IEA

Die Mitarbeit am IEA Projekt ist als Bindeglied zwischen KFA-Jülich, CRPP und EIR sehr positiv, da der Informationsfluss offen und praxisnah ist.

Der TEXTOR-Betrieb wurde 1987 durch viele Unterbrüche gekennzeichnet, da die Wiederinbetriebnahme des TEXTORS und besonders des ALT-II Limiters erhebliche Probleme mit sich brachte. Ein regulärer Betriebsplan konnte nicht aufgestellt werden.

Ein grosser Teil des Sommers 1988 wird für den Anbau des Neutralteilchen-Injektors (NI) verwendet. Der Manipulator muss für diese Zeit wieder zerlegt werden!

4 Veröffentlichungen, Vorträge

Vortrag an der KFA-Jülich Abt. IPP 16. Januar 1987 D. Ringer
"Grossflächige a-B_xC:H Abscheidungen und deren Charakterisierung"

5 Neue Forschungsarbeiten

Herstellung und Beschichtung von Faserverbundziegel mit:

- Low-Z Material,
- kleiner chemischer und physikalischer Erosion und
- guter thermischer Leitfähigkeit.

Dieser Strukturwerkstoff muss für zukünftige Tokamakanlagen entwickelt werden, da eine dicke Schicht ($> 10\mu m$) auf einem vollmetallischen Torus, ohne Ausdehungsentlastung, nicht realisiert werden kann.

OFEN — PROJETS DE RECHERCHE ÉNERGÉTIQUE 1987

BEW — ENERGIE - FORSCHUNGS - PROJEKTE 1987

LARGE COIL TASK

Ziel des Projekts: Experimente an der Schweizerischen LCT-Spule in der Testanlage Oak Ridge

a) Messung des Einflusses von gepulsten Magnetfeldern auf die TF-Spulen (Simulation von PF-Spulen und Plasmaeffekten);

b) Ausloten der Leistungsgrenzen der TF-Spulen mit den sogenannten "extended" Tests

Dauer des Projekts: 1987

Beitragsempfänger: Paul-Scherrer Institut, 5234 Villigen (vormals SIN)

Berichterstatter: G. Vécsey

Adresse: 5234 Villigen

Telephon: 056/99 32 72

1. Anvisierte Zielpunkte für 1987

Mit den in 1987 durchgeführten Experimenten wurden zwei Hauptziele anvisiert:

a) Messung des Einflusses von gepulsten Magnetfeldern auf die TF-Spulen (Simulation von PF-Spulen und Plasmaeffekten);

b) Ausloten der Leistungsgrenzen der TF-Spulen mit den sogenannten "extended" Tests.

Mit dem Erreichen dieser Ziele konte die Experimentierphase des LCT-Projektes abgeschlossen werden.

2. Durchgeführte Arbeiten

Im Rahmen des internationalen "Large Coil Task" (LCT) wurden sechs D-förmige, supraleitende toroidale Feldspulen in Oak Ridge, USA getestet. Drei Spulen und die Testanlage wurden von der USA und je eine der Spulen von EURATOM, Japan und der Schweiz bereitgestellt. Im Jahr 1986 haben alle sechs Spulen sowohl im Einzel- als auch im Tokamak-Betrieb die spezifizierten Eigenschaften demonstriert. Im letzten Jahr hat man den Einfluss von gepulsten Magnetfeldern (Simulierung von Plasmaeffekten) und die Leistungsgrenzen der Spulen getestet. Die Experimente wurden anfangs September erfolgreich abgeschlossen. Nach Aufwärmen der Testanlage hat man Mitte Oktober mit der Demontage der nicht-amerikanischen Spulen begonnen.

3. Erreichte Ergebnisse

Die Testanlage war mit einer beweglichen, kryogenischen Spule ausgerüstet, die in die jeweilige Testspule gefahren wurde, um das gepulste Feld zu erzeugen. Die Pulse erzeugten in der Wicklung und im Gehäuse der Testspule AC-Verluste, welche die Stabilität des Leiters reduzierten. Die AC-Verluste der EURATOM Spule wurde schon 1986 gemessen. Anschliessend wurde die Puls-Spule in die Schweizer Spule gefahren. Die Messungen wurden aber erst im Februar 1987 durchgeführt, da die Anlage nicht früher betriebsbereit war. Die beim Nennstrom gemessenen AC-Verluste der Wicklung und des Gehäuses sind in Figur 1 gezeigt. In der Wicklung waren die Verluste, dank der Ummantelung der supraleitenden Drähte mit CuNi-Folien, kleiner als 6W. Die AC-Verluste im Gehäuse betrugen im Mittel nur 9W. Die Verluste waren im Einzelspulen- und im Tokamak-Betrieb gleich.

Nachdem die AC-Verluste in der japanischen Spule gemessen wurden, konnte die Puls-Spule wegen eines Lecks im pneumatischen Bewegungssystem nicht mehr verschoben werden. Um weitere Verzögerungen im Messprogramm zu vermeiden, wurde auf die AC-Tests der amerikanischen Spulen verzichtet. Ein Vergleich der an den nicht-amerikanischen Spulen gemessenen AC-Verluste zeigt, dass diese in der Schweizer LCT-Spule am kleinsten sind und unter den pessimistisch berechneten Werten liegt.

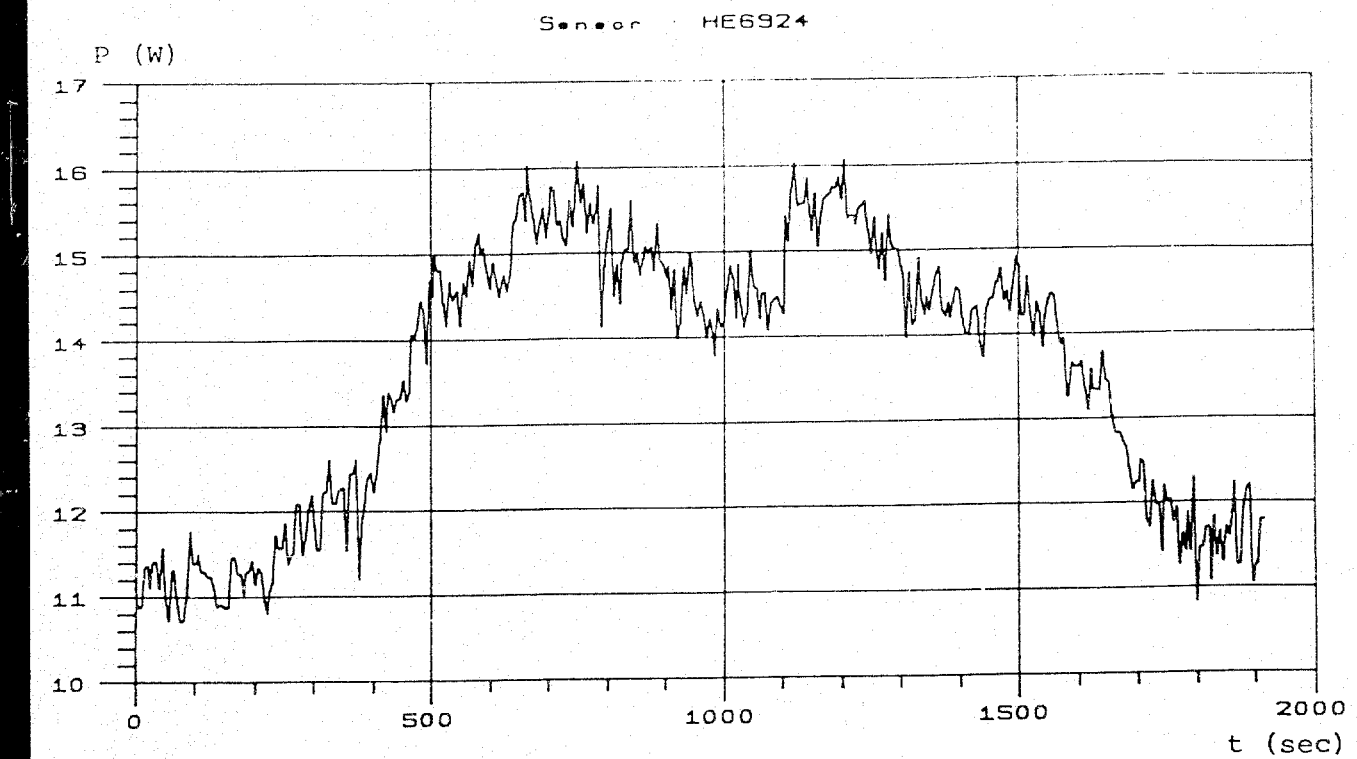
Mit dem Ausloten der Leistungsgrenzen der einzelnen Spulen hat man Ende März begonnen. Das Ziel dieser Messungen war, festzustellen welche Reserven bzw.

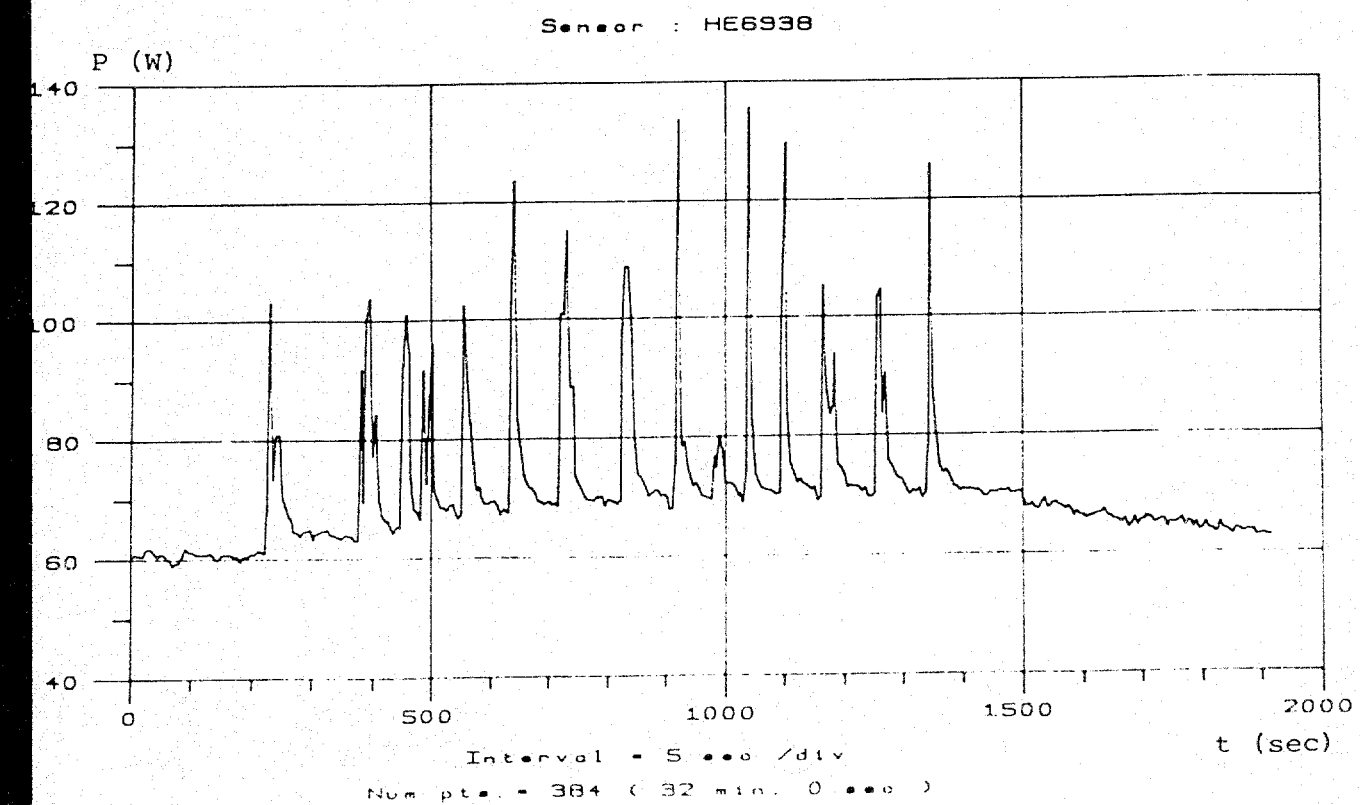
Sicherheitsfaktoren in den einzelnen Spulen realisiert wurden. In diesen Tests wurde auf die Messung der AC-Verluste verzichtet, da die Puls-Spule nicht mehr eingeschaltet werden konnte, nachdem noch ein weiteres Leck im Kühlkreis entstanden war. Das Testprogramm sah vor, jede Spule im Einzelspulen-Betrieb bis maximal 140% und im Tokamak-Betrieb bis 110% des Nennstromes zu erregen. Um die mechanische Festigkeit der Spulen zu testen, wurden jeweils nur fünf Spulen erregt. Die Kräfte waren in den beiden Spulen neben der abgeschalteten Spule jeweils am grössten. Da diese Tests unter Umständen zur Zerstörung der Testspule führen konnten, mussten die Betriebsdaten für die einzelnen Tests von den Eigentümern der Spulen festgelegt werden. Im Einzelspulen-Betrieb wurde für die Schweizer LCT-Spule der Strom auf 120% des Nennstromes begrenzt, um die zulässige Spannung im Gehäuse nicht zu überschreiten. Die Spule wurde für den Tokamak-Betrieb ausgelegt. Deshalb wurde dieser Test vollumfänglich d.h. bis 110% des Nennstromes durchgeführt. Der Test mit abgeschalteter Nachbarspule wurde bis auf 90% des Nennstromes durchgeführt und hat die berechneten Spannungswerte weitgehend bestätigt. Eine genaue Analyse der Messdaten ergab, dass die Schweizer Spule nicht genügend fest in die Anlage eingespannt war. Eine Kontrolle der Befestigung nach Öffnen der Testanlage hat diesen Sachverhalt bestätigt. Zusammenfassend kann man feststellen, dass die von BBC als Hersteller angegebenen Reserven nachgewiesen wurden.

Während der beschriebenen Tests hat die Schweizer Spule sowohl im Einzelspulen- als auch im Tokamak-Betrieb vor Erreichen der Testziele mehrmals eine Schnellabschaltung der Testanlage verursacht. Die Analyse der Daten hat gezeigt, dass durch eine ruckartige Bewegung der Spule (mangelhafte Befestigung der Spule in der Anlage) jeweils eine Normalzone entstanden ist. Solche externen Störungen sind in einem Fusionsreaktor unzulässig und müssen deshalb durch geeignete konstruktive Massnahmen unterbunden werden. Zum Abschluss der Tests anfangs September hat man noch gezeigt, dass im Tokamak-Betrieb alle Spulen gleichzeitig ein Magnetfeld von 8.5T stabil erzeugen können. Ein Versuch das Magnetfeld auf 9.0T zu erhöhen war nur teilweise erfolgreich, da die Messung wegen hohen thermischen Verlusten in der Westinghouse Spule durch Schnellabschalten beendet werden musste.

4. Schlussbemerkung

Die Resultate der zweijährigen Testphase werden momentan ausgewertet. Man kann aber schon jetzt feststellen, dass dieses internationale Unterfangen wertvolle Erkenntnisse über die Anforderungen, die an die Komponenten eines supraleitenden Fusionsreaktors zu stellen sind, lieferte. Das Betriebsverhalten der Schweizer Spule entsprach den Erwartungen. Die Testergebnisse haben wertvolle, neue Erkenntnisse für den Entwurf und Betrieb der nächsten Generation von supraleitenden Magneten geliefert.





Figur 1 - AC-Verluste in der Wicklung und im Gehäuse der Schweizer LCI-Spule

5. Veröffentlichungen

/1/ J.A.Zichy
Review of Instrumentation for Superconducting Magnets
Cryogenic Engineering Conference, St. Charles, IL, June 1987

/2/ J.A.Zichy, B.Jakob
Full Array Test Results of the Swiss LCT-Coil
10th Int. Conf. on Magnet Technology, Boston, 1987

/3/ M.S.Lubell et al.,
The IEA Large Coil Task Test Results in IFSMTF
10th Int. Conf. on Magnet Technology, Boston, 1987

/4/ P.N.Haubenreich, P.Komarek, S.Shimamoto, G.Vécsey
Productive International Collaboration in the Large Coil Task
12th Symposium on Fusion Engineering, Monterey, California, 1987

/5/ S.S.Shen et al.,
Measurements of Electromagnetic Properties of LCT-Coils in IFSMTF
12 Symposium on Fusion Engineering, Monterey, California, 1987

OFEN
BEW

PROJETS DE RECHERCHE ÉNERGÉTIQUE 1987
ENERGIE - FORSCHUNGS - PROJEKTE 1987

COMPUTER-SIMULATION VON LUFT-WASSER-WÄRMEPUMPEN

Ziel des Projekts: Implementation into computer programs of two simulation models for air-to-water heat pumps, their evaluation with the help of a selected group of professionals active in the field, and their validation and documentation for public use.

Dauer des Projekts: 15.4.1986 - 31.12.1987

Beitragsempfänger:

Berichterstatter: M. R. Conde

Adresse:

Telephon: 01/256 36 38

Prof. Dr. P. Suter
Institut für Energietechnik
Laboratorium für
Energiesysteme
ETH-Zentrum
8092 Zürich

1. GOALS FOR 1987

The goals for 1987 considered the implementation of the ***Model HPM1*** and its validation against field data, and the implementation of ***Model HPM2***. The documentation of both models and the respective computer programs was equally in this year's objectives.

HPM1 is a black-box type model which main features are its simplicity, and the simulation of the frost and defrost losses. Being simple allows for its inclusion in the simulation of larger systems e.g. heating plants, buildings, etc. Accounting for the frost and defrost losses introduces in the simulation what is perhaps the single most important loss affecting the seasonal performance of air-source heat pumps. This influence is very often neglected in the models reported in the open literature. The simulation program includes also a heating system model with a configuration that is believed to be the most common in the application of such heat pumps. The inclusion or exclusion of certain components in the heating plant may be decided by the user, as well as the magnitudes of their characteristic parameters.

HPM2 is conceived as a design and optimization model. The individual component descriptions are based upon the very geometry of the component, and on the phenomena that take place in it when working under steady state conditions.
The model covers the following types of components:

- Hermetic and semi-hermetic reciprocating compressors;
- Coiled-coaxial condensers;
- Shell-and-tube condensers with one or two tube side passes;
- Direct-expansion air-heated evaporators with thermostatic valve and fan.

These models are being implemented in computer programs purposely developed to run on personal computers. This fulfills one of the most important objectives of the project: To make the programs suitable for use by small engineering firms and contractors.

2. WORK ACCOMPLISHED IN 1987

For the evaluation of model ***HPM1*** program, named ***"YUM"***, an accompanying group has been chosen among a number of selected consulting engineers.

On the ***HPM2*** front, the modules for the compressors and condensers are implemented. Implementation of the model of the evaporator with the expansion valve and fan, is currently in progress. Simultaneously with the implementation of the component models their initial documentation has been checked and corrected whenever necessary. It should be kept in mind that model building is an iterative activity, where some assumptions have to be reformulated, sometimes more than once.

3. RESULTS

3.1 RESULTS OF HPM1 - PROGRAM "YUM"

Some results of the use of this model are depicted in the report on *"Optimierung der drehzahlgeregelten Wärmepumpe"*,Ref.386NEFF,by T.Afjei, and for this reason are omitted here.

3.2 RESULTS OF HPM2

From this model only intermediary results of the individual component models are currently available. They are not yet suitable for a graphic presentation. As an example of important intermediary results, it can be mentioned here the interactive graphical definition of the geometric patterns of the refrigerant circuits in an air-heated evaporator. The definition and use of such patterns are necessary because the evaporator model has been conceived to simulate this heat exchanger tube-by-tube. The long term objective is to have this program generating by itself the refrigerant circuit patterns. This would enormously facilitate any work of optimization of this important part of the air-source heat pumps.

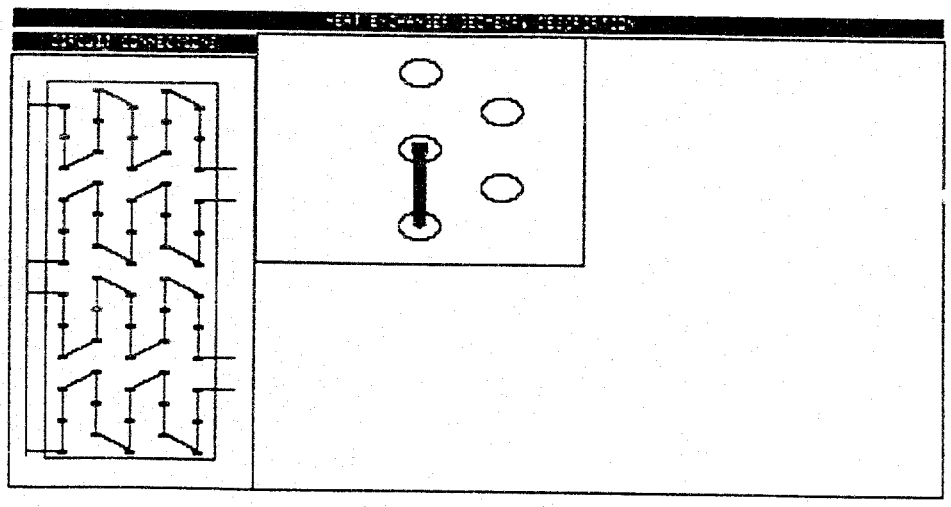


Fig. 1 - Example of refrigerant circuit pattern.

4. INTERNATIONAL COOPERATION

Although this project is being executed at the national level, some parts of it are to be used as Swiss contribution to Annex 12 of the IEA R&D program Modeling Techniques for Simulation and Design of Compression Heat Pumps. Phase I of this Annex, which is currently under way. Computer programs for the simulation of the seasonal performance of air-source heat pumps, existing in the participating countries, are to be compared during this phase of the Annex.
Our simulation model ***HPM1*** is the only model contributed by any participant that explicitly accounts for the frost and defrost losses while having in other respects the same level of complexity.

We also contributed two sets of field measured data. The first of them was worked out by the Eidgenössische Institut für Reaktorforschung over a heat pump installed in Wädenswil-Zürich. The second, which is the most comprehensive set of field data yet available to the Annex participants, was worked out by EMPA over two heat pumps installed at the Schulhaus Gumpenwiese in Dielsdorf-Zürich.

The advantages of this international cooperation are very significative as it provides a forum for discussion and mutual evaluation of the work being done in the industrial world. Countries participating in the Annex are:

- *Austria (T.U. Graz);*
- *Belgium (K.U. Leuven);*
- *F.R.Germany (Kernforschungszentrum Jüllich);*
- *Italy (U. Bari - observer status);*
- *Japan (Heat Pump Center of Japan);*
- *Switzerland (ETH Zürich);*
- *United States (Oak Ridge National Laboratory - Operating Agent).*

5. PUBLICATIONS

No publication has yet resulted from this project.

6. NEW RESEARCH WORK

Further developments of ***HPM2*** have already been discussed in the last year's report under the same heading. The considerations made then remain fundamentally unchanged.

To be stressed here is perhaps the need for a strong leadership in the coordination and assignement of the different tasks among the several institutions interested at the national level in order to avoid duplication of efforts and to enforce the use of suitable communication channels.

OFEN
BEW

PROJETS DE RECHERCHE ÉNERGÉTIQUE 1987
ENERGIE - FORSCHUNGS - PROJEKTE 1987

OPTIMIERUNG EINER DREHZAHLGEREGELTEN WÄRMEPUMPE

Ziel des Projekts:
Beurteilung des technischen Potentials drehzahlgeregelter Wärmepumpen nach den Kriterien:

- Optimale Abstimmung der Komponenten untereinander
- Untersuchung spezieller Regelstrategien (z.B. moduladaptive Regler)

Dauer des Projekts: 3 Jahre

Beitragsempfänger:

Berichterstatter: T. Afjei

Adresse:

Telephon: 01 256 36 38

Prof. Dr. P. Suter
Institut für Energietechnik
Laboratorium für
Energiesysteme
ETH-Zntrum
8092 Zürich

1. Anvisierte Zielpunkte für 1987:

Bei einer Wärmepumpe mit Drehzahlvariation kann die Vorlauftemperatur und Heizleistung der Heizkurve und dem aktuellen Wärmebedarf kontinuierlich angepaßt werden. Ein Takten, das sowohl die Regelbarkeit, als auch die Lebensdauer der einzelnen Aggregate beeinträchtigt, kann dadurch vermieden werden. Zusätzlich könnte bei einfachen Anlagen sogar auf einen Pufferspeicher verzichtet werden (vgl. Bild 1).

Folgende Zielpunkte waren bei der Gesuchstellung für 1987 vorgesehen:

- 1.1 Sichtung statischer Komponentenmodelle

  1.2 Validation statischer Anlagenmodelle

  1.3 Abklärung für statische und dynamische Messungen im Zusammenhang mit Projekten des NTB Buchs und der Firma ENFOG

2. Durchgeführte Arbeiten 1987:

Noch im Rahmen des BEW-Projekts "Computersimulation von Luft-Wasser-Wärmepumpen", Projekt-Nr. ET-PROC(86)9 BEW, wurde ein Programm zur Simulation der in Bild 1 beschriebenen Anlage verbessert, mittels dessen die saisonale Arbeitsziffer bestimmt werden soll. Außerdem konnte das am LES bereits bestehende Programm PSYCHLES zur Berechnung des hx-Diagramms der feuchten Luft, welches auch für die Verdampferseite der drehzahlgeregelten Wärmepumpe essentiell ist, um den Faktor 2÷3 beschleunigt werden.

Bzgl. der statischen Komponentenmodelle (Punkte 1.1 & 1.2) konnte ein Modell für einen Koaxialkondensator fertiggestellt werden, welches aber noch validiert werden muß.

Mit dem NTB wurden Vorabklärungen im Hinblick auf dynamische Versuche an Scrollkompressoren getroffen; Versuche an einem Prüfstand der ENFOG sind 1988 vorgesehen.

3. Erreichte Ergebnisse:

Im Bild 1 wird das simulierte Wärmepumpensystem mit Luft-Wasser-Wärmepumpe, Mischventilen, Schichtspeicher, elektrischer Zusatzheizung und Verbraucher gezeigt:

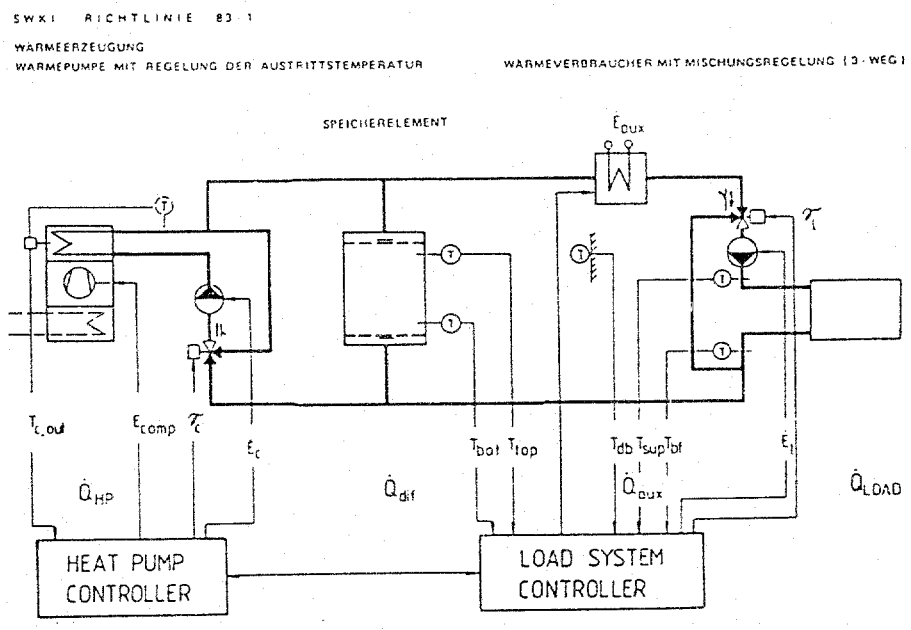


Bild 1: Luft-Wasser-Wärmepumpe mit Wärmeverteilungssystem

Als Input werden von der EMPA für das DOE-2 Programm aufbereitete Wetterdaten und verschiedene Systemparameter verwendet. Die Wetterdaten sind für 7 Klimaregionen in der Schweiz verfügbar.

Der Output wird anstelle von langen Zahlenkolonnen graphisch dargestellt, wie aus Bild 2 ersichtlich ist (siehe dazu auch [1], [2] und [3]).

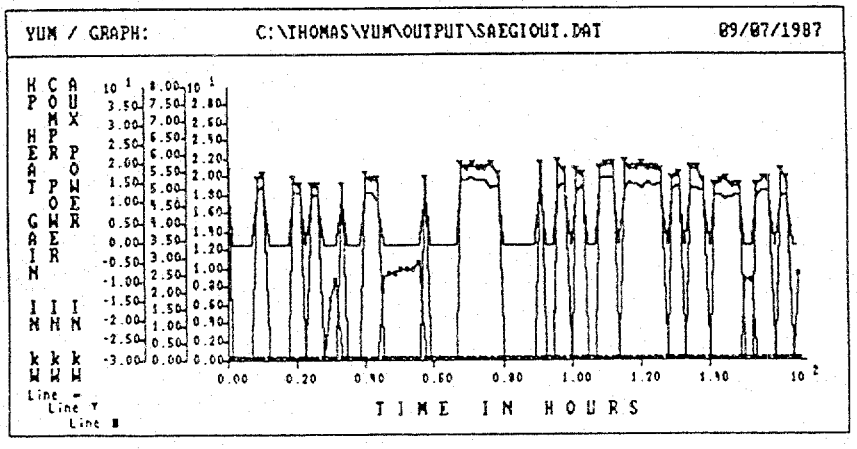
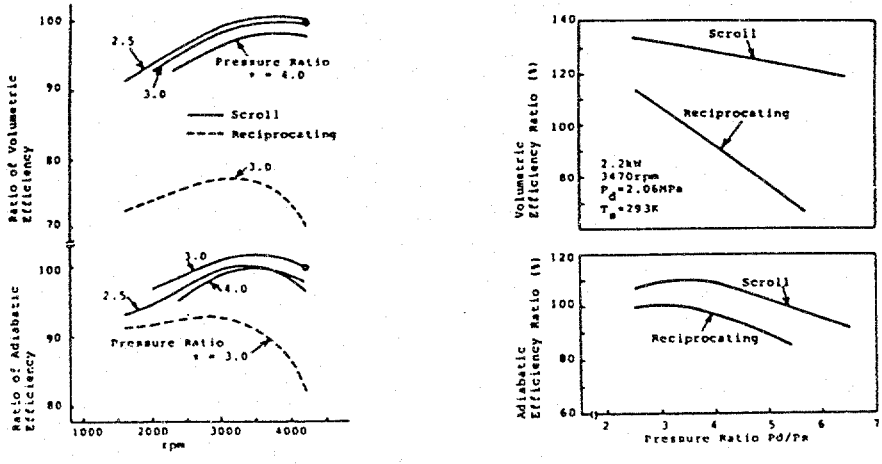


Bild 2: Abgabeleistung der WP und Zusatzheizung, Leistungsaufnahme des Kompressors

Das Programm PSYCHLES für psychrometrische Berechnungen konnte durch Implementierung eines Iterationsalgorithmus, der seinerzeit am Mathematical Center in Amsterdam entwikkelt wurde, erheblich beschleunigt werden. Dennoch müssen bei einigen Berechnungen, z.B. der Feuchtkugeltemperatur, Rechenzeiten von bis zu einer Minute auf einem IBM-AT in Kauf genommen werden. Es ist deshalb beabsichtigt, einen beschränkten Bereich des hx-Diagramms mit einfachen Polynomen darzustellen, um die Simulation bei hinreichender Genauigkeit zu beschleunigen.

Ein Koaxialkondensator wurde mit einem Dreizonenmodell simuliert. Obwohl es keine Schwierigkeiten bereitete, dessen Katalogwerte bei Auslegungsbedingungen zu reproduzieren, ergaben sich Abweichungen bei einer Variation der Kältemittelmassenströme und -eintrittstemperaturen. Es muß deshalb besonders für den instationären Betrieb untersucht werden, ob das Modell in der bisherigen Form weiterverwendet werden kann.

Wenn im Bild 3 die adiabaten und volumetrischen Wirkungsgrade von Scroll- und Hubkolbenkompressoren verglichen werden, sind die Werte des Scrollkompressors um ca. 20% besser und annähernd proportional zur Drehzahl. Zudem kann ein Scrollkompressor gegenüber einem konventionellen Hubkolbenkompressor um 40% kleiner, 15% leichter und 5 dB(A) leiser gebaut werden. Aus den vorher genannten Gründen werden diesem Kompressortyp bei drehzahlgeregelten Wärmepumpen weltweit hohe Chancen eingeräumt.



(1) Der Wirkungsgrad des Hubkolbenkompressors bei einem Druckverhältnis von 3.5 sind 100%

(2) Der Wirkungsgrad des Scrollkompressors bei 4250 U/min und Druckverhältnis von 3.0 sind 100%

Bild 3: Volumetrische und adiabate Wirkungsgrade

Aufgrund des großen Betriebsbereichs kann eine drehzahlgeregelte Wärmepumpe mit einem thermostatischen Expansionsventil nicht mehr zuverlässig geregelt werden. Daher ist ein erst seit kurzem auf dem Markt erhältliches adaptives elektronisches Expansionsventil vorgesehen, das sich selbständig (adaptiv !) an die Stabilitätsgrenze herantastet und so den Kompressor mit minimal überhitzten Kältemitteldampf speist, was wiederum einen großen volumetrischen Wirkungsgrad zur Folge hat.

Es ist vorgesehen, das Uebertragungsverhalten eines Scrollkompressors am Neutechnikum Buchs Mitte 1988 zu messen. Mit den daraus resultierenden Uebergangsfunktionen soll eine Modellierung versucht werden.

Auf dem ENFOG-Prüfstand soll dann das komplette Wärmepumpenaggregat bei verschiedenen Betriebsbedingungen gemessen werden.

4. Internationale Zusammenarbeit

Eine direkte internationale Zusammenarbeit im Rahmen dieses Projekts ist nicht vorgesehen. Allerdings muß erwähnt werden, daß das am Anfang des Abschnitts 3 beschriebene Wärmepumpensystem zur Bestimmung der saisonalen Arbeitszahl aus einem IEA-Projekt, Annex 10: "Systems Simulation" hervorging. Die Resultate aus diesem Projekt sollen in das IEA-Projekt, Annex 12: "Advanced Heat Pumps", das von einem Mitarbeiter des LES betreut wird, eingehen.

5. Veröffentlichungen

[1] Afjei, T.: User's Manual and Tutorial of YUM, a Simulation Program for Calculating the Seasonal Performance Factor of Electric Driven Air-To-Water Heat Pumps, Energy Systems Laboratory, Swiss Federal Institute of Technology, Zürich, Switzerland, 2/1987.

[2] Afjei, T.: Modell eines zweischichtigen Speichertanks mit beweglicher Trennfläche, Institut für Energietechnik, Laboratorium für Energiesysteme, ETH-Zürich, Schweiz, 6/1987.

[3] Conde, M.R und Afjei T.: Progress Report to BEW-Projekt ET-PROC(86)9 BEW, Institut für Energietechnik, Laboratorium für Energiesysteme, ETH-Zürich, Schweiz, 6/1987.

6. Neue Forschungsarbeiten

Als eines der Hauptprobleme stellte sich die Validierung der Modelle heraus. Anscheinend konnte bis zum heutigen Zeitpunkt keine saubere meßtechnische Erfassung eines einfachen Wärmepumpensystems (Einfamilienhaus), wie im Bild 1 beschrieben, realisiert werden.

Weiterhin muß die Wärmepumpenanlage bisher umständlich und zeitintensiv mit Wetterdaten eines Testreferenzjahrs (1984) stündlich simuliert werden, weil keine Häufigkeitsverteilungen bzw. typische Tage mit Angabe von Luftdruck und Feuchtigkeit, womit das vollständige hx-Diagramm rekonstruiert werden könnte, verfügbar sind. Von großem Vorteil wäre z.B. die Bereitstellung von drei, unterschiedlich gewichteten, typischen Tagen pro Monat für jede Klimaregion in der Schweiz.

Bezüglich der Drehzahlvariation hat sich herausgestellt, daß einige hermetische Hubkolbenkompressoren mit handelsüblichen Frequenzumformern nicht reguliert werden können, ohne zu blockieren. Es sollten daher Recherchen bzw. Versuche durchgeführt werden, um Kriterien für eine einwandfreie Regulierbarkeit sowohl auf der Kompressor-, als auch auf der Frequenzumformerseite zu finden.

OFEN — PROJETS DE RECHERCHE ÉNERGÉTIQUE 1987

BEW — ENERGIE - FORSCHUNGS - PROJEKTE 1987

ERDWÄRMESONDEN - ANLAGEN ELGG (ZH)

Ziel des Projekts:

Ziel des Projektes ist es, die wissenschaftlichen Grundlagen für die Funktionsweise solcher EWS-Anlagen nachzuliefern und, damit verbunden, ihre Wechselwirkungen mit Boden und Grundwasser zu untersuchen. Die Arbeiten werden vom Kanton Zürich, sowie von NEFF (Projekt Nr. 324) mitfinanziert.

Dauer des Projekts: 3 Jahre (Anfangs 1986 bis Ende 1988)

Beitragsempfänger: POLYDYNAMICS LIMITED *

Berichterstatter: Dr. R.J. Hopkirk

Adresse: Zeltweg 29
8032 Zürich

Telephon: 01/ 252 60 80

*) mit ETHZ, Inst. für Geophysik

Die Erdwärmesondenanlage Elgg (ZH) ist seit Mitte Dezember 1986 in Betrieb. Auf der Messeite waren zu diesem Zeitpunkt lediglich die Bodentemperaturfühler in Betrieb, so aber, dass der Ruhezustand des Bodens jedoch vor der Inbetriebnahme der Anlage gemessen werden konnte. Ende Dezember 1986 wurden die Fühler zur Messung der Systemwassertemperaturen installiert. Mitte Februar kamen die Durchflussmessungen dazu. Im Sommer wurden weitere Bodenfühler zur Messung der Temperatur im obersten Meter installiert. Anfang Oktober wurde das Messystem mit der Installation von vier Raumtemperatur- und zwei Aussentemperaturfühlern (2.0 und 0.05 m über Terrain) sowie einem Aufnehmer zur Messung der verbrauchten elektrischen Leistung der Wärmepumpe vervollständigt.

Das Programm zur Steuerung der Messungen via PC wurde laufend angepasst und optimiert. Es brauchte einige Monate bis das Programm optimal auf die einzelnen Fühler bezüglich benötigte Messzeit und benötigte Genauigkeit abgestimmt war. Die Bodentemperaturfühler liefern jetzt absolute Genauigkeiten von - je nach Fühler - 0.01 bis 0.03 °C. Ein Messzyklus dauert ca. 20 Minuten. Während der Heizperiode wurde alle 30 Minuten und während der Regenerationsphase im Sommer alle 60 Minuten ein Zyklus aufgestartet.

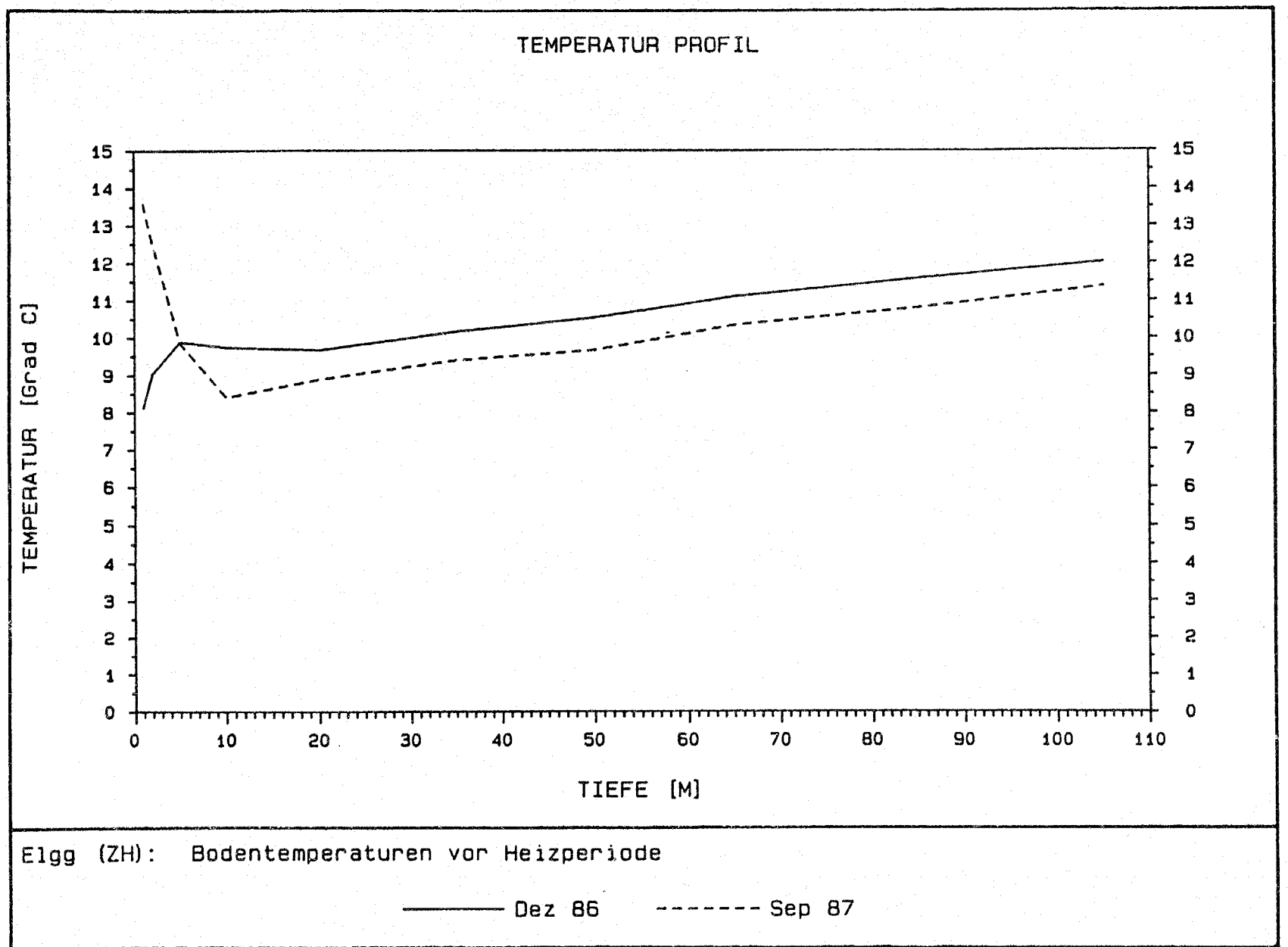
Zur Lokalisierung von allfälligen Grundwasserströmen im Bereich der Erdwärmesonde wurde im Frühjahr und im Herbst eine Feldmesskampagne durchgeführt. Mittels Einbohrlochmethode konnten Fliessrichtung und Durchflussrate der einzelnen wasserführenden Schichten festgestellt werden.

Eine erste Auswertung der gemessenen Bodentemperaturen hat gezeigt, dass bei der Regeneration des Bodens während des ersten Sommers ein Defizit von ca. 0.8 °C zurückbleibt (siehe beiliegende Figur). Dies war allerdings aufgrund früherer Untersuchungen zu erwarten. Die Rücklauftemperaturen im Primärkreislauf weisen eine rasche Abkühlung bis auf Temperaturen von -6°C auf. Der mittlere Leistungskoeffizient der Anlage liegt bei einem Wert um 3.0.

Somit liegt nun ein vollständiger Datensatz vor, um mathematische Modelle, die das Langzeitverhalten solcher Anlagen simulieren, zu eichen und zu validieren. Dies wird die Aufgabe des kommenden Jahres sein.

Eine Präsentation der Arbeiten ist geplant für die Konferenz JIGASTOCK 1988 (18. - 20. Oktober 1988) in Versailles (F), wobei Vergleiche zwischen Modellrechnungen und Messungen und einige Extrapolationen im Vordergrund stehen.

Das vorliegende Projekt soll Antworten auf die offenen Fragen bezüglich Wärmeaustausch zwischen Erdwärmesonden und dem Boden geben. Es wird dann sinnvoll sein, diese Kenntnisse anzuwenden im Rahmen einer Untersuchung über den Einsatz von Erdwärmesonden im System für saisonale Wärmespeicherung (NEFF-Projekt Nr. 105.1).



Elgg (ZH): Bodentemperaturen vor Heizperiode

——— Dez 86 ------- Sep 87

OFEN — PROJETS DE RECHERCHE ÉNERGÉTIQUE 1987

BEW — ENERGIE - FORSCHUNGS - PROJEKTE 1987

WÄRMEPUMPEN MIT ERDWÄRMESONDEN-HEIZANLAGEN

Ziel des Projekts:

Ziel des Projektes ist, anhand von Messungen der Bodentemperaturen in der Umgebung von Erdsonden, sowie der Leistung und der Betriebsmoden der angeschlossenen Wärmepumpen, das Langzeitverhalten von zwei auf Wärmepumpen mit Erdwärmesonden basierenden Heizanlagen (Rorschacherberg, SG und Frauenfeld, TG) zu untersuchen. Die beiden Anlagen sind kommerziell erstellte Heizsysteme und werden von den entsprechenden Hauseigentümern normal betrieben.

Dauer des Projekts: 4 1/2 Jahre (Herbst 1986 bis Ende 1990)

Beitragsempfänger: POLYDYNAMICS LIMITED *

Berichterstatter: Dr. R.J. Hopkirk

Adresse: Zeltweg 29
8032 Zürich

Telephon: 01/ 252 60 80

*) mit ETHZ, Inst. für Geophysik und ENFOG AG, Gossau, SG.

1. ZIELSETZUNGEN 1988

Weiterführung der Messkampagne und Fortschritt mit dem Aufbau der mathematischen Modelle.

2. DURCHGEFUEHRTE ARBEITEN 1987

2.1 Erdwärmesondenanlage Frauenfeld (TG)

Bei der Erdwärmesondenanlage in Frauenfeld wurden 1987 während des ganzen Jahres tägliche Messungen durchgeführt und aufgezeichnet. Dies machte es möglich, die Bodentemperaturen und die Systemparameter auszuwerten. Die Bodentemperaturen haben sich während der Regenerationsphase im Sommer vollständig erholt. Tabelle 1 gibt einen Ueberblick über die Bodentemperaturen zu Beginn, in der Mitte und am Ende der letzten drei Heizperioden. Man sieht deutlich, dass sich die Temperaturen der regenerierten Böden auf einem etwas tieferen Niveau als im Ruhezustand einpendeln, dann aber recht stabil bleiben. Ausgeschlossen davon ist der oberste Fühler (5 m Tiefe): Hier sind die Einflüsse der Lufttemperaturen noch gut spürbar. Die mittlere Leistung der Sonde hat sich verbessert und sich im Bereich von ca. 50 bis 70 W/m Sondenlänge eingespielt. Die Normalisierung zeigt sich ebenfalls bei den Laufzeiten und beim Leistungskoeffizienten. Während der Monate mit grösstem Heizbedarf steigen die Laufzeiten nicht über 15 Stunden. Während der restliche Heizmonate liegen sie bei 8 bis 12 Stunden pro Tag. Die Leistungskeoffizienten haben sich bei 3.0 eingependelt. Bei starker Belastung des Systems fallen sie auf Werte um 2.6 bis 2.8.

2.2 Erdwärmesondenanlage Rorschacherberg (SG)

Bei der Erdwärmesondenanlage Rorschacherberg ist nur ein reduziertes Messprogramm durchgeführt worden. Es wurde während jeweils nur 3 - 4 Tagen pro Monat gemessen und aufgezeichnet. Aus diesem Grund konnten die Systemparameter nicht mit in die Auswertung einbezogen werden. Sie wären ohnehin nicht aussagekräftig. Bei den Bodentemperaturen lässt sich ein ähnliches Bild wie bei der Anlage Frauenfeld vermuten, allerding ist hier der Anteil der falschen Resultate (Klammerwerte) ziemlich gross (vgl. Tabelle 2). Trotzdem zu sehen ist hier die vollständige Regeneration der Boden während der sommerlichen Ruhephase. Nicht deutlich erkennbar ist das Einpendeln des Bodens auf einem tieferen Temperaturniveau.

2.3 Datentransfer ENFOG - ETHZ

Der Datentransfer von der Firma Enfog AG an die ETH Zürich musste neu konzipiert werden. Die Firma Enfog hat sich einen McIntosh-PC angeschafft. Der Datentransfer wird dadurch massiv einfacher und schneller, da jetzt das frühere komplizierte mehrfache Umkopieren und Schreiben der Daten auf die langsamen Datenkassetten entfällt.

2.4 Modellentwicklung

1987 wurden Arbeiten an zwei mathematischen Modellen unternommen: An einem Modell in zweidimensionalen Zylinderkoordinaten, das eine koaxiale Sonde darstellt, und an einem dreidimensionalen Modell. Das erste Modell ist nun betriebsbereit, das dreidimensionale ist in der endgültigen Testphase.

Tabelle 1: Bodentemperaturen [°C] der Erdwärmesondenanlage Frauenfeld an ausgewählten Tagen in 1 m Entfernung von der Erdwärmesonde. Am 20.01.85, 13.02.86 und 03.02.87 wurden die tiefsten Temperaturen der jeweiligen Heizperiode gemessen.

Datum \ Tiefe [m]	5	15	25	35	45	50
03.10.84 (Heizbeginn)	13.1	10.4	10.7	11.4	11.6	12.0
20.01.85	8.1	8.1	8.3	8.6	9.1	10.0
20.06.85 (Heizende)	9.4	9.3	9.4	9.6	10.0	10.9
11.10.85 (Heizbeginn)	13.4	9.7	9.9	10.3	10.8	11.4
13.02.86	8.4	8.3	8.6	8.9	9.3	10.3
11.06.86 (Heizende)	12.0	9.6	9.7	9.7	10.4	11.1
17.10.86 (Heizbeginn)	13.8	9.9	9.9	10.2	10.8	11.5
03.02.87	9.0	8.3	9.0	9.1	9.8	10.8
20.06.87 (Heizende)	9.7	9.5	9.8	10.2	11.0	12.6

Tabelle 2: Bodentemperaturen [°C] der Erdwärmesondenanlage Rorschacherberg an ausgewählten Tagen in 0.5, 1.5 und 2.43 m Entfernung von der Erdwärmesonde. Am 21.01.83, 08.02.84, 08.02.85, 11.02.86 und 06.02.87 wurden die tiefsten Temperaturen der jeweiligen Heizperiode gemessen.

Datum \ Abstand [m] / Tiefe [m]	0.5		1.5		2.43	
	15	25	15	25	15	25
22.09.83 (Heizbeginn)	10.8	12.5	10.7	11.2		
21.02.84	8.6	9.7	8.9	9.0		
03.06.84 (Heizende)	10.5	10.6	9.4	9.5		
02.10.84 (Heizbeginn)	11.6	11.8	10.8	(13.2)	10.1	10.5
08.02.85	8.8	9.2	9.1	9.4	9.3	9.2
21.05.85 (Heizende)	9.5	9.4	9.5	9.2	(13.2)	(18.1)
11.10.85 (Heizbeginn)	11.8	11.1	(18.3)	10.6	10.7	10.8
11.02.86	8.7	9.2	9.0	9.1	9.3	9.1
11.05.86 (Heizende)	10.3	9.0	9.6	10.5	9.4	9.4
03.10.86 (Heizbeginn)	11.1	9.8	10.8	(13.7)	10.4	10.6
06.02.87	9.8	9.6	9.1	(12.4)	9.1	9.1
13.06.87 (Heizende)	10.7	10.6	9.5	10.3	9.6	9.6

OFEN
BEW

PROJETS DE RECHERCHE ÉNERGÉTIQUE 1987
ENERGIE - FORSCHUNGS - PROJEKTE 1987

ADVANCED HEAT PUMPS

Ziel des Projekts: Zweck des Annexes VIII ist, Kenntnisse über optimalen Wärmeaustausch zwischen Erdreich und Primärkreislauf von, auf Wärmepumpen basierenden Raumheizanlagen, zu fördern.

Dauer des Projekts: Ende 1985 bis Sommer 1988
(ursprünglich bis Ende 1987)

Beitragsempfänger: Polydynamics Ltd.,

Berichterstatter: R.J. Hopkirk

Adresse: Zeltweg 29
8032 Zürich

Telephon: 01/ 252 60 80

Folgende vier Länder nehmen am Projekt "IEA Wärmepumpen, Annex VIII" teil: Kanada (Koordination und Leitung), USA, Schweiz und die BRD. Alle führen interne Forschungsprojekte über das Verhalten von auf Wärmepumpen basierenden Raumheizsystemen mit Wärmebezug vom Erdreich.

Jedes Projekt besteht aus Feldexperimenten mit begleitenden theoretischen Studien. Die Zusammenarbeit besteht aus dem Zusammenlegen der Erfahrungen in den verschiedenen oekonomischen und klimatologischen Umgebungen.

Der Schweizer Beitrag basiert hauptsächlich auf den detaillierten Feldmessungen in Elgg, ZH, mit Erfahrungen aus den Messprogrammen Rorschacherberg, SG und Frauenfeld, TG. Computersimulationsmodelle in zweier Dimensionen für Einzelsonden und in dreier Dimensionen für Sondengruppen unterstützen die Messungen.

Eine enge Zusammenarbeit konnte im Laufe 1987 insbesonders mit der deutschen Forschungsgruppe aufgebaut werden, wobei experimentelle- wie auch Modellierungs-Aufgaben zum Teil gemeinsam abgewickelt wurden.

Der Deutsche Beitrag basiert auf Feldmessungen an Erdwärmesonden und Wärmepumpen in einer für diesen Zweck gebauten Experimentieranlage in Schwalbach bei Wetzlar. Die Modellierarbeiten und theoretischen Studien werden, unter Anwendung eines drei-dimensionellen Rechenmodells, an der Universität Giessen abgewickelt.

Das Format des Berichtes für Annex VIII konnte mit den allgemeinen und theoretischen Kapiteln schon erstellt werden. Der Abschluss der Berichterstattung wurde auf Mitte 1988 verschoben, um die Einbeziehung der Resultate der Messprogrammen von Kanada, der BRD und von der Schweiz, zu ermöglichen.

OFEN
BEW

PROJETS DE RECHERCHE ÉNERGÉTIQUE 1987
ENERGIE - FORSCHUNGS - PROJEKTE 1987

ALKALISCHE BRENNSTOFFZELLE METHANOL-LUFT

Ziel des Projekts: Es sollen die Grundlagen für die Realisierung einer alkalischen Methanol/Luft-Brennstoffzelle mit vorgelagertem Reforming des Methanols erhoben werden. Das dabei anfallende, für den alkalischen Elektrolyten schädliche Kohlendioxid soll vermittels einer PdAg-Membran abgetrennt werden, welche gleichzeitig als Anode dient. Die primären Hauptziele des Projekts sind einerseits die Entwicklung einer trägergestützten PdAg-Membran zur entscheidenden Reduzierung des Edelmetallbedarfs und andererseits die Entwicklung von optimalen Katalysatoren auf Basis organischer Halbleiter zur Herabsetzung der kathodischen Sauerstoff-Überspannung.

Dauer des Projekts: 1.10.86 bis 31.3.89

Beitragsempfänger: Prof. W. Richarz

Berichterstatter: Th. Allmendinger

Adresse: Technisch Chemisches Laboratorium
ETH-Zentrum 8092 Zürich

Telephon: 01'256 30 91

1. Anvisierte Zielpunkte für 1987

Als erstes sollte versucht werden, eine trägergestützte PdAg-Membran herzustellen, wobei als Trägermaterial vorzugsweise Kupfer in Frage kam. Im Vordergrund der Bemühungen sollten elektrochemische bzw. galvanische Herstellungsverfahren stehen, weil sie gut regulierbar und relativ einfach durchführbar sind.

Als zweites sollte das Verständnis für die Katalyse bei der kathodischen Sauerstoffreduktion vertieft werden mit dem Ziel, wirksame Katalysatoren auf Basis organischer Halbleiter synthetisieren zu können. Die im Vorjahr hergestellten Polychelate mit Chloranilamid als Grundstoff erwiesen sich nämlich als nur wenig aktiv und wiesen auch nicht die erwartete Struktur auf. Es erschien daher aussichtsreicher, in Richtung Phthalocyanine bzw. Polyphthalocyanine weiterzusuchen, da hier einerseits schon etliches bekannt ist, andererseits noch längst nicht alle Möglichkeiten ausgeschöpft sind.

2. Durchgeführte Arbeiten 1987

Bezüglich der trägergestützten PdAg-Membran wurden einerseits Versuche zur selektiven Herauslösung von Zink aus Kupfer/Zink-Legierungen (Messing) und andererseits Versuche zur galvanischen Abscheidung von PdAg-Legierungen auf Messing bzw. Kupfer durchgeführt. Für die selektive Herauslösung von Zink erwies sich ein elektrochemisches Verfahren mit zyklisch variierendem Potential als erfolgreich. Die Steuerung hierzu erfolgte über einen eigens programmierten Personal Computer.

Bezüglich der Sauerstoffkatalysatoren wurden verschiedene organische Synthesen durchgeführt, wobei die Methoden zur Reinigung der schwerlöslichen Produkte verbessert und die Reaktionsbedingungen durch den Einsatz von programmierbaren Heizreglern besser kontrolliert werden konnten. Die Substanzen wurden jeweils über die an der ETH zur Verfügung stehenden Service-Dienste (Elementaranalyse, Spektren) analysiert und konnten im eigenen Labor auf Leitfähigkeit (Druck-Presslinge) und katalytische Aktivität (zyklische Voltammogramme) hin geprüft werden.

Ausserdem wurde mit dem Aufbau einer Apparatur zum katalytischen Reforming von Methanol/Wasserdampf begonnen, wie überhaupt ein Grossteil der Zeit anfangs des Jahres durch die Beschaffung verschiedener Apparaturen sowie die Einrichtung des Labors in Anspruch genommen war.

3. Erreichte Ergebnisse

a) Trägergestützte PdAg-Membran

Will man eine dünne Metallmembran auf einem porösen Metallträger galvanisch abscheiden, so besteht die Gefahr, dass infolge der Poren eine unregelmässige, unzusammenhängende und somit nicht porenfreie Schichtbildung erfolgt. Im Falle der Erzeugung einer dünnen PdAg-Membran muss aber eine derartige Porenbildung verhindert werden, denn nur so kann die Membran ihre Funktion zur Abtrennung der Begleitgase von Wasserstoff, insbesondere Kohlendioxid, erfüllen.

Es wäre daher wünschenswert, die PdAg-Schicht auf einer zunächst spiegelglatten Metallfolie abscheiden und die Trägerfolie erst anschliessend in eine poröse Form überführen zu können. Aus diesem Grunde wurde versucht, aus verschiedenen Legierungen, insbesondere aus Messing, die unedlere Komponente unter Erhaltung der makroskopischen Dimensionen bei der zurückbleibenden edleren Komponente herauszulösen, analog zum schon lange angewandten Verfahren zur Herstellung von Raney-Nickel.

Die Versuche, dies mit Lauge oder Säure zu tun, erwiesen sich jedoch zunächst als ergebnislos. Erst die Idee, eine Messingfolie in verdünnter Schwefelsäure einem zyklisch variierenden Potential auszusetzen, führte zum Ziel. Der positive Potentialbereich wurde dabei so gewählt, dass kurzzeitig das unedlere wie das edlere Metall in Lösung gehen konnten, und der negative Potentialbereich so, dass sich lediglich die edlere Komponente wieder abscheiden konnte.

Wie sich erst später herausstellte, wurde der Vorgang allerdings noch durch einen ursprünglich nicht beabsichtigten Effekt unterstützt bzw. erst recht ermöglicht: Durch das Diaphragma der Kalomel-Referenzelektrode waren nämlich Chloridionen in geringer Konzentration in den Elektrolyten gelangt. Ihre Anwesenheit ermöglichte vermutlich die Bildung von Kupfer(I)chlorid, welches im Gegensatz zum sonst zu erwartenden Kupfer(II)sulfat schwerlöslich ist, dadurch kaum in den Elektrolyten wandern kann und so die Erhaltung der äusseren Foliendimension gewährleistet. Durch Verwendung eines Sulfat-Zwischenelektrolyten bei der Referenz konnte die Chloridkonzentration konstant gehalten werden. Um Störungen durch teilweise ebenfalls in Lösung gehendes Platin der Gegenelektrode zu vermeiden, musste eine durch ein Diaphragma getrennte Zelle verwendet werden. Schliesslich gelang es, aus Messing-Folien in reproduzierbarer Weise das Zink praktisch quantitativ herauszulösen, wobei hoch poröse, allerdings relativ brüchige Kupferfolien zurückblieben. Diese konnten durch kurzzeitige Sinterung in reduzierender Atmosphäre beträchtlich stabilisiert werden.

Es gelang auch, einseitig auf eine Messingfolie zuerst eine ca. 1 μm dicke PdAg-Schicht (73% Pd, 27% Ag) galvanisch abzuscheiden und die Messingfolie anschliessend rückseitig in die

poröse Kupferform überzuführen. Wie Raster-Elektronenmikroskopaufnahmen zeigten, waren die ersten so hergestellten trägergestützten PdAg-Folien indessen noch nicht ganz porenfrei. Zur Optimierung des Verfahrens sowie zur beidseitigen Aufbringung von Katalysatoren bleibt deshalb noch einiges zu tun.

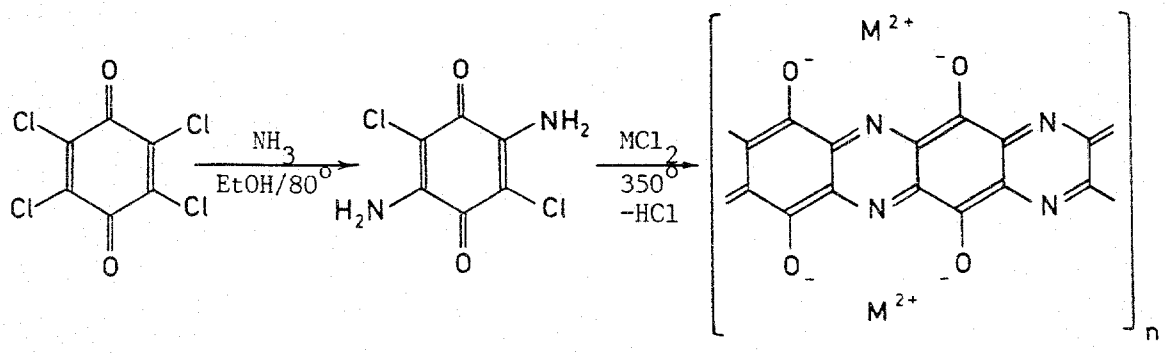
b) Organische Halbleiter als Sauerstoffkatalysatoren

Die Problematik bei Sauerstoffelektroden liegt u.a. darin, dass ein Sauerstoffmolekül insgesamt 4 Elektronen aufnehmen muss, um in das gewünschte Endprodukt Oxid bzw. Hydroxid übergehen zu können, und dass dieser Prozess normalerweise nach der Aufnahme der ersten beiden Elektronen beim Peroxid stehenbleibt. Dies hat eine Verminderung des erreichbaren Potentials gegenüber dem reversiblen Sauerstoffpotential zur Folge, wobei das Potential durch katalytische Zersetzung des Peroxids und damit dessen Konzentrationsverminderung im Elektrolyten etwas erhöht werden kann.

Substanzen, welche den Zweielektronenschritt katalysieren, sind schon lange bekannt. Nebst dem wirksamen, doch teuren Platin und Ruthenium kommen Silber und Nickel, dann aber auch gewisse Kobaltoxide (Spinelle, Perovskite) sowie organische Stoffe, insbesondere Graphit und metallhaltige Porphyrine und Phthalocyanine, in Frage. Trotz weltweiter Bemühungen, Porphyrine und Phthalocyanine in den verschiedensten Varianten zu synthetisieren bzw. zu polymerisieren, konnte noch kein wirklich überzeugender Katalysator gefunden werden.

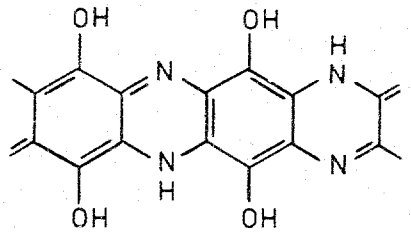
Da bei mehreren polymeren Halbleitern, welche noch komplex gebundene Metallzentren enthielten, eine Zunahme der katalytischen Aktivität mit wachsender Leitfähigkeit beobachtet worden war, stellten wir eine erste Arbeitshypothese auf, wonach ein guter Sauerstoffkatalysator in Form eines Polychelaten zu suchen sei, der möglichst viele der Sauerstoffrezeptoren dienenden Metallzentren aufweist und der möglichst gut leitet.

Trotz intensiver Bemühungen gelang es indessen nicht, ein solches Polymeres gemäss der Reaktion



M = Fe , Co , Cu

darzustellen. Vielmehr stellte sich heraus, dass Strukturelemente folgenderart entstanden:



welche bestenfalls ein zweiwertiges Metallion pro zwei Monomer-Einheiten aufnehmen konnten.

Die Leitfähigkeit sowie die katalytische Aktivität der hergestellten Polychelate lag ausserdem weit unter den Erwartungen, sodass beschlossen wurde, diese Stoffklasse zu verlassen und die Verbindungsklasse der metallhaltigen Phthalocyanine näher zu studieren mit der Absicht, leitfähige Polyphthalocyanine zu synthetisieren. Erst bei der Beschäftigung mit diesen Verbindungen wurde die Erklärung gefunden, weshalb im oben erwähnten Fall nie das gewünschte Produkt entstanden war: Sie lag beim **aromatischen Charakter**, welcher sich durch hohe Stabilität auszeichnet und nur bei der zweiten, effektiv entstandenen Variante vorliegt (Hückel-Regel). Diese Erkenntnis brachte einen wichtigen Fortschritt zum Verständnis verschiedener Phänomene und führte zur **zweiten Arbeitshypothese**, wonach der aromatische Charakter eines Katalysator-Substrat-Komplexes während des gesamten Reaktionsablaufes erhalten bleiben muss.

Es ist nun möglich, unter Berücksichtigung dieser Hypothese erfolgversprechende Katalysatorstrukturen zu entwerfen. Die entsprechend vorgesehenen Synthesen sind zur Zeit noch im Gange.

4. Veröffentlichungen

- Schweizer Patentanmeldung Allmendinger/Hasler, Nr. 04 326/87-5: Elektrochemisches Verfahren zur Herstellung einer porenfreien, von einem porösen Metallkörper gestützten Membran auf Palladium-Basis.
- Vorträge im Rahmen eines Workshops in Appenberg (9./10. November 1987); werden nächstes Jahr in der Chimia publiziert.

5. Neue Forschungsarbeiten

Um beim Methanol/Wasserdampf-Reforming möglichst niedrige Temperaturen einhalten zu können, wird längerfristig die Untersuchung bzw. die Optimierung entsprechender Katalysatoren nötig sein, wobei auf der Linie der Metall-Polyphthalocyanine weitergefahren werden könnte.

3. STOCKAGE

SPEICHERUNG

OFEN
BEW

PROJETS DE RECHERCHE ÉNERGÉTIQUE 1987
ENERGIE - FORSCHUNGS - PROJEKTE 1987

STEINGEFÜLLTER WÄRMESPEICHER FÜR HOHE TEMPERATUREN

Ziel des Projekts: Definition einer Basiskonstruktion des Speichers, die Ermittlung von Speicherkapazität, thermischem Verhalten, Wärmeverlusten und Kosten.

Dauer des Projekts: 1.11.1985 bis 31.8.1987 (ursprünglich)
30.4.1988 (neu geplant)

Beitragsempfänger: Konsortium Sotel

Berichterstatter: H. W. Fricker

Adresse: Gebr. Sulzer AG, Ko. St. 0341, CH-8401 Winterthur

Telephon: 052 / 81 35 62

1. Anvisierte Zielpunkte für 1987

Es war geplant, die 1986 erarbeiteten Lösungen durch Ermittlung der Wärmeverluste und der Kosten zu vervollständigen, sie miteinander zu vergleichen und den Schlussbericht zu erstellen.

2. Durchgeführte Arbeiten 1987

2.1 Gesteinsdaten

Die einschlägige Literatur wurde weiter verfolgt. Dabei stiessen wir auf eine neue französische Veröffentlichung mit bislang unbekannten Hochtemperaturdaten [1]. Wesentlich dabei sind vor allem die extrem hohen, gemessenen Ausdehnungskoeffizienten für das gewählte Gestein Granit bei hohen Temperaturen, siehe Fig. 1.

2.2 Konstruktion

Mit den Wärmeausdehnungskoeffizienten von Gestein wesentlich über denen von Stahl, sind die bisher konzipierten Speicher nicht möglich. Die Steinschüttung würde den grossen Behälter beim Aufheizen sprengen. Eine neue Lösung wurde in einer Modularisierung des Behälters gesucht; zylindrische Gefässe von 2.3 m Durchmesser und 1.65 m Höhe, mit Gestein gefüllt, werden neben- und aufeinander gestellt. Die Luft strömt durch den Gitterboden und das Gestein. Somit erfolgt der Wärmeaustausch, wie gerechnet, direkt von Gestein an die Luft, während die Behälter dem Gesteinsdruck beim Aufheizen widerstehen und somit die Gesteinsschüttung sich nach oben ausdehnen muss.

3. Erreichte Ergebnisse

a) Innen und aussen isolierter Stahlbehälter mit Steinen gefüllt; mit und ohne Vorrichtung zur Steuerung der Manteltemperatur durch Beheizen oder Kühlen, geeignet für mechanisch beständige Gesteine mit Ausdehnungskoeff. gleich oder kleiner als Stahl.

b) Aussen isolierter Stahlbehälter, gefüllt mit in quadratischen Stahlkisten abgefüllten Steinen, geeignet für mechanisch beständige Gesteine mit Ausdehnungskoeff. gleich oder kleiner als Stahl.

c) Aussen isolierter Stahlbehälter, gefüllt mit keramischen Formelementen. Alternativlösung geeignet auch für höhere Temperaturen, jedoch thermisch träge.

d) Aussen isolierter Stahlbehälter, gefüllt mit durchströmten, zylindrischen Behältern, geeignet für alle mechanisch beständigen Gesteine.

4. Weitere Arbeiten

Anfangs 1988 werden die thermischen Verluste und die Kosten ermittelt. Anschliessend wird der Schlussbericht erstellt.

[1] Francoise Homand-Etienne
Comportement mécanique des roches en fonction de la température
Memoires sciences de la terre, Sept. 1986

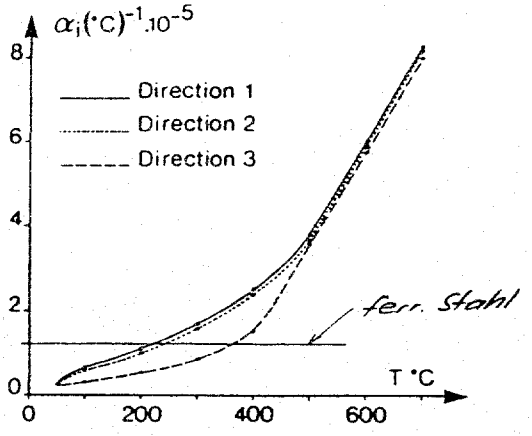


Fig. 6. – Évolution du coefficient de dilatation thermique linéaire du granite de Remiremont en fonction de la température et de la direction.

OFEN PROJETS DE RECHERCHE ÉNERGÉTIQUE 1987

BEW ENERGIE - FORSCHUNGS - PROJEKTE 1987

SPEICHERUNG SOLARER HOCHTEMPERATURWÄRME

Ziel des Projekts:

Aufbauend auf repräsentativen Experimenten und dem bereits vorliegenden theoretischen Modell soll die Möglichkeit der Wärmespeicherung bei hohen Temperaturen in Schüttspeichern weiter untersucht werden. Im Vordergrund stehen einerseits die Kurzzeitspeicherung in solarthermischen Kraftwerken (bis ca 600 °C), anderseits diejenige für chemische Prozesse zur Herstellung synthetischer Energieträger und energieintensiver chemischer Produkte ("Solar Fuels and Chemicals"). Vorerst werden Schüttungen aus sensiblen Speichermaterialien untersucht, anschliessend soll der Einsatz schmelzbarer Stoffe in Betracht gezogen werden. Der Temperaturbereich der Experimente erstreckt sich mindestens bis 800 °C.

Dauer des Projekts: 1.August 1987 bis 31.Dezember 1990

Beitragsempfänger: Eidgenössisches Institut für Reaktorforschung

Berichterstatter: Dr.J.Keller

Adresse: 5303 Würenlingen

Telephon: 056 / 99 21 11

1 ANVISIERTE ZIELPUNKTE FUER 1987

Für die Planung geeigneter Experimente steht vorerst das Studium der bereits vorhandenen Fachliteratur im Vordergrund. Sodann sind die in Frage kommenden Speichermatrialien zusammenzustellen. Aufbauend auf diesem Wissen soll ein Vorexperiment entworfen werden, das wichtige Erkenntnisse für den Bau des Hauptexperimentes (ca. 0.5 m^3 Speichervolumen) liefern soll.

2 DURCHGEFUEHRTE ARBEITEN 1987

Die meisten der zur Zeit greifbaren Publikationen über Schüttspeicher wurden gesichtet und in einer Literaturdatenbank abgelegt. Meist behandeln diese Papiere theoretische Speichermodellierungen. Die experimentellen Arbeiten beschränken sich mit wenigen Ausnahmen auf den Temperaturbereich unterhalb 120 ^{0}C. Oberhalb etwa 700 ^{0}C sind nur die Behandlung von Detailproblemen in Zusammenhang von Wärmeleitfähigkeit oder Wärmestrahlung in Schüttungen zu finden.

Für die Auswahl geeigneter Speichermaterialien wurde eine Liste von rund 40 metallischen und nichtmetallischen Kandidaten zusammengestellt. Erfolgversprechend sind alle vom Ofenbau her bekannten Stoffe (z.B. Magnesit) sowie keramische Materialien. Gesteine können sich für tiefere Temperaturen bis etwa 550^{0}C ebenfalls eignen. Von den Stoffwerten her ist auch Graphit denkbar, allerdings wäre an Stelle von Luft ein Inertgas einzusetzen.

Angeregt durch einen rudimentären Vorversuch mit Magnesit als Speichermaterial wurde ein erster zylindrischer Speicherbehälter hergestellt (H = 1.2 m, D = 0.15 m). Damit sollen mit Porzellankugeln von 2 cm Durchmesser Erfahrungen zur Auslegung der definitiven Experimentiereinrichtung (z.B. Wahl des Luftdurchsatzes) gewonnen werden. Diese definitive Version wird voraussichtlich aus einem isolierten Zylinder (H = 1.2 m, D = 0.8 m) bestehen, dessen Luftdurchsatz derart bemessen ist, dass die sich beim Laden bzw. Entladen einstellende Temperaturfront den Speicher in 6 bis 8 Stunden durchläuft. Mit dem am EIR entwickelten Computercode PACKBEDA wurden bereits entsprechende Temperaturverläufe berechnet. Schliesslich erfolgte bereits die Evaluation eines geeigneten Datenerfassungssystems, welches in Kürze beschafft werden wird.

3 ERREICHTE ERGEBNISSE

Sowohl eine numerische Abschätzung als auch die Simulation mit PACKBEDA zeigen, dass für ein Speichermodell mit Porzellanfüllung der oben festgelegten Grösse ein Volumendurchsatz pro m^2 Grundfläche von ca. 0.12 $m^3/s\ m^2$ resultiert.

Als kugelförmige Speicherfüllung kommen von der Temperaturbestängkeit und von den Stoffwerten her sicher keramische Materialien in Frage. Allerdings sind die Preise für einen Einsatz im grossen Stil viel zu hoch. Gesteine sind billig, aber nur in Ausnahmefällen bis 800 ^{0}C temperaturbeständig. In-

teressant ist das von den Speicheröfen her bekannte Magnesit, das aber nur in Korngrössen unterhalb 8 mm oder in Modulform (also nicht in Kugelform) erhältlich ist. Stahl wiederum ist in Kugelform erhältlich, hat jedoch eine enorme Dichte und neigt oberhalb etwa 600 °C zu Verzunderung. Graphit schliesslich kann nur mit einem Inertgas be- und entladen werden.

4 INTERNATIONALER RAHMEN

Die vorliegenden Arbeiten lassen sich in das IEA Projekt " Small Solar Power Systems (SSPS)", Task IV "High Temperature Thermal Storage" einbetten. Sie bilden eine Ergänzung zu den Aktivitäten auf dem Gebiet der insbesondere von den USA untersuchten Salzschmelzen, welche auf den Temperaturbereich unterhalb 550 °C beschränkt sind.

5 VEROEFFENTLICHUNGEN

keine

6 NEUE FORSCHUNGSARBEITEN

Falls die gegnwärtigen Arbeiten erfolgreich sind, ist ein Speicherexperiment - sensibel oder latent - in grösserem Massstab anzustreben. Wird am EIR ein "Solar Dish" installiert, könnten mit Hilfe eines geeigneten Receivers und einer geeigneten Last die Lade- bzw. Entladezyklen unter realen Meteobedingungen untersucht werden. Im weiteren sollte sich die Schweiz mit dem erarbeiteten Know-how an einem eventuellen Grossexperiment in Almeria beteiligen. Schliesslich existiert nebst sensiblen und latenten Speichermaterialien die chemische Kurzzeitspeicherung (z.B. Metallhydridspeicher), die möglicherweise ebenfalls zur Lösung des Hochtemperaturspeicherproblems beitragen könnte.

OFEN PROJETS DE RECHERCHE ÉNERGÉTIQUE 1987

BEW ENERGIE - FORSCHUNGS - PROJEKTE 1987

KURZZEITSPEICHERUNG FÜR WARMWASSER

Ziel des Projekts: Förderung der internationalen Zusammenarbeit und des Austausches von wissenschaftlichen und technischen Informationen, welche ein möglichst grosses energiewirtschaftliches Potential haben. Ausarbeitung und integration des Beitrages der Schweiz zum Thema und Mitarbeit am Workshop. Bekanntmachung der international erarbeiteten Resultate bei den interessierten Kreisen der Schweiz.

Dauer des Projekts: Mai 1986 bis März 1988

Beitragsempfänger: BIONIK/Dr. H. Weber

Berichterstatter: Dr. H. Weber

Adresse: Vorstadt 6, 5200 Brugg

Telephon: G: 056 41 24 80/ P: 056 23 16 70

3.3

1. Anvisierte Zielpunkte für 1987:

Es galt, den Beitrag der Schweiz im Rahmen des IEA- Programmes Energiespeicherung Annex IV: "Kurzzeitspeicherung für Warmwasser" auszuarbeiten und zu integrieren. Es ging um die Auswertung abgeschlossener oder laufender Arbeiten zum Thema ohne jedoch neue Forschungsprojekte zu beginnen. Diese Koordinationsarbeit begann im Mai 1986 und wird ihren Abschluss im März 1988 finden. An diesem internationalen Projekt sind die vier Länder Holland (als technischer Koordinator, die Bundesrepublik Deutschland, Schweden und die Schweiz beteiligt.

Ziel dieses Programms ist es, die internationale Zusammenarbeit und den Austausch von wissenschaftlichen und technischen Informationen zu fördern, welche ein möglichst grosses energiewirtschaftliches Potential besitzen und den Interessen aller Teilnehmer dienen. Das Programm soll abgeschlossen werden mit einem Workshopbericht, einem Statusbericht und einer Literaturstudie, welche allen Teilnehmerländern und beteiligten Organisationen ausgehändigt werden. Es umfasst kleine und grossangelegte Kurzzeitspeicher von Warmwasser für verschiedene Anwendungen: Wärmepumpen, Totalenergieanlagen, industrielle Abwärme und Solaranlagen. Speziell berücksichtigt werden sollen die Speicherschichtung, Modellierung, Wärmeverluste und die Betriebsanforderungen der Praxis.

2. Durchgeführte Arbeiten:

Im Mai 1986 wurde das Programm gestartet durch Ermittlung des Standes von Forschung und Technologie in jedem der vier Teilnehmerländer: Schweden, Holland, BRD und CH und Uebermittlung dieser Informationen und einschlägiger Publikationen an PEO in Utrecht. Aus diesen Informationen wurde eine Literaturstudie verfasst und den Teilnehmerländern im Dezember 1986 zugestellt. Ende Januar 1987 fand ein zweitägiger Workshop in Utrecht statt. Im April erschien ein ausführlicher Bericht über diesen Workshop, welcher den Teilnehmerländern zur kritischen Stellungnahme und Korrekturlesung zugestellt wurde. Etwa zur selben Zeit wurde in Paris an einem executive committee meeting der IEA das Projekt vorgestellt. Ende September wurde der überarbeitete Workshopbericht versandt. Der Statusbericht und die bereinigte Literaturstudie wird im März 1988 erscheinen.

Beteiligte Institute und Organisationen aus der Schweiz sind:

- Technikum Burgdorf:
- Eidgenössisches Institut für Reaktorforschung
- Universität Genf, Departement für angewandte Physik:
- Eidgenössische Technische Hochschule in Lausanne: Departement für Sonnenenergie:

- Eidgenössische Technische Hochschule in Zürich:

- Wasser- und Energiewirtschaftsamt des Kantons Bern:

- SOFAS: Sonnenenergie Fachverband der Schweiz:

3. Erreichte Ergebnisse:

Es gibt über zwei Aspekte von Ergebnissen zu berichten.

A: Die Ergebnisse des Schweizer Beitrags zum Workshop in Utrecht:

Der Schweizer Beitrag zum IEA- Programm Annex IV: "Short term water heat storage systems" ist in einem Bericht zusammengefasst worden, welcher am EIR erhältlich ist /1/.

Die Schweizer Arbeiten konzentrierten sich vor allem um die Modellbildung für den geschichteten Speicher, die Simulation isolierter Speicher und ganzer Anlagen. Es wurden eingehende Untersuchungen über den Abbau der Schichtung und Wärmeverluste durch interne freie Konvektion durchgeführt. Die Visualisierung von internen Konvektionsströmungen ermöglichte die genaue Untersuchung des Wärmeübergangs bei eingebauten Wärmetauschern und damit verbunden eine neue Dimensionierungsmethode dieser Elemente.

Auf diesen grundlegenden Erkenntnissen aufgebaut erliess der Kanton Bern neue Typenprüfrichtlinien für die Begrenzung der Energieverluste von Wärmespeichern /2/. Eine Wärmepumpenfirma benutzt die Erkenntnisse über die Schichtung für eine optimale Steuerung einer Wärmepumpenanlage.

B: Die Ergebnisse des Workshops in Utrecht:

Ueber den in englischer Sprache erschienenen Workshopbericht sei nachstehend eine deutsche Zusammenfassung wiedergegeben.

Zusammenfassung des Workshopberichtes /3/:

Annex IV der Internationalen Energie Agentur über Energiesparen durch Energiespeicherung hat sich mit dem Projekt "Kurzzeitspeicherung für Warmwasser" auf eine der meist akzeptierten und vielversprechendsten Anwendungen der Energiespeicherung konzentriert. Im Workshop wurden die vollendeten und begonnenen Studien diskutiert und versucht, einerseits den Stand der Technik festzuhalten und andererseits noch dunkle Gebiete auszumachen, welche weiterer Anstrengungen bedürfen.

Spezielle Beachtung fand die thermische Schichtung im Speicher, weil dadurch nicht nur der Speicher, sondern das Systemverhalten weitgehend verbessert wird. Ueber die Vorzüge der Schichtung existiert ja seit längerem eine eifrige Diskussion.

Vor dem Workshop wurde eine Literaturstudie verfasst. Zusammen mit einem Inventar der in den Teilnehmerländern laufenden Studien ergaben sich die Grundlagen für den Workshop. Die Institute und ihre Kontaktpersonen sind in dieser Literaturstudie aufgeführt mit einer Kurzfassung ihrer Beiträge.

Sowohl kleine als auch grosse Speichersysteme wurden am Workshop behandelt. Anfänglich zeigten sich Schwierigkeiten in der Terminologie zwischen grossen (Fernheizungen mit Stromerzeugung) und kleinen Anwendungen der Speichertechnologie (Sonnenenergie und Haustechnik). Es zeigte sich danach, dass die Hauptprobleme die gleichen sind für beide Anwendungen.

Die Thematik und auch der Workshop wurden eingeteilt in mehrere mehr oder weniger geschlossene Fachgebiete:

In Kapitel 2 werden Oekonomie und Potential der Kurzzeit-Warmwasserspeicherung behandelt. Die von den Teilnehmern angegebenen Zahlen über das Potential sind nicht ganz aufschlussreich. Bei grossen Systemen mit Kraft- Wärme-Kopplung werden Amortisationszeiten von weniger als zwei Jahren genannt, für kleine Systeme ist die Amortisationszeit manchmal gar nicht von Bedeutung (Haustechnik).

Die Physik der Warmwasserspeicherung wird in Kapitel 3 behandelt. Thermische Schichtung in Wasserspeichern (genauer Begriff Verschiebungsspeicherung) wird gut beherrscht bei Systemen, wo die Temperaturen sowohl der Wärmequelle als auch des Verbrauchers ziemlich konstant sind (Grosse Speicher bei Fernheizsystemen), sie lässt aber zu wünschen übrig bei kleinen Systemen mit stark variablen Temperaturen. Verschiedene Phänomene wie z.B. aufsteigende oder fallende Schlieren bei eingebauten Wärmetauschern oder Flanschverlusten sind noch nicht richtig verstanden und erfordern weitere Studien.

Modellierung von Warmwasserspeichern ist das Thema von Kapitel 4. Verschiedene Methoden für unterschiedliche Zwecke haben sich durchgesetzt. Modelle von Wandeffekten kombiniert mit Wärmeleitung, Turbulenzen in der Kontaktschicht grosser Speicher, vereinfachte Behandlung von Ein- und Ausgängen mit Mischvorgängen, Diffusion in der Kontaktschicht und Diskretisierung des thermisch geschichteten Speichers als Euler- oder Lagrange Code werden allgemein verwendet. Kein Modell umfasst alle diese Phänomene gleichzeitig. Vereinfachte schnelle Schichtungsmodelle für erste Optimierungsstudien sind noch immer selten.

Konstruktion von Speicherteilen und Einbauten wie Diffusoren, "floating inlets" und Prallplatten werden in Kapitel 5 behandelt. Die wirklichen Speicherverluste sind stets grösser als theoretisch berechnet, was von allen Teilnehmern bestätigt wird. Der Thermosyphon- Effekt bei Anschlussleitungen kann diese zusätzlichen Verluste verursachen. Diffusoren sind sehr gut entwickelt bei grossen Systemen, aber weit weniger gebräuchlich bei kleinen. Floating inlets wurden nur kurz er-

wähnt. Die Teilnehmer bevorzugen alle Stahl als Baumaterial für die Speicherwände. Das Verhältnis von Höhe zu Durchmesser der Speicher ist klein (0.5 bis 1.5) hauptsächlich wegen den Spannungen am Fusse von grossen Speichern und einer minimalen Wandfläche zugunsten von Wärmedämmung und Schichtung.

Messung, Tests und Modellverfikation werden in Kapitel 6 diskutiert. Eine befriedigende Methode zur Ermittlung von lokalen K-Werten in den verschiedenen Segmenten eines geschichteten Speichers und der Dispersion der Kontaktfläche ist nicht bekannt. Testmethoden werden meistens durch Nationale Standardisierungsbureaux beschrieben. Ein blosses Mass für die Qualität eines Speichers hinsichtlich der Erhaltung der thermischen Schichtung ist allerdings nicht befriedigend. Daher werden verschiedene Modelle evaluiert, welche sich auf kommerzielle wie auf Laboranlagen beziehen.

Regelung und dynamische Optimierung werden in Kapitel 7 behandelt. Verschiedene Studien behandeln die Optimierung eines Speichers allein, während sehr viel geschrieben wurde über Optimierung ganzer Anlagen. Eine Kombination einer optimalen Regelung mit einer ökonomischen Optimierung ist in einigen Studien behandelt, aber eine allgemeinere Studie darüber wäre nötig.

Von der Arbeit im Workshop kann geschlossen werden, dass die Kurzzeit Warmwasserspeicherung eine gut beherrschte Technologie ist wenigstens für eine Gruppe von Anwendungen (Fernheizung mit Stromerzeugung und Warmwasserspeicherung im Haushalt), dass sie aber noch zu wenig Beachtung findet in vielen anderen Bereichen. Thermische Schichtung ist wichtig bei den meisten Anwendungen, wird aber noch zuwenig ausgeschöpft hauptsächlich wegen mangelhaftem Verständnis des Systemverhaltens.

4. Stand der Schweiz im internationalen Vergleich:

Aus dem Workshopbericht ergibt sich folgendes Bild: Die recht bedeutenden Unterschiede der Speichertechnologie in den vier verschiedenen Ländern kommen von der Praxis der im Betrieb stehenden Speicher her. In der Forschung sind die Unterschiede nicht so gross, ausser dass verschiedene Länder einzelnen Aspekten verschiedenes Gewicht beimessen. Diese Unterschiede sind wiederum stark von der Praxis her geprägt.

Aus dem Quervergleich ergibt sich der folgende generelle Trend: Schweden übertreibt in der Realisierung von Grossspeichern, die Schweiz hingegen tut zu wenig.

5. Veröffentlichungen:

/1/ Dr. H. Weber	Preprint of the Swiss Contribution to the IEA-Program Annex IV: "Short term water heat storage Systems": Modelling of Thermally Stratified Water Heat Storages, Bionik- Bericht A-87-2, 18. Juli 1987, erhältlich beim BEW und EIR
/2/ F. Bhend	Typenprüfrichtlinie für die Begrenzung der Energieverluste von Wärmespeichern/Wassererwärmern, Dok. Nr. 0049I, Jan. 1986 erhältlich beim BEW.
/3/ Bart Veltkamp	Energy Conservation through Energy Storage short term water heat storage systems, workshop, 29- 30 January 1987, Utrecht, the Netherlands erhältlich beim BEW.

6. Neue Forschungsarbeiten:

Die positiven Erfahrungen von Deutschland und Schweden mit dem wirtschaftlichen Betrieb von grossen zentralen Heisswasserspeichern sind in unserem Lande zuwenig beachtet worden. Gerade in einer Zeit der Abkehr von einer einseitigen Oelabhängigkeit und der Planung grosser Wärmeversorgungen müsste auch die Technologie grosser Heisswasserspeicher vermehrt Beachtung finden. Hier wie auch auf dem Gebiete der industriellen Wärmespeicherung zur verbesserten Nutzung industrieller Abwärme sind zusätzliche Forschungsanstrengungen nötig.

Am Workshop wurde deutlich, dass über die interne freie Konvektion (aufsteigen von Schlieren bei eingebauten Wärmetauschern, Schichtungsabbau und Verluste) noch vermehrte Untersuchungen nötig sind. Das EIR hat seine Arbeiten darüber beendet. An der ETH (Institut für Energietechnik, Dr. Moser) wurde von zwei Studenten hierüber eine vielversprechende Arbeit begonnen. Diese Arbeit sollte ergänzt und publik gemacht werden. Auf diesem Gebiet sollte ein gezieltes Forschungsprojekt gestartet werden.

OFEN — PROJETS DE RECHERCHE ÉNERGÉTIQUE 1987

BEW — ENERGIE - FORSCHUNGS - PROJEKTE 1987

STOCKAGE SAISONNIER DE CHALEUR

But du projet: Etudes et développement technico-économique de de centrales de chauffage solaires avec stockage saisonnier. Evaluation de projets pilotes existants, détermination de configurations optimales.

Durée du projet: 1er janvier 1986 au 31 décembre 1988

Mandataire: SORANE SA

Rapporteur: Pierre JABOYEDOFF

Adresse: SORANE SA, Rationalisation Energétique
Av. St-Paul 1 - 1700 FRIBOURG

Téléphone: 037/22.81.31

I. OBJECTIFS VISES ET TRAVAUX EFFECTUES

I.1 En 1987 les objectifs visés ont été :

°**Au niveau international :** Participation active à la Tâche VII de l'AIE (Central Solar Heating Plants with Seasonal Storage) dans le but de bénéficier des résultats de recherches technologiques et économiques des autres pays participants.

°**Au niveau national :** Analyser les mesures 1986 des installations de Vaulruz et Beausobre. Suivre ces mêmes installations en 87. Mettre le guide sur le stockage saisonnier de chaleur en forme finale pour sa première édition. Déterminer les systèmes solaires avec stockage saisonnier de chaleur de type diffusif qui sont optimaux.

II. Les travaux effectués de mi-décembre 86 à mi-décembre 87 sont les suivants :

°**Au niveau international :**

- Nous avons pris part au meeting 87 de la Phase III de la tâche VII et effectué un compte rendu pour l'Office Fédéral.
- Nous avons élaboré, en collaboration avec d'autres pays participants, une méthodologie d'évaluation des systèmes solaires avec stockages sous différents climats.
- Nous avons maintenu le contact avec les autres pays participants, participé à des conférences sur le système de communication électronique de la Tâche VII.
- Nous avons implémenté les données d'autres climats pour le programme Minsun, et sommes en train d'étudier en détail le comportement de Vaulruz sous différents climats.

°**Au niveau national:**

- Le suivi, le dépouillement et l'analyse des mesures de Vaulruz ont été effectués. Un rapport a été élaboré.
- L'acquisition hebdomadaire des données de l'installation de Beausobre a été effectuée.
  Une analyse du comportement de l'installation et des performances de la PAC pour la période de chauffe 86-87 depuis janvier a été effectuée. Une analyse détaillée du comportement du système de régulation a été effectuée.
- La révision et mise en forme du guide de stockage saisonnier jusqu'à un niveau permettant l'impression de sa première édition a été effectuée. Ce guide contient notamment un inventaire des méthodes de calculs appropriées pour différents types de stock saisonniers (voir fig.1).

- Une étude technico-économique sur les centrales solaires avec stockage saisonnier de type diffusifs est en cours avec la collaboration du bureau de géologues-conseils CSD.
  Dans ce cadre, le programme Minsun a été installé sur un système UNIX. Un driver pour rendre son utilisation plus facile a été développé.

III. Résultats obtenus

° Durant l'année 1986, l'installation de Vaulruz s'est comportée de manière semblable à l'année précédente.
Les capteurs ont toujours un rendement annuel élevé (39 %) et le stock saisonnier a une efficacité de 87 %. Le COP de la PAC a été de 2.59 ce qui reste très bas. Pour y remédier, le Maître de l'Ouvrage a procédé au changement de la PAC en été 87. Les premières mesures effectuées montrent que la valeur du COP de la nouvelle PAC est de 4.12, ceci pour une période de quelques jours du mois de décembre 87. Ces résultats encourageants nous ont décidé à poursuivre les mesures de l'installation en 1988, pour autant que la chaine de mesures reste à notre disposition.

° L'installation de Beausobre équipée d'une pompe à chaleur à gaz qui fonctionne dans son intégralité depuis la fin 86, fonctionne comme prévu.
Pour la saison de chauffe 86-87, la valeur du COP de la PAC à gaz s'est élevée à 1.29.
Sur une période de décembre 87 où la température moyenne extérieure était de 2,5 (°C) la PAC a fourni le 70 % de l'énergie utile consommée par le complexe. Ces résultats sont tout à fait en accord avec les prévisions. Seule la valeur du COP est légèrement inférieure aux prévisions. (voir fig.2)
La source froide de la pompe à chaleur (capteurs solaires (100m2), captage terrestre formé de tubes enterrés dans une butte anti-bruit et un terrain de football) se comporte selon les attentes (voir fig.3).

Dans le cadre de la 3ème phase de la Tâche VII, une étude sur le comportement du système de Vaulruz sous différentes conditions climatiques est en cours. Des résultats préliminaires montrant l'influence du climat sur la taille de l'installation sont présentés (voir fig.4). Les différences de tailles entre les sites pour une même fraction solaire confirment l'intérêt qu'il y a à étudier les principaux projets pilotes de l'AIE VII sous différentes conditions climatiques. Le potentiel de chaque type de système sera déterminé pour les principales régions climatiques d'Europe.

Dans le but de réduire les coûts des systèmes solaires avec stock saisonnier de type diffusif, et de déterminer les configurations optimales, une étude détaillée de l'influence de tous les paramètres importants est en cours. Les coûts des stocks diffusifs sont étudiés en collaboration avec le bureau d'ingénieurs géologues-conseils CSD. Un exemple de l'influence de la répartition entre surface de capteurs et volumes de stockage sur le coût total de l'énergie utile délivrée est représentée sur la figure 5.

Le programme de prédimensionnement SLT est en cours d'installation sur IBM PC avec une interface de type "friendly users".

IV. Collaboration internationale

° Les études d'évaluation des projets pilotes ont été effectués pour les projets pilotes d'Allemagne (Stuttgart Projekt), de Finlande (Kerava Solar Village), de Suède (Lyckebo). L'évaluation d'autres projets est encore en cours. Les résultats obtenus notamment pour Vaulruz (Suisse), Stuttgart (Allemagne) démontrent que le programme Minsun, développé dans le cadre de la Tâche VII a une précision satisfaisante, et est un outil d'opti- misation très fiable pour les configurations qui s'y prêtent.

° L'évaluation des différents projets pilotes sous différents climats élargira la base de données technico-économique concernant les différents types de stockage possibles, permettant ainsi de mieux évaluer le potentiel des différentes catégories de stockage en Suisse.

° Une partie du guide sur le stockage saisonnier de chaleur préparé par SORANE SA sera vraisemblablement utilisée comme source au niveau international pour l'élaboration d'un rapport de synthèse de la Phase III de la tâche VII.

V. Publications

Voir Table 1

VI. Nouvelles recherches

Les domaines suivants semblent d'intérêt :

- réalisations de nouveaux projets de démonstrations de systèmes solaires avec stockage saisonnier de chaleur sans pompe à chaleur, pour des complexes de 50 logements au minimum.

- Etudes et réalisations de systèmes avec stockage saisonnier de froid dans les domaine des immeubles administratifs et commerciaux.

P. JABOYEDOFF

Fribourg, le 20 décembre 1987

Type de stock	Calcul analytique par	Modèle simplifié recommandé		Modèle complet recommandé	
		Nom	Origine	Nom	Origine
	Guide stockage Annexe 8	SLT et Annexe 13	Sorane, CH	TANK SST	Lund /AIE VII
	Guide stockage Annexe 6	SIMLOS	Toronto Univ. Canada	SST	Lund /AIE VII
	Guide stockage Annexe 7/8 et Hansen	?	—	SST	Lund /AIE VII
	Guide stockage Annexe 10 et Claesson	?	—	SST	Lund /AIE VII
	Guide stockage Annexe 7	?	—	DST BPPE	Lund /AIE VII IENER-EPFL
	Guide stockage Annexe 7 et Claesson	?	—	DST	Lund /AIE VII
	Guide stockage Annexe 7 et Claesson	ACUS	IENER-EPFL CH	DST	Lund /AIE VII
	Formules Sauty et Abaques LBL	AST	Lund, Suède AIE VII	DCT3 PT	IENER-EPFL LBL-USA
	difficile	?	—	DCT3 PT	IENER-EPFL LBL-USA

Fig.1

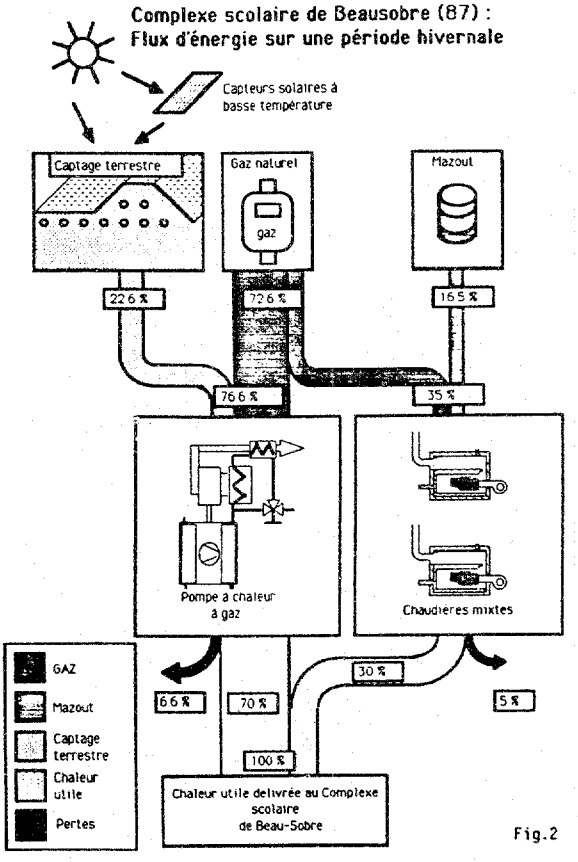


Fig.2

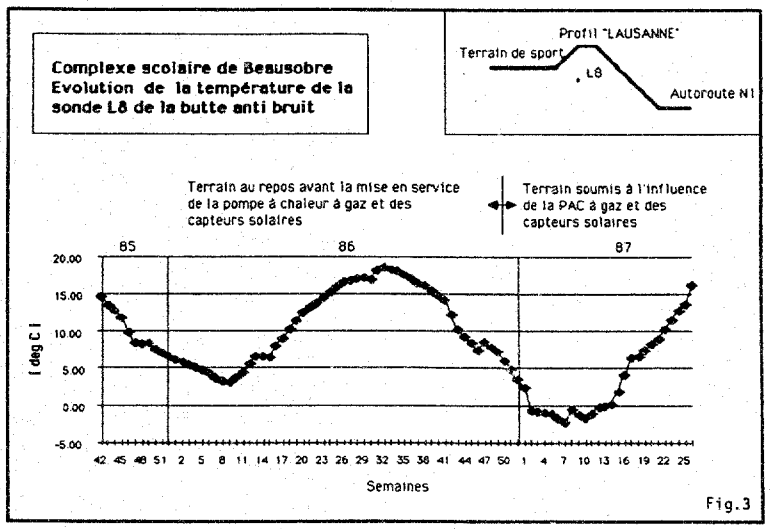


Fig.3

TABLE 1 : Publications

1. Installation solaire de Vaulruz, mesures : Rapport N°10

   Résultats des mesures 1986
   Bilans mensuels et annuels
   P. Jaboyedoff, Ch. Störi
   Rapport SORANE SA AIE-OFEN-NEFF
   BAR (Déc. 1987)

2. Guide du stockage saisonnier de chaleur

   J.C. Hadorn, SORANE SA
   1ère édition, juillet 87
   (250 pages + annexes)

3. Projet ACUS

   Faisabilité d'un accumulateur de chaleur urbain souterrain
   Synthèse du rapport final.
   B. Saugy, F. Descoeudres,
   Ph. Poffet, M. Sahlé, J. Videla
   Rapport IENER-LMR-OFFEN-NEFF,
   19 juin 1987 (54 pages)

4. A short note on the Vaulruz System

   Some preliminary results for the system performances in different climatical zones
   P. Jaboyedoff, SORANE SA,
   septembre 87, Document de travail interne IEA VII

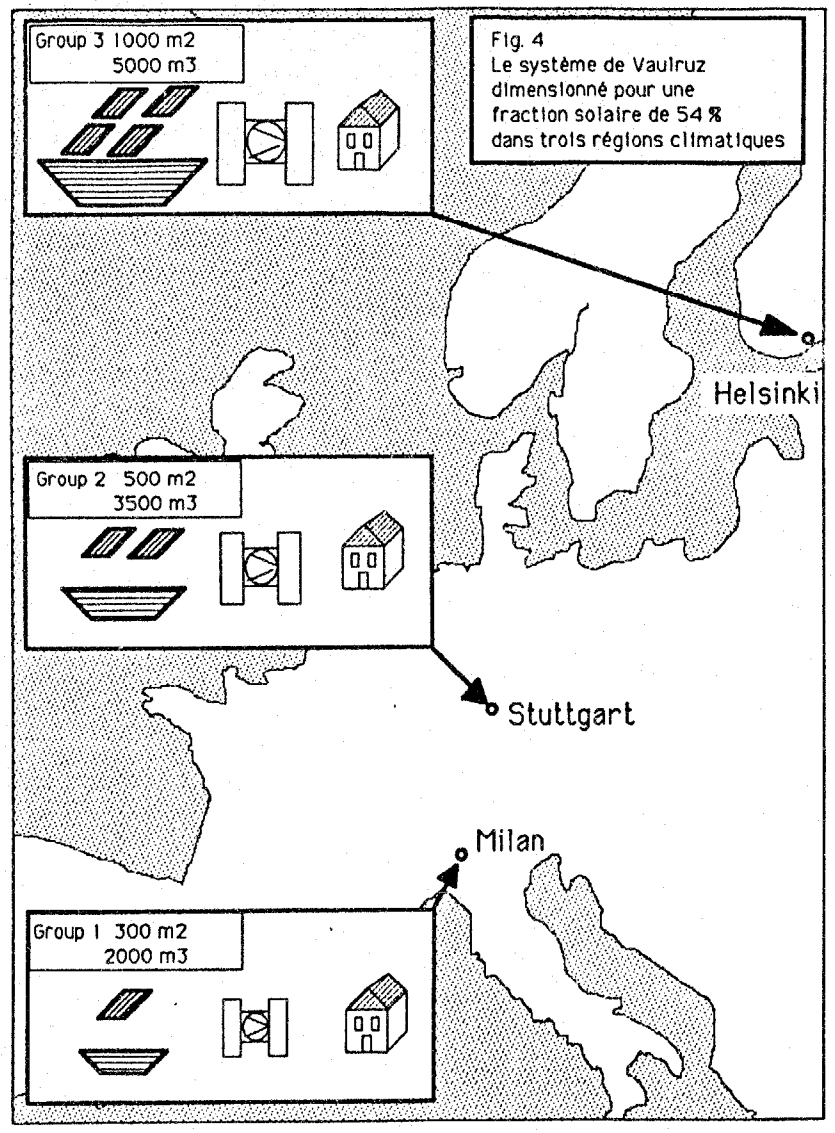
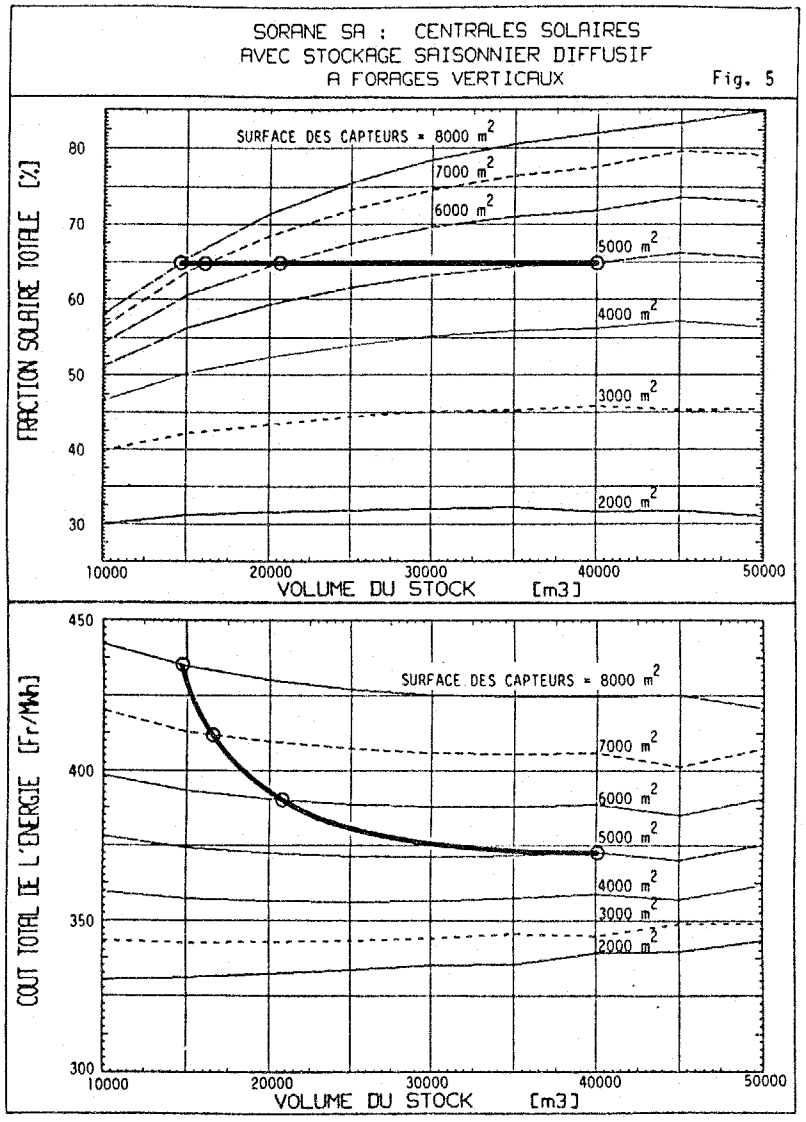


Fig. 4
Le système de Vaulruz dimensionné pour une fraction solaire de 54 % dans trois régions climatiques



OFEN PROJETS DE RECHERCHE ÉNERGÉTIQUE 1987

BEW ENERGIE - FORSCHUNGS - PROJEKTE 1987

STOCKAGE SAISONNIER DE CHALEUR EN NAPPE SOUTERRAINE, INSERTION DE SPEOS DANS UN SYSTÈME D'EXPLOITATION

But du projet: Assurer le suivi scientique de l'installation SPEOS à Dorigny sur les plans de l'exploitation, l'hydraulique, de la température et de la chimie, ainsi que sur les plans de la végétation, biologie et bactériologie.

Durée du projet: SPEOS 2ème étape - de mars 1986 à mars 1989

Mandataire: EPFL, IENER

Rapporteur: Dr. B. Saugy

Adresse: EPFL IENER, 1015 ECUBLENS

Téléphone: 021 / 47.24.94.

1. Objectifs visés pour 1987

La première étape du projet SPEOS, de 1982 à 1985, a permis de montrer que le stockage saisonnier de chaleur entre 40 et 70 C dans l'aquifère était possible.

La deuxième étape vise à l'insertion de l'installation dans un système d'exploitation avec le raccordement à l'incinérateur de la station d'épuration comme producteur, et à la salle ominisport comme utilisateur.

Les objectifs de 1987 comportaient le test du stockage dans la nappe inférieure, l'augmentation de la puissance et le développement d'une commande souple par automate programmable, ainsi que le suivi scientifique du cycle.

2. Travaux effectués en 1987

En 1987, le site a été équipé de points de mesure supplémentaires, notamment pour étudier le comportement de la zone non saturée, en collaboration avec d'autres travaux de recherche.

L'étude de la chimie des eaux s'est poursuivie avec l'essai d'échangeurs à détartrage magnétomécanique en relation avec les travaux de l' Annexe VI sur la Chimie des eaux.

Le comportement hydraulique et thermique de la nappe a été poursuivi, ainsi que les analyses de la faune, de la flore et du développement bactériologique dans le dispositif d'essai et dans l'environnement proche (fig. 1).

3. Résultats obtenus en 1987

Le fait de réaliser le stockage de chaleur dans la nappe inférieure au lieu de la nappe supérieure comme dans la première étape a rendu les impacts sur la faune et la flore de surface non mesurables.

L'installation a pu fonctionner avec des pointes proches de 1 MW, soit proches du double de la puissance de dimensionnement initial. Le suivi hydraulique et thermique des nappes confirme que le comportement du stock est conforme aux prévisions des modèles et qu'il peut ainsi être contrôlé. Une anomalie hydraulique et thermique a permis d'identifier un défaut d'étanchéité dans un puits entre les nappes inférieures et supérieures.

Les traitements chimiques, en voie d'amélioration dans le cadre de l'Annexe VI, ont réduit la fiabilité de l'installation. Des mesures ont été prises pour mieux utiliser les redondances du système et des composants pour réduire le temps d'indisponibilité typique d'une installation pilote.

La figure 2 décrit les isothermes à l'intérieur du stock et la figure 3 montre les courbes d'équipotentiel hydraulique ayant permis de détecter le défaut d'étanchéité entre les deux nappes.

4. Collaboration internationale

La collaboration étroite avec les pays finançant le projet ou collaborant à l'Annexe a permis de situer les travaux et résultats par rapport à ceux qui se déroulent à Horsholm au Danemark et à St-Paul Minesota, USA. Le choix des températures et de la géométrie spécifique de SPEOS contribuent à la réussite du projet par sa durée de fonctionnement et son insertion dans un système global.

De plus, l'écart entre les puissances de dimensionnement des installations et les puissances annuelles observées s'est considérablement réduit au profit de SPEOS. Sur le plan du contrôle chimique du dispositif, les échanges d'informations de modèles, avec la Hollande notamment, ont été fructueux et ont conduit à renforcer la collaboration dans ce domaine spécifique.

5. Publications

"Stockage saisonnier de chaleur et recherches géothermiques"
SPEOS - deuxième étape
Cinq ans de Gisothermie
Dr. B. Saugy et Al. - EPFL novembre 1987

Rapport intermédiaire 1985 - 1986 - 1987
Annexe I - Juin 1987

"Wärmespeicher unter dem Fussballfeld"
Internationale Versuchsanlage zur Speicherung von Abfallwärme im Boden.
Dr. Rudolf Weber - Heizung und Klima N° 4, avril 1987.

6. Nouvelles recherches

Les résultats obtenus sur le site de Dorigny permettent d'envisager la réalisation d'autres installations pilotes dans des situations géologiques différentes.

Par ailleurs, le fait d'injecter la chaleur au niveau inférieur a conduit à rendre non mesurables les effets sur la faune et la flore. Dans ces conditions, le risque d'impact thermique sur l'environnement ne pouvant pas être réduit à zéro, il y aurait lieu de réaliser le projet Biotherme d'étude de l'impact de la chaleur sur la végétation dans un site où les impacts pourraient être amplifiés afin de mieux les étudier.

Lausanne, le 5 janvier 1988
703/Sg/cl

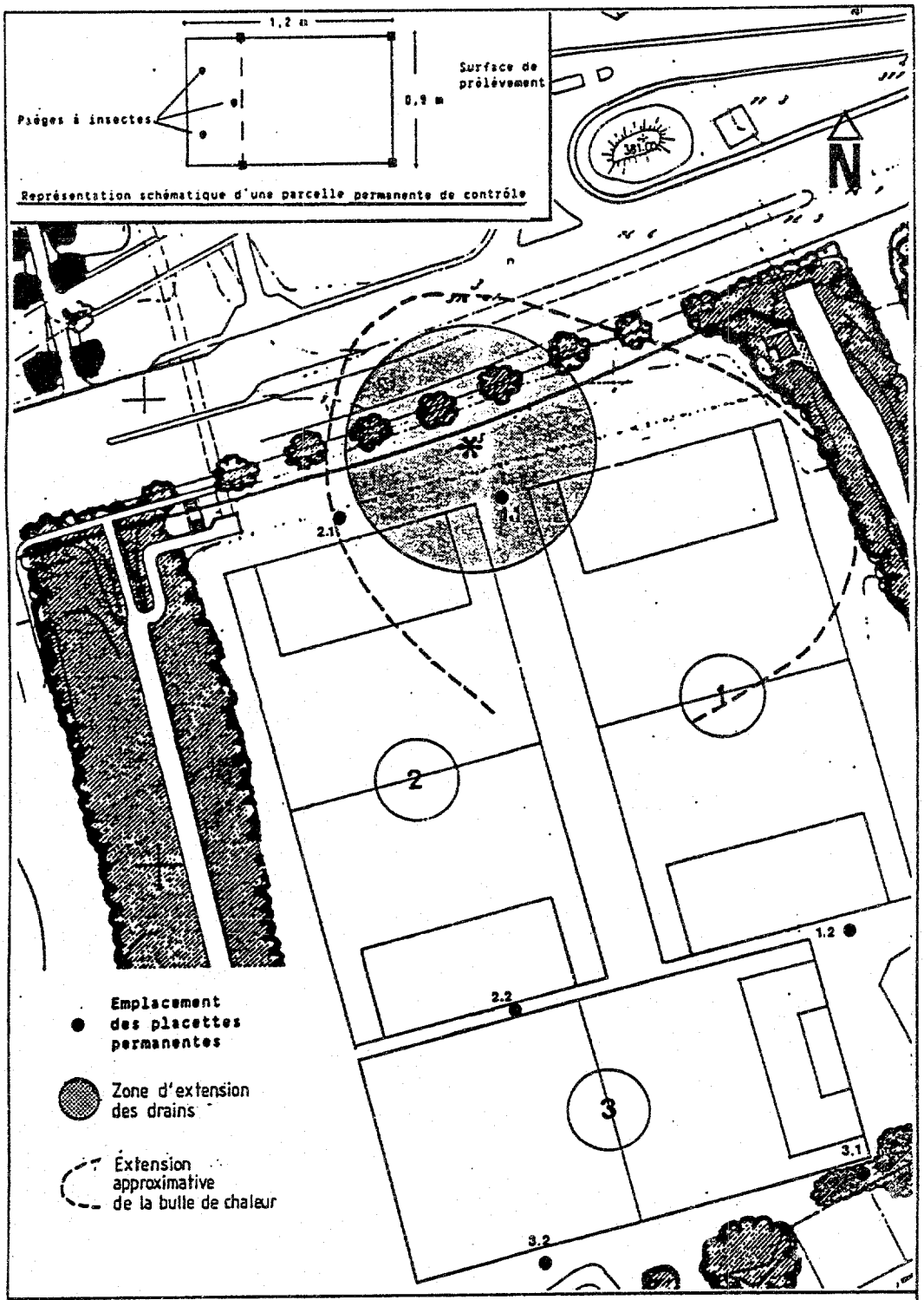
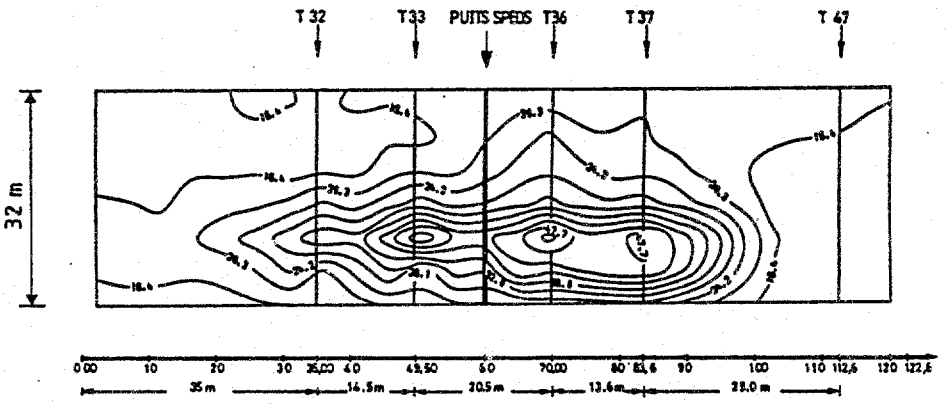


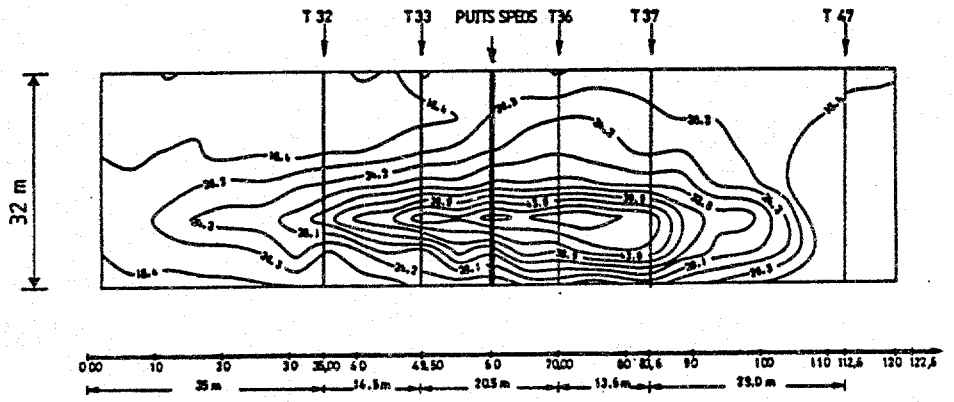
Fig. 1 Situation des parcelles pour le contrôle de la faune et de la flore

IENER N703.597 26.10.1987 Kz/Wl

Fig. 2 Nouvelles représentations de l' état thermique du site SPEOS dans le plan W. E. passant par le puits.

État au 5-6 août 1987

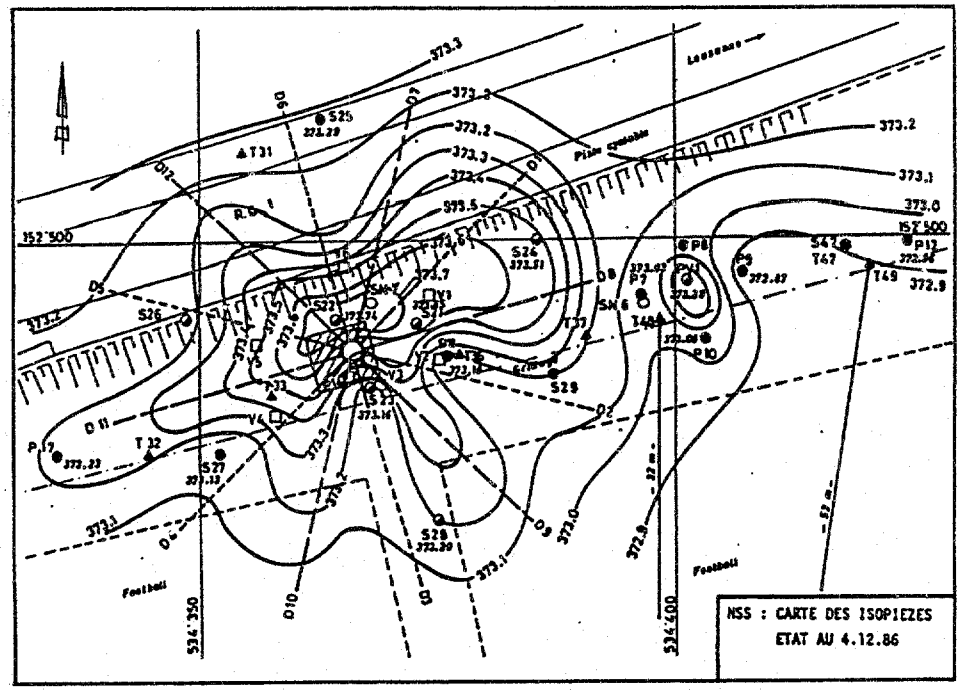


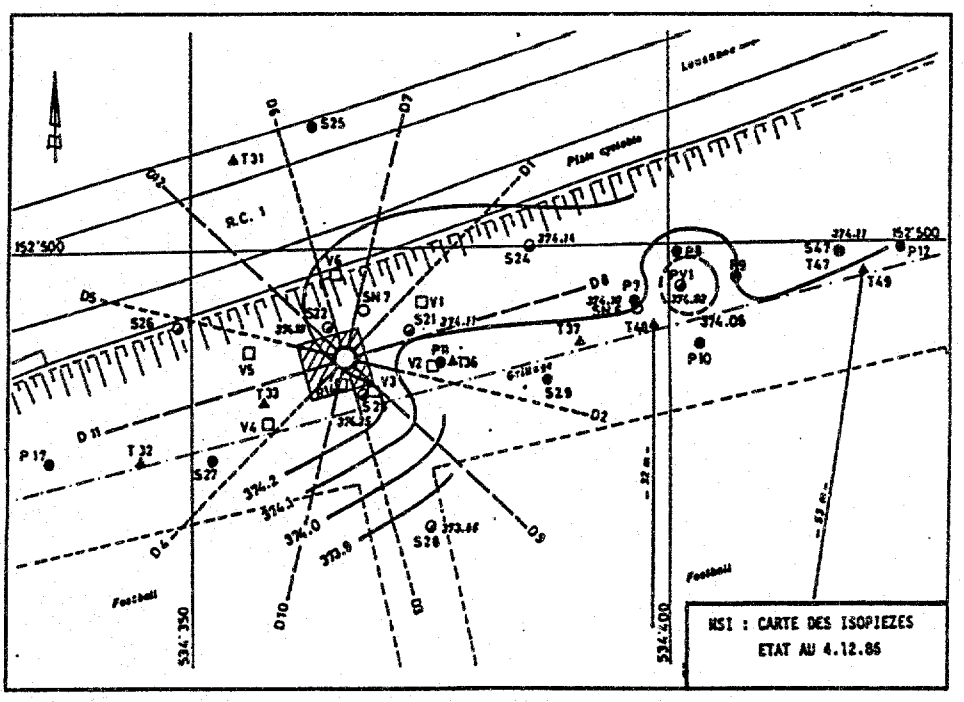


IENER N703. 591

27.10.1987 Vn, Kz / Wl

Fig. 3 Isopièzes des nappes du delta de la Chambronne
Niveau des nappes en [m.s.m]





IENER N703.598

27.10.1987 Kz/Wl

OFEN PROJETS DE RECHERCHE ÉNERGÉTIQUE 1987

BEW ENERGIE - FORSCHUNGS - PROJEKTE 1987

STOCKAGE SAISONNIER DE CHALEUR EN NAPPE SOUTERRAINE, IMPACT SUR L'ENVIRONNEMENT

But du projet: Le projet s'inscrit dans le cadre de l'Agence Internationale de l'Energie. L'exploitation d'ouvrages permettant le stockage d'eau chaude en milieu souterrain pose un certain nombre de problèmes liés à la chimie et à la microbiologie : impact sur l'environnement, tenue des matériaux, évolution des propriétés de l'aquifère, etc... Afin de les résoudre, le projet intègre la modélisation de systèmes, des études en laboratoire, le suivi de pilotes en activité.

Durée du projet: Phase I : de mai 1987 à juillet 1989.
Phase II : indéterminée

Mandataire: Dr. J.-J. Miserez, ICC Ingénieurs Chimistes-Conseils S.A.

Rapporteur: Dr. J.-J. Miserez.

Adresse: Case postale 5039, 2300 La Chaux-de-Fonds

Téléphone: 039 / 23.38.78/79

1. Objectif visés pour 1987

Au plan international, le projet regroupe huit pays membres de l'AIE. Pour résoudre les problèmes chimiques et microbiologiques liés au stockage d'eau chaude dans le sous-sol, un programme en sept points a été développé :

Phase I :

A modélisation des transports de masse biogéochimiques.

B étude in vitro des réactions biogéochimiques eau-substrat impliquant l'élévation de température.

C impact sur l'environnement des systèmes de stockage et processus pour empêcher le colmatage de la nappe ou des installations.

D aspect microbiologique dans le domaine hygiénique et à l'appui des études de corrosion-précipitation de minéraux.

E mise au point de procédés techniques contre la corrosion et le colmatage.

Phase II :

F à grande échelle et sur divers sites, test des procédés techniques élaborés dans la phase I.

G rédaction de directives pour la constitution et la gestion des futurs ouvrages de stockage.

Pour 1987, on a essentiellement eu comme objectif de dresser un inventaire des problèmes posés et d'évaluer la somme des connaissances disponibles pour les résoudre.

Au plan Suisse, notre objectif était de rassembler une équipe multidisciplinaire et d'en coordonner progressivement les travaux en bénéficiant de l'accès au stockage pilote SPEOS (Dorigny/Lausanne). Des géologues, chimistes, biologistes, ingénieurs des hautes écoles, d'offices publiques et de bureaux privés ont été sollicités.

2. Travaux effectués en 1987

Modélisation

Groupe de travail constitué par l'EPFL (IENER, Dr. Saugy), le bureau BSI à Lausanne, l'université de Berne (Institut de Minéralogie, Prof. Engi).

En collaboration principale avec la Hollande et les Etats-Unis, mise en application de la phase préliminaire du programme défini à l'échelon international : modèle hydraulique analytique de SPEOS, modèle thermique en transitoire, esquisse du modèle géochimique et du choix des données thermodynamiques, évaluation et adaptation des moyens de calcul.

Chimie, corrosion, minéralogie

Groupe de travail constitué par l'université de Bâle (Institut de chimie inorganique, PD Dr Seiler), l'EPFZ (Institut d'étude de la corrosion, Prof. Böhni et Dr Rota), l'université de Neuchâtel (laboratoire de Minéralogie (Prof. Kübler), en appui le bureau ICC à La Chaux-de-Fonds.

Etude de la structure métallographique et de la corrosion sur les anciens échangeurs tubulaires utilisés à SPEOS et les nouveaux échangeurs à plaques.

Minéralogie des dépôts formés sur les échangeurs, reprise de l'étude des anciens carottages (sables), prélèvement des suspensions et micro-suspensions de la nappe en vue de leur examen diffractométrique (mise au point de techniques nouvelles).

Poursuite des analyses chimiques permettant de contrôler l'état et l'évolution de la nappe à SPEOS, recherche de nouvelles méthodes de prélèvement dans les piézomètres.

Microbiologie

Groupe de travail constitué par l'université de Neuchâtel (institut de Microbiologie, Prof. Aragno), le laboratoire des Eaux de la ville de Neuchâtel (M. Stettler).

Rencontres de coordination, principalement avec l'Allemagne. Poursuite des analyses bactériologiques d'intérêt sanitaire à SPEOS. Préparation du matériel et définition du programme d'étude in vitro concernant la microbiologie liée à la corrosion et au colmatage (bactéries du fer). Des observations se sont poursuivies à ce sujet sur le site dans le cadre strict du projet SPEOS.

Pour l'ensemble de ces groupes, appui et contrôles de l'EAWAG (par Dr Zobrist).

3. Résultats obtenus en 1987

Depuis 1979 et dès l'élaboration du projet SPEOS des recherches et observations nombreuses, quoique limitées par les moyens disponibles, ont été effectuées dans les domaines chimique, microbiologique et métallographique. Ces travaux ont été relatés dans de nombreux rapports et publications. Le présent projet constitue, de manière coordonnée à l'échelon international, la poursuite et l'approfondissement des études menées jusqu'ici, avec l'élargissement des compétences apportées par de nouveaux collaborateurs.

Par rapport à l'état des connaissances acquises dans le cadre d'exploitation de SPEOS, le nouveau projet de recherche n'a pas encore véritablement apporté des enseignements fondamentaux. Plusieurs travaux n'ont débuté qu'à fin 1987. Nous résumons par conséquent l'acquis après plusieurs années d'exploitation du pilote :

Avant la réalisation du stockage SPEOS, des prévisions relativement pessimistes avaient été faites, impliquant en particulier la précipitation

de carbonates (calcaires) en période de charge et la représentation de gels de silice en décharge suite à l'altération accélérée de certains minéraux de substrat (alumino-silicates).

Durant le premier cycle, le colmatage attendu, tant de la nappe que des échangeurs, a été observé très vite sur les échangeurs, des analyses ont démontré qu'il s'agissait surtout de calcaire, de particules argileuses fines, d'hydroxydes de fer. Le nettoyage des échangeurs et le décolmatage de la nappe ont été effectués par injection d'acide chlorhydrique.

Dès le second cycle et encore actuellement, l'acide chlorhydrique est dosé en continu, avec une dose aussi faible que possible. Cette solution n'est évidemment pas satisfaisante à long terme ni pour l'environnement, ni pour les installations, raison des recherches menées dans l'Annexe VI.

L'évolution du chimisme de la nappe est suivie depuis le début de l'expérience, au moyen de prélèvements réguliers dans les nombreux piézomètres de contrôle.

Les déséquilibres provoqués par les variations de températures sont moins importants en réalité que cela n'était craint. Ils ne compromettent pas la faisabilité d'un tel projet si l'on prend les dispositions techniques adéquates. Reste qu'une inconnue subsiste à plus long terme, d'où l'intérêt d'investigations plus approfondies et la nécessité de modéliser le système, du point de vue géochimique.

Au point de vue microbiologique, les bactéries à caractère pathogène, voire les saprophytes, semblent en grande partie inhibées à haute température. Pour ce qui est des bactéries impliquant le fer, donc la corrosion et le colmatage, le projet AIE VI permettra d'en savoir davantage. Dès la phase de soutirage du second cycle, on a constaté la présence préoccupante d'un nombre important de bactéries ferroxydantes, appartenant principalement aux germes Gallionella et Siderocapsa. Les études vont se poursuivre en laboratoire et sur le site, pour affiner ici aussi les précisions à plus long terme.

Avec les nouvelles recherches engagées, deux points ont particulièrement pu être mis en évidence ou confirmés : d'une part la vulnérabilité des échangeurs à plaque en matière de corrosion, d'autre part le rôle précurseur des suspensions fines dans l'incrustation rapide de ces mêmes échangeurs. On a aussi débuté les tests de nouveaux systèmes destinés à prévenir l'incrustation.

4. Collaboration internationale

Le projet est très bien coordonné à l'échelon international par la Hollande (M. Snidjers). La Suisse a activement participé à quatre réunions d'experts, où le programme a été élaboré, au vu de la synthèse des informations disponibles jusqu'ici. Dans ce contexte, SPEOS, en tant que site parmi les mieux étudiés, revêt une grande importance et sert de référence. Pour éviter toute dispersion, la Suisse ne se concentre que sur certains points des recherches prévues, surtout en collaboration avec l'Allemagne et la Hollande, voire les Etats-Unis.

5. Publications

Principaux documents internationaux avec contribution de la Suisse :

International Energy Agency : Implementing Agreement for a Programme of Research and Development on Energy Conservation through Energy Storage. Annexe VI : Environmental and Chemical Aspects of Thermal Energy Storage in Aquifers and Research and Development of Water Treatment Methods :

- 1 st. Experts meeting - Summary, Amsterdam, January 29 and 30, 1987.
- Subtask B (Bio)geochemical reactions. State of the art report concerning Sampling techniques, experimental equipment and methods of analysis, June 1987.
- Subtask B. (Bio)geochemical reactions. Proposal for an experimental plan, June 1987.
- 2 nd. Experts meeting - Summery, June 25 and 26, 1987, Novembre 1987.
- Subtasks D and E. Microbiologic Processes. Scaling and Corrosion. State of the art report and literature review, November 1987.

Rapports élaborés en Suisse, sans la signature du coordinateur, à l'adresse de l'OFEN :

- Compte-rendus des réunions d'Amsterdam et Stuttgart.
- AIE Annexe VI. Programme et budget pour la Suisse, décembre 1986.
- AIE Annexe VI. Rapports d'activité, programmes en cours et résultats scientifiques à fin 1987, décembre 1987 (ce document contient les premiers résultats fournis par les collaborateurs).

Les séances de coordination suisses font en outre l'objet de procès-verbaux détaillés.

OFEN — Projets de Recherche énergétique 1987

BEW — Energie - Forschungs - Projekte 1987

Aluminium als Energiespeicher, ALU-Brenner

Ziel des Projekts:

Experimentelle Untersuchungen mit Aluminium als Speicherstoff zur saisonalen Speicherung von Sommerstrom-Überschüssen um wirtschaftlich attraktive, ökologisch vertretbare Lösungen des Energiespeicherproblems auf thermochemischem Weg zu finden. Am EIR wird der Entladeprozess des Speicherzyklus untersucht mit dem Ziel, Prozess- und Heizwärme bereitzustellen.

Dauer des Projekts: 1987 - 1989

Beitragsempfänger: EIR

Berichterstatter: Dr. W. Durisch, T. Marti, J. Wochele

Adresse: 5303 Würenlingen

Telephon: (056) 99 26 25, 99 26 35, 99 26 26

3.7

1. Anvisierte Zielpunkte

Im Berichtsjahr wurden folgende Teilziele anvisiert:

i) Entwickeln und Betreiben eines Pulverbrenners der die Verstopfungsprobleme löst, wobei die Wärme- und Pulverauskopplung noch nicht beachtet werden soll. In Pulverform ist Aluminium am einfachsten zu zünden und zu verbrennen.

ii) Erarbeitung eines Konzepts, Entwurf und Konstruktion eines Schmelzbrenners. Beim Schmelzbrenner wird das Aluminium zuerst aufgeschmolzen und dann in den Brennraum verdüst. Vorteile gegenüber dem Pulverbrenner sind die viel einfachere Handhabung des festen Aluminiums und die wesentlich einfachere, energetisch günstigere und billigere Herstellung von festem Aluminium gegenüber Alu-Pulver.

iii) Vorarbeiten und Konzeptstudien der Wärmeauskopplung und der Verbrennungspulver-Abscheidung.

2) Durchgeführte Arbeiten

i) Pulverbrenner : Als erster Schritt wurde der vor drei Jahren abgebrochene Pulverbrenner (Prototyp 3) und Prüfstand wieder aufgebaut und verbessert in Betrieb genommen. Die damit durchgeführten Experimente führten zu weiteren Verbesserungen und zum Bau eines neuen Brenners (Prototyp 4). Die Pulverzuführung erfolgt nun im Zentralrohr. Damit und mit anderen Massnahmen konnten die Verstopfungen in der Pulverzuführung vollständig eliminiert werden.

Gleichzeitig wurde an der Flammentemperaturmessung im Brennrohr gearbeitet. Die sehr hohen Temperaturen (ca. 2200 Grad C) und das sehr feine, überall anhaftende Aluminiumoxid-Pulver (Al_2O_3) verursachen Probleme. Getestet wurde die optische Temperaturmessung (Pyrometer, 2-Farben-Pyrometer). Die Ergebnisse sind nur teilweise befriedigend. Daneben wurde ein Thermoelement-Temperaturfühler entwickelt, welches die Feuerprobe bestanden hat, aber auch noch gewisser Weiterentwicklung bedarf.

ii) Schmelzbrenner : Die Arbeiten am Schmelzbrenner führten zum Bau einer Schmelzlanze mit der die Aufschmelzung und Verdüsung von Aluminium getestet und studiert werden kann. Diese Prüfanlage ist im Aufbau begriffen.

iii) Zur Wärmeauskopplung und Verbrennungspulver-Abscheidung mit Pulverrückgewinnung wurde eine Konzeptstudie durchgeführt und Auslegungsrechnungen gemacht. Diese Rechnungen zeigen, dass die Wärmetauscherflächen und Filtergrössen im vernünftigen Verhältnis zum übrigen Brenner stehen. Der Wärmeaustausch Al_2O_3-Pulver --> Kühlwasser ist durch den hohen Strahlungsanteil und das sehr feine entstehende Al_2O_3-Pulver

(< 1 μm) nicht ganz trivial und wird desshalb durch Literaturrecherche und Computermodellierung vertieft untersucht.

iiii) Im weiteren wurden Arbeiten zum Aluminium -Kreislauf durchgeführt :

a) Wirtschaftlichkeitsvergleich der Produktion und Lagerung von Aluminium und Wasserstoff.

b) Günstigst möglicher Aluminium-Brennstoff.

c) Wirkungsgradabschätzung zur Energie-Kette "Stromerzeugung --> Wärmeproduktion mit Aluminiumbrenner ".

3. Erreichte Ergebnisse

i) Pulverbrenner : Mit dem verbesserten Prototyp 3 konnten wertvolle Erkenntnisse und Erfahrungen gesammelt weden. Die Ablagerungen im Brennrohr wurden lokalisiert und verstanden, die Verstopfung in der Zuleitung erkannt und die Förderstrecke verbessert. Diese Düsenanordnung neigte jedoch nach kurzer Brenndauer zu Ueberhitzung und Verstopfung. Mit dem Einsatz dreier weiterer Düsen und der Schamottierung des Brennrohrs konnte die Brenndauer auf 20 Min. erhöht und einen besseren Ausbrand erreicht werden. Sämtliche Konfigurationen zeigten jedoch starke Ablagerungen im Brennrohr.

Aufbauend auf diesen Erkenntnissen wurde der Prototyp 4 gebaut (Bild 1), die Pulverzuführung neu gestaltet und der Zündung des Start-Gasgemisches grosse Aufmerksamkeit geschenkt. Auf eine gute Austauschbarkeit und Verstellung der wichtigsten Teile wurde besonders geachtet. So lassen sich viele Parameter und Geometrien in einem weiten Rahmen, z.T. während des Betriebs einstellen. Z.B. kann das Pulverzuführ-Rohr selbst bei heisser Brennkammer in ca. 5 Min. durch ein anderes mit verschiedenem Durchmesser ersetzt werden. Mit der neuen Konfiguration lässt sich der Brenner jederzeit problemlos in Betrieb nehmen und reproduzierbare Versuche fahren. Der neue Brenner lässt sich leicht reinigen, ist bedienungsfreundlich, im Betrieb robust, sicher und gutmütig.

Die wesentlichen Erkenntnisse der Experimente sind:

- Eine Schamottierung der Brennkammer löst das Materialprobleme des Brennrohrs, bringt die gewünschte Isolation sowie eine hohe Kammertemperatur.

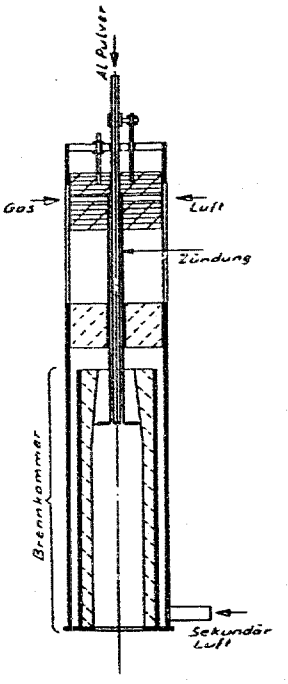


Bild 1 :
Pulverbrenner Typ 4

- Das Zündverhalten des Brenners ist kritisch. Die Zündtemperatur auch der feinsten Aluminiumteilchen liegt bei 1000 und mehr Grad C. Mit der letzten Änderung am Pulverbrenner 4 durch den Einbau einer Stauscheibe und einer durchdachten Luftführung mit Drall, gelang es, das bislang vorhandene Ablagern am Mantelrohr zu beseitigen und die Brenndauer auf 59 Minuten zu erhöhen. Erschwert ist nun die Bildung einer stabilen Flammenfront. Das Beimischen von 5-10 % Gas ergibt sehr gute Ergebnisse und erlaubt den Brenner über Stunden zu betreiben, ist aber nicht das Ziel der Anstrengungen. Ein kleiner Ring am Pulverrohr als Flammhalter, der thermisch möglichst gut abgekoppelt ist, zeigt bis jetzt die günstigsten Resultate. Entscheidend für einen langen Betrieb ist die thermische Stabilität des Flammhalters, sowie seine Selbstreinigungs-Fähigkeit. Bei zu heissem Flammhalter entstehen innere Ablagerungen und der Ring hat eine zu kurze Standzeit, ist er zu kalt, so reisst die Flamme ab. Es gilt nun die optimalen Betriebsparameter zu finden.
- Das entstehende Aluminiumoxid besteht aus sehr feinem Staub (< 1μm). Solange das Al_2O_3 flüssig ist, setzt es sich an jeder Fläche ab, mit der es in Berührung kommt, was zu Verstopfungen führen kann. Unter den Schmelzpunkt abgekühlt (ca. 2000 Grad C.) ist Al_2O_3 wegen der Feinheit nur sehr schwer aus dem Luft- und Gasstrom auszuscheiden.
- Das Al_2O_3-Pulver weisst eine sehr grosse Porosität auf :

Porosität = 1 - (Pulver-Dichte / Al_2O_3-Dichte) = 93 %

Für die Messung der Flammentemperatur gelang es nach etlichen Versuchen durch die richtige Materialwahl ein geschütztes Wolfram-Rhenium-Thermoelement zu entwickeln, welches den hohen Temperaturen im aggressiven Medium der Aluminium-Sauerstoff-Flamme widersteht. Gemessen wurden 2200 Grad C im Zentrum des Flammenkegels. Dieser Wert wurde auch durch optische Messungen bestätigt, wobei man bei den optischen Systemen nicht weiss, wie tief der Messbereich in die Flamme reicht. Für künftige Messungen sind aber noch Verbesserungen nötig, da die Ablagerungen des Al_2O_3-Pulvers auf dem Thermoelemt-Messfühler zu Verfälschungen führt.

iii) Die Konzeptstudie der Wärme- und Produkteauskopplung zeigt, dass die Trockenabscheidung des entstehenden Al_2O_3-Pulvers der wirkungsvollere und günstigere Weg ist als eine Nassabscheidung. Der sehr feine Al_2O_3-Staub erfordert den Einsatz eines Elektrofilters. Im Bild 2 ist eine Variante eines Auslegungskonzepts zur gleichzeitigen Wärme- und Produkteauskoppelung dargestellt. Die ganze Apperatur für einen 20 kW-Brenner wird nicht grösser als 1 x 0.5 x 0.7 m (der Brennrohr-Aussendurchmesser beträgt ca. 200 mm). Ein eventuell nachzuschaltender Katalysator zur NO_x-Reduktion ist in diesem Konzept noch nicht enthalten. Im Wärmetauscher ist der Strahlungsanteil 2 bis 4x grösser als der konvektive Wärmeübergang. Bedingt durch das grosse Temperaturgefälle (ca. 1400 Grad C am Brenneraustritt) ergeben sich relativ kleine Wärmetauscherflächen von 0.2 - 1 m^2. Es scheint vom betrieblichen Standpunkt aus günstig, nach der Verbrennung

Tertiär-Luft beizumischen, um die Temperatur der Verbrennungsprodukte zu senken.

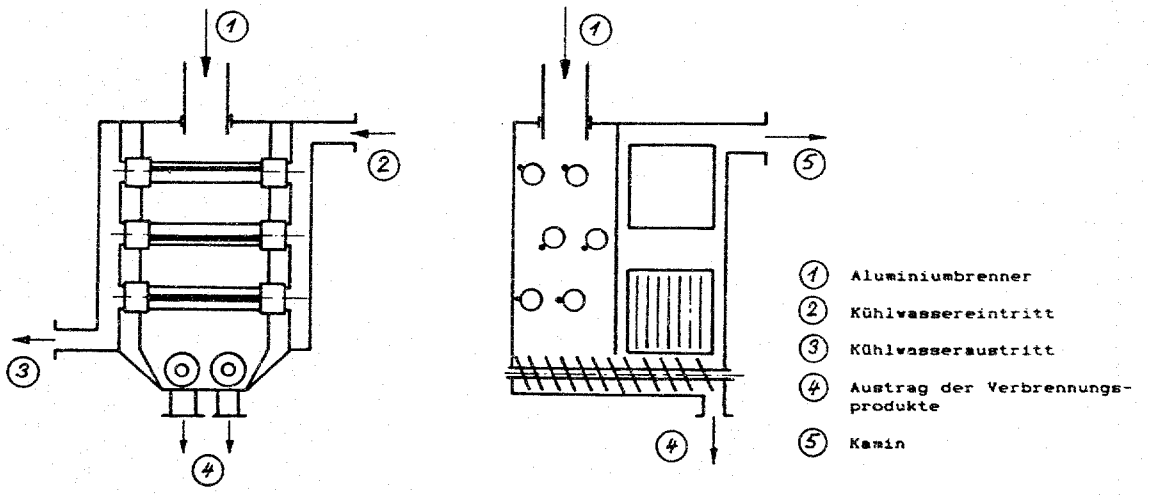


Bild 2 :
Anlagekonzept zur Wärme- und Produkteauskoppelung bei der Aluminiumverbrennung

iiii) a) Die Neuüberprüfung des Wirtschaftlichkeitsvergleichs der saisonalen Speicherung mit Aluminium oder Wasserstoff (Produktion und Lagerung) bestätigt die früher erarbeitete Erkenntnis, dass Wasserstoff günstiger in der Herstellung (besserer Elektrolyse-Wirkungsgrad), hingegen Aluminium in der Langzeit-Lagerung wesentlich besser abschneidet. Bei der heute vorliegenden ungenauen Kenntnis vieler Kostenfaktoren für solche Anlagen kann man keinem der beiden sekundären Energieträger einen entscheidenden Kostenvorsprung zusprechen. Bei Wasserstoff ergeben sich Kosten von 9-23 $Rp/kWh_{chemisch}$ und bei Aluminium liegen sie bei 14-27 $Rp/kWh_{chemisch}$.

b) Aluminium-Schrott stellt den günstigsten möglichen Brennstoff zur Aluminium-Verbrennung dar. Haushalt-Aluminiumabfälle werden mit ca. 4-9 $Rp/kWh_{chemisch}$ gehandelt, Industrie-Aluabfälle, Alu-Schrott mit 12-24 $Rp/kWh_{chemisch}$, währenddem für Heizöl heute 2.9-6.0 $Rp/kWh_{chemisch}$ (35-70 Fr/100kg) bezahlt wird. Damit würde ein gut funktionierender Alu-Brenner unter optimalen Bedingungen sogar konkurenzfähig zu öl, falls die Heizölpreise noch etwas steigen, was längerfristig zu erwarten ist.

c) Eine Wirkungsgradabschätzung der Aluminiumverbrennung über die gesammte Energiekette, von der Stromerzeugung über die Aluminium-Elektrolyse, der saisonalen Lagerung von Alu, der Verbrennung im Alu-Brenner bis zur Bereitstellung von Prozess- und Heizwärme ergibt, je nach Art der Stromquelle 5-10 % für Solarstrom, und bis zu 45 % für Atomstrom. Damit liegen die Alu-Systemwirkungsgrade im gleichen

Bereich wie Systeme, die heute vielfach genutzt werden: Oelheizung (inkl. Förderung) = 73 %, Personenwagen = 17 %, Licht aus Solarzellen = 4.5 %. Höhere Wirkungsgrade als 45 % lassen sich erzielen bei der Verbrennung von Aluminium in Wärmekraftkoppelungs-Anlagen und Einsatz des dabei produzierten Stromes in Wärmepumpen.

6. Neue Forschungsarbeiten

Es wird vorgeschlagen, die Arbeiten an der abbrandfreien Elektrode weiterzuführen, mit der sich weit höhere Elektrolyse-Wirkungsgrade als heute, erzielen liessen. Ein Augenmerk sollte auch der Elektrolyse selbst gelten, die das aus der Verbrennung anfallende, sehr feine Aluminiumoxid verarbeiten soll. Aber auch grundsätzlich neue Prozesse zur Rückgewinnung des Aluminiums aus dem sehr feinen Pulver (etwa im konzentrierten Strahlungsfeld solarthermischer Kraftwerke oder im elektrischen Lichtbogen) sollten studiert und bei aussichtsreichen Lösungsmöglichkeiten gezielt experimentell untersucht werden.

4. SYSTEMES

SYSTEME

OFEN
BEW

PROJETS DE RECHERCHE ÉNERGÉTIQUE 1987
ENERGIE - FORSCHUNGS - PROJEKTE 1987

EXPERTENSYSTEME FÜR PRÄVENTIVE WARTUNG VON WP & BHKW

Ziel des Projekts:

Expertensysteme können in der Haustechnik die Aufgabe übernehmen, aus ständiger Beobachtung heraus die richtigen Wartungsmassnahmen im besten Zeitpunkt auszulösen oder auch eintreffende Alarmmeldungen zu interpretieren. Dadurch wird die betriebliche Zuverlässigkeit gesteigert, was besonders bei energiesparenden komplexeren Anlagen wichtig ist (Wärmepumpen, Blockheizkraftwerke etc.), welche ja unbemannt arbeiten sollen.

Dauer des Projekts: 1.1.1988 - 1.7.1990

Beitragsempfänger:

Berichterstatter: D. Maurer

Adresse:

Telephon: 01 256 36 49

Prof. Dr. P. Suter
Institut für Energietechnik
Laboratorium für
Energiesysteme
ETH-Zentrum
8092 Zürich

4.1

Expertensystem für präventive Wartung und Alarminterpretation in der Haustechnik (Phase 1: Wärmepumpe/Kältemaschine)

1. Situation

Mit der Expertensystem-Technologie ist in den letzten Jahren ein neues Werkzeug propagiert worden. Für Industrie und Handel sind bereits nutzbringende Anwendungen entwickelt worden. Viele Probleme in diesem Zusammenhang sind zur Zeit Gegenstand von Forschungs- oder bereits Entwicklungsarbeiten.
Auf dem Gebiet der Haustechnik sind Expertensysteme noch wenig verbreitet. Allerdings zielen einige Projekte auf Anwendungen für Planungswerkzeuge oder auf intelligente Leitsysteme ab.

2. Ziele

In einer Projektvorphase sollte abgeklärt werden, welche Möglichkeiten der Expertensystem-Technologie im Rahmen der Haustechnik offen stehen. Dabei sollen die Fähigkeiten von kleinen, PC-gängigen Shells untersucht werden. Als Shell bezeichnet man die Rahmensoftware für ein Expertensystem. Diese beinhaltet sowohl ein Entwicklungssystem wie auch einen Schlussfolgerungsmechanismus.
Auf der Seite der Haustechnik sollen Anwendungsgebiete gefunden werden, welche die geforderten Randbedingungen möglichst gut erfüllen können.
Es sollen Gespräche für eine projektbezogenen Zusammenarbeit mit einem Industriepartner geführt werden.

3. Durchgeführte Arbeiten

Bevor ein Projekt formuliert werden konnte, das in eine noch wenig erforschte Richtung stossen will, waren umfangreiche **Vorarbeiten** nötig:

- Im Rahmen einer Diplomarbeit wurde ein Konzept für ein Expertensystem zur Förderung haustechnischer Sanierungen (SANEX) vorgeschlagen und teilweise realisiert. Um Erfahrungen zu gewinnen wurde dieses Konzept anschliessend zu einem Demonstrations-Prototyp ausgebaut.

- Zu den Themen Expertensysteme und Wissenserwerb (knowledge engineering) musste intesives Literaturstudium betrieben werden.

- Ausgewählte Probleme von Expertensystemen für den technischen Bereich wurden näher beleuchtet. Dazu gehören:

  + Kausale Netze und ihre Bearbeitung mit der einfachsten Strategie ("depth-first").
  + Umgang mit unsicheren bezw. unvollständigen Datensätzen und damit verbunden mit mehrwertiger Logik.
  + Abarbeitung einer Wissensbasis ohne Meta-Wissen (d.h Kontrollwissen zur Ablaufsteuerung).

- Abklärung des Einsatzes von Expertensystemen auf PCs.

- Literatur-Recherchen über bisherige Arbeiten und Projekte für Expertensysteme im Rahmen der Haustechnik oder verwandten Gebieten.

4. Ergebnisse

Aus den Entwicklungsarbeiten für den Demonstrations-Prototyp von SANEX mit der Shell "Intelligence/Compiler" konnten Erkenntnisse gewonnen und Anforderungen an eine Shell formuliert werden, die allgemein für technische Expertensysteme auf PCs Gültigkeit haben:

- Die Wissensbasis muss strukturierbar sein, so dass im Bedarfsfall nur Teile davon im Hauptspeicher resident sein müssen.
- Expertensysteme werden in der Regel erst dann voll ausbaubar, wenn einerseits die Speicherplatz-Beschränkungen aufgehoben oder umgangen werden können und andererseits die Laufzeiten in einem vernünftigen Rahmen liegen.
- Damit die potentiellen Zeitgewinne bei der Entwicklung ausgenützt werden können, ist die Möglichkeit des "rapid prototypings" mit inkrementeller Kompilation unerlässlich.
- Auch wenn Expertensysteme grundsätzlich regelbasiert aufgebaut sind, sollten sie für technische Anwendungen das prozedurale Paradigma in genügender Weise berücksichtigen.
- Zudem muss ein Werkzeug, das recht einseitig auf symbolische Datenverarbeitung ausgerichtet ist, ein gutes Interface zum Betriebssystem, zu externen Programmen, Sprachen und Datenbanken aufweisen, damit ein hybrides Programmsystem realisliert werden kann.

Die Fachliteratur zeigt die Möglichkeiten der Expertensystem-Technologie auf. Dabei wird aber stets betont, dass nur Wissensgebiete mit speziellen Voraussetzungen und Randbedingen eine Aussicht auf Erfolg haben. Es wird mittlerweilen anerkannt, dass der Wissenserwerb und die computergerechte Formulierung - entgegen den Aussagen der Werbung - eine sehr anspruchsvolle Aufgabe darstellt. Verschiedene Ansätze behandeln ein problemgerechtes Vorgehen. Weil die Möglichkeiten der Wissensrepräsentation in den verschiedenen Sprachen und Shells doch recht unterschiedlich sind und die Wissensstrukturen von Gebiet zu Gebiet sehr stark variieren, können keine direkten Progammiervorschläge gemacht werden. Dafür werden aus den gemachten Erfahrungen mögliche Klippen bei der Entwicklung eines Expertensystems aufgezeigt.
Aktuelle Fachzeitschriften publizieren regelmässig vergleichende Studien über die im Handel erhältlichen Shells und deren Fähigkeiten. Dabei ist festzustellen, dass PC-gängige Shells immer mit einigen gravierenden Einschränkungen versehen sind und zudem meistens nicht die geforderte Offenheit des Systems aufweisen.
Ein Kurs "Programmieren für Anwendungen der künstlichen Intelligenz" vermittelte neben einer intensiven Einführung in die Sprache LISP auch einen Ueberblick über die Möglichkeiten und Grenzen der KI sowie über den Stand der Anwendungen im In- und Ausland.

Für Expertensysteme im technischen Bereich stellen sich einige Probleme, die grundsätzlich geklärt werden müssen, bevor das Wissen überhaupt strukturiert werden kann.
Technische System können wegen der Abhängigkeit einer Systemkomponente von vielen anderen nur schwer verbal formuliert werden. Deshalb werden sie auf dem Papier oft als kausale Netze dargestellt. Kleinere Shells können diese Darstellung aber nicht übernehmen, weil sie nicht für Schlussfolgerungen in einem Netz ausgelegt worden sind. Sie sind wegen der "depth-first"-Strategie nicht fähig, die zu Zeitpunkt maximal möglichen Folgerungen zu ziehen und bahnen sich deshalb oft unnötig komplizierte Beweiswege. Die Gefahr eines zirkularen Beweises wird z.T. selbst erkannt und abgewendet. Für spezielle Fälle mit vollständig vorliegendem Datensatz konnten mit einigen Tricks doch Diagnoseaufgaben in einem kausalen Netz gelöst werden. Allerdings hat sich dabei der Programmieraufwand vervielfacht und die Uebersichtlichkeit der Wissensbasis stark verschlechtert. Für einen konkreten Fall muss speziell abgeklärt werden, ob sich dieser Aufwand lohnt oder ob ein kausales Netz für jede Fragestellung je aufgeschnitten und als hierarchsche Struktur dargestellt werden soll. Eine andere Lösung bietet der Einbau von Meta-Wissen (d.h. Kontrollwissen über das Wissen). Diese Möglichkeit wird leider nur von wenigen Shells geboten.
Eine weitere Fragestellung ergibt sich aus der Verarbeitung von unvollständigem und unsicherem Wissen. Je nach Shell sind Möglichkeiten einer mehrwertigen Logik (z.B. Bewertung einer Aussage mit wahr / falsch / unbekannt) vorhanden.

Aus den obigen Erkenntnissen und den Hinweisen aus der Literatur lassen sich weitere Aussagen über die Möglichkeiten von Expertensystemen auf PCs ableiten:

- Anwendungen auf PCs sind dann möglich, wenn schon eine kleine Wissensbasis gute Resultate liefern kann, wenn das Wissen vorallem symbolisch ist und somit wenig numerische Operationen durchgeführt werden müssen oder wenn mit relativ wenig Wissen eine Datenbank sinnvoll abgefragt werden kann.
- Für die Bearbeitung von kausalen Netzen und für die Möglichkeit von vom Programmierer steuerbaren Schlussfolgerungs-Strategien sind die meisten Shells nicht vorgesehen.
- Universelle Shells gibt es weder für PCs noch für grössere Maschinen. PC-Shells sind meist aber nur je für einige wenige Anwendungsfälle geeignet, während grössere Tools viel mehr Möglichkeiten zur Verfügung stellen.
- In Zukunft werden die PC-Shells stark an Bedeutung gewinnen. Dies kann ausgesagt werden, weil mit den zukünftigen PC-Betriebssystemen (d.h. mit OS/2) die bisher sehr einschränkende Grenze von 640KB Hauptspeicher wegfallen wird. Zudem werden die Rechengeschwindigkeiten gegenüber den bisherigen Maschinen weiter erhöht werden. Es ist zu erwarten, dass durch den Wegfall dieser gewichtigen Nachteile PC-Shells auf den Markt erscheinen werden, die viel mehr Unterstützung und Möglichkeiten für den "Knowledge Engineer" bieten werden als die bisherigen.

Um auf der Seite der Haustechnik herauszufinden, wo Expertensystem-Technologie bereits eingesetzt und wo allenfalls geforscht wird, wurde nach entsprechenden Veröffentlichungen recherchiert. Dabei sind For-

schungsarbeiten in zwei Kategorien gefunden worden:

- Wissensbasierte Systeme für Haustechnik-Planer, z.B. Auswahl des richtigen Wärmepumpen-Typs.
- Ueberwachung von Energiebilanzen in einem Gebäude durch Vergleich mit Simulationsrechnungen.

Daneben wird z.B. im Rahmen der IEA (BEMS, Annex 17) darüber ausgetauscht, wie ein intelligentes Leitsystem (Building Energy Management System) auszusehen hätte.
Im Bereich der Expertensysteme für die Haustechnik befindet man sich allgemein noch im Forschungs- und Entwicklungsstadium.

Aus Gesprächen mit Vertretern der Industrie ergab sich eine Zusammenarbeit mit einer Firma, die bereits eigene Erfahrungen auf dem Gebiet gemacht hatte und diese auch ins Management einfliessen liess.
Das Projekt behandelt das Gebiet der präventiven Wartung und Alarminterpretation zunächst am Beispiel der Aggregate Wärmepumpe und Kältemaschine, später an Blockheizkraftwerken.

OFEN PROJETS DE RECHERCHE ÉNERGÉTIQUE 1987

BEW ENERGIE - FORSCHUNGS - PROJEKTE 1987

160 kW WIND-BIOGASANLAGE MARTIGNY

Ziel des Projekts:

Bau, Inbetriebnahme und Ausmessen eines grossen Windkraftwerkes von 160 kW Leistung und eines Biogas-Motors von 130 kW Leistung, um den Eigenbedarf der Kläranlage Martigny von rund 60 - 70 kW im Inselbetrieb zu decken. Um das Betriebsverhalten der Anlage zu optimieren, wurde ein automatisches Datenerfassungssystem installiert. Das Ziel des Projekts besteht darin, das operationelle Verhalten einer Wind/Biogas-Kraftwerkskombination im Inselbetrieb zu untersuchen. Dazu wurde ein 160 kW Windkraftwerk, ein 130 kW Biogasmotor, eine 160 kW Hilfslast und ein übergeordnetes Regel- und Datenerfassungssystem auf der Kläranlage von Martigny installiert. Die Anlage soll, nach einer Versuchsphase des Parallelbetriebes mit dem Netz, die Kläranlage als Inselanlage autonom betreiben. Von Interesse ist das Zusammenspiel eines windgeregelten Kraftwerkes mit einem Diesel- bzw. Biogasmotor.

Dauer des Projekts: 28. Februar 1988

Beitragsempfänger: Alpha Real AG und die vertraglich geregelten Unterauftragsempfänger wie CREM Martigny, EPFL, ETHZ, Elektrowatt

Berichterstatter: M. Real

Adresse: Feldeggstrasse 89, 8008 Zürich

Telephon: 01 / 251 54 51

Einleitung

Das Projekt 'Wind/Biogas-Kraftwerk' ist Teil des schweizerischen Beitrags im Rahmen des 'IEA WECS, R&D Annex VIII - Subtask B'-Programmes der Internationalen Energieagentur. Dieses Programm hat zum Ziel, das operationelle Verhalten diverser Wind/Diesel-Systeme zu untersuchen.

Der Schweizer-Beitrag zum Projekt umfasst in einer innovativen Abwandlung des Forschungsthemas die Untersuchung über das Verhalten des operationellen Zusammenspiels eines Windkraftwerkes mit einem Biogasmotor, welcher mit dem in der Kläranlage von Martigny produzierten Klärgas betrieben wird.

Die Gemeinde Martigny hat als Bauherrin das Projekt zusammen mit der Alpha Real AG mitfinanziert und zeichnet sich gleichzeitig verantwortlich für die Gesamtprojektleitung. Die Alpha Real AG ist für die Lieferung des Windkraftwerkes, für die gesamte Datenerfassung und das Forschungsprogramm zuständig. Bau und Betrieb des Gasmotors werden durch die Services Industriels von Martigny geleitet. Die Forschungsarbeiten werden unterstützt durch das Centre de Recherche Energétique de Martigny (CREM) und die ETH Lausanne (LEME-EPFL). Die Koordination und Leitung eines Projektbegleitungskomitees obliegt dem Bundesamt für Energiewirtschaft (BEW). Eine begleitende Untersuchung über die mechanischen Belastungen am Windkraftrotor wurde vom Nationalen Energieforschungsfond (NEFF) unterstützt.

1. Anvisierte Zielpunkte für 1987

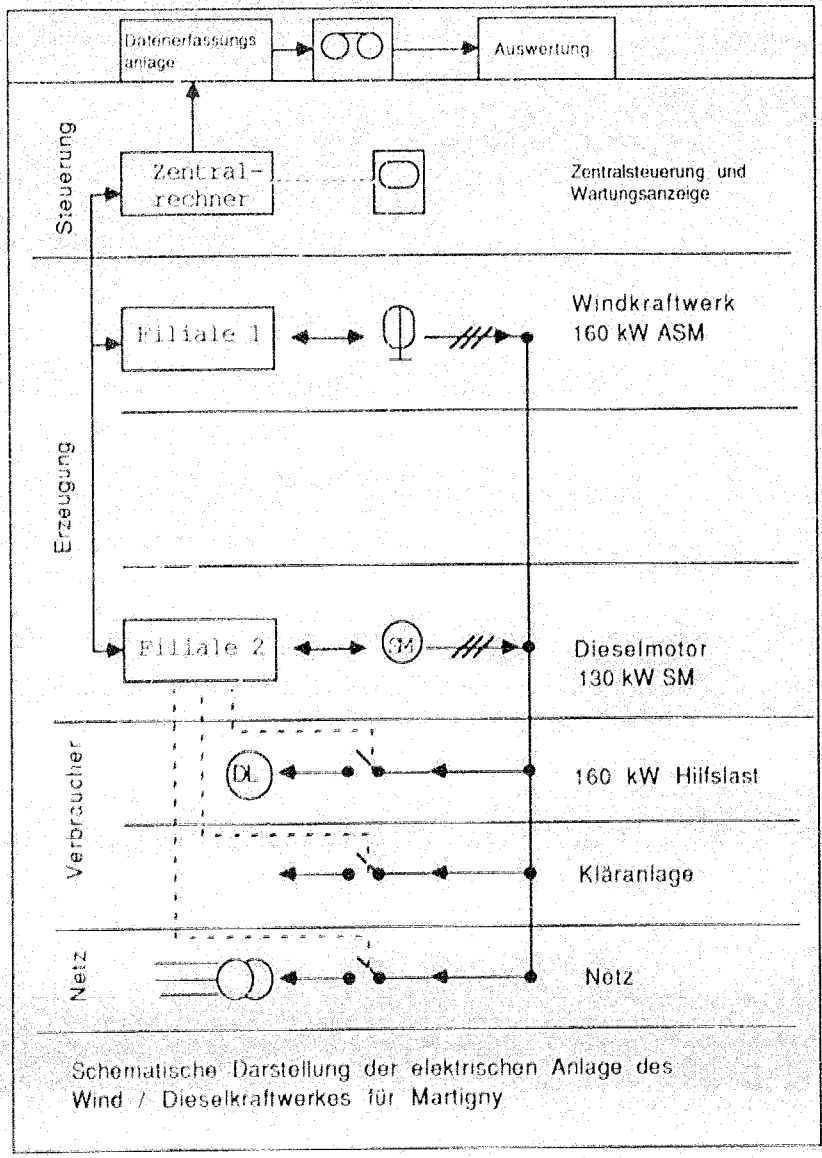
Für 1987 war vorgesehen:

- Das Windkraftwerk zu errichten, mechanisch auszumessen, in Betrieb zu setzen, die Mikroprozessor-Steuerung zu installieren und den operationellen Betrieb zu optimieren,
- die Datenerfassungsanlage im Kontrollsaal der STEP (Kläranlage) zu installieren und mittels einer störungsunempfindlichen Faseroptikübertragungsleitung mit dem Kraftwerk zu verbinden und in Betrieb zu setzen,
- den Biogasmotor zu installieren und in Betrieb zu setzen,
- eine Zusatzlast für Ueberschussenergie elektrisch und hydraulisch zu montieren,
- für diese Zusatzlast eine Steuerung zu bauen in Funktion der Regelcharakteristik des Biogasmotors, welche bis dato unbekannt ist und vor Ort ausgemessen werden muss,
- die beiden Kraftwerke während etwa je drei Monaten am Netz laufen zu lassen, um das operationelle Verhalten studieren und im Millisekundenbereich ausmessen zu können,
- die Kläranlage im Inselbetrieb, d.h. losgelöst vom öffentlichen Netz, während einer Versuchsphase zu betreiben und erste operationelle Erfahrungen zu sammeln.

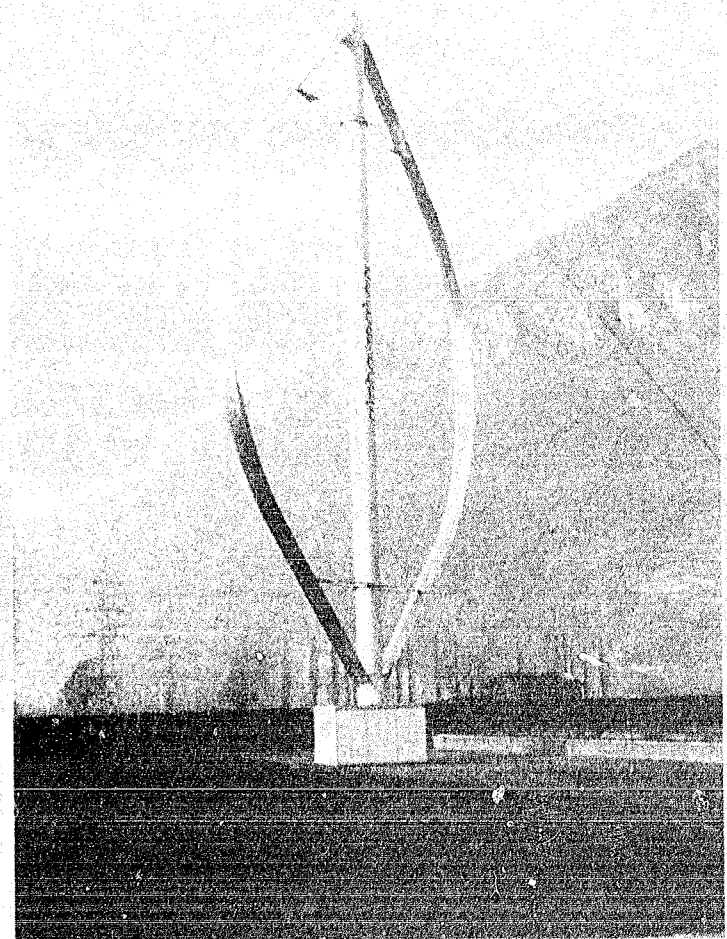
2. Durchgeführte Arbeiten

Folgende Arbeiten konnten durchgeführt werden:

- Montage des Windkraftwerkes und Ausmessen der mechanischen Belastungen während einer fünfmonatigen Inbetriebsetzungsperiode,
- Inbetriebnahme der Mikroprozessorsteuerung und erste Optimierungsschritte in der Steuerung,
- Montage der Datenerfassungsanlage im Kontrolliraum der STEP und Inbetriebnahme der Faseroptik-Uebertragungsleitung und der automatischen Datenerfassungsanlage,



Schematische Darstellung der elektrischen Anlage des Wind / Dieselkraftwerkes für Martigny



Aufnahme des 160 kW Windkraftwerkes von Martigny

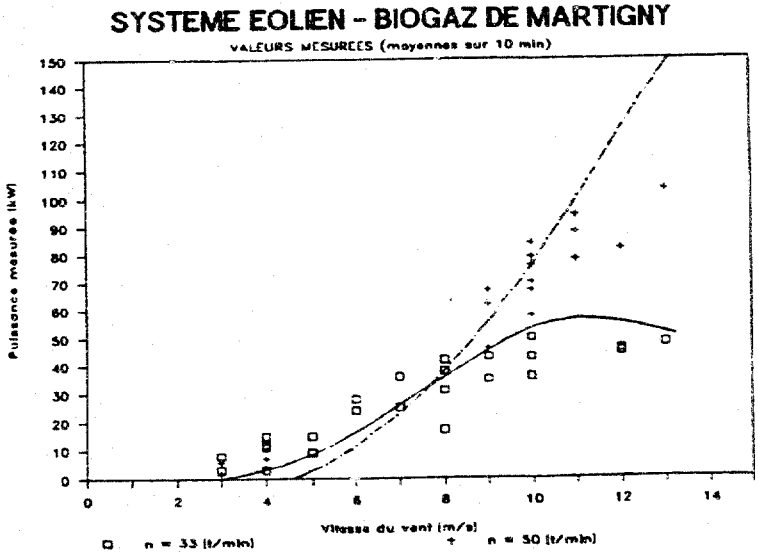
alpha real ag

- Montage des Biogasmotors,
- Montage der Hilfslast ohne Steuerung,
- Beginn der operationellen Betriebsphase des Windkraftwerkes mit entsprechenden Unterbrüchen für Mess- und Optimierungsarbeiten,
- Entwurf für ein Messprogramm,
- Abschluss und Regelung sämtlicher Unteraufträge,
- Teilnahme an IEA-Sitzungen und Verfolgen der Arbeiten der IEA-Partner.

3. Erreichte Ergebnisse

3.1. Zusammenfassung

- Das Windkraftwerk, die Steuerung und die Datenerfassungsanlage arbeiten entsprechend den Spezifikationen, vorbehältlich einiger mechanischer Mängel, welche im Laufe des Frühjahrs 1988 durch einen Unterlieferanten als Garantiearbeit behoben werden müssen.
- Die mechanischen Belastungen konnten mittels ca. 50 DMS-Sensoren und einer mit dem Rotor mitrotierenden PCM-Anlage sehr zuverlässig erfasst werden. Die Auswertungen sind bis Ende Februar abgeschlossen.
- Die Power Curve des Windkraftwerkes wurde vorerst für einige Punkte evaluiert. Eine genaue Messreihe muss noch durchgeführt werden, aber die ersten Erhebungen des CREM lassen den Schluss zu, dass die angegebene Wind-Leistungskurve eingehalten wird. Für höhere Windgeschwindigkeiten wurden Werte von 250 kW gemessen.
- Der Biogasmotor wurde installiert, ebenso die elektrischen Schaltschränke für die neue Starkstrom-Kabelführung. Erste Vorversuche wurden durchgeführt, wobei festgestellt wurde, dass eine Druckanpassung des Klärgases notwendig ist.



Darstellung der ersten gemessenen elektrischen Leistungsdaten, die automatisch erfasst wurden.
Die Kurven stellen die gerechnete mechanische Leistung an der Welle dar (LEME/ETH-Lausanne)

3.2 Montage des Windkraftwerkes

Die Montage des Windkraftwerkes erfolgte im Januar/Februar 1987. Nach beendeter Montage wurden während fünf Monaten gezielte Messeinsätze vor Ort als Bestandteil der Inbetriebsetzung durchgeführt.

Die Montage an sich verlief programmgemäss, mit Ausnahme zweier Lieferfehler des Drehmastherstellers. Die beiden Vorkommnisse waren ärgerlich, führten sie doch zu Verzug in der Montage. Die Fehler wurden jeweils direkt während der Montage behoben.

Verzug bei der Lieferung des Generators und bei der Fertigstellung der Steuerung bewirkten, dass die Anlage erst am 25. Mai 1987 zum erstenmal automatisch arbeiten konnte und Energie abgab. Modifikationen an der Steuerung und eine dreimonatige Messphase folgten vor der Freigabe zum automatischen Betrieb Ende August.

Bedingt durch einen Lieferfehler des Getriebelieferanten verliert das Zwischenlager zwischen Mast und Getriebe Oel, so dass das Oelniveau ständig kontrolliert werden muss. Der Fehler wird als Garantiefall im Frühjahr 1988 behoben. Dazu ist allerdings eine Demontage des Rotors notwendig.

Als eines der letzten Probleme der Steuerung bleibt noch die Behebung eines häufig auftretenden Fehlers in der Drehzahlmessung, welche wiederholt zu einer Bremsung der Anlage geführt hat und einen Check des Operateurs bedeutet, (Fehlerkontrolle am Display).

In der Anlage von Martigny wurde neu, gegenüber der Versuchsanlage von Fahy, eine Torsionswelle zwischen Windrotor und Generator eingebaut, um die dynamisch induzierte Leistungspulsation derart zu glätten, dass der elektrische Power Output konstant ist. Dies ist denn auch sehr gut gelungen. Messungen an der Torsionswelle und am Generatorausgang haben unabhängig voneinander bestätigt, dass die Pulsation weniger als 5% beträgt. Sollte dieser Wert für den Inselbetrieb noch immer ein Problem darstellen, ist die Montage eines Schwungrades auf dem 2. Wellenende des Generators vorgesehen. Die Eigenschwingungen des Systems 'Generator-Getriebe-Torsionswelle-Windrotor' entsprechen den Berechnungen. Unerwartet hohe Schwingungsamplituden wurden vor allem beim Abbremsen registriert. Dies hat als erste Massnahme dazu geführt, die mechanische Ueberdrehzahlüberwachung und Bremsauslösung nochmals zu modifizieren. Weitere Möglichkeiten, die Häufigkeit starker Anregung der Torsions-Eigenschwingung zu unterdrücken, besteht in der Art der Bremseinleitung durch die Mikroprozessorsteuerung und wird zur Zeit untersucht.

Die Montage und Inbetriebsetzung des Biogasmotors erlitt durch Lieferverzug eine dreivierteljährige Verspätung. Bei der Inbetriebsetzung zeigte es sich, dass der Gasdruck im bestehenden Rohrsystem zu stark zusammenfällt. Deshalb wird gegenwärtig nachträglich ein Verdichter eingebaut, welcher den erforderlichen Gasdruck aufrechterhalten soll.
Da der Motorenhersteller nicht in der Lage ist, eine genaue Regelcharakteristik des Gasmotors zu geben, muss diese ausgemessen werden, bevor der Regler der Hilfslast und der Zentralregler ausgelegt werden können. Zwischen der Uebergabe der Information der Regelcharakteristik des Biogasmotors und der Erstellung des Reglers dürften etwa 3 Monate einzurechnen sein, womit der Beginn des eigentlichen Inselbetriebs der gesamten Versuchsanlage auf Frühjahr 1988 hinausgezögert wird.

Die Abwärme des Gasmotors und der Hilfslast werden zum Beheizen der Gebäude der Kläranlage und der Klärbecken verwendet. Die recht aufwendigen Kreisläufe wurden fertig montiert, aber noch nicht getestet.

Das Schema zeigt die elektrische Vermaschung der Anlageteile und die Datenerfassungsanlage. Der Transfer der Daten zum CREM bzw. zur LEME-EPFL wurde erfolgreich getestet und eine erste Datenvisualisierung wurde durchgeführt. Allerdings zeigt das Programm der Datenerfassungsanlage noch einige Kinderkrankheiten, welche nun aber alle durch die Alpha Real AG behoben werden.

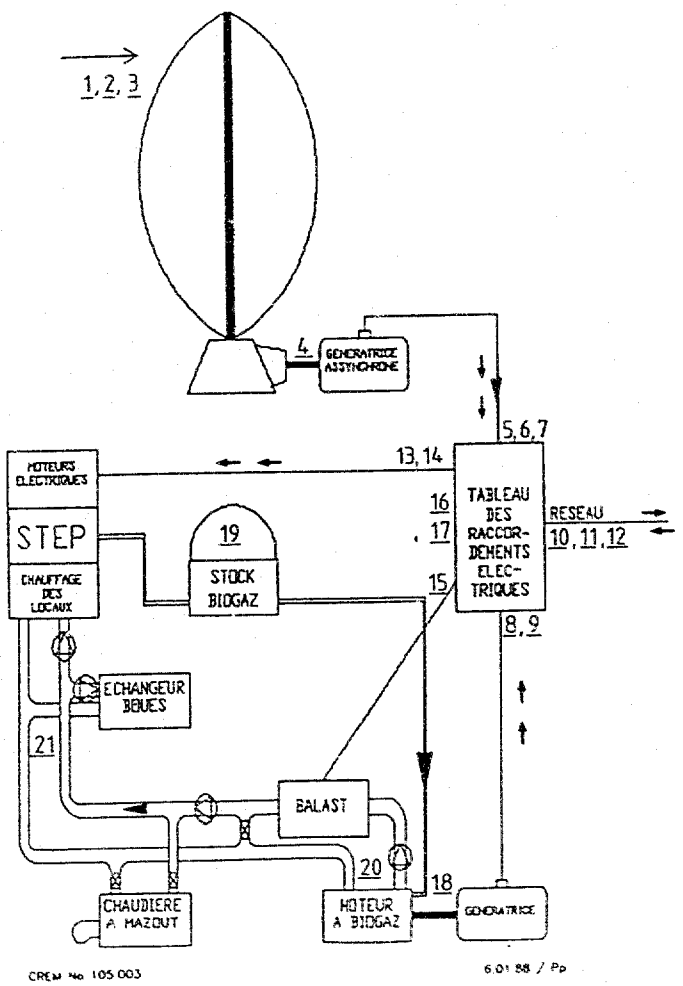
4. Vergleich des Standes des schweizerischen Beitrages zu den anderen Teilnehmerländern

Das schweizerische Projekt weist einige Besonderheiten auf, die erwähnenswert sind:

- Das Projekt ist im Leistungsbereich mehr als doppelt so gross wie irgend ein anderes Wind/Diesel-Projekt,
- das Projekt ist einem wirklichen Nutzniessser und einer reellen Last angeschlossen, wogegen alle anderen Projekte simulierte Last- und Betriebsverhältnisse im Indoor-Versuch zeigen,
- das Projekt verwendet modernste Steuerungskonzepte mit entsprechenden eigenständigen Regelkompetenzen in den verschiedenen Steuerungs-Filialen und störungsfreie Faseroptik-Verbindungen zur Leitzentrale und Datenerfassung,
- die Abwärme des Motors und der Hilfslast wird im Gesamtsystems wieder verwendet,
- von staatlicher Seite werden im Vergleich zu anderen Mitgliedländern des IEA-Projektes bedeutend weniger Mittel für das Projekt aufgewendet.

Vereinfachend, in Bezug auf das Energiemanagement und die Blindstromregulierung, ergibt sich das Einverständnis des Betreibers, der Services Industriels von Martigny, den Biogasmotor immer laufen zu lassen.

Zeitlich gesehen liegt das Projekt Martigny etwa in der Mitte: Einige Mitgliedländer verfügen schon über mehrjährige Versuchserfahrung (zum Teil auch negative in Bezug auf das realisierte System) und andere haben noch nicht einmal mit der Realisierung begonnen.



Schematische Darstellung der thermischen und elektrischen Energieflüsse des Wind/Biogas-Kraftwerkes auf der Kläranlage von Martigny.

OFEN PROJETS DE RECHERCHE ÉNERGÉTIQUE 1987

BEW ENERGIE - FORSCHUNGS - PROJEKTE 1987

MEERWASSERVERDAMPFUNGSVERFAHREN FÜR INDUSTRIEABWASSER

Ziel des Projekts: Im KWF-Projekt Nr. 1323 wird versucht, die für Meerwasser entwickelten selbstregulierenden Entspannungsverdampfer auf andere Anwendungsbereiche (Industrieabwasser, Natronlauge, Blutabwasser als Nebenprodukt der Kraftfutterherstellung) auszudehnen.
Die unter diesem Forschungsprojekt bisher gesammelten Ergebnisse haben uns erlaubt, eine Gross-Pilotanlage zu bauen, deren Inbetriebnahme bis im Frühling 88 abgeschlossen sein wird. Dabei stellen sich die Fragen der Schaumbildung, der Destillatreinheit, der Verdampfungsstabilität und des schlechten k-Wertes der Kondensatoren in besonderer Weise.
In diesem Bericht soll genauer auf die Problematik der Destillatreinheit und der Verdampfungsstabilität eingegangen werden.

Dauer des Projekts: 1 Jahr

Beitragsempfänger: Prof. Dr. P. Suter
Institut für Energietechnik
Laboratorium für
Energiesysteme
ETH-Zentrum
8092 Zürich

Berichterstatter: F. Aellen

Adresse:

Telephon: 01 256 36 43

1. Anvisierte Zielpunkte für 1987

Es werden vor allem zwei Schwerpunkte untersucht, nämlich der Zweiphasendruckverlust im senkrechten Verdampfungsrohr (Diffusor) einer Entspannungsverdampferstufe (MSF) und die Verschmutzung des Destillats durch das Mitreissen von Flüssigkeitsteilchen im Brüdenraum.

Der Zweiphasen-Druckverlust ist von wichtiger Bedeutung für ein stabiles Fahrverhalten einer MSF-Verdampferstufe. Verschiedene mathematische Modelle (Schlupfmodell) werden vorerst betrachtet und ihre Gültigkeit mit späteren Druckabfall-Messungen verglichen. Bei kritischen Betriebsbedingungen (unstabiles Verhalten der Verdampferstufe bedingt durch einen zu kleinen Zweiphasen-Druckabfall) soll ausserdem der Einsatz des Rückstromkanals experimentell untersucht werden.

Die im Brüdenraum aufgeschleuderten Tröpfchen werden vom entweichenden Dampf mitgerissen und verunreinigen dadurch das Kondensat. Verschiedene Möglichkeiten sollen untersucht werden, die es erlauben, den Anforderungen betreffend der Destillatreinheit gerecht zu werden.

2. Durchgeführte Arbeiten

Messungen des gesamten Druckabfalles über dem senkrechten Verdampfungsrohres haben gezeigt, dass bei bestimmten Betriebszuständen (hohe Massenstromdichte, tiefes Vakuum) von einem Einbau eines Rezirkulationkanals abgesehen werden kann. Der Druckabfall durch die Zweiphasenströmung ist ausreichend gross, um das Flüssigkeitsniveau in der Vorstufe halten zu können. Der Querschnitt der Verdampferstufe kann somit verkleinert werden.
Bei sogenannten kritischen Strömungszuständen (kleine Massenstromdichte, hohe Eintrittstemperatur) ist jedoch der Einbau eines Rezirkulationskanals erforderlich. Der Rezirkulationskanal dient dazu, unabhängig vom Strömungsbild im Diffusor, einen konstanten Druck am Eintritt in die Verdampferstufe zu schaffen.

Das Resultat der Destillatmessungen ergibt eine klare Kennlinie, sofern die Destillatreinheit in Abhängigkeit zur Mitschleppkraft, d.h die Kraft die vom Dampf auf das aufgeschleuderte Tröpfchen wirkt, dargestellt wird.
Ein spezielles Simulationsprogramm 'Bruedenraum', berechnet die verschiedenen Tropfenbahnen bei frei wählbaren Anfangsbedingungen (Tropfengrösse, Position, Geschwindigkeit). Damit kann die Geometrie des Brüdenraums optimiert werden. Das implementierte Geschwindigkeitsfeld wird vom Programmpaket 'Phoenics'berechnet, wobei das errechnete Strömungsfeld mit Messungen bestätigt wurde.

Mit einer speziell für diese Aufgabe konstruierten Messapparatur 'Dropcam' konnten einige Messungen der Tropfengrössenverteilung gemacht werden.
'Dropcam'ermöglicht es, ein mit Magnesiumoxid beschichtetes Glasplättchen in den Brüdenraum zu halten und eine bestimmte Zeit der Strömung auszusetzen. Die aufschlagenden Tropfen hinterlassen im Magnesiumoxid einen Krater, dessen Flächen in einem Bildanalysator (Quantimet) ausgewertet werden.
Die Plättchen können, ohne das Vakuum zu brechen, aus dem Brüdenraum herausgenommen und neu ersetzt werden.
Die Auswertung dieser Messungen ist noch im Gange, so dass an dieser Stelle nicht näher darauf eingegangen wird.

3. Erreichte Ergebnisse
3.1 Destillatreinheit

Der Brüdenraum hat die Aufgabe, das aus dem Diffusor strömende Dampf-Flüssigkeitsgemisch zu trennen. Der aufsteigende Strahl wird am Abscheider (Prallteller) umgelenkt, der Dampf entweicht über die Brüdenleitung in den Kondensator. Der Dampf (Brüden) soll möglichst frei von Flüssigkeitsteilchen sein, um eine Verunreinigung des Destillats zu verhindern.
Das Ziel dieser Arbeit ist es, die Geometrie des Brüdenraumes so auszulegen, dass die gestellten Anforderungen an die Destillatreinheit erfüllt werden können. Die Enstehung der Tropfen ist ein anderes komplexes Problem, auf dessen Untersuchung in diesem Forschungsprojekt nicht eingegangen wird.

Verschiedene Abscheiderkonstruktionen wurden getestet, um den aufsteigenden Strahl so gut als möglich umlenken zu können und somit die Entstehung von Tropfen zu unterdrücken. Der Versuch erweist sich als schwierig, da die Steighöhe des Strahls im untersuchten Betriebsbereich (Vakuum zwischen 30 und 70C) stark pulsiert (die Variation der Steighöhe wird verursacht durch Schwankungen zwischen der isentropen und isenthalpen Entspannung). Diese Pulsationen sind natürlich eine weitere Quelle zur Tropfenbildung, ausserdem werden diese in den Brüdenraum aufgeschleudert. Die besten Resultate im gesamten Betriebsbereich (110<Massenstrom<660[kg/sm2]; 30<Temperatur<75[C]; 1<Ausdampfbreite<10[K]) konnten mit einem Abscheider mit nach unten umgelenkten Kanten und einer speziellen Vorrichtung zur Freihaltung von Dampfgassen erzielt werden.
Messungen der Destillatreinheit wurden für verschiedene Betriebszustände im gesamten oben erwähnten Bereich durchgeführt und ergeben die in Fig.1 dargestellten Kennlinien. Die Kennlinie (1) wurde mittels eines eingebauten Demisters (Drahtgeflecht) erzielt, die Kennlinie (2) zeigt die Destillatreinheit mit einem 0.2m über dem Diffusoraustritt angebrachten Abscheider (Durchmesser d=0.3m). Die Brüdenraum-Höhe und Durchmesser betragen 0.8m, respektive 0.4m.

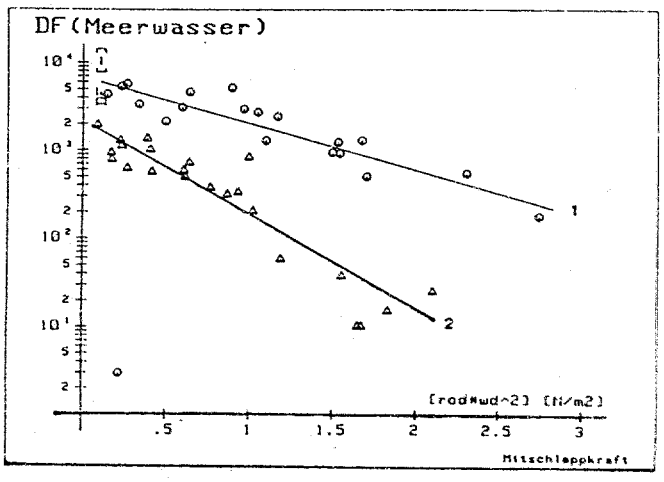


Fig 1: Dekontaminationsfaktor DF in Abhängigkeit zur auf den Tropfen wirkenden Mitschleppkraft. DF gibt das Verhältnis der Dampfmenge zur mitgerissenen Tropfenmenge. Die Höhe des Brüdenraumes beträgt 0.8m.

Resultate: Es zeigt sich, dass der dominante Parameter für die Brüdenverschmutzung von der Mitschleppkraft ausgeht, d.h. die Kraft die vom Dampf auf das Flüssigkeitsteilchen einwirkt (der Durchmesser des Tropfens ist nicht berücksichtigt worden). Der Einsatz eines Demisters bringt etwa eine dreifache Verbesserung der Destillatreinheit.

-Bei Meerwasserentsalzungsanlagen ist der Einbau eines Demisters denkbar und vielleicht auch notwendig, bei industriellen Abwasseranlagen, oder wie in unserem Fall bei einer Blutabwasser-Eindampfanlage ist davon abzuraten, da in kürzester Reit der Druckabfall, herbeigeführt durch die Verkrustung des Demisters, zu gross wird (Zusammenbruch der Leistung).
-Anhand der in Fig.1 vorhanden Kennlinien kann nun der Querschnitt des Brüdenraumes für einen beliebigen Betriebszustand (im oben genannten Gültigkeitsbereich) ausgelegt werden.
-Die gleichen Kennlinien wurden auch mit Blutabwasser erstellt. Es konnte kein markanter Unterschied zwischen den Kennlinien festgestellt werden, so dass angenommen werden darf, dass der Einfluss der physikalischen Eigenschaften der Flüssigkeit auf die Destillatverschmutzung vernachlässigbar ist.
-Weitere Untersuchungen zum Einfluss der Brüdenraumhöhe wurde anhand von zwei verschiedenen Höhen (H_{klein}=0.8m; H_{gross}=1.0m) durchgeführt. Es konnte kein Einfluss festgestellt werden.

Ein spezielles Simulationsprogramm wurde entwickelt, das uns ermöglicht, für beliebige Brüdenraumgeometrien die Teilchenbahnen zu berechnen. Die Anfangsbedingungen des Tropfens (Geschwindigkeit, Position, Grösse) sind frei wählbar.Das implementierte Geschwindigkeitsfeld wurde durch den Programmcode 'Phoenics' ermittelt und auf seine Gültigkeit mit Messungen verglichen. Die Tropfenbahnen lassen erkennen, ob ein Teilchen mitgerissen wird, zurückfällt oder an der Brüdenraumwand aufschlägt. In Fig.2 sind zwei Simulationen mit identischen Anfangsbedingungen dargestellt, die Tropfendurchmesser betragen jedoch 450µm, resp. 50µm. Der senkrechte Brüdenraum ist hier waagrecht angeordnet.

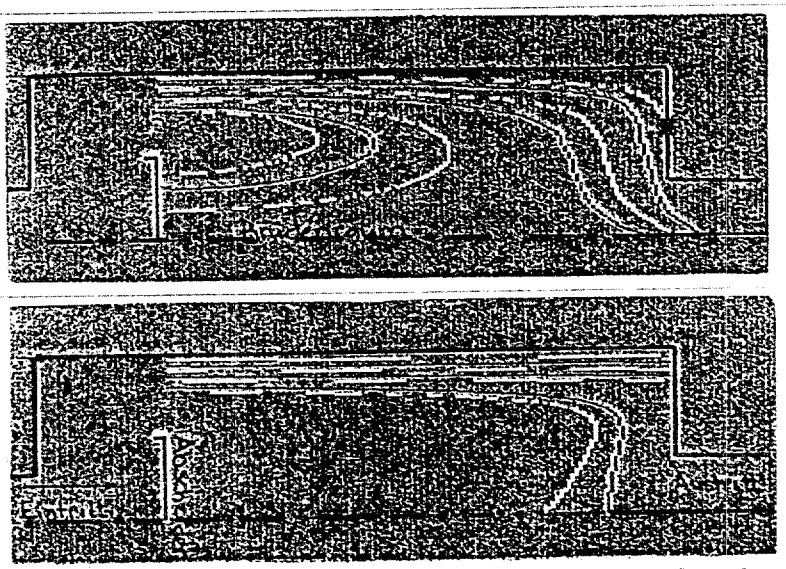


Fig.2: Simulation der Tropfenflugbahn im Brüdenraum. Der Tropfendurchmesser beträgt im Fall (a) 50µm, im Fall (b) 450µm, die Anfangsgeschwindigkeit des Tropfens ist identisch dem Geschwindigkeitsfeld.

Resultate: In beiden Fällen ist die Mitschleppkraft in der Randzone genügend gross, um die Tropfen mitzureissen, die grossen Flüssigkeitsteilchen schlagen jedoch wegen ihre grosse Trägheit oben an der Brüdenwand auf. Die kleinen Tropfen werden umgelenkt und mitgerissen.
-Eine Vergrösserung der Brüdenraumhöhe bringt keine wesentliche Verbesserung der Destillatreinheit mit sich, denn die Kräfte in der Randzone über dem Abscheider sind genügend gross, umm die meistens Tropfen (Tropfenverteilungsmessungen ergeben einen gemittelten Durchmesser von ca. 40µm) bis zum Brüdenaustritt zu schleudern.

-Die Abscheidung von kleineren Tropfen ist, -sofern kein Demister eingesetzt werden kann-, am Besten mit einem grösseren Brüdenraumquerschnitt und/oder einer Umlenkung des entweichenden Dampfes garantiert (z.Bsp. seitlicher Austritt der Brüdenleitung aus dem Brüdenraum).

III.2. Stabiles Verhalten der MSF-Verdampferanlage

Bei der Auslegung einer MSF-Verdampferstufe ist es notwendig, Aussagen über den zu erwartenden Zweiphasendruckverlust zu machen, denn dieser bestimmt unter anderem die Stabilität der gesamten Anlage. Der Druckverlust einer Zweiphasenströmung in einem Strömungskanal setzt sich aus drei Anteilen, nämlich dem Reibungs-, dem Beschleunigungsdruckverlust und dem hydrostatischen Druckverlust zusammen. Der Beschleunigungsdruckverlust kann je nach Betriebszustand sehr gross werden, währenddem die restlichen Druckverlustanteile in den meisten Fällen vernachlässigbar klein bleiben (abhängig vom Dampfvolumenanteil, respektive dem Verdampferrohrdurchmesser).
An der technischen Anlage ETH wurde der gesamte Druckabfall in der Verdampferstufe für verschiedene Betriebszustände gemessen. Die Messungen wurden ohne Rezirkulationskanal durchgeführt, die Einphasenreibung zwischen der Vorstufe und dem Diffusoraustritt wurde jedoch berücksichtigt.

Fig.4 zeigt die gemessene Höhendifferenz (siehe Fig.3), -gleichbedeutend mit dem Gesamt-Druckabfall-, bei verschiedenen Temperaturdifferenzen (Ausdampfbreiten). Die Messungen wurden mit einer konstanten Temperatur (60C), jedoch mit einer variablen Massenstromdichte durchgeführt. Bei kleinem Zweiphasendruckverlust im Diffusor sinkt der Flüssigkeitspegel in der Vorstufe und die gemessene Höhendifferenz ΔH nimmt zu. Umgekehrt nimmt das ΔH bei grossem Druckverlust ab.

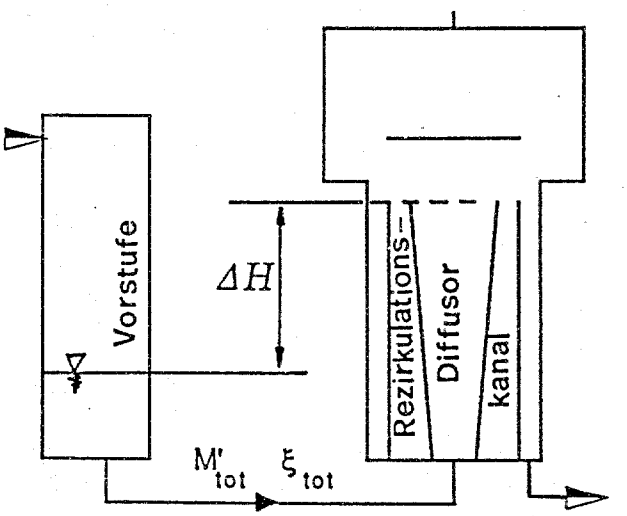


Fig.3: Schema der Verdampfer- und der Vorstufe in der Versuchsanlage ETH. ΔH ist die Höhendifferenz zwischen dem Diffusoraustritt und der Vorstufe. Ausserdem sind der Rezirkulationskanal und der Austritt der Verdampferstufe zu sehen.

Bevor die Verdampfung einsetzt, stellt sich gemäss der Dampfdruckkurve (für einen bestimmten Betriebszustand) ein H ein. Bei Einsetzen der Entspannung im Diffusor (ungefähr auf der Höhe des Flüssigkeitsspiegels in der Vorstufe) ist der Zweiphasendruckabfall (Höhendifferenz) gleich der gegebenen Druckdifferenz (Fall a), oder zu gross (Fall b), oder zu klein (Fall c).

Fall (a): Die gemessenen Betriebszustände liegen auf der Sättigungsdruckkurve. Das Verdampfungsniveau im Diffusor stellt sich auf der Höhe des Flüssigkeitpegels in der Vorstufe ein. Die Stabilität jeder Verdampferstufe ist gewährleistet, die Pulsationen des Strahls am Diffusoraustritt sind gering.
Fall (b): Der Druckabfall der Zweiphasenströmung ist grösser als die gegebene Druckdifferenz. Die Verdampfung wird unterdrückt (Druck höher als der Sättigungsdruck) bis knapp unterhalb dem Diffusoraustritt. Die Entspannung erfolgt dann explosionsartig (stark pulsierend) im Brüdenraum. Es entstehen sehr viele Flüssigkeitstropfen, die zum Teil weit hinaufgeschleudert und mitgerissen werden. Analog zur Schallgeschwindigkeit in Einphasensystemen ist in diesem Fall der kritische Zweiphasen-Strömungszustand erreicht.
Fall (c): Der Zweiphasendruckabfall im Diffusor ist kleiner als der Gegendruck. Somit sinkt der Flüssigkeitspegel in der Vorstufe und parallel dazu der Verdampfungsbeginn im Diffusor. Das Absinken des Verdampfungsniveaus im Diffusor kann nur aufgehalten werden, wenn der Druckabfall genügend zunimmt, ansonsten kommt es zu einem Druckausgleich in beiden Stufen (Blow Through). In diesem Fall bricht die Verdampfung zusammen, dann füllen sich die Stufen wieder und die Verdampfung setzt wieder ein; diese grossen Schwankungen verunmöglichen einen stabilen Betrieb der Anlage ohne Rezirkulationskanal.

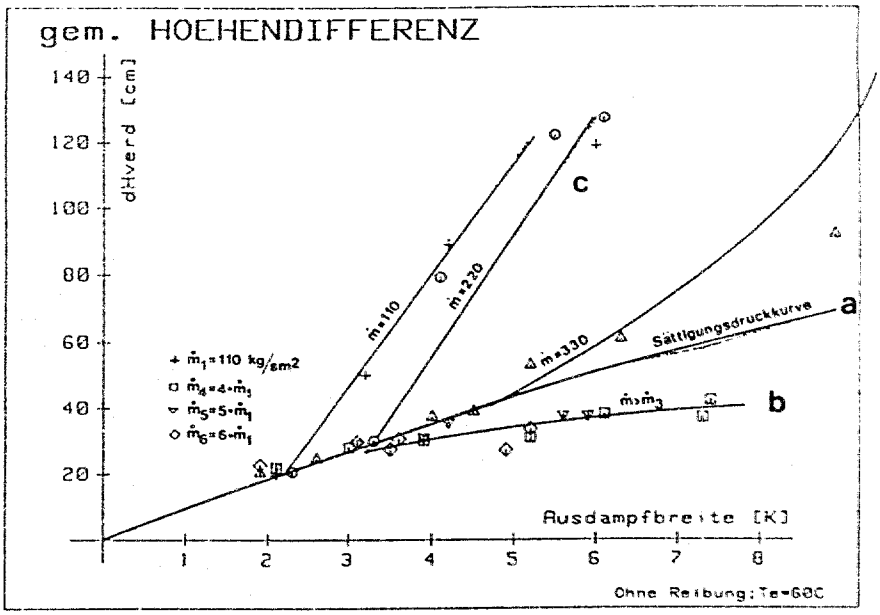


Fig.4: Die gemessene Höhendifferenz [cmWS] (ohne Rezirkulationskanal) wird in Abhgängigkeit von der Temperaturdifferenz (Ausdampfbreite) dargestellt. Als Parameter gilt die Massenstromdichte, die Eintrittstemperatur beträgt 60°C. Die Einphasenreibung wurde berücksichtigt.

Resultate: In allen Betriebsbereichen, wo der Zweiphasendruckabfall zu klein ist, muss ein solcher Rezirkulationkanal eingebaut, oder die Massenstromdichte erhöht werden (nicht immer möglich).
-Die gleichen Kennlinien wurden ebenfalls für Eintrittstemperaturen von 40, 50, und 70°C ermittelt. Es zeigt sich, dass bei Betriebstemperaturen von 40°C, Unstabilitäten nur bei Massenstromdichten kleiner als 110[kg/sm2] auftreten. Bei Eintrittstemperaturen von 70°C muss jedoch mit Massenstromdichten grösser als 440[kg/sm2] gefahren werden, will man auf einen Rezirkulationskanal verzichten.
-Messungen mit Rezirkulationskanal zeigen, dass alle kritischen Messpunkte (Fall c) auf die Sättigungsdruckkurve zurückfallen.
-Sofern die Möglichkeit besteht, den Rezirkulationskanal auszulassen, kann die Verdampferstufengeometrie weiter vereinfacht werden (Kostenreduktion).

OFEN PROJETS DE RECHERCHE ÉNERGÉTIQUE 1987

BEW ENERGIE - FORSCHUNGS - PROJEKTE 1987

DIALOGUE ÉNERGÉTIQUE

But du projet: Réaliser des économies d'énergie à l'échelle d'une ville entière par la circulation d'informations et l'encouragement de réactions solidaires. Les données de consommation sont saisies dans le laboratoire in situ qu'est Martigny. Cette saisie est réalisée par les compteurs des agents de réseaux (électricité, chaleur à distance, gaz) et des "tableaux de bord énergétiques" installés dans une partie des bâtiments. Le résultat des mesures, les économies faites chaque semaine et les conseils et recommandations déduits des mesures ou proposés par les usagers sont diffusés par les médias locaux (radio et TV locales, Minitel et d'autres) pour stimuler les réactions de solidarité communale.

Durée du projet: du 30 juillet 1987 au 30 juillet 1990

Mandataire: Centre de recherche et d'enseignement en énergie et techniques municipales CREM

Rapporteur: Patrick PRALONG

Adresse: Rue des Morasses 5, Case Postale 48, 1920 Martigny

Téléphone: 026/2 64 06

1. INTRODUCTION

Le projet "Dialogue Energétique" se subdivise dans le temps en quatre phases distinctes

Phase	**I**	Fin octobre 1987 - mars 1988 Préparation de dialogue énergétique
Phase	**II**	Mars 1990 Engagement de dialogue énergétique
Phase	**III**	Période d'attente
Phase	**IV**	Bilan de dialogue énergétique Avril 1991 à Juillet 1991

En 1987, une partie des objectifs a déjà été atteinte et certains travaux sont déjà bien avancés.

2. OBJECTIFS VISES POUR 1987 ET DEBUT 1988 (Phase 1)

2.1. Economies recherchées

Un sondage préliminaire est prévu sur des groupes d'usagers représentatifs pour identifier les motivations à sensibiliser en vue d'engager le dialogue pour une utilisation plus rationelle de l'énergie.

Une liste du matériel didactique requis est dressée, afin de mieux connaître les coûts et les impacts des campagnes d'information à effectuer.

Pour augmenter le Rapport Prestation - Consommation et comparer les diverses consommations, il est nécessaire de tenir compte des variations météorologiques. Un modèle météo de référence est utilisé pour juger les consommations des diverses énergies de réseau et de mazout.

Pour juger de l'effet du dialogue énergétique, il est nécessaire de connaître l'état initial, les consommations spécifiques, la répartition des livraisons d'énergie par procédé et l'état de l'équipement et des bâtiments.

Cet inventaire des données et l'analyse de la structure actuelle de la consommation permet de préciser l'estimation des économies d'énergie possibles.

2.2. Support technique

La consommation de la ville est mesurée de manière globale.

La lecture des compteurs des énergies alimentant Martigny (électricité, CAD, gaz) devra être centralisés en un point télévisable.

Un indicateur ou une référence permettant à l'usager de mieux connaître l'évolution de la consommation et de celle de la ville, est en cours d'étude.

2.3. Echantillonage de contrôle

Pour analyser la structure des consommations et suivre l'effet des mesures préconisées, un échantillonage des bâtiments est en cours de réalisation. Ils seront équipés de tableaux de bord intégrés aux immeubles types pour mesurer les prestations fournies, les consommations et afficher le rapport de ces valeurs.

Un modèle de relation entre l'échantillon et l'ensemble des immeubles de la ville est étudié.

3. TRAVAUX EFFECTUES EN 1987

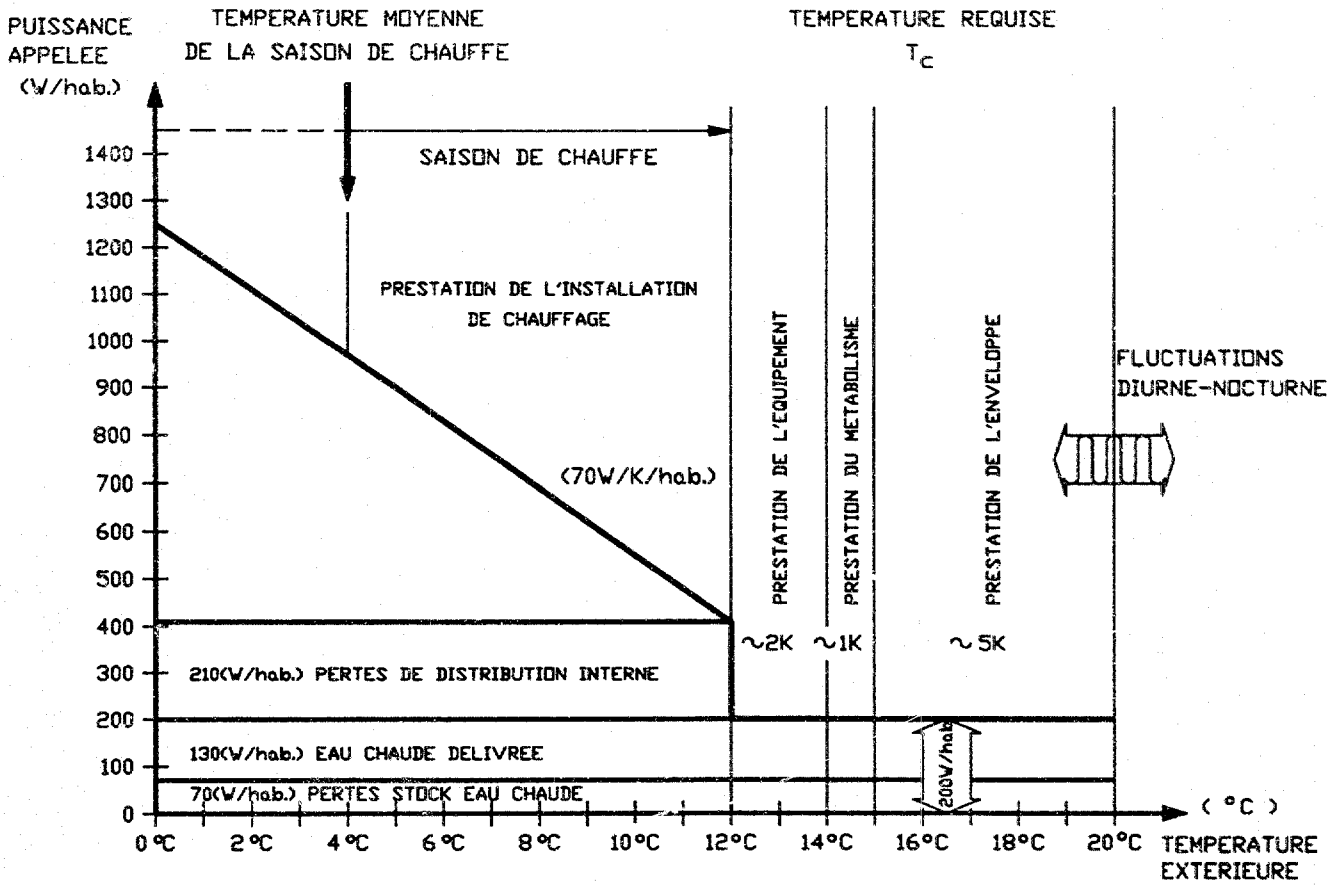
La collaboration entre les sociologues, les journalistes et les analystes du CREM a commencé dans le but de mieux définir les objectifs à atteindre. Une enquête dirigée par les sociologues sera effectuée au début 1988. Une liste du matériel didactique et des actions à entreprendre a été dressée et permet de mieux cerner les différentes voies possibles pour améliorer le dialogue.

Une référence de demande pour le chauffage des locaux qui tient compte des températures extérieures et une référence pour l'eau chaude sanitaire ont été mis au point. Les consommations peuvent être comparées pour les divers types de chauffage, (CAD, gaz, électricité ou mazout) à la référence calculée. Les évolutions de ces comparaisons peuvent être suivies de manière précise. La figure 1 représente la référence de demande pour un habitant dont l'immeuble est raccordé au chauffage à distance de Martigny.

Les diverses énergies alimentant Martigny seront mesurées par des acquisiteurs de données dès le 1er janvier 1988. Le gaz a été mesuré depuis début 1987 et la figure 2 représente les diverses variations du débit entrant dans le réseau de Martigny pour le mois d'octobre 1987.

Le matériel requis pour les tableaux de bord et le réseau pour les relier est en cours d'élaboration et de test .

FIG.1. REFERENCE DE DEMANDE
DE CHALEUR A DISTANCE PAR HABITANT



CREM No 108.021

30.12.1987 / LAMI SA

Plusieurs propositions de référence permettant à l'usager de mieux connaître l'évolution de son rapport prestation consommation sont en cours de réalisation.

Une vingtaine de bâtiments ont déjà été choisis pour la pose de tableau de bord. Ce premier choix a été porté sur des bâtiments où des consommations anormalement variées ont été décelées. Le choix des autres bâtiments s'effectuera en collaboration avec les sociologues du groupe pour assurer la représentativité de l'échantillonnage.

Une série de compteurs d'heures ont aussi été installés sur des installations de chauffage au mazout pour y mesurer leur consommation.

4. RESULTATS OBTENUS EN 1987

L'application de la référence de demande, dans le but de contrôler les consommations d'énergie pour la production d'eau chaude sanitaire et le chauffage des locaux a permis de voir une amélioration importante du rapport prestation/consommation par la réduction des consommations des immeubles dont les chaufferies étaient gérées par le CREM (Fig. 3.). En plus, les bâtiments publics, que le CREM n'a pas géré, mais seulement contrôlé ont eu une évolution très variée. Dans ces bâtiments, les tableaux de bords seront installés en priorité.

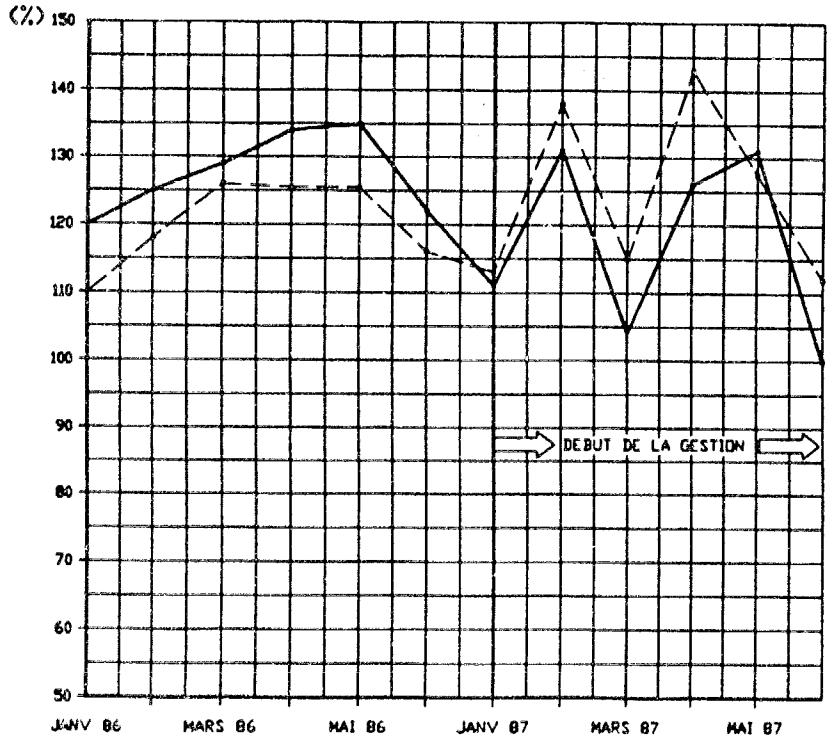
Le contrôle des consommations mensuelles ou trimestrielles de tous les bâtiments raccordés a des énergies de réseau a débuté pour 1987.

Les méthodes et prototypes des instruments du dialogue énergétique ont déjà pu être éprouvés.

CREM-R_108.003-Pp/cd 21.1.88

FIG.3. EVOLUTION DES CONSOMMATIONS DES IMMEUBLES GERES PAR LE CREM PAR RAPPORT AUX AUTRES

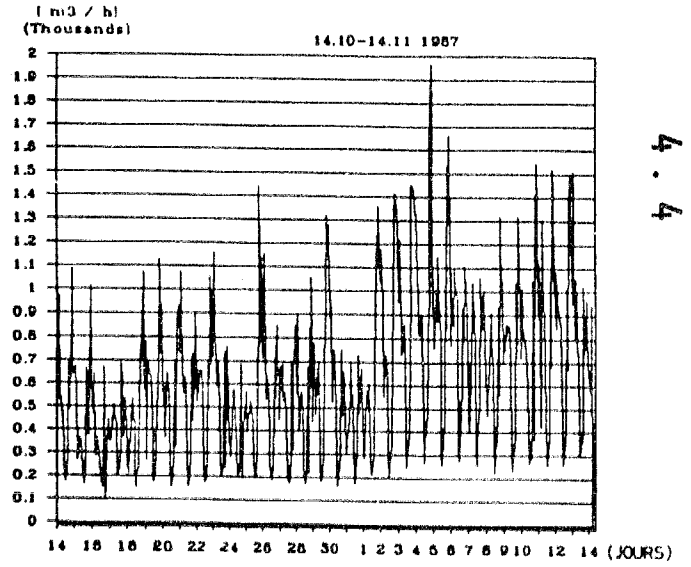
CONSOMMATIONS SPECIFIQUES MOYENNES PAR RAPPORT AU MODELE DE LA FIG.1



— IMMEUBLES SELECTIONNES, ABONNES A PARTIR DE JANVIER 87 (12)

- - - IMM. NON-ABONNES (81)

FIG 2: DEBIT DE GAZ A MARTIGNY



OFEN — PROJETS DE RECHERCHE ÉNERGÉTIQUE 1987

BEW — ENERGIE - FORSCHUNGS - PROJEKTE 1987

ENERGIEVERBRAUCH - UMWELTSCHADSTOFFE - OEKONOMIE

Ziel des Projektes ist es, die Zusammenhänge zwischen Schadstoffabgaben (insbesondere diejenigen, welche mit dem Waldsterben und dem Treibhauseffekt zusammenhängen) und den Energiesystemkosten, mit Hilfe des Energieoptimierungs Modells-MARKAL zu quantifizieren.

Dauer des Projekts: 1. Oktober 1986 bis 30 September 1989.

Beitragsempfänger: Eidg. Institut für Reaktorforschung, EIR

Berichterstatter: S. Kypreos

Adresse: EIR 5303 Würenlingen

Telephon: 056-992675

1 Scope of the study and goals for 1987

The amount of man-made emissions released to the atmosphere can be reduced by investing on emission control systems like catalytic converters, denoxing and desulfurization systems for power production and/or industrial use, or by the use of fuels with less sulfer content, as well as by energy conservation and fuel switching. These investments increase the energy system cost.
The main purpose of this study is to define the trade-off between the emission of pollutants related to acid rain and the 'green house' effect and the energy system cost.
This project should define the technical possibilities for emission control. The effectiveness of each technical option in reducing the emission levels and the required investment and the operation and maintenance cost should be described. The increase of the energy system cost should be explicitly expressed as function of the abatement technologies introduced. Finally, the trade-off curve, among the system cost and the reduction of emission levels should be shown under different assumptions of energy demand evolution and policy constraints for Switzerland.

The foreseen goals of work for 1987 were as follows:

- Description of the state of the art on environmental studies in Switzerland, either in terms of experimental work or in terms of theoretical analysis.
- Specification of energy demand projections and of the policy constraints.
- Updating and completion of the Technology description (Data-Base) of MARKAL.
- Specification of pollutants of interest and description of abatement technologies relevant to Switzerland.

2 Work accomplished in 1987

The main goal of work for 1987 was to collect all the necessary information and prepare the software required to perform the analysis. The EIR division of prospective studies has been involved for the preparation of different studies for the Experts Group of Energy Scenarios (EGES). Although this work was not completely independent of the IEA-ETSA Project, it has been proven a time consuming exercise with some consequences for this work. Nevertheless, the following work has been completed for the IEA project:

- The study on the state of the art has been initiated by W. Hediger and a preliminary Memorandum is written. The work is not yet completed because some very important reports are expected to be published by BUS, at the beginning of January.

- The work on energy demand projections is completed (1).
- The updating of MARKAL Data-Base is completed (2).
- A preliminary data-base on emissions exist and it is described in ref. (3). Ref.(2) describes the specific emissions for the technologies included in the data-base of MARKAL without including cost data on investment. One can therefore say that the work on the compilation of abatement technologies has been initiated, but is not yet completed. The deadline for completion of the technology characterization is February 15, 1988.
  We expect assistance from BUS in order to define technologies and policy options for emission control relevant to Switzerland. We don't expect to define a complete data-base relying only on Swiss sources, but we hope to get assistance from BUS in defining the emission control systems which are established in Switzerland. Discussions with BUS have been initiated to clarify the situation.
- The pollutants of interest for Switzerland, which are related to the problem of dying forest and the green-house effect are SO_2, NO_x, Hydrocarbons and CO_2. It is not foreseen to include specific abatement technologies for CO_2 other than concervation and fuel switching.

The programme of work for the operating agent and the participants, for the time duration of the project, had also to be prepared, discussed and approved. This work has been completed during the Paris workshop (October 87). The main conclusions of this workshop are reported in ref. (4) together with the working programme of EIR and a proposal to treat uncertainty.

3 Results obtained

As it has been explained before, it was not possible to cover all the targets for 1987, but important work has been accomplished in preparing the required data and software for 1988. This includes the specification of energy demand and the Data-Base of MARKAL. The completion of analysis with MARKAL is foreseen during the year 1988.
This chapter presents, in form of figures, the energy demand projections as estimated by the model SMEDE, developed at EIR, and some preliminary results on the primary energy use and the CO_2 problem.
Based upon a series of assumptions defined by EGES, as it is population growth, gross domestic product, industrial production and other demand determinants, energy projections have been estimated.

The case described here (Fig. 1) corresponds to the EGES 'reference' case, which will be taken as the basic demand projection for the IEA-ETSAP work. The energy allocation model MARKAL has been used to generate the allocation of technologies and fuels. Some results on the primary energy and the CO_2 emissions given here are results of the EGES project (Fig. 2).
Since the purpose of the EGES study was different than the IEA project, the optimization has not taken into account restrictions on the emission release. The emission balance is produced to account for pollutants without forcing the system to take any action in reducing the levels of pollution, other than what has been already assumed by the working documents of EGES, i.e in principle the 'Luftreinhalte-Verordnung'. This means **only emission accounting has taken place and not a modification of the energy system** in order to reduce emissions, which is the main purpose of this project.
Refeference (5) describes the main results of the analysis with MARKAL and it is of interest for the IEA project, because it shows that although the nuclear energy has been displaced from the Swiss energy system, the present level of CO_2 emissions, which are proportional to the use of fossil fuels, is reduced by 11% due to the strong introduction of conservation policy in the 'ausstieg' case.
The reader should keep in mind that the demand projection used in the MARKAL runs reflects the assumptions of EGES. In order to make some clear statetments concerning the degree of penetration of conservation measures, it is foreseen to include in the analysis conservation technologies, and **get as a result of the opimization the trade-off among investments in energy conservation and investments in energy supply, and not treating conservation as an exogenous assumption.**

4 International cooperation

The project is an international IEA project, where the different participants contribute to the problem of data collection and software development, while the operating agent(O.A) coordinates the work and the exchange of information for the mutual benefit. Finaly, it is foreseen that the O.A will compile the national reports and derive conclusions from a more global point of view.
The different participants have made similar commitments and progress like Switzerland. One of the most significant benefit, of this international project, is the exchange of information concerning data collection and international comparison as well as in terms of evaluation techniques and software. Since the IEA group is active for more than a decade, there are no drawbacks as far as the working atmosphere and cooperation is concerned.

5 Publications

1. TM-13-87-12 Energienachfrage-Szenarien bearbeitet mit dem Energiesimulations-Modell SMEDE, S.Kypreos, J. Wochele, W. Hediger
2. TM-13-87-14 Technologie Daten-Basis für MARKAL, J. Wochele
3. Swiss contribution to the final IEA-ETSAP report on Annex II (in publication by KFA-Jülich)
4. AN-13-87-17. Report on the IEA-ETSAP workshop and executive committee meeting, S. Kypreos
5. Analysis of the Swiss energy supply system using MARKAL.
EGES report S. Kypreos, J. Wochele

6 Proposal for research

Some ideas concerning the modelling of material balances and the treatment of the social cost will be explained in detail next year.

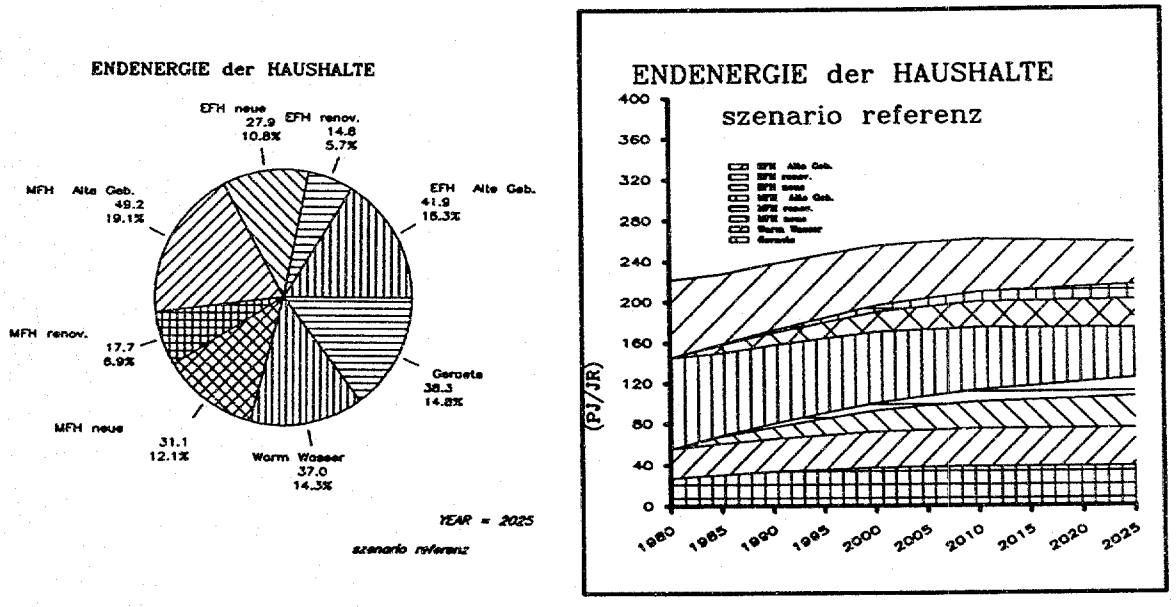


Figure 1: Final demand of the Residential sector. The figure is an example of the disaggregation obtained with the SMEDE model.

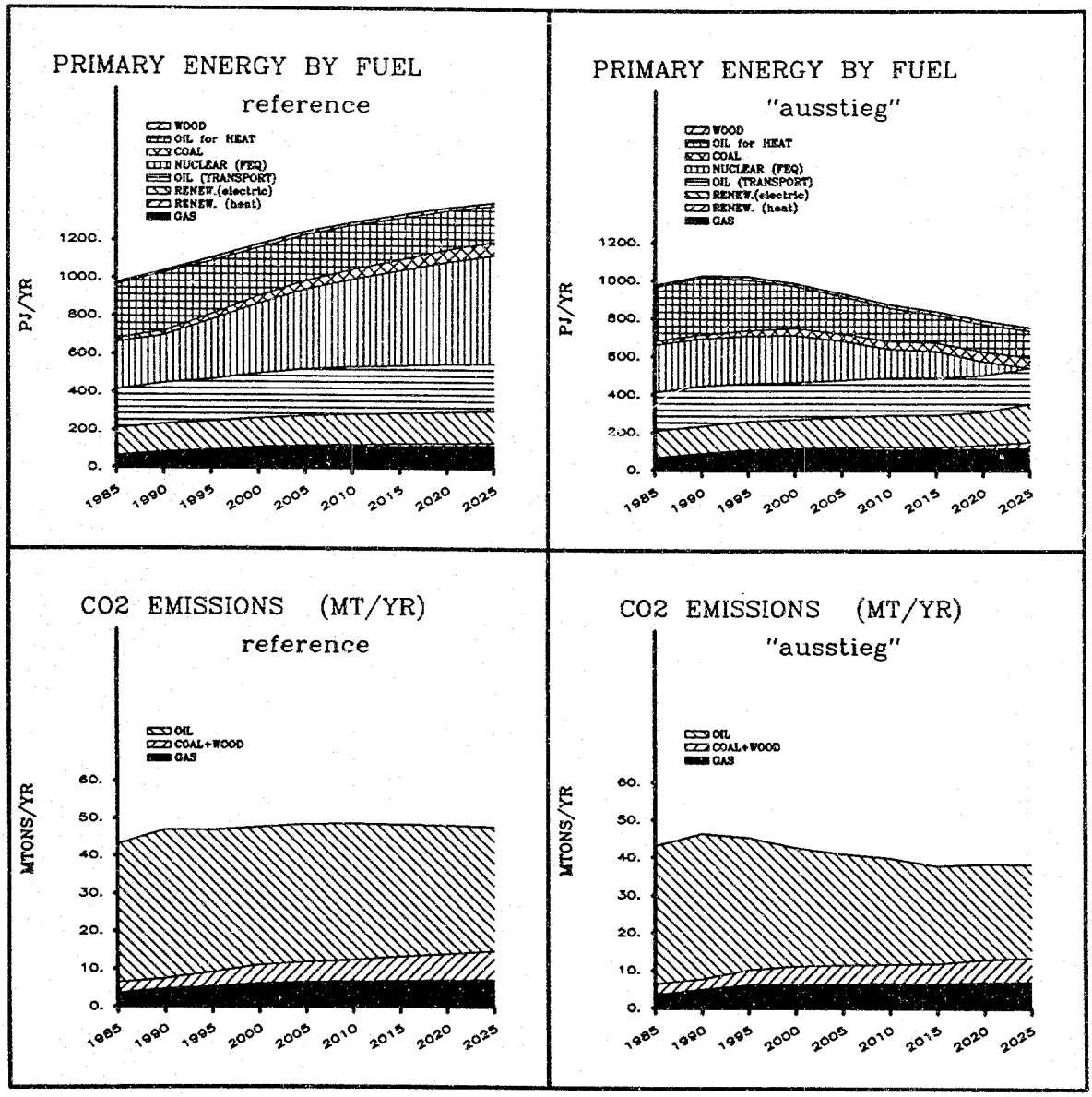


Figure 2: Primary energy use by fuel and CO_2 emissions for Switzerland. (MARKAL results)

OFEN PROJETS DE RECHERCHE ÉNERGÉTIQUE 1987

BEW ENERGIE - FORSCHUNGS - PROJEKTE 1987

DÉVELOPPEMENT D'OUTILS POUR LE CONTRÔLE ÉNERGÉTIQUE DES BÂTIMENTS

But du projet: recherche et mise en place d'outils de travail pour les conseillers en énergie afin de faciliter le dépistage et l'analyse des bâtiments à améliorer au point de vue énergétique, ainsi que le contrôle des résultats obtenus et le contrôle continu sur les installations.

Durée du projet: 1982 - 1987

Mandataire: R. ERNST, arch. SIA

Rapporteur: R.ERNST

Adresse: Grand'Rue 43, 1315 La Sarraz c/o Communauté d'Architectes

Téléphone: 021 866 78 17

1) Objectifs visés pour 1987

En ce qui concerne la recherche et le développement des outils, le projet a pris fin officiellement en 1986, à part la vérification des hypothèses du sous-projet **"MERATH"** dont la recherche n'a débuté qu'en 1985. La direction du projet avait ainsi pour objectif de faire connaître les rapports finaux des différents sous-projets et d'aider à la présentation du "Source-Book" de l'annexe XI IEA au cours de deux conférences internationales.

2) Travaux effectués en 1987

Les rapports finaux particuliers ont été remis à l'OFEN, et un résumé de l'ensemble du projet édité en trois langues (allemande française et anglaise). La collection de la documentation réunie est à disposition pour un centre de documentation. Le sous-groupe travaillant au sous-projet **"MERATH"** a commencé la vérification des hypothèses par la réunion du plus grand nombre d'informations fiables sur les parcs de bâtiments d'habitation des années 60, tant sur le plan des caractéristiques du système constructif que sur leur état de dégradation ou manque de confort, y compris leur potentiabilité de réhabilitation, notamment au point de vue de leur comportement thermique.

3) Résultats obtenus en 1987

Du côté de la direction du projet, les résultats sont la publication du résumé des rapports finaux détaillés, en 3 langues, ainsi que la co-publication du "Source-Book" IEA XI en deux volumes (édition : Swedish Council for Building Research, anglais). La présentation de ces documents a eu lieu lors des conférences

- ICBEM 87 à l'EPFL Lausanne sept. /oct. 87
- Enerhealth à Toronto /Canada, oct. 87

Le "Source-Book" et la recherche particulière suisse ont rencontré grand intérêt auprès des participants à ces rencontres internationales.

Un groupe de travail restreint, sous la direction du soussigné, a élaboré une proposition de transmission du savoir des rapports finaux en une documentation accessible aux praticiens et à utiliser lors de cours.

Le groupe **"MERATH"** est entré en pourparlers avec les villes de Berne, Aarau et Zurich afin de procéder à l'analyse systématique d'un ou de plusieurs bâtiments significatifs de ces villes. Comme ces études devaient être incluses dans le cadre d'un assainissement entrepris par une de ces villes, le travail d'analyse n'a pas pu être commencé en 1987. Ce sont finalement des bâtiments de la ville de Berne qui ont été retenus comme objectifs à analyser.

4) Collaboration internationale

(Voir pt n° 3

5) Publications

BEW Berne IEA /XI Ecoute énergétique
rapport final cahier 1 résumé
(existe en allemand et anglais également)

Swedish Council for Bld.Research Stockholm :
Source-Book for Energy Auditors, 2 volumes.

6) Nouvelles recherches

L'analyse du parc de bâtiments bernois ainsi que la mise au point du manuel "MERATH", après vérification des hypothèses, seront effectuées en 1988.

OFEN PROJETS DE RECHERCHE ÉNERGÉTIQUE 1987

BEW ENERGIE - FORSCHUNGS - PROJEKTE 1987

GESTION DE L'ÉNERGIE DANS LES HÔPITAUX

But du projet: Méthode de gestion énergétique à l'usage des services d'exploitation des hopitaux

Durée du projet: 18.9.85 - 31.12.88

Mandataire: SORANE SA

Rapporteur: Pierre CHUARD

Adresse: SORANE SA, Rationalisation énergétique
Av. Saint-Paul 1 - 1700 FRIBOURG

Téléphone: (021) 37 11 75

I. OBJECTIFS VISES

I.1 Niveau international

- Participation active aux travaux de la tâche XIII du programme "Energy Conservation in Buildings and Communities" de l'AIE dont la tâche principale consiste en l'élaboration d'un manuel de gestion énergétique dans les hôpitaux, en collaboration avec les différents pays participants.

I.2 Niveau national

- Elaboration d'une méthode de mesure de gestion, d'analyse et de gestion énergétique dans les hôpitaux.
- Elaboration d'un manuel de gestion énergétique à l'usage de leurs services d'exploitation.
- Organisation de cours de gestion énergétique à l'usage des exploitants.

II. TRAVAUX EFFECTUES

Niveau international

- Participation aux meetings de Princeton (juin 87) et Torronto (octobre 87)
- Révision du volume II (Thermal Energy Generation) du manuel de de gestion énergétique faisant partie de l'ensemble des six volumes préparés dans le cadre de cette Tâche.
- Lecture et critiques des volumes préparés par les autres pays participants.

Niveau national

- Elaboration d'une première version d'un manuel de mesures, d'analyses et de gestion énergétique de l'énergie chaleur dans l'hôpital, puis d'une deuxième version à fin de test d'utilisation en vraie grandeur dans trois hôpitaux.
- Préparation et organisation d'un cours d'introduction avant le test du manuel.
- Evaluation du manuel avec les services d'exploitation concernés.
- Elaboration de la suite du manuel en cours.

La rédaction des chapitres restants qui concernent plus particulièrement les réseaux énergétiques secondaires (chauffage, ventilation, buanderie, eau chaude sanitaire, cuisine, stérilisation) est en cours.

III. RESULATS OBTENUS.

Niveau international

Le manuel " Energy Management in Hospitals ", composé de six volumes a été révisé. D'une manière générale, le contenu a été jugé bon par le groupe de travail de la tâche XIII.
Une remise en forme finale pour homogénéisation est en cours.

Niveau national

Les résultats de la campagne relative à la recherche de données de consommations spécifiques ont permis d'affiner les valeurs cibles présentées dans le manuel de gestion énergétique.

L'élaboration du manuel de gestion énergétique a demandé un effort de mise en forme considérable. En effet, ce type de manuel, tout en ayant un contenu permettant d'aborder des problèmes de gestion énergétique dans toute leur complexité, doit être abordable par des lecteurs dont le niveau des connaissances techniques est très variable. Pour atteindre ce but, nous avons systématiquement eu recours à des méthodes de représentation ou de calculs de type graphique. D'autre part, dans le but de rendre les calculs moins rébarbatifs, des tableaux spécialement adaptés ont été élaborés, évitant ainsi, autant que possible, l'emploi de formules mathématiques qui sont souvent source d'erreurs.

Trois des quatres principales parties du manuel de gestion énergétique (I. Connaissances de base, II. Mesures et analyse, III. Production de chaleur et distribution) ont été présentées lors d'un cours d'introduction aux services d'exploitation de trois hôpitaux.

Pour sa première version, le manuel comprend les chapitres suivants:

1°) Introduction

Où l'on expose l'importance de la consommation d'énergie dans les hôpitaux en Suisse, des ordres de grandeur des différentes consommations et d'économies potentielles, et l'intérêt d'une saine gestion énergétique.

2°) Présentation du guide

Où l'on expose la philosophie de la gestion énergétique.

3°) Connaissance des installations

Où l'on expose les notions de base nécessaires à la compréhension du système énergétique de l'hôpital. Le système énergétique est un ensemble complexe. Avant d'aborder l'analyse d'un tel système certaines conditions doivent être remplies. Une reconnaissance géographique des systèmes suivie d'un inventaire des différents types de systèmes (vapeur, eau chaude, etc...), ainsi que des vecteurs énergétiques sont requis au préalable. De même, la possession ou la reconstruction des schémas de principe sont nécessaires. Une méthodologie pour satisfaire toutes ces conditions est exposée dans ce chapître.

4°) Mesures et analyse de la consommation d'énergie dans l'hôpital.

Où l'on fournit les outils nécessaires à la compréhension des différents flux d'énergie dans l'hôpital, et à la détermination de leur importance respective, soit par mesure directe, soit par une méthode de calcul indirecte. On explique notamment les méthodes de mesures des vecteurs énergétiques, et les notions de rendement de transformation d'énergie en fonction des conditions imposées aux systèmes. On expose également une méthode de répartition de consommation entre les différents consommateurs d'énergie sur la base des mesures. Des tables et des abaques ont été spécialement élaborées dans ce but.La figure 1, page 4, qui montre une abaque de calcul de rendement de chaudière à une ou deux allures sur la base de mesures simples en est un exemple. L'analyse des grandeurs déterminées peut être effectuée à l'aide des valeurs cibles pour les différentes composantes de la consommation d'énergie totale de l'hôpital.

5°) Production de chaleur

Où l'on expose les contraintes liées à chaque type de système, les notions de gestion, de production de chaleur, de réglage, etc...
On donne les notions fondamentales de niveaux de température, de taux de charge et de régulation. A cela s'ajoute l'exposé des notions de rendement de production et de l'influence de l'entretien des chaudières sur ce dernier. L'influence qu'ont sur le rendement de production les cycles de demande d'énergie journaliers et saisonniers est analysée. Cela permet d'aborder les notions de gestion optimale de centrales de chauffe.

6°) Installation à vapeur

Où l'on expose les problèmes d'exploitation en relation avec la gestion d'énergie. Les problèmes spécifiques aux hôpitaux y sont abordés :

- Variation du taux de charge au cours du jour et de la semaine
- Potentiel d'utilisation de chaleur résiduelle

- Méthodes de calcul des pertes énergétiques occasionnées par le manque d'isolation de conduites, d'armatures, et par des fuites de vapeur.

Cette partie du manuel a été remise aux services d'exploitation pour une revue critique. Lors de la séance d'évaluation, il est apparu que les trois services d'exploitation avaient été vivement intéressés par le contenu et la forme du manuel, et qu'il répondait à un véritable besoin.

Les points restants à améliorer peuvent être résumés comme suit :

- Développer la partie consacrée aux mesures des systèmes de ventilation
- Certains graphiques et abaques doivent être mieux expliqués
- Addition d'un lexique en fin de manuel.

Ces remarques nous ont guidé dans la suite de notre travail de rédaction du manuel, qui est en cours.

IV. COLLABORATION INTERNATIONALE

Le contenu des six volumes du manuel international est une bonne source pour l'élaboration du manuel national.

V. PUBLICATIONS

IEA XIII, Energy management in hospitals
Booklet II: Working document prepared for the Toronto meeting
P.Jaboyedoff, sept 87 (92 pages)

Manuel d'exploitation des installations dans les hôpitaux
Notions pratiques de gestion énergétique
SORANE SA , mars 87, 173 pages

VI. NOUVELLES RECHERCHES

Les suggestions formulées en 1986 restent valides, à savoir l'études des systèmes énergétiques à haute température (buanderies, cuisines, etc ...), et des possibilités de sytèmes de récupération de chaleur intégrée.

Fribourg, le 24 décembre 1987/PCar P.CHUARD

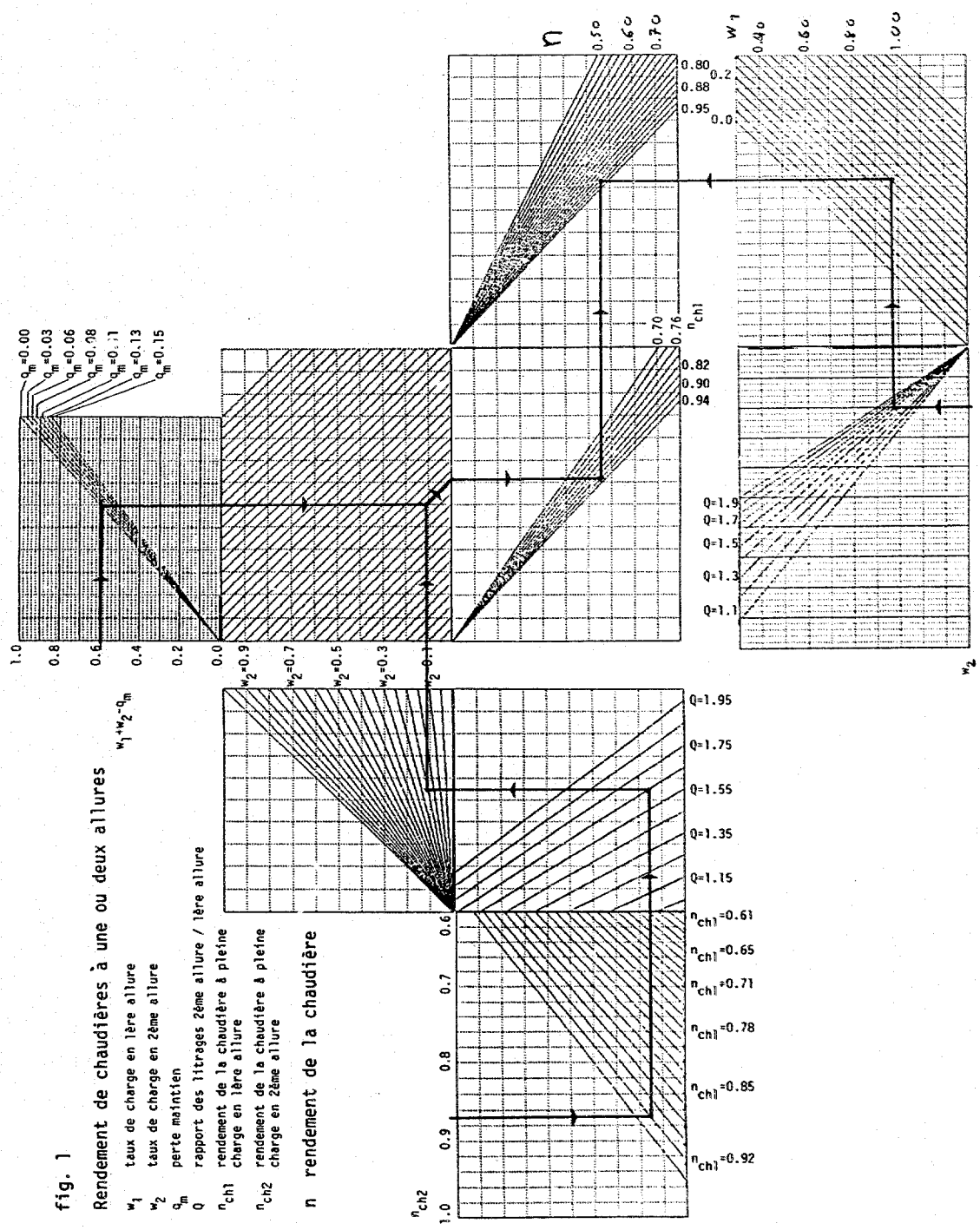


fig. 1

Rendement de chaudières à une ou deux allures

w_1 taux de charge en 1ère allure

w_2 taux de charge en 2ème allure

q_m perte maintien

Q rapport des litrages 2ème allure / 1ère allure

n_{ch1} rendement de la chaudière à pleine charge en 1ère allure

n_{ch2} rendement de la chaudière à pleine charge en 2ème allure

n rendement de la chaudière

OFEN
BEW

PROJETS DE RECHERCHE ÉNERGÉTIQUE 1987
ENERGIE - FORSCHUNGS - PROJEKTE 1987

SYSTEM SIMULATION

Ziel des Projekts: Modellierung von HLK-Komponenten und Demonstration der Anwendbarkeit von Simulationsmodellen

Dauer des Projekts: bis Juni 1988

Beitragsempfänger: EMPA

Berichterstatter: G. Zweifel

Adresse: EMPA, Abt. Bauphysik
8600 Dübendorf

Telephon: 01 / 823 55 00

1. Zielsetzungen und durchgeführte Arbeiten

Das Projekt "System Simulation" verfolgt folgende zwei Ziele:

- Das Erstellen einer "Datenbank", bestehend aus einer Anzahl von Komponentenspezifikationen, in denen die physikalischen Eigenschaften einzelner HLK-Komponenten und deren Modellierung beschrieben werden.

- Durchführung von Simulationsübungen, in denen die Anwendbarkeit von Rechenmodellen überprüft werden soll.

In Anbetracht der Tatsache, dass im Laufe der Beteiligung an diesem Projekt beschlossen wurde, bei keinen weiteren Arbeiten mehr mitzumachen, geht es darum, die geleisteten Arbeiten abzuschliessen und angemessen zu dokumentieren, im Sinne einer Unterstützung des Operating Agent beim Abschluss des Projekts.

Die dabei anfallenden Arbeiten waren

- die Ueberarbeitung und Redaktion der zusammenfassenden Berichte über die Simulationsübungen, die unter unserer Leitung durchgeführt worden waren (über Heizkessel und Wärmepumpen).

- die Ueberarbeitung und Zusammenfassung von zwei Komponentenspezifikationen über psychrometrische Berechnungen und über Wärmepumpen.

2. Resultate

Da keine neuen Arbeiten in Angriff genommen wurden, sind auch keine neuen Resultate zur Präsentation vorhanden.

Die internationale Arbeit stand im Vordergrund; deshalb soll hier ein Ueberblick über die gesamthaft zu erwartenden Resultate aus dem Projekt gegeben werden.

2.1 Komponentenspezifikationen

fertiggestellt:
- Thermostatventil
- Misch- und Druckregelventil
- Pumpe
- Wärmepumpe (CH)
- Ventilator
- Befeuchter
- Kühlturm
- psychrometrische Berechnungen (CH)

Abschlussarbeiten im Gang:
- Heizkessel
- Kältemaschine
- Radiator
- Fussbodenheizung
- Wärmerückgewinnung
- Wärmetauscher
- Luftkanal
- Rohrleitung
- Netzwerk
- Luftklappen
- Gebäude
- Filter
- Beleuchtung und Benutzer

2.2 Simulationsübungen

Basierend auf den beiden Messprojekten "La Chaumière" und "Collins building" wurden verschiedene Simulationsübungen durchgeführt. Auch bei den bereits abgeschlossenen Uebungen sind die zusammenfassenden Berichte zum Teil noch nicht vorhanden oder müssen noch überarbeitet werden.

Abgeschlossen sind:

a) La Chaumière
- Uebung 1: Wärmeverteilung, 1. Stufe
- Uebung 2: Heizkessel
- Uebung 3: Wärmeverteilung, 2. Stufe
- Uebung 4: Wärmepumpe

b) Collins
Uebungen 1 bis 4: Luftsystem mit zunehmender Komplexität.

Noch im Gange:

a) La Chaumière
Uebung 5: Wärmeverteilung, 3. Stufe
b) Collins
Uebung 5: Luftsystem, letzte Stufe

Schweizerische Beiträge wurden ausgearbeitet zu den Uebungen La Chaumière 1,2 und 4 und Collins 1.

3. Fortschritt der Arbeiten im internationalen Rahmen

Für die Abschlussarbeiten wurde am letzten Arbeitsmeeting ein sehr straffer Zeitrahmen festgelegt. Dieser kann für die schweizerischen Beiträge im wesentlichen eingehalten werden. Die Komponentenspezifikationen sind zum Zeitpunkt der Berichterstattung fertiggestellt und versandt. Die Berichte der Simulationsübungen sind in Arbeit und können noch vor Ende Jahr eingereicht werden.

4. Veröffentlichungen

Manuel R. Conde:
PsychLES - A Routine for Calculation of the Thermodynamic Properties of Moist Air
ETH Zürich, Laboratorium für Energiesysteme (Nov. 1987)

Manuel R. Conde:
Summary of the Air to water Heat Pump Specification
ETH Zürich, Laboratorium für Energiesysteme (Nov. 1987)

5. Neue Forschungsarbeiten

Die Arbeiten und Ergebnisse des Projekts Annex-10 finden eine Fortsetzung und Anwendung im Projekt Annex-17 "Building Energy Management Systems". Dieses Projekt beschränkt sich auf ein enger gefasstes Betätigungsfeld, in dem die Anwendung von Simulationsmodellen in fortschrittlicher HLK-Regelungstechnik studiert wird.

Im Bereich der Modellierung und Simulation gibt es aber noch genügend offene Fragen und ungelöste Probleme, um sich mit der Problematik grundsätzlicher zu befassen. Entsprechende Initiativen sind auch in verschiedenen Rahmen vorhanden (CEC, IEA Solargruppe), darunter auch im IEA-Programm "Energy Conservation in Building and Cummunity Systems". Eine Beteiligung zumindest in einer ersten Phase, in der der Stand der Technik und die Bedürfnisse anwendungsspezifisch abgeklärt werden sollen, wäre sinnvoll, nicht zuletzt, um auf diesem Gebiet an der Front zu bleiben und nicht zum reinen Anwender zu degenerieren. Entsprechende Kontakte wurden geknüpft.

OFEN — PROJETS DE RECHERCHE ÉNERGÉTIQUE 1987

BEW — ENERGIE - FORSCHUNGS - PROJEKTE 1987

UNTERSUCHUNGEN DES ENERGETISCHEN VERHALTENS DER SCHULANLAGE GUMPENWIESEN, DIELSDORF

Ziel des Projekts:

Das Mess- und Forschungsprojekt gliedert sich in die Teile
-Abnahmemessungen und Funktionskontrolle
-Messdatenerfassung und Auswertung
-Mithilfe bei der Systemoptimierung

mit den Zielen:
-Kontrolle, Analyse und Darstellung des energetischen Verhaltens
-Erarbeitung von objektbezogenen Optimierungsgrundlagen für die Konzeption und den Betrieb von Schulhausbauten mit passiver Sonnenenergienutzung, mechanischer Lüftung und niedrigem Energieverbrauch.

Dauer des Projekts: Herbst 1985 bis Ende 1987

Beitragsempfänger: ARGE Favre, Lüthi, Wick und EMPA

Berichterstatter: Dr. R. Favre

Adresse: Seefeldstr. 5, 8880 Walenstadt

Telephon: 085 3 57 70

4.9

1. Anvisierte Zielpunkte für 1987

Die Arbeiten umfassten vor allem die 2. Messperiode, welche sich auf folgende Punkte konzentrierte:

-Kontrolle, Analyse und Darstellung des energetischen Verhaltens sowie der Raumlufthygiene eines Schulgebäudes mit kontrollierter Lüftung und passiver Nutzung der Sonnenenergie im Rahmen der 2. Messperiode (vgl. CREDA 1986).

-Bestimmung der Leistungsziffern, der mittleren Arbeitsleistungs-Zahl beider Wärmepumpen sowie der Systemwirkungsgrade.

-Modifizierter Sonnenschutz mit balkonseitigen Vorhängen.

-Vorbereitung der Schlussdokumentation

Die anvisierten Ziele wurden erreicht.

2. Durchgeführte Arbeiten 1987

Die geplanten Arbeiten konnten ohne grössere Probleme ausgeführt werden, da die während der 1. Messperiode gesammelten Erfahrungen mit der Messinfrastruktur und -auswertung zur Verfügung stand. Die detaillierte Beschreibung des untersuchten Objektes sowie der Messinfrastruktur kann dem CREDA-Bericht 1986 entnommen werden.

3. Erreichte Ergebnisse

Ein Vergleich der gemessenen Energiekennzahlen zeigt, dass die Messungen der 1. Messperiode bestätigt werden konnten. Zwar ergibt sich eine leichte Zunahme bei den Anteilen für Heizung und Warmwasser, was auf die höheren Komfortbedingungen zurückzuführen ist. Der Elektrizitätsbedarf ist leicht gesunken; die resultierende Energiekennzahl von 183 $MJ/m^2 \cdot a$ entspricht aber knapp der Hälfte neuerstellter Schulhäuser oder weniger als 25% des Schweizerischen Mittelwertes (Bild 1).
Das Schulhaus setzt sich aus dem Klassentrakt (Kl-Trakt) und der Turnhalle zusammen. Die entsprechenden Energiekennzahlen (Bild 2) belegen, dass der spezifische Verbrauch der Turnhalle höher als derjenige des Kl-Traktes liegt. Dabei erstaunt der gegenüber dem Schulhaus deutlich höhere Anteil für die Warmwasser-Bereitung. Auch die Energiekennzahl für die Heizung fällt trotz tieferen Raumtemperaturen wegen der hohen, gut durchlüfteten und mit grossen Fenstern versehenen Halle sowie kleinen internen Lasten höher aus.

Der wöchentliche Warmwasserverbrauch erreicht Spitzen von 4'500 l in der Turnhalle, bezw. 3'500 l im Klassentrakt; diese Spitze ist auf die Reinigung zurückzuführen (Bild 3). Während des Schulbetriebes werden im Klassentrakt nur einige 100 l pro Woche verbraucht.

Der Verbrauch an elektrischer Energie entspricht dem Planungswert, während der Heizungsanteil grösser, bezw. der Warmwasseranteil kleiner ausgefallen sind. Die zugrundeliegenden, gemessenen Wochensummen sind verbraucherabhängig in den Bildern 3 und 4 dargestellt. Erstaunlicherweise benötigten die beiden Wärmepumpen weniger Elektrizität als die übrigen Verbrauchergruppen. Von diesen (HLK-Systeme, Warmwasser, Rest) benötigt vor allem der Rest, welcher Beleuchtung, Apparate etc. umfasst, den grössten Anteil. Der erwähnte Warmwasserverbrauch schlägt sich auch im Elektrizitätsverbrauch nieder. Dabei fällt vor allem der unverhältnismässige Anteil des Klassentraktes auf, welcher auf grosse thermische Verluste hinweist.

Die Wärmepumpen 1 und 2 erreichen im Wochenmittel selten mittlere Anlagen-Leistungs-Zahlen (MALZ) von über 2.5 (Bild 5); erwartungsgemäss sinken die Werte bei tieferen Aussentemperaturen. Die Leistungsziffern konnten trotz technischer Massnahmen nicht verbessert werden.
Das Jahresmittel liegt bei 2.3. Werden bei der Wärmeerzeugungsanlage die ab 42. Woche 1986 bis 17. Woche 1987 eingeschalteten Oelfeuerungen mit einbezogen, resultiert ein Systemwirkungsgrad, der wegen der zunehmenden Laufzeiten der Oelbrenner mit der Temperatur abnimmt. Der Jahresdurchschnitt fällt mit etwa 1.3 dementsprechend tief aus.

Dieses Verhältnis schlägt sich auch bei den gemessenen Nutzenergien, bezw. Endenergien nieder. Die Wärmepumpen liefern rund 2/3 der Nutzenergie, während der Rest auf die Oelfeuerung fällt (Bild 6).

Durch das Versetzen des Blendvorhanges von innen nach aussen, konnte das Ueberhitzungsproblem etwas entschärft werden. Die Raumtemperaturen konnten bei extremen Einstrahlungen in den Raum 1 bis 2 Grad gesenkt werden.

Die Komfortbedingungen liessen sich im Referenzraum durch vermehrtes Betätigen der Luftklappe deutlich gehoben werden.

Der Schlussbericht soll im Rahmen einer SIA-Publikation 1988 erscheinen.

4. Internationale Kontakte

keine

5. Veröffentlichungen

Th. Baumgartner, R. Favre
Schulhaus "Gumpenwiesen"
Schweizer Ingenieur und Architekt 40/87

5. Neue Forschungsarbeiten

keine

4 . 9

Energiekennzahlenvergleich

Gumpenwiesen mit CH–Schulhausbauten

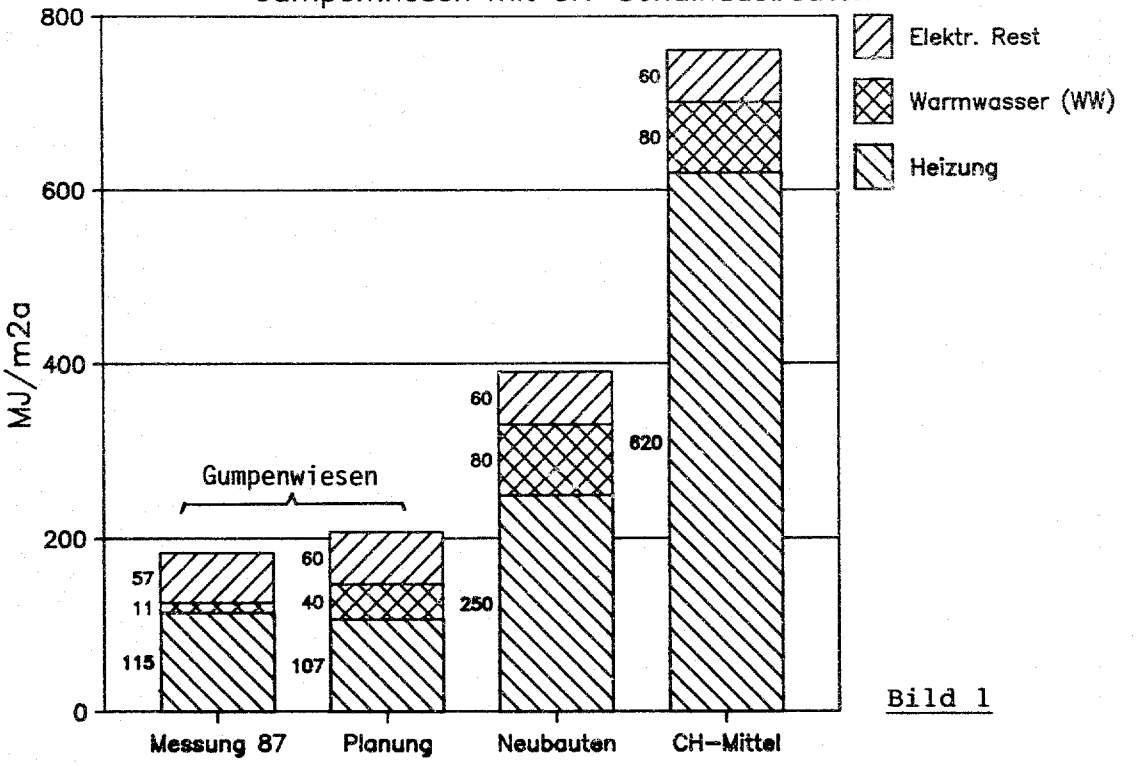


Bild 1

Energiekennzahlen Gumpenwiesen 1987

Aufteilung auf Klassentrakt und Turnhalle

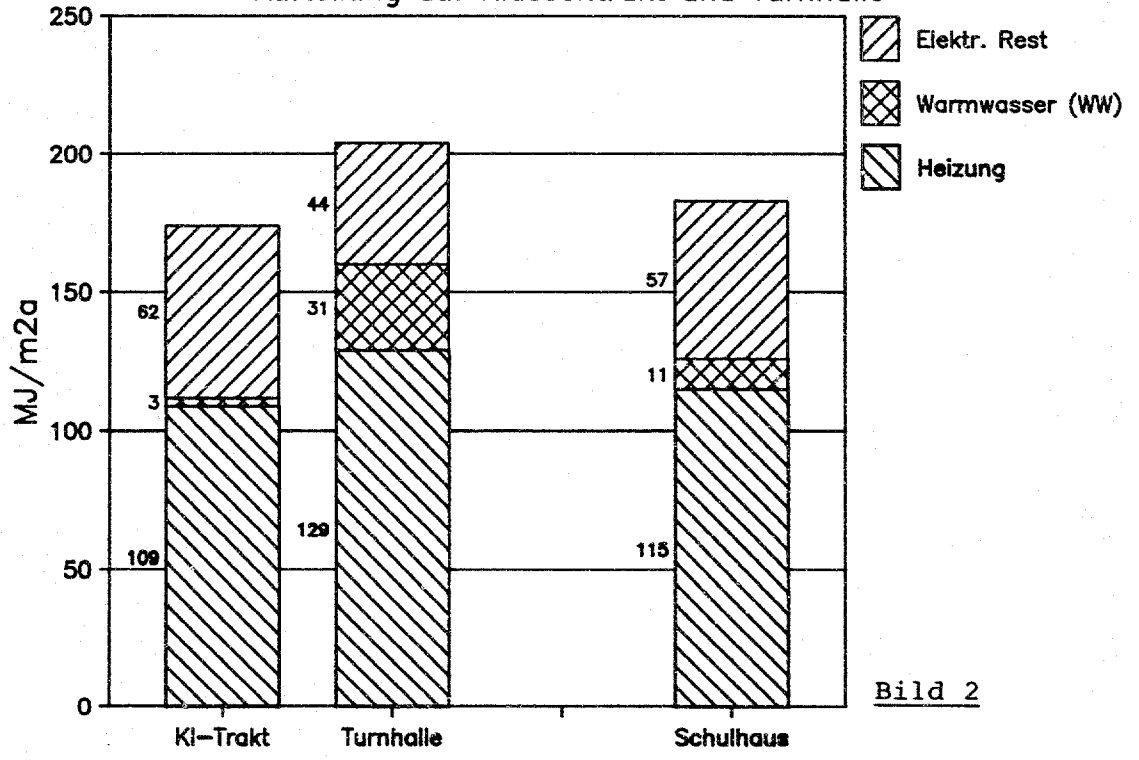


Bild 2

4.9

Gumpenwiesen Messperiode 2/1987

Elektr. Energie fuer WW–Erzeugung

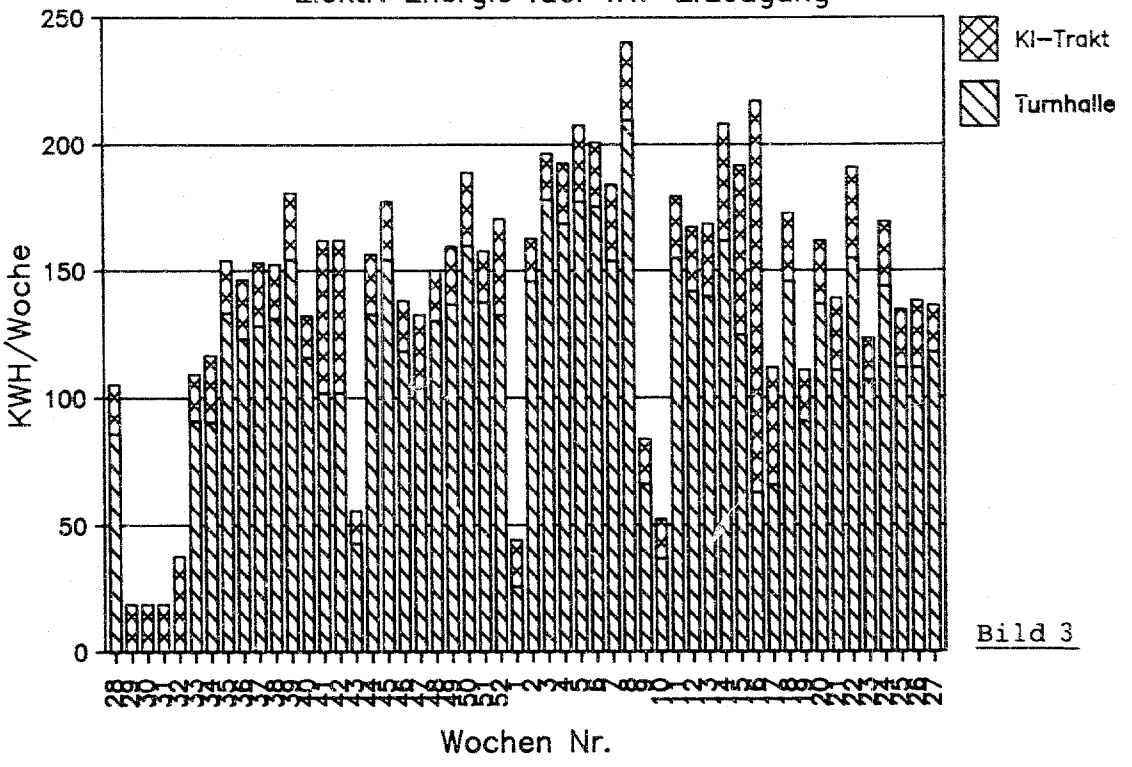


Bild 3

Gumpenwiesen Messperiode 2/1987

Elektr. Energie Schulhaus

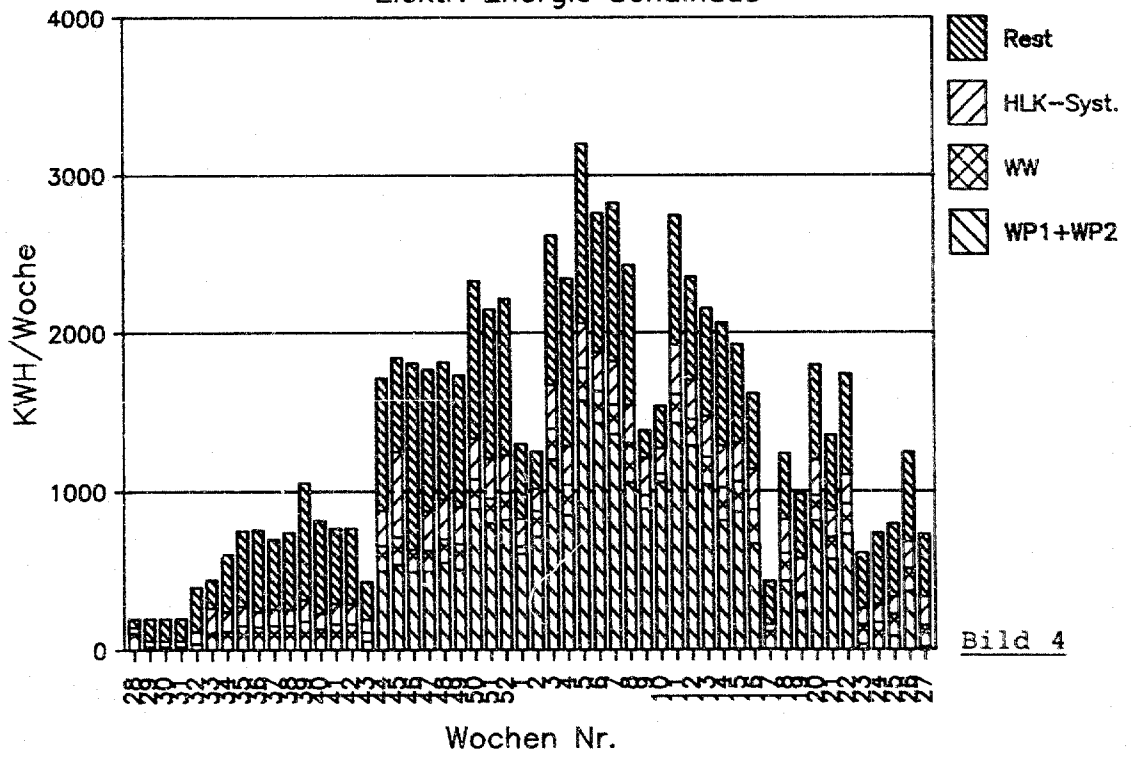


Bild 4

Gumpenwiesen Messperiode 2/1987

Anlage-Leistungsziffer MALZ (Woche)

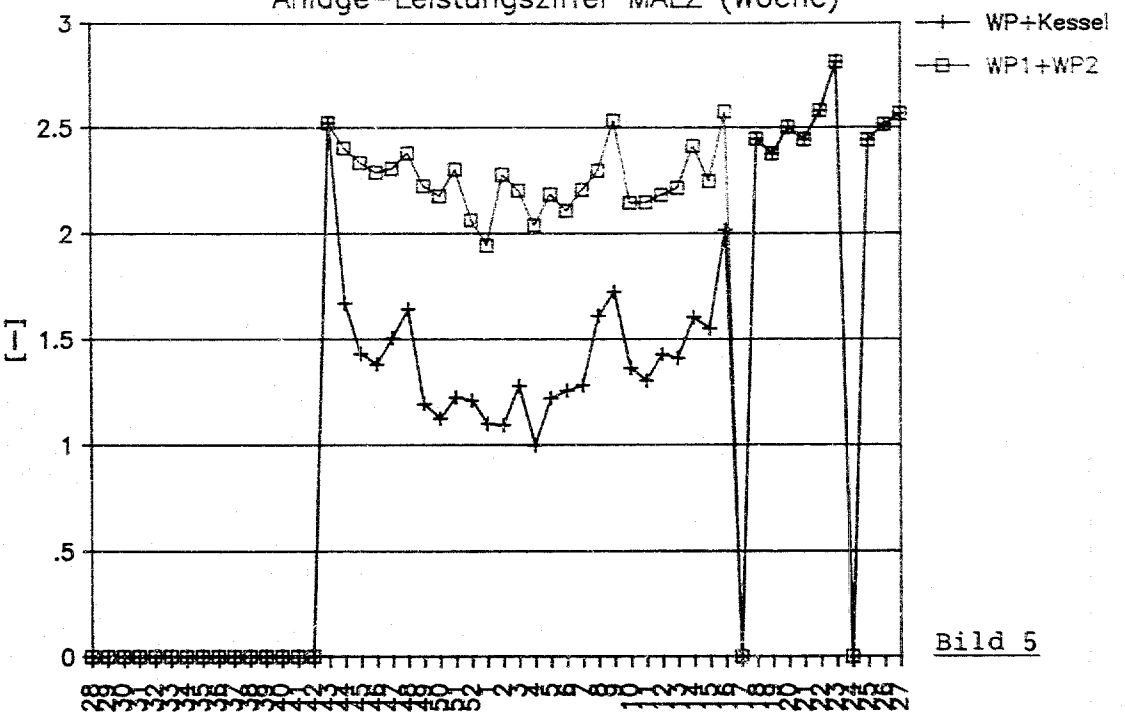


Bild 5

Gumpenwiesen Messperiode 2/1987

Nutzenergie Waermeerzeuger

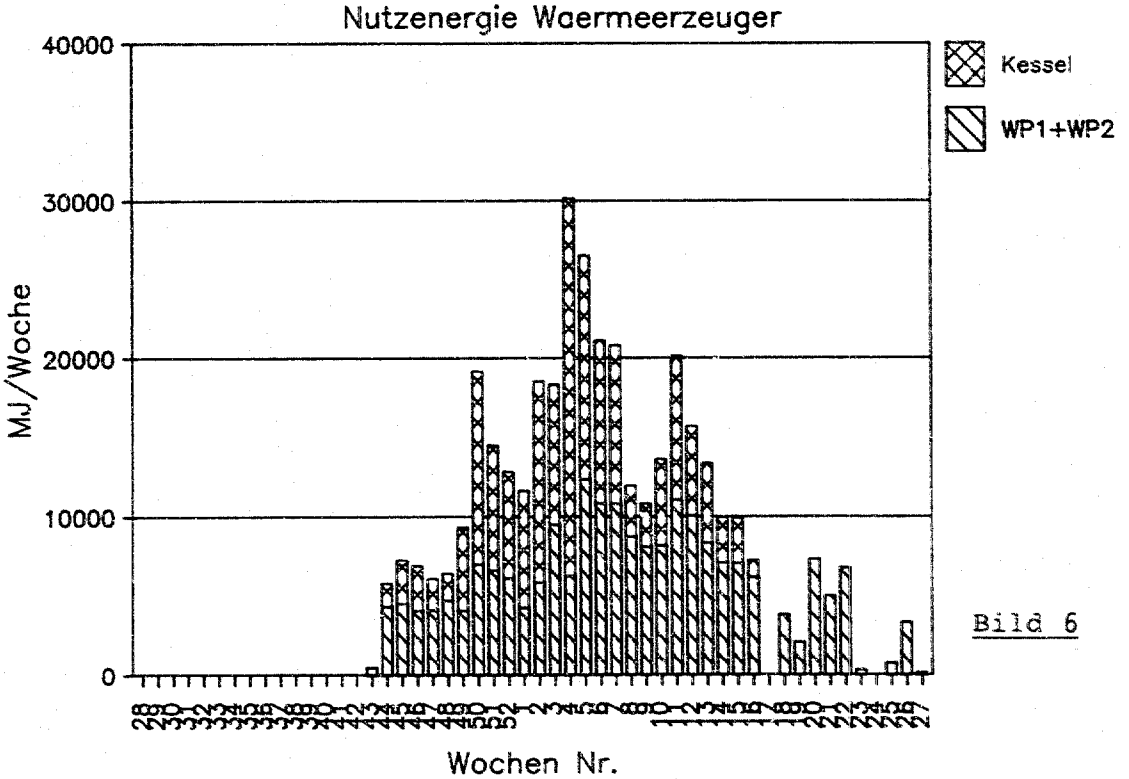


Bild 6

5. CONFORT DE L'HABITAT

WOHNKOMFORT

OFEN PROJETS DE RECHERCHE ÉNERGÉTIQUE 1987

BEW ENERGIE - FORSCHUNGS - PROJEKTE 1987

PASSIVE & HYBRID SOLAR LOW ENERGY BUILDINGS

Ziel des Projektes: Die Ziele des Task VIII sind die Verbesserung des Verständnisses über die Wirkung von passiven Sonnenenergiesystemen an Wohngebäuden und die Förderung gut konzipierter Anwendungen. Um die Anwendbarkeit der von Task VIII gewonnenen Kentnisse zu prüfen, wurden Bauprojekte während der Projektierungsphase durch Simulationen und Expertisen energetisch optimiert (Phase 2). In Phase 3 sollen die nun gebauten Wohnhäuser gemessen und ausgewertet werden. Eines davon, das Haus in Wald, ist ein erdgeschütztes Zweifamilienhaus mit einer verglasten Loggia nach Süden. Das andere Haus in Schüpfen ist ein Reiheneinfamilienhaus mit Luftkollektoren integriert in der Südfassade und gekoppelt mit einem Latentwärmespeicher.

Dauer des Projektes: Juli 1986 - Juni 1988

Beitragsempfänger: Eidgenössische Materialprüfungs- und Versuchsanstalt (EMPA)

Berichterstatter: S. Robert Hastings

Adresse: EMPA-KWH, CH-8600 Dübendorf

Telephon: (01) 823 47 95

1. Anvisierte Zielpunkte für 1987:

a) Messprojekt Schüpfen
(Projektleiter: G. Zweifel, EMPA-erg)

Beim gemessenen Haus handelt es sich um ein 2 1/2-geschossiges Reiheneinfamilienhaus mit hybrider Sonnenenergienutzung. Das Energiekonzept beinhaltet Direktgewinn durch Südfenster und ein Luftkollektorsystem mit in den Innenwänden integriertem Latentwärmespeichern. Die Wärmeabgabe an die Räume geschieht passiv, hauptsächlich an die Nordräume. Die Messung soll Resultate liefern über:

- Wirkungsgrad und Wärmeertrag des Kollektorsystems
- Temperaturverläufe im System
- Ladezustände des Speichers
- dynamischer Verlauf der Wärmeabgabe
- Energiebilanz des Gebäudes soweit möglich, mit Erfassung von Direktgewinn, Ertrag des Kollektorsystems, internen Wärmequellen und Zusatzheizung
- nicht nutzbare Wärme infolge Uebererwärmung.

b) Messprojekt Wald
(Projektleiter: A. Eggenberger, Eggenberger Bauphysik)

In der Berichtsperiode 1987 war beabsichtigt, die Messungen am Objekt in Wald weiterzuführen. Wenn möglich sollten sie bis und mit der warmen Uebergangszeit (Sommer 87) weitergeführt werden. Das Ziel war, einen Datensatz zu erhalten, der alle wesentlichen Klimavarianten eines Jahres aufweist.

2.Durchgeführte Arbeiten 1987:

a) Messprojekt Schüpfen

Das Gebäude wurde anfangs Jahr fertiggestellt und die Messeinrichtung installiert. Mit der Messung konnte Mitte Februar begonnen werden. Nach einigen Ausfällen (inkl. Sturmschäden) im Frühjahr, die als übliche Anlaufschwierigkeiten bezeichnet werden können, läuft die Datenerfassung seither kontinuierlich. Die Daten werden alle 2 - 3 Wochen übertragen und kontrolliert. Einige einfache Auswertungen wurden bereits vorgenommen.

b) Messprojekt Wald

Die im August 1986 begonnen Messungen wurden wie beabsichtigt durchgeführt und Anfangs August 1987 abgebrochen. Der Monat Juli ist der letzte vollständige Messmonat. Die Messinstallation ist abgebaut.

Die Software für die Datenauswertung ist für das Projekt Wald erweitert worden. Die Messwerte sind zu 80 Prozent gesichtet, korrigiert oder ausgesondert. Eine Teilauswertung hat stattgefunden. Die umfassende Auswertung ist noch in Bearbeitung.

3. Erreichte Ergebnisse

a) Messprojekt Schüpfen

Bei der Kontrolle der Messdaten konnten relativ bald Informationen über das Verhalten des Kollektor-Speichersystems erhalten werden. Dabei zeigte sich, dass

- die zirkulierende Luftmenge bei weitem nicht den geplanten Wert erreicht,
- die Latentwärmespeicher auch bei mehreren Schönwettertagen nur im obersten Teil zum Schmelzen gebracht werden und in der nachfolgenden Nacht wieder erstarren.

Der zweite Sachverhalt ist deutlich in Fig. 1 ersichtlich. Nur die oberste Temperatur zeigt beim Abkühlen eine Terrasse; alle anderen erreichen das nötige Temperaturniveau nie.

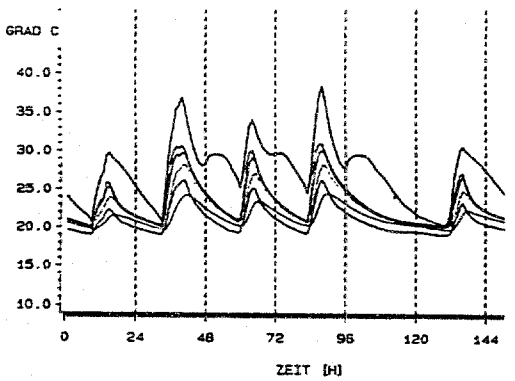


Fig. 1: Temperaturverlauf im Speicher

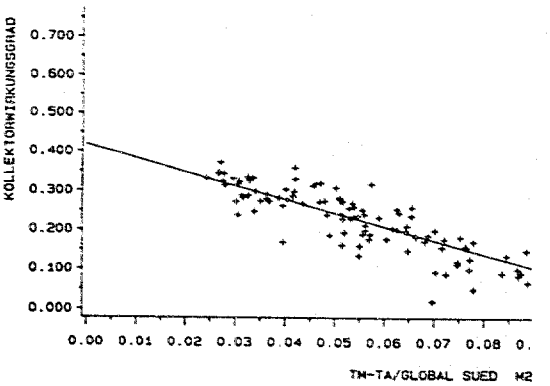


Fig 2: Wirkungsgrad des Kollektors

Bezüglich der zu kleinen Luftmenge stellte sich heraus, dass die eingebauten Ventilatoren aufgrund falscher technischer Daten des Herstellers ausgewählt wurden und die erforderliche Leistung nicht erbringen. Obschon das Problem schon längere Zeit bekannt ist, wurden bis jetzt keine anderen Ventilatoren eingebaut. Entsprechende Abklärungen sind momentan im Gange, wobei der mit der Messung Beauftragte, ohne dazu verpflichtet zu sein, entscheidend daran beteiligt ist. Ob die zu kleine Luftmenge der einzige Grund für das mangelhafte Speicherverhalten ist, wird sich nach deren Ersatz herausstellen. Weitere mögliche Gründe sind die zu hoch gewählte Schmelztemperatur und die Speicherkonstruktion mit vermutlich zu vielen Wärmebrücken.

Fig. 2 zeigt als Beispiel einer einfachen vorläufigen Auswertung (lineare Regression) die Charakteristik des Luftkollektors, aus Tageswerten bestimmt. Daraus wird ersichtlich, dass der Kollektorwirkungsgrad, namentlich im Bereich kleiner Temperaturdifferenzen, eher bescheiden ist. Auch hier wird der Ersatz der Ventilatoren mehr Aufschluss über die Gründe geben, da die zu kleine Luftmenge einen schlechten Wärmeübergang und demzufolge zu grosse Kollektorverluste zur Folge haben kann.

b: Messprojekt Wald

In der verglasten Veranda war eine spezielle Fühlergruppe installiert, mit deren Hilfe die Lufttemperatur, die Luftkonvektion und die Strahlungstemperatur der Umgebungswände quantifiziert werden konnte. Unter Annahme einer winterlichen Bekleidung (1 clo) und einer sitzenden Tätigkeit (1,2 met) wurde aus den Stundenmitteln der Messwerte nummerisch der PMV-Wert nach Fanger errechnet. In Fig. 3 sind die sortierten PMV-Werte in eine Korrelation zwischen Aussentemperatur und vertikaler Globalstrahlung eingezeichnet (o = PMV ≥ 0 und * = PMV < 0). Daraus lässt sich eine Tendenz für die Mindestanforderungen an das Aussenklima ablesen, ab deren Erfüllung ein Aufenthalt der Veranda möglich ist. Als Beispiel sei erwähnt, dass bei Null Grad Celsius Aussentemperatur eine Sonneneinstrahlung vertikal von ca 125 W/m2 notwendig ist (doppelverglaste Veranda). Eine scharfe, eindeutige Grenze ist aus den Messungen nicht definierbar (da die Bewohner durch Türen, Fenster und andere Mittel das Klima in der Veranda beliebig verändern konnten). Ein Trend ist aber trotzdem erkennbar.

Durch die gleiche Auswertungsart der Messwerte der Messkampagne 1983/84 an anderen verglasten Balkonen konnte derselbe Trend ermittelt werden (Fig. 4). Der verglaste Balkon des Mehrfamilienhauses in Courtelary ist im Unterschied zu demjenigen in Wald nur mit Einfachglas versehen. Deshalb ist bei Null Grad Celsius Aussentemperatur eine vertikale Sonneneinstrahlung von ca 200 W/m2 notwendig, um den Aufenthalt in dem verglasten Balkon zu ermöglichen. Ausserdem ist erkennbar, dass ohne Sonneneinstrahlung der Komfortbereich im zweifach verglasten Wintergarten bei 8°C Aussentemperatur erreicht wird, im einfach verglasten jedoch erst bei 10°C.

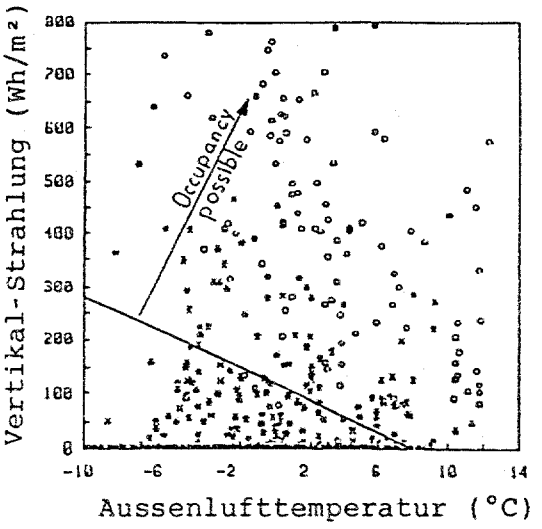


Fig.3: Verandaklima mit 2-fach Verglasung (°=PMV≥0 und *=PMV<0)

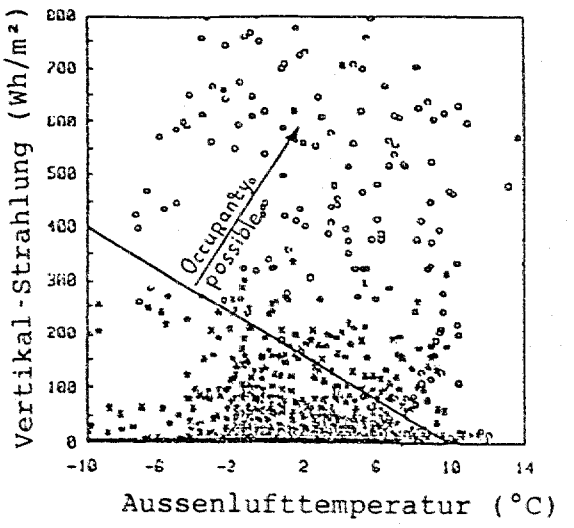


Fig.4: Verandaklima mit 1-fach Verglasung (°=PMV≥0 und *=PMV<0)

Das Gebäude besitzt keine reguläre Heizung. Im grossen Wohnzimmer des Erdgeschosses befindet sich ein Zimmer-Holzofen nach nordischem Design (Stahlblechkonstruktion mit einigen Kacheln). Ueber die offenen Korridortüren wird die Wärme im Erdgeschoss verteilt. Das Obergeschoss (Arbeits- und Schlafräume) ist unbeheizt.

Es wurde untersucht, bei welchen Aussenklima die Ofenheizung in Betrieb genommen wurde. Als Trend lässt sich daraus ableiten, dass die Heizgrenze (keine Sonne) etwa bei 10°C Tagesmittelaussentemperatur liegt. Bei 0 °C ist etwa ab einer summierten Vertikal-Sonneneinstrahlung von 4 kWh/m2 d (ziemlich sonnig) keine Heizung notwendig. Auch hier ist eine scharfe Grenze nicht ersichtlich. Das Benutzerverhalten mit "Handheizbetrieb" ergibt immer eine Ueberlappungszone.

4. Internationaler Rahmen:

Die beiden Projekte Schüpfen und Wald stehen im Zusammenhang mit IEA Task VIII.
Der Zeitplan der beiden schweizerischen Projekte liegt etwa im Rahmen des Grossteils der Projekte anderer beteiligter Länder, wobei das Projekt Wald eher zu den frühen gehört.

5. Veröffentlichungen

Zweifel, G.: "Project Richtersmatt, Schüpfen: Description of Building and Monitoring System", EMPA, Abt. Bauphysik, 8600 Dübendorf, Juni 1987.

Gütermann, A. und Eggenberger, A.: "Pre-Project Computer aided Optimisation and Post-Project Measurments of a Sunspace for Mid-European Climate" (Beitrag für den ISES Solar World Congress 1987, Hamburg), EMPA-KWH, CH-8600 Dübendorf.

6. Neue Forschungsarbeiten

Eindeutig fehlen Erfahrungen immer noch mit Luftkollektor-Speichersystemen. Noch weniger bekannt ist wie Latentwärmespeicher konfiguriert sein sollen, um eine möglichst grosse Wirkung der Speicherfähigkeit zu erhalten, sowie eine zeit- und temperaturangepasste Wärmeabgabe in den Wohnraum zu ermöglichen. Nicht nur Erfahrung mit konstruktiven Details fehlt, sondern auch Rechenmodelle, die fähig sind, die Wirkung von solchen Systemen auf Komfort und Heizenergieverbrauch des gesamten Hauses zu analysieren.

OFEN PROJETS DE RECHERCHE ÉNERGÉTIQUE 1987

BEW ENERGIE - FORSCHUNGS - PROJEKTE 1987

PASSIVE & HYBRIDE SONNENENERGIENUTZUNG

IN GESCHÄFTSHÄUSERN

Ziel des Projektes: Task XI will durch die Förderung der intensiven Sonnenenergienutzung einen stark reduzierten Energieverbrauch in Gebäuden ermöglichen. Im Gegensatz zu Task VIII konzentriert sich Task XI auf Geschäftshäuser, Schulen, etc. und nicht auf Wohnhäuser. Passive und hybride Sonnenenergienutzung schliesst hier Raumheizung, intensive Tageslichtnutzung sowie Verminderung der Kühllast ein. Die Arbeit läuft in drei Teilbereichen: A: Fallstudien (Leitung UK), B: Simulationen (Leitung USA), und C: Planungshilfsmittel (Leitung CH). Die Schweiz, vertreten durch das Bundesamt für Energiewirtschaft, ist für die internationale Leitung dieses Projektes zuständig und hat auch auf nationaler Ebene ein sehr umfangreiches Programm.

Dauer des Projektes: Okt.1986 - Dez.1990

Beitragsempfänger: Eidgenössische Materialprüfungs- und Versuchsanstalt

Berichterstatter: S. Robert Hastings

Adresse: EMPA-KWH, CH-8600 Dübendorf

Telephon: (01) 823 47 95

1. Anvisierte Zielpunkte für 1987:

- Prioritäten festlegen: Kombinationen von System- und Gebäudetypen analysieren um Forschungsprioritäten zu definieren.

- Fallstudien durchführen: Beispiele von Gebäuden mit Sonnenenergiesystemen (sehr energiesparend oder originell) aussuchen und dokumentieren. Auswahl einiger Projekte von besonderem Interesse zum Instrumentieren, Messen und Auswerten.

- Messmethoden zusammenfassen: Heutiger Stand von Messmethoden beschreiben mit Rücksicht auf die Anwendung von Klein-Computern.

- Computermodelle analysieren: Abklären welche Modelle für die Parameterstudien im Rahmen von Task XI geeignet sind.

- Ein Referenzbuch der Ergebnisse Task XI skizzieren: Festlegen der Hauptthemen, seines Aufbaus und der zuständigen Personen.

- Zwei Workshops durchführen: Je ein Workshop über Sonnenenergiesysteme für Schulhäuser und über Tageslichtprogramme.

2. Durchgeführte Arbeiten 1987:

Prioritäten für Task XI wurden von C. Filleux (Basler u. Hofmann) vorgeschlagen. Sie basieren auf dem Energiesparpotential von passiven Sonnenenergiemassnahmen bei einer Auswahl von Gebäuden (aus der Gebäudetypologie der IEA).

Zehn Fallstudien wurden vom Architekturbureau Pinna, Schwarzenbach, Süsstrunk für das IEA-Dokument in Englisch beschrieben. Eine deutsche Version ist in Bearbeitung.

Die von CUEPE (Universität Genf) begonnene Arbeit über neue Messmethoden wird 1988 von G.B. Gay (EPFL-GRES) übernommen.

Das erste Messprojekt, das Bürohaus von Haas + Partner AG, Jona wurde von H. Maier (Gabathuler AG) instrumentiert. T. Baumgartner unterstützt K. Haas (Projektleiter) bei der Datenverarbeitung (Kontrolle, Darstellung, und Auswertung).

Drei Computermodelle für die Beurteilung der Verteilung sowie Intensität von Tageslicht wurden von N. Hopkirk (EMPA-erg) installiert, und deren Anwendung zusammengefasst.

Ein Referenzbuch ist geplant um die Mess- und Simulations-Erfahrung von Task XI in einem für Architekten und Ingenieure geeigneten Format darzustellen. Der Aufbau und die Form dieses Referenzbuches wurden von R. Hastings (EMPA-KWH) festgelegt.

Zwei Workshops wurden durchgeführt. In Gersau (CH) am 1-2. Mai wurden Suncode und LESOSAI für den Entwurf eines Primarschulhauses mit passivem Sonnenenergiesystem angewendet. Das Thema in Palermo (I) am 17. Okt war Tageslichtmodelle auf Kleincomputern.

3. Erreichte Ergebnisse:

Eine Vorstudie:

Das Energiesparpotential bei Nicht-Wohnhäusern ist sehr gross, da sie fast die Hälfte des nationalen Gebäudeenergieverbrauchs verursachen. Sonnenenergienutzung kann in Form von Wärme und Licht diesen Energieverbrauch stark reduzieren, aber Forschung, Umsetzung und Demonstrationsobjekte sind nötig. Wo sollen Schwerpunkte gesetzt werden? Um dieses zu beurteilen wurde eine Vorstudie durchgeführt. Schlussfolgerungen dieser Studie sind:

- Bürohäuser, Schulhäuser und Hotels bieten weitaus am meisten Energiesparmöglichkeiten. Bei Industrie- und Gewerbebauten, sind aber auch viele Möglichkeiten für innovative Lösungen vorhanden.

- Verwaltungsbauten sind nicht einfach grosse Mehrfamilienhäuser. Raumheizung durch Sonnenenergie bedingt Rücksichtnahme auf Gebäudegrösse, Gebäudekonstruktion und interne Wärme.

- Grössere Verkaufsläden könnten durch vermehrte Tageslichtnutzung den hohen Elektrizitätsverbrauch für Beleuchtung senken und gleichzeitig die Kühllast reduzieren.

- Bei Gemeinschaftsräumen (Museen, Kirchen, Bibliotheken) liegt sowohl in Bezug auf Tageslichtnutzung und Nutzung von Sonnenwärme ein nicht zu vernachlässigendes Energiesparpotential.

Fallstudien:

Zehn Fallstudien wurden von der Schweiz dargestellt: ein geplantes grosses Bürohaus des EWZ in Zürich, ein mittelgrosses Bürohaus in Stäfa/ZH, ein kleines Bürohaus in Jona/SG, ein Industriezentrum in Meyrin/GE, ein Gemeindefreizeithaus in Reinach /BL, eine Primarschule in Gumpenwiesen/ZH, ein Schulhaus in Penthaz/VD, ein Archiv in Lausanne und ein Universitätsgebäude in Neuenburg. Die Fallstudien bestehen aus der Beschreibung des Projekts, der Gebäudekonstruktion, der Haustechnik, des passiven Sonnenenergiesystemes, der Baukosten und des Energieverbrauchs.

Eine interessante Fallstudie mit sehr tiefem Energieverbrauch (Gesamt: 125, Heizung: 55 MJ/m²a) ist das Bürohaus Haas + Partner. Das Energiekonzept besteht aus möglichst wenig Wärmeverlust dank der Erdüberdeckung und Nutzung der Sonnenenergie durch Fensterkollektoren mit einem Geröllwärmespeicher gekoppelt. Das Haus wird während zwei Heizsaisons an 41 Messstellen gemessen: 1987/88 (als reines Passivsystem) Kollektoren+Speicher abgekoppelt und 1988/89 angekoppelt.

Simulation:

Für den Workshop in Palermo wurden Lichtstärke und Energie für Beleuchtung, Heizung und Kühlung für ein Klassenzimmer des Schulhauses Gumpenwiesen berechnet. Varianten (Lichtbalkone, Storen, Beschattungen, geneigte Decke, Helligkeiten der Oberflächen und Orientierung) wurden berechnet. DOE2.1C, Contralite-Quicklite und Daylite werden zusammen mit Modellen von Deutschland und UK getestet (Dalite, Superlite, Watday) und dokumentiert. Tabelle 1 zeigt eine Auswahl dieser Informationen.

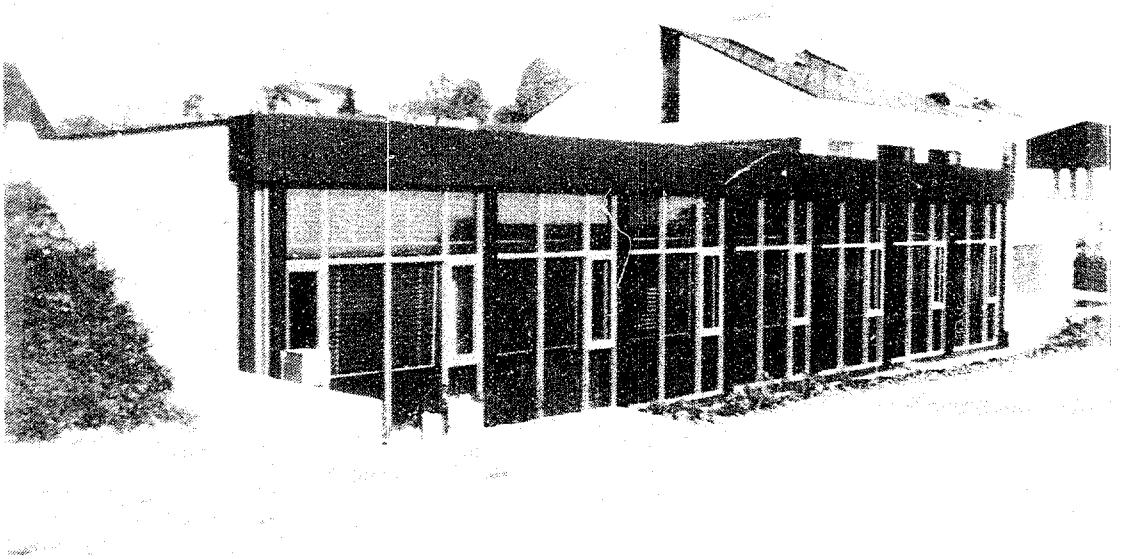


Fig.1: Das Bürohaus Haas + Partner im Jona/SG

Tabelle 1: Ein Vergleich von ausgewälten Tageslichtprogrammen

Namen des Programmes	Quelle	Tageslicht-systeme										Ergebnisse Tageslicht					Energie			
		Glastyp	Store	Reflexion Oberfl.	Lichtbalken	Oberlicht	Fester Sonnenschutz	Dachfenster	Atrium	Lichtkontrolle		Lichtverteil.Raster	Lichtverteil.Punkte	Blendung	Isolux	Andere		Heizung	Kühlung	Beleuchtung	Tageslicht/Strom
DAYLIT	UCLA	X	X	X	X		X	X		X			3			X		X	X	X	
DAYLITE 2.1	Solarsoft	X		X	X	X	X	X		X		X		X	X	X				X	X
DOE 2.1C	LBL	X	X	X	X	X	X	X	X	X			2	X		X		X	X	X	X
WATDAY	Databuild	X		X		X	X	X		X						X					
SUPERLITE	LBL	X	X	X	X	X	X	X	X			X			X	X					

Das Referenzbuch:

Die Arbeit am Referenzbuch der Ergebnisse und Schlussfolgerungen von Task XI auf internationaler Ebene hat begonnen. Fünf Hauptkapitel sind geplant.

Tageslicht	- Direkt- und Indirektsysteme Verantwortliche: N. Hopkirk (CH)
Atrien	- Einführung der Sonne als Wärme und Licht Verantwortliche: A-G. Hestnes (N)
Passiv-Heizung	- Direkte und indirekte Sonnenenwärmenutzung Verantwortlicher: P. Kristenson (DK)
Passive Kühlung	- Sonnenschutz, Lüftung, etc. Verantwortlicher: F. Butera (I)
Gebäudetypen	- Randbedingungen der Sonnenenergienutzung: Gebäudeform, Konstruktion, Nutzung. Verantwortlicher: R.Hastings (CH)

Jedes Kapitel wird wie folgt gegliedert:

a. Typologie der Konzepte
b. Beispiele (aus den Fallstudien)
c. Prinzipien für die Planung
d. Einfache Rechenmethoden
e. Entscheidungskriterien
f. Literaturliste

4. Internationaler Rahmen:

Die Schweiz ist eines der zwölf aktiv teilnehmenden Länder:

Belgien	(EG)	Italien	Schweiz
Dänemark	(Finnland)	Norwegen	Spanien
Deutschland	Grossbritannien	Schweden	USA

( ) Aktiv aber noch nicht ein offizieller Teilnehmer

Bei den Fallstudien hat die Schweiz das grösste Angebot abgegeben, 10 von international 40 vorgesehenen Projektbeschreibungen. Andere Länder, wie Norwegen, Schweden und Belgien haben aber mehr Messprojekte. Schweizerische Bauobjekte, die als Messprojekte gut geeignet wären, sind nicht einfach zu finden.

Das Forschungsprogramm profitiert von der internationalen Zusammenarbeit in mehreren Bereichen. Die in der Schweiz 1989 zu startende Arbeit an einem Pilotexpertsystem wird von der schon jetzt laufenden Arbeit in Dänemark, Norwegen, und Deutschland sicher profitieren. Für die Parameterstudien müssen keine neuen Computermodelle geschrieben werden. Modelle aus USA, Norwegen und Grossbritannien werden, mit Unterstützung dieser Länder, unserer Arbeit sehr gut dienen. Im Bereich Tageslicht kann die Schweiz sogar für ein Jahr die Kenntnisse eines Experten, M. Schiller aus USA nutzen. 50 Prozent seiner Kosten werden von den USA gedeckt.

5. Veröffentlichungen:

Filleux, Ch., "Task XI: Schwerpunkte für die Beteiligung der Schweiz", Basler u. Hofmann AG, CH-8029 Zürich, Dez. 1987.

Hastings, S.R., "Workshop 1: Design of a School Using PC Energy Analysis Tools", EMPA-KWH, CH-8600 Dübendorf, Dez. 1987.

Hastings, S.R., "Computer Design Tools for Climate-Responsive Architecture", Proceedings of the Workshop: Interaction between Physics and Architecture in Environmentally Conscious Design, Center for Theoretical Physics, Triest, Italy, Sept.1987.

Hastings, S.R., "An Analysis of Five Passive Solar Buildings in Switzerland", Proceedings of: the Hamburg Congress of the International Solar Energy Agency, Juli 1987; and the Congress of the American and Canadian Solar Energy Societies, Sept.1987.

6. Neue Forschungsarbeiten:

Null-Heizenergiehäuser: Bei Task VIII und Task XI sind Ideen für Gebäude mit fast keinem Heizenergieverbrauch herauskristallisiert worden. Mit den in nächster Zeit zu erwartenden Baumaterialien ist es denkbar, einen Nullverbauch zu erreichen. Beispiele sind transparente Wärmedämmstoffe, neuartige Verglasung, intelligente Regelsysteme und Baumaterialien mit integrierten Phasenwechselchemikalien zur Wärmespeicherung. Die Leitung von Task XI hat im Auftrag des Executive Committees und mit den USA und Finnland ein neues IEA-Forschungsprogramm definiert.

Um die Eigenschaften von solchen neuen Materialien zu berücksichtigen wird die Weiterentwicklung von Computermodellen nötig sein. Modelle, die Sonnenenergie als Licht und Wärme behandeln können, fehlen auch. Dies ist wichtig, um Tageslichtsysteme zu entwickeln, da ihre Vorteile nicht nur im Stromsparen für Beleuchtung, sondern auch in der Reduktion der Kühllast im Sommer sowie möglicherweise einem Wärmebeitrag im Winter liegen. Um Licht und thermisches Verhalten zu beurteilen, müssen heute zwei Modelle gebraucht werden, was sehr zeitaufwendig ist und zu falschen Schlussfolgerungen führen kann.

OFEN — PROJETS DE RECHERCHE ÉNERGÉTIQUE 1987

BEW — ENERGIE - FORSCHUNGS - PROJEKTE 1987

VAKUUMISOLIERTES LICHTELEMENT

Ziel des Projekts:

Forschung und Entwicklung eines hochisolierenden Fensterglases mit positiver Energiebilanz

K - Wert = 0,3 bis 0,6 W/m2K

Dauer des Projekts: Phase II bis Ende 1987

Beitragsempfänger: Emil Bächli

Berichterstatter: Emil Bächli

Adresse: Marktgasse 7

Telephon: 056 52 12 33
056 52 14 74

1. ANVISIERTE ZIELPUNKTE FUER 1987

-Vakuumdichte Glasmetallisierung - Verzinnung.

-Vakuumdichte Glasrandabdichtung, lötbar, elastisch oder federnd, um die ungleichen Ausdehnungen von kalter und warmer Glasscheibe auffangen zu können (Glasbruchverhütung).

-Ausrüstung einer Vakuumkammer mit Vakuumpumpen, Heizplatten, Messinstrumenten für Vakuum und Temperatur.

-Ausheizung, Evakuieren, Löten der Randabdichtung.

-Austesten der evakuierten und gelöteten Scheiben.

-Austesten der Muster 50 x 50/90 x 50 cm.

2. DURCHGEFUEHRTE ARBEITEN 1987

Es wurden verschiedene Glasmetallisierungsverfahren getestet und die Machbarkeit einer gasdichten, elastischen, lötbaren Glasrandabdichtung mit den Eckproblemen untersucht und realisiert.

In einer heizbaren Vakuumkammer sind kleine Scheiben 150 x 150 mm zwecks Ausgasung der Innenflächen erhitzt, evakuiert und automatisch gelötet worden als Vorbild einer energiesparenden, wirtschaftlichen Herstellweise.

Für den Bau grösserer Scheiben reichte die Zeit von einem Jahr nicht aus, da die Glasmetallisierung mehr Zeit als erwartet in Anspruch genommen hat.

3. ERREICHTE ERGEBNISSE

Glasmetallisierung:

Eine weltweite Recherche eines Glasspezialisten u.a. auch bei der Nasa hat ergeben, dass eine für Dauervakuum gas-

dichte Fensterglasrand-Metallisierung noch nirgends existiert.

Das in der Isolierglasfabrikation bekannte Kupfer-Zinn Flammspritzverfahren ist nicht genügend gasdicht.

Die Erforschung einer homogenen Glas - Metallverbindung, die ebenso gasdicht ist, wie das Glas selbst, konnte im vorliegenden Projekt innerhalb eines Jahres nicht abgeschlossen werden und ist noch in vollem Gange.

Metallisierungsverfahren A hat die gestellten Anforderungen noch nicht erfüllt, muss aber noch weiter optimiert werden, da eine Fabrikation preisgünstig wäre.

Sehr aussichtsreich sind die Verfahren B und C. Während B noch in Arbeit ist, gelang bei C ein Durchbruch, was erste Heliumtests von mit Randabdichtungen verlöteten kleinen Musterscheiben beweisen. Weitere Heliumtests folgen, wofür eine spezielle Testkammer für Dauertests zu bauen ist. Für dessen Betrieb ist ein neues hochempfindliches Heliumlecksuchgerät mit einer Empfindlichkeit von 10^{-11} mbar/l/sek. erforderlich.

Die Erhaltung eines Dauervakuums über 30 Jahren stellt an die Leckprüfung ungeheure Anforderungen, die an der Grenze des technisch Machbaren liegen. Beispielsweise sagt eine Leckrate von 10^{-10} mbar/l/sek. aus, dass in 25 Jahren 1 cm3 Luft mit Atmosphärendruck in den Vakuumraum eindringt, was den vorliegenden Dichtheits-Anforderungen nocht nicht genügt.

Die weiteren Forschungsarbeiten mit Verfahren C bestehen darin, dieses auf grössere Fensterscheiben zu übertragen, um Tests an diesen durchführen zu können. Denn es ist so, dass bei der Glasmetallisierung bei ungleichen Ausdehnungskoeffizienten von Glas - Metall immer Dimensions - Probleme entstehen.

Verlöten unter Vakuum

Es wurden Weichlote verschiedener Legierungen und Schmelz-

punkte auf ihre Eignung für das Vakuumfenster geprüft. Es zeigte sich folgendes unerwartete Phänomen: Sämtliche Lote die nach dem Schmelzen in der Atmosphäre schön sauber und blank aussehen, hatten nach dem Schmelzen unter Vakuum eine sehr schmutzige, unansehnliche Oberfläche. Dabei hatte man das Gegenteil erwartet, da bekannterweise Oxidationen im Vakuum verhindert werden. Weitere Versuche, diese schmutzige Lot-Oberfläche im Vakuumraum mit Wasserstoff zu reduzieren, schlugen fehl.

Endlich konnte das Problem gelöst werden. Alle üblichen Weichlote enthalten unreine Stoffe, die im Vakuum verdampfen oder sich an der Lotoberfläche als Schlacke niederschlagen, was eine gasdichte Lötung unmöglich macht. Um dies zu vermeiden muss das Weichlot schon vor der Verwendung im Vakuum vorgeschmolzen und gereinigt werden. Da ein solches Vakuum - Lot zu einem vernünftigen Preis und Lieferfrist nicht erhältlich war, wurde es mit einer eigenen Spezialvorrichtung selbst hergestellt.

Glasrandabdichtung

Die Randabdichtung mittelst der vorgesehenen Edelstahlfolie konnte realisiert werden und gelang auf Anhieb. Sehr schwierig und zeitraubend gestaltete sich die Beschaffung und Verzinnung dieser Spezialfolie. Das Eckproblem ist excellent wie problemlos gelöst, und war schon beim ersten automatischen Lötversuch gasdicht. Edelstahl als Randabdichtung hat alle Vorteile wie: Gasdichtheit, schlechtwärmeleitend, hohe Korrosionsfestigkeit.

Ausstattung einer heizbaren Vakuumkammer

Es ist vorgesehen, eine grosse vorhandene Vakuumkammer mit den nötigen Vakuumpumpen, Messinstrumenten und Heizplatten auszurüsten, aber erst dann, wenn die Glasmetallisierung befriedigende Resultate ergeben hat. Um aber die Glasmetalli-

sierung auf Vakuumdichtheit zu testen, müssen kleine Gläser 15 x 15 cm bereits mit der Randabdichtung in einem kleinen Vakuumofen gelötet werden können. Vorgängig zur grossen Vakuumkammer, musste somit eine Kleine gebaut werden. Sie besteht aus einer Glasglocke mit 400 mm Durchmesser, bestückt mit zwei elektr. Heizplatten, stufenlosregulierbar und jede einzlene mit Temp. - Messung ausgerüstet. Der Pumpsatz hat eine 2-stufige Vorvakuumpumpe mit nachgeschalteter Turbomolekularpumpe und Messinstrumenten im Messbereich zwischen 1000 mbar - 10^{-7} mbar. Nach anfänglichen Schwierigkeiten mit den Heizplatten, die ausgetauscht werden mussten, funktioniert die Anlage zur Zufriedenheit. In ca. 3 Stunden kann dem Vakuumofen eine fix-fertige, automatisch gelötete Glasscheibe entnommen werden, die anschliessend mit dem Heliumlecksuchgerät auf Dichtheit geprüft wird. Auf diese Weise lässt sich die Qualität der Glasmetallisierung einwandfrei überprüfen.

4. INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT

Keine

5. VEROEFFENTLICHUNGEN

Patentanmeldungen Schweiz und Ausland.

6. NEUE FORSCHUNGSARBEITEN

a) Weiterführung der angefangenen Arbeiten bis zum Abschluss unter Miteinbezug von Getterversuchen.

b) Entwicklung einer für das Vakuumisolierglas geeigneten, hocheffizienten, infrarotreflektierenden Beschichtung mit hoher Lichtdurchlässigkeit.

c) Entwicklung eines Vakuumglas - Fassadenelementes, dekorativ, mit integrierter, automatischer Beschattungs- und

Hinterlüftungseinrichtung für den Sommerbetrieb (kühle Aussenwände) und im Winter Erwärmung der Aussenmauern. Dazu genügt eine Lichteinstrahlung von 30 bis 50 Watt/m^2 (nebliges Wetter) auf diese Vakuumhülle eines Hauses, um die Mauern tagsüber auf 25° C bis 30° C zu erwärmen und für die Nachtheizung zu speichern. Nach Tagesanbruch werden die Mauern erneut mittelst Licht aufgeladen, wobei die durch Sonnenenergie angetriebene Beschattungseinrichtung die Mauertemperatur bei evtl. direkter Sonneneinstrahlung reguliert.

Wirtschaftlichkeit: Voraussichtlich sehr gut, da bei Neubauten Doppelmauern, Isolationen und Aussenverputze, sowie die Heizung und deren Energiekosten entfallen.

d) Bau eines Musterhauses mit Vakuumfenstern und Vakuumfassadenelementen, das nicht mehr geheizt werden muss. Hoher Wohnkomfort, da Aussenwände im Winter in den Wohnraum warm strahlen, und im Sommer durch eine integrierte Beschattungseinrichtung kühl bleiben.

e) Bau von Wintergärten, die den Namen verdienen. In denen im Winter bei Minus 10° C, bei Nebel oder bewölktem Himmel eine sommerliche Temperatur herrscht.

f) Bau von Treibhäusern, die im Winter nicht mehr geheizt werden müssen.

Zusammenfassung

Ist die Forschung weiterhin erfolgreich wie bis anhin, hat das Vakuumisolierglas Chance, durch grosse Energieeinsparungsmöglichkeiten bei neuen und alten Gebäuden, die schweizerische Energielandschaft zugunsten einer sauberen Umwelt zu verändern.

Endingen, 14. Dezember 1987

Emil Bächli

OFEN — PROJETS DE RECHERCHE ÉNERGÉTIQUE 1987

BEW — ENERGIE - FORSCHUNGS - PROJEKTE 1987

WINDOW & FENESTRATION

But du projet: Etude détaillée et systématique des fenêtres et systèmes de fenêtre :

- Influence des divers éléments sur les performances thermiques et énergétiques des fenêtres.
- Méthodes de calcul : modèles dynamiques et méthodes simplifiées
- Produits actuels et nouveaux développements.

Durée du projet: 1983 - 1987

Mandataire: EPFL - Groupe de Rechercheen Energie Solaire

Rapporteur: Dr Jean-Bernard GAY

Adresse: EPFL - Bâtiment LESO - 1015 Lausanne

Téléphone: 021 / 47 45 43

1. OBJECTIFS VISES EN 1987

Au plan international, les travaux de l'annexe XII se sont terminés à la fin 1986. Au plan suisse 1987 nous aura permis d'achever certaines publications et de diffuser les résultats obtenus.

2. TRAVAUX EFFECTUES EN 1987

Diverses publications [1-4] en relation directe avec les travaux de l'annexe XII ont été publiées. Celles-ci ont été complétées par l'organisation d'un dernier séminaire le 25 juin à Zurich.

3. RESULTATS OBTENUS

Les performances énergétiques des fenêtres peuvent être améliorées par diverses mesures portant :

a) sur la fenêtre elle-même (amélioration des vitrages, des cadres et de leur raccord au gros oeuvre),

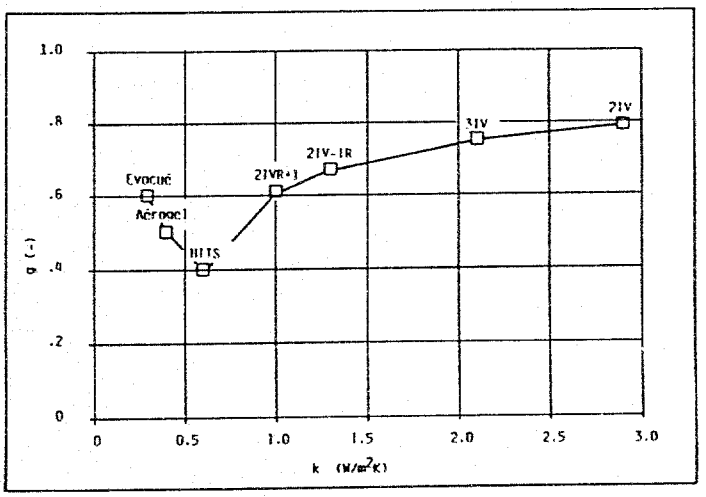
b) sur les installations techniques (choix de systèmes d'émission de chaleur et de régulation permettant une meilleure utilisation des gains solaires),

c) sur la planification (orientation du bâtiment, optimisation des surfaces vitrées, prise en compte des besoins en éclairage naturel, choix des protections solaires).

Si chacun de ces trois points peut être considéré comme d'importance équivalente sur le résultat final, c'est-à-dire sur les besoins énergétiques globaux du bâtiment *ainsi que sur le confort tel qu'il sera perçu par ses occupants,* les progrès réalisés dans ces trois directions durant ces dernières années sont très inégaux, et peuvent se résumer comme suit :

a) Qualité des fenêtres :

Les progrès les plus sensibles ont été faits dans le domaine des vitrages : l'utilisation de couches sélectives, ainsi que l'inclusion de gaz inertes entre les verres, ont permis de diminuer le coefficient de conductibilité thermique des vitrages d'un facteur 2 (par rapport à un vitrage isolant double standard). L'utilisation de films sélectifs permet aujourd'hui d'obtenir des valeurs encore bien inférieures (vitrage HIT), la figure 1 illustre cette évolution.



2 IV	vitrage isolant double
3 IV	vitrage isolant triple
2 IV-IR	vitrage isolant double sélectif
2 IVR + 1	vitrage isolant double avec un film sélectif

Figure 1 : Evolution dans la qualité des vitrages : transmission énergétique globale (g) en fonction du coefficient de conduction thermique (k).

Un vitrage de haute qualité n'est toutefois pas le seul élément déterminant, des points faibles subsistent au niveau des intercalaires en aluminium situés sur le pourtour des vitrages et au niveau des cadres. L'obtention d'une fenêtre performante passe par une étude sérieuse des divers constituants, du raccordement au gros oeuvre, et de son exécution.

b) Système de chauffage et régulation

Les études de sensibilité effectuées dans le cadre de l'annexe XII ont bien fait ressortir l'importance des installations techniques sur le coefficient d'utilisation des gains solaires. A titre d'illustration la figure 2 compare l'effet de 3 modes de régulation du chauffage.

Le trait continu représente le maximum théorique : aussi longtemps que les gains sont inférieurs aux pertes la fraction de gains utiles est égale à 1, dès que les gains dépassent les pertes la fraction des gains utiles chute comme l'inverse du rapport Gains/pertes.

En pratique les gains solaire et internes arrivent de manière intermittente, de ce fait ils conduisent à certains moments à des surchauffes et la fraction de gains utiles pratique sera généralement inférieur au maximum théorique. La différence entre maximum théorique et valeur pratique dépend dans une très large mesure du type de régulation comme le montre la figure 2.

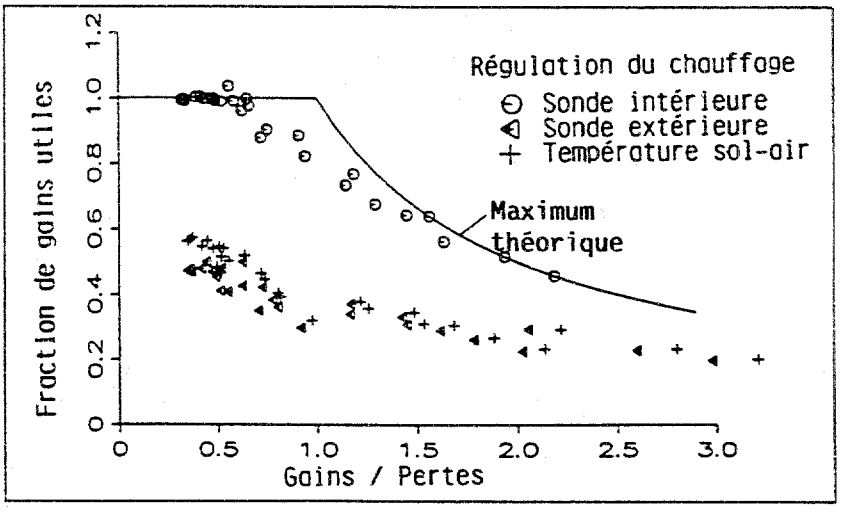


Figure 2 : Facteur d'utilisation des gains de chaleur selon le mode de régulation (chauffage en continu).

Ceci montre qu'à ce niveau également un important potentiel d'économie d'énergie existe. L'exploitation de ce potentiel ne nécessite pas d'investissements importants, mais une connaissance du problème, une volonté d'agir et des contrôles sérieux lors de la mise en service et de l'équilibrage de l'installation.

c) Planification

Pour les bâtiments neufs, ainsi que pour les réhabilitations thermiques importantes, un effort de planification conduit également à un gain important tant au niveau de l'énergie que du confort. C'est probablement dans ce domaine où les plus grands progrès restent à faire. Ces progrès nécessitent une meilleure formation des architectes et des ingénieurs; ainsi que le développement d'outils d'aide à la conception et au dimensionnement (systèmes experts par exemple). De tels outils devraient permettre une prise en compte simultanée des besoins en chaleur et en éclairage ainsi que des problèmes de confort (protections solaires estivales, etc.), et ceci dès le niveau de l'avant-projet.

4 . COLLABORATION INTERNATIONALE

Dans le cadre de la collaboration internationale, l'année en cours a permis de terminer l'important document "Thermal and solar properties of windows" [7] qui résulte d'une réelle collaboration internationale, chaque pays s'étant chargé de la rédaction d'un chapitre.

5. PUBLICATIONS

a) Au plan national

[1] Principaux résultats de l'annexe XII.
Ingénieurs et architectes suisses 19/87 p. 317-340.

[2] Zur Beurteilung des Fensters
Schweizer Ingenieur und Architekt 35/87 s. 993-1017.

[3] Comparison of window performances
International Congress on Building Energy Management
Vol. IV p. 13-19, Lausanne (1987).

[4] Direct gains and daylighting
International Congress on Building Energy Management
Volume IV p. 322-329 - Lausanne (1987).

[5] Which simplified method should be used in order to predict the annual heat requirements of a building ?
International Congress on Building Energy Management
Vol. II p. 187-193, Lausanne (1987).

b) Au plan international

[6] Thermal transmission through windows - selected examples to illustrate the need for a more standardized approach
TNO - Delft (1987).

[7] Thermal and solar properties of windows
TNO - Delft (1987).

6 . NOUVELLES RECHERCHES

Au vu de ce qui précède, des lacunes apparaissent dans les deux directions suivantes :

a) Au niveau des connaissances de base des praticiens et des nouvelles méthodes de travail qui cela implique, il s'agit là moins de recherche que de formation ou de post-formation.

b) Au niveau des outils d'aide au dimensionnement et à la planification, ce sujet nécessite des efforts de recherche si l'on veut arriver à des méthodes fiables qui puissent être adoptées dans la pratique.

OFEN
BEW

PROJETS DE RECHERCHE ÉNERGÉTIQUE 1987
ENERGIE - FORSCHUNGS - PROJEKTE 1987

TRANSPARENTE ISOLATION

Ziel des Projekts: Untersuchung der Anwendbarkeit transparenter Isolationen an Gebäuden und Erarbeitung von Empfehlungen für deren optimalen Aufbau

Dauer des Projekts: April 1987 - Juli 1989

Beitragsempfänger: Ernst Schweizer AG, Feilenbergstr. 279, 8047 Zürich
Berichterstatter: Dr. P. Schneiter, B. Schläpfer
Adresse: c/o Ernst Schweizer AG, Metallbau, 8908 Hedingen
Telephon: 01/763 61 11

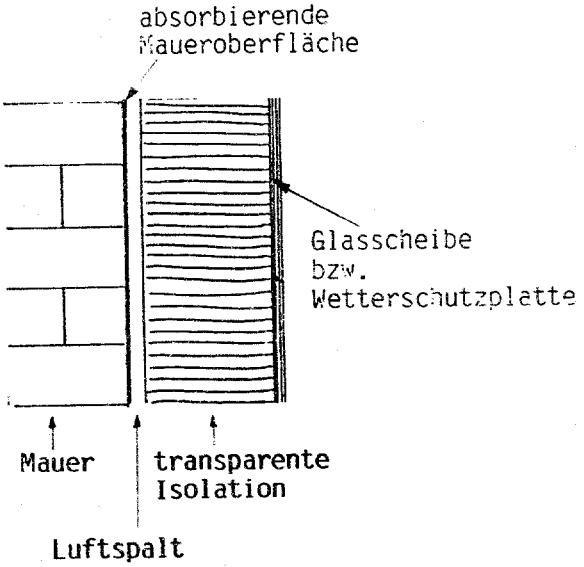
1. Ziele 1987

Die transparente Isolation (TI) wird an der Aussenhülle des Gebäudes angebracht. Da sie für Sonnenenergie durchlässig und gleichzeitig wärmedämmend ist, wirkt sie zusammen mit der Gebäudewand als "passiver Sonnenkollektor"und reduziert somit den konventionellen Heizwärmebedarf des Gebäudes. Im Hinblick auf die rechnerische Ermittlung dieser Heizenergie-Einsparung wurde während der Berichtsperiode das Ziel verfolgt die optischen und thermischen Eigenschaften der TI zu ermitteln und ein theoretisches Rechenmodell für den Energiehaushalt von transparent isolierten Gebäuden zu erarbeiten. Ferner wurden Lösungsmöglichkeiten für die äussere Schutzabdeckung des TI-Materials gesucht, welche insbesondere auch folgenden Randbedingungen genügt: Sommerlicher Ueberhitzungsschutz, Wetterschutz und Aesthetik. Da TI-Materialien häufig aus Kunststoffen hergestellt werden, ist auch die Untersuchung der Langzeitbeständigkeit und Umweltverträglichkeit von zentraler Bedeutung.

2. Durchgeführte Arbeiten

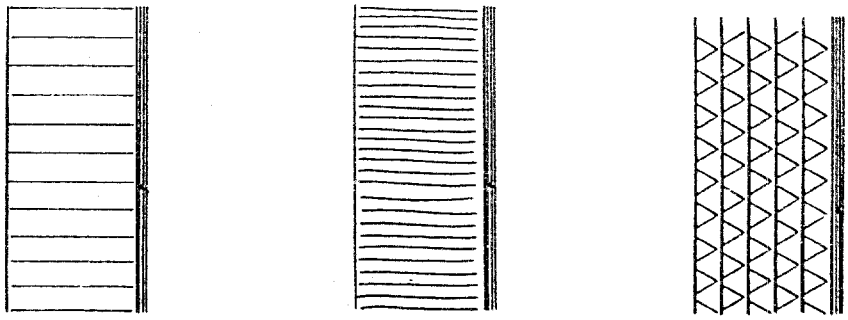
Bei der Ermittlung der optischen und thermischen Eigenschaften der TI haben wir uns auf folgende Materialanordnung festgelegt: Das TI-Material ist im Abstand von ca. 1 cm (Luftspalt) auf der Gebäudewand angebracht und wird gegen aussen mit einer direkt anliegenden Glasscheibe vor Witterungseinflüssen geschützt (Figur 1).

Figur 1: Anordnung der transparenten Isolation



Am Fraunhofer Institut für Solare Energiesysteme in Freiburg (D) wurde damit begonnen, für diese Anordnung die optischen und thermischen Eigenschaften zu ermitteln. Dabei werden Kenngrössen von drei TI- Materialien (Waben-, Kapillaren- und Pyramiden-Struktur; Figur 2) gemessen und daraus der (winkelabhängige) Gesamtenergiedurchlassgrad und der (temperaturabhängige) Wärmedurchlasskoeffizient für die gesamte Anordnung bei verschiedenen TI-Materialdicken berechnet. Diese Abhängigkeiten liegen demnächst in Form eines Fortran-Programmes vor, welches anschliessend durch die Energierechengruppe der EMPA Dübendorf in das bestehende Gebäude-Simulationsprogramm HELIOS eingebaut wird. Diese Arbeiten sind vorbereitet.

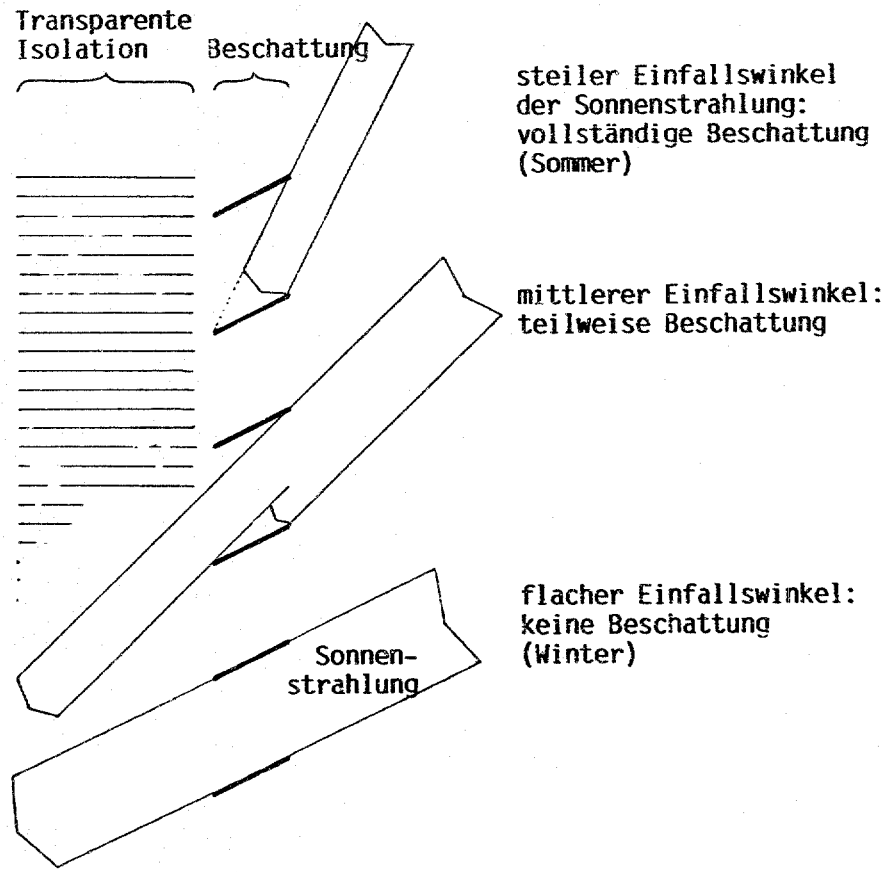
Figur 2: **TI-Materialstrukturen**



Waben **Kapillaren** **Pyramiden**

Ein weiterer Schwerpunkt, welcher die äussere Schutzabdeckung betrifft, wurde hauptsächlich vom Büro Peter Consulting Zürich bearbeitet. Hier wurden verschiedene Vorschläge für die Gestaltung einer nicht beweglichen geometrischen Beschattung aus Glas, Metall oder Kunststoff erarbeitet und in handgefertigte Muster umgesetzt. Für einen idealisierten Fall wurde im weiteren die Abhängigkeit des Beschattungsfaktors vom Einfallswinkel der Strahlung ermittelt (Figur 3).

Figur 3: Prinzip der "geometrischen" Beschattung



Die Ermittlung der Langzeitbeständigkeit von TI-Materialien wurde auf die laufenden Untersuchungen am Interkantonalen Technikum Rapperswil abgestimmt. Es ist vorgesehen, die drei oben erwähnten TI-Materialien in dieses Untersuchungsprogramm aufzunehmen.

3. Erreichte Ergebnisse

Mit einer ersten Version des Fortran-Programms zur Berechnung der optischen und thermischen Eigenschaften einer bestimmten Materialanordnung wurde auf dem Computer der ETH ein Testlauf durchgeführt. Modifikationen sind noch notwendig. Ebenfalls wurden Testläufe mit dem Gebäude-Simulationsprogramm HELIOS (ohne TI) durchgeführt und dessen Eignung für das Projekt als positiv beurteilt. Die Entwicklung des Recheninstrumentariums ist leicht verzögert, sodass zurzeit noch keine konkreten Ergebnisse vorliegen.

Als äussere Schutzabdeckung für die transparente Isolation wurden kommerziell erhältliche Mustergläser (Wetterschutz) mit grober Oberflächenstruktur (Aestetik) gefunden und zwecks Erreichen des Beschattungseffektes in geeigneter Weise mit Farbe zu beschichten versucht. Solche Gläser sind teuer (ca. 80.-Fr./m2). Deshalb wurden analoge Versuche mit strukturierten Kunststoff-Folien durchgeführt. Hier liegt das Problem hauptsächlich bei der (UV-) Beständigkeit der Materialien. Als weitere Möglichkeit wurden dünne Modell-Blechplatten systematisch gestanzt und gebogen (ähnlich Streckmetall). Diese Lösung ist prinzipiell attraktiv, die Herstellung grösserer Muster ist jedoch noch nicht gelöst.

Für die Resultate betreffend Langzeitbeständigkeit von TI-Materialien (Kunststoffe) sei auf den Jahresbericht des Interkantonalen Technikums Rapperswil verwiesen.

4. Veröffentlichungen

keine

5. Neue Forschungsarbeiten

Aus den bisherigen Projektarbeiten zeichnen sich noch keine neuen Forschungsarbeiten ab, die über das vorliegende Forschungsprojekt hinausreichen.

OFEN PROJETS DE RECHERCHE ÉNERGÉTIQUE 1987

BEW ENERGIE - FORSCHUNGS - PROJEKTE 1987

FUSSBODENDYNAMIK

Ziel des Projekts:

Ziel dieses Projekts ist eine verfeinerte Modellierung des dynamischen Verhaltens von Fussbodenheizungssystemen. Die Modellansätze sollten an Hand von experimentellen Resultaten validiert werden. Dazu sollen ein geeigneter Prüfstand und entsprechende Prüfmethoden entwickelt werden.

Die Möglichkeiten von Energieeinsparungen mit besseren Regelstrategien sollten für einige gewählte Fussbodenheizungstypen aufgezeigt werden.

Dauer des Projekts: bis Ende 1988

Beitragsempfänger: Prof. Dr. P. Suter
Institut für Energietechnik
Laboratorium für
Energiesysteme
ETH-Zentrum
8092 Zürich

Berichterstatter: K. Fort

Adresse:

Telephon: 01/256 36 49
823 47 89

1.Anvisierte Zielpunkte für 1987

Da es sich gezeigt hat, dass Messungen an realen Fussböden unter Berücksichtigung der korrekten dynamischen Verhältnisse in Wänden notwendig sind, wurde eine Messkabine neuartigen Konzeptes in natürlicher Grösse aufgebaut. Die Schwerpunkte der Projektarbeiten für 1987 wurden auf das Fertigstellen und Inbetriebnahme dieser Messkabine gesetzt.

Ferner sollte eine erste Serie von dynamischen Messungen mit der eingebauten Fussbodenheizung durchgeführt werden. Dabei sollten alle wichtigen Störungen simuliert werden. Ebenfalls sollten Messungen mit verschiedenen Konstruktionen der Raumumschliessungsflächen durchgeführt werden. Diese Messungen sollten später für Validation der Simulationsmodelle verwendet werden.

Im theoretischen Teil der Arbeit war vorgesehen ein Rechenmodell der trockenverlegten Fussbodenheizung zu entwickeln und im stationären Fall an Messresultate anzupassen.

2.Durchgeführte Arbeiten 1987

Aufbau der Messtechnik:

Im ersten Schritt wurden Temperaturfühler sowie Wärmeflusssonden geeicht. Wegen der kleinen Temperaturdifferenzen sowie kleinen Wärmeflüssen wurden spezielle Fühler verwendet. Insbesondere der Messung der Wärmeströme kommt dabei grosse Bedeutung zu. Es wurde ein Prototyp einer neuartiger Wärmeflussonde eingesetzt, welche sich durch sehr kleinen thermischen Widerstand auszeichnet. Erste "Kinderkrankheiten" mussten hier gemeinsam mit dem Hersteller gelöst werden.

Inbetriebnahme:

Einen grossen Teil der Inbetriebnahme der Kabine wurde für das Entwickeln der Software verwendet, welche einerseits zum Messen und Regeln anderseits aber auch zur Simulation des dynamischen Verhaltens der einzelnen Wände erforderlich war. Ferner wurden die 7 Regelkreise der einzelnen Raumumschliessungsflächen eingestellt und auf ihr dynamisches Verhalten getestet.

Die Sonneneinstrahlung, welche man nicht real berücksichtigen kann, wurde mit Hilfe von Heizmatten simuliert sowie deren Einfluss auf das Fenster berücksichtigt.

Messungen:

In einer Serie von dynamischen Messungen wurde das Verhalten des Raumes bei verschiedenen Störungen wie z.b Vorlauftemperatur, Sonneneinstrahlung und Aussentemperatur gemmesen.

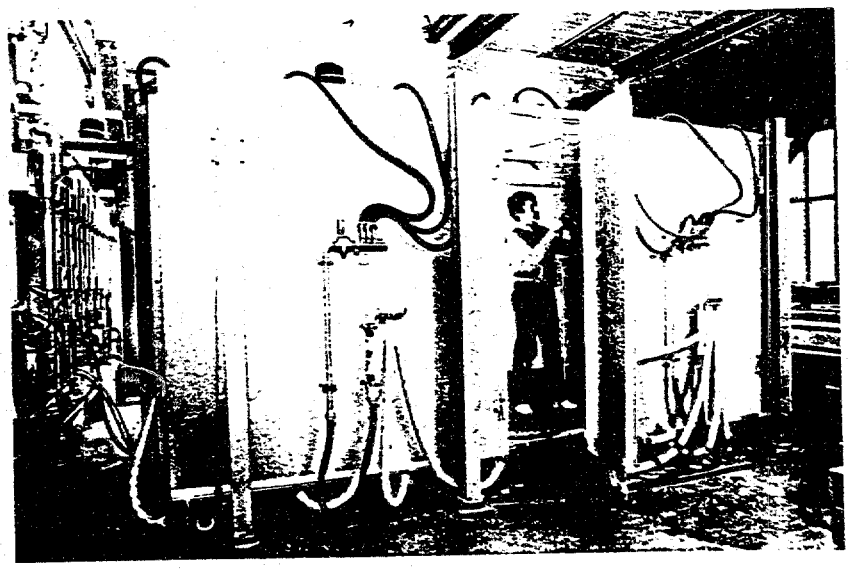
Rechenmodelle:

Ein stationäres Rechenmodell, welches die Wärmeleitung und Wärmeabgabe des in der Kabine installierten Fussbodens modelliert ,wurde entwickelt und den Messungen angepasst.

3.Erreichte Ergebnisse:

Mit der Inbetriebnahme der Messkabine wurde ein genaues und vielseitiges Werkzeug zur Untersuchung des dynamischen Verhaltens von Raümen mit Fussbodenheizung geschaffen. Die Messresultate dienen vorallem zur Ueberpruefung der Simulationsmodelle. Im Bild 1 sieht man die Gesamtansicht der Messkabine. Die Abmessungen sind 2.5m x 4.5m x 2.2m. Es können beliebige Fussbodenheizungen eingebaut werden und dank dem neuartigen Konzept der simulierten Wandkonstruktionen mit beliebiger Bauweise der Wände kombiniert werden.

Bild 1



In Fig.1 - 3 sind als Beispiel die Resultate einer Messung dargestellt. Es handelt sich dabei um die Reaktion eines Raumes mit Fussbodenheizung auf eine plötzliche Erhöhung der Heizwassertemperatur. Klar ersichtlich ist, dass der Wärmefluss an der Bodenoberfläche innerhalb relativ kurzer Zeit sein Maximum erreicht hat, währenddem die Lufttemperatur und Wandtemperatur erst nach viel längerer Zeit den neuen Beharrungszustand erreicht haben. Dieser Effekt ist auf die grosse Speicherkapazität und somit langsame Reaktion der Raumhülle (in diesem Fall vorallem der Decke) zurückzuführen. Man kann also nicht generell von langsam reagierenden Fussbodenheizungsystemen sprechen,

vielmehr muss das Verhalten des gesamten System untersucht werden.

Fig.1 Aufgezwungene Störung in der Heizwassertemperatur

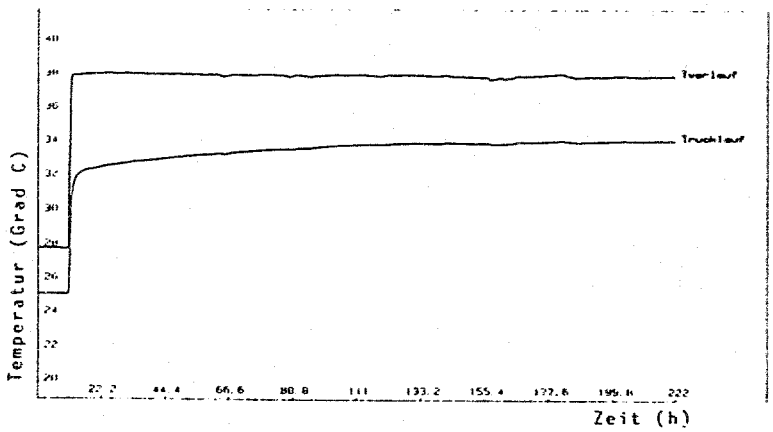


Fig.2 Gemessener Wärmefluss auf der Oberfläche des Bodens
(Wfs2 : 1m von Aussenwand; Wfs1 : 3m von Aussenwand)

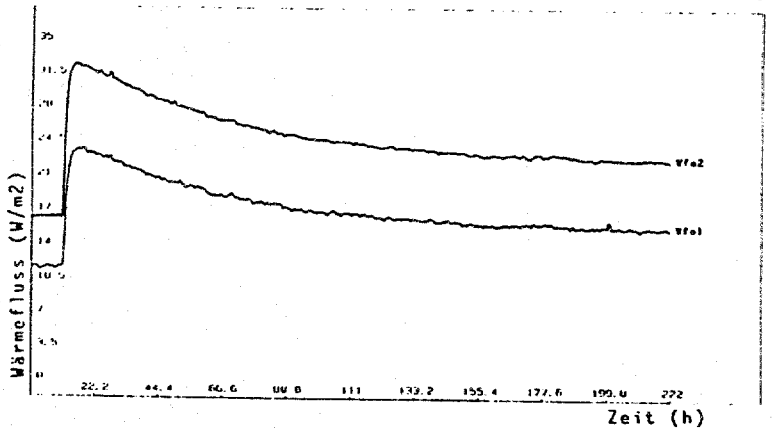
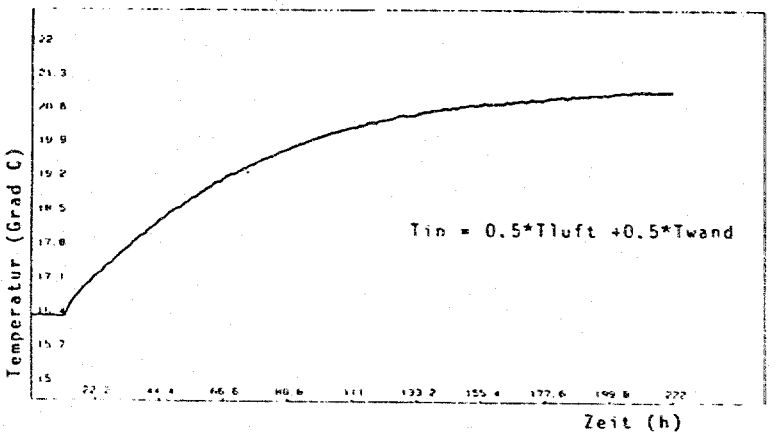


Fig.3 Gemessener Verlauf der Innentemperatur des Raumes



Bei der Entwicklung des Rechenmodells des Fussbodens wurde eine Methode der finiten Differenzen benützt. In Fig.4 ist schematisch ein Schnitt durch den modellierten Teil des Bodens dargestellt. Man sieht die Einteilung des Bodens in diskrete Teilelemente. Dieses Verfahren erlaubt mit limitierten Rechenaufwand (Lösung eines Systems von 20 linearen Gleichungen = ca. 4sec. Rechenzeit auf einem PC) eine sehr genaue Nachbildung des Temperaturverlaufs im Boden.

Fig.4 Schema des untersuchten Teils des Bodens

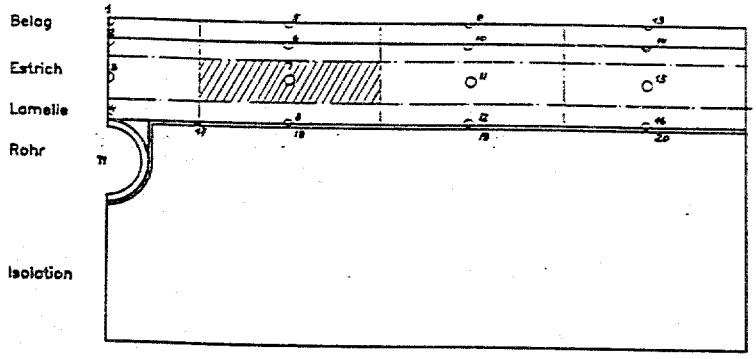
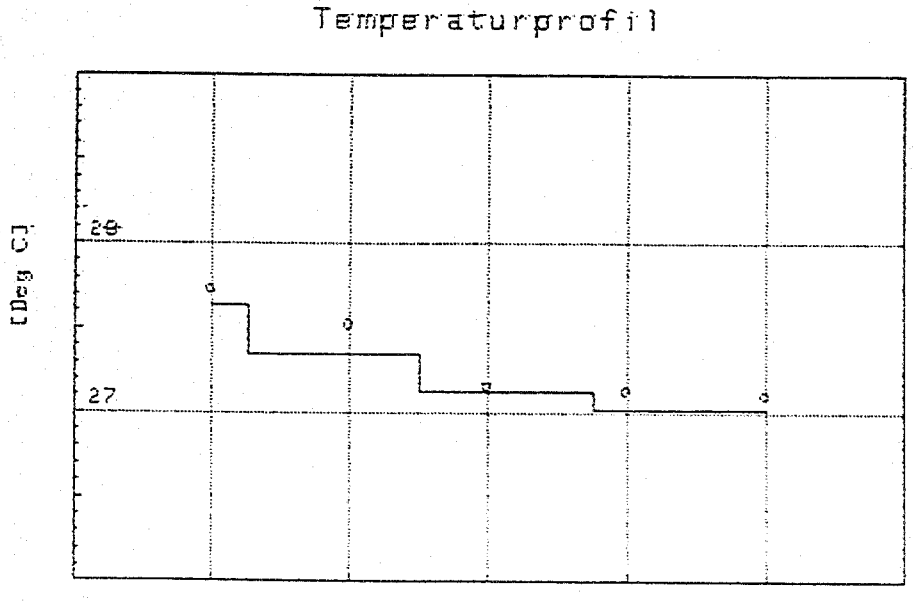


Fig.5 zeigt die Resultate der gemessenen ("o" Zeichen) und gerechneten (durchgehende Linie) Oberflächentemperaturen. Die Abweichungen liegen im Durchschnitt unter 3%.

Fig. 5 Vergleich des gemessenen und gerechneten Temperaturverlaus im stationären Fall



4. Veröfentlichungen

Eine Zusammenfassung der Forschungsarbeiten ueber die Fussbodenheizung wurden im Rahmen der Spezialveranstaltung des Impulsprogramms Haustechnik mit der Publikation "Leistungsprüfung und Auslegemethode für Fussbodenheizungen" (EDMZ Form.724.710 d 1.87 800 37626) veröffentlicht. Eine detaillierte Beschreibung der experimentellen dynamischen Untersuchungen erscheint in der Zeitschrift KI-11,KLIMA KAELTE HEIZUNG, 12/87 unter dem Titel :"Untersuchung des dynamischen Verhaltens von Fussbodenheizungen".

5.Neue Forschungsarbeiten:

In der oben beschriebener Forschungsarbeit wird das experimentelle und rechnerische Vorgehen bei der Untersuchung der Dynamik von Räumen mit Fussbodenheizung entwickelt. In einer Anschlussarbeit sollten die so gewonnenen Werkzeuge (Messeinrichtung und Simulationsmodelle) zur Erarbeitung praktischer Resultate verwendet werden. Für den Planer sollten konkrete Richtlinien für eine optimale Wahl des Fussbodenheizungssystems unter dem Gesichtspunkt des dynamischen Verhaltens und Regelbarkeit ausgearbeitet werden. Ferner sollten Vorschläge für bessere Regelstrategien erarbeitet werden. Ein entsprechender Gesuch an BEW wird anfangs 1988 eingereicht.

OFEN
BEW

PROJETS DE RECHERCHE ÉNERGÉTIQUE 1987
ENERGIE - FORSCHUNGS - PROJEKTE 1987

MINIMALE LÜFTUNGSRATEN

Ziel des Projekts: Beschreibung der für die Luftqualität in Innenräumen massgebenden Faktoren, Ausarbeitung von Richtlinien für minimale Lüftungsraten sowie weitere Massnahmen, und eine Zusammenstellung der verfügbaren Informationen und Techniken, die Luftqualität einerseits und der Energieverbrauch andererseits zu kontrollieren. Die sich aus dem IEA-Bericht ergebenden Schlussfolgerungen sollen für die Bedürfnisse der Schweiz umgesetzt werden, mit allgemeinen Empfehlungen für eine optimale energiesparende Lüftung.

Dauer des Projekts: 1. Juli 1986 - 30. Juni 1987

Beitragsempfänger: ETH-Zürich

Berichterstatter: Prof. Dr. H.U. Wanner

Adresse: Institut für Hygiene und Arbeitsphysiologie
ETH-Zentrum, Clausiusstr. 21, 8092 Zürich

Telephon: 01 / 256 39 73

1. Anvisierte Zielpunkte

- Mitarbeit bei der Redaktion des IEA-Schlussberichtes "Minimum Ventilation Rates" - insbesondere, bei den Kapiteln "Tabakrauch", "Schlussfolgerungen" und "Zusammenfassung".
- Teilnahme an den Sitzungen der IEA-Arbeitsgruppe "Minimum Ventilation Rates".
- Ausarbeiten des schweizerischen Berichtes in Zusammenarbeit mit Vertretern des BEW, der EMPA und des SIA.

2. Durchgeführte Arbeiten

- Detaillierte Überarbeitung des 1. und 2. Entwurfes des IEA-Schlussberichtes.
- Teilnahme an der Sitzung der IEA-Arbeitsgruppe in Helsinki (25.-27.8.86).
- Teilnahme am Workshop "Tight Building Syndrom" in Helsinki (27.-28.8.86).
- Teilnahme an einem Kongress über "Experimental Toxicology of Passive smoking" in Essen, BRD (21.-25.10.86).
- Teilnahme an einer Redaktionssitzung zur Bereinigung des 2. Entwurfes des IEA-Schlussberichtes in London (22./23.6.87).
- Teilnahme mit Kurzvorträgen an der wissenschaftlichen Arbeitstagung der Schweizerischen Gesellschaft für Sozial- und Präventivmedizin in Basel (25./26.6.87) und am 1. Status-Seminar zum Forschungsprogramm "Energierelevante Luftströmungen in Gebäuden" in Winterthur (18.11.87).
- Ausarbeiten des "Schweizer-Berichtes" (Arbeitssitzungen mit den Herren Dr. Hartmann, Roux und Steinemann am 9.6. und am 10.11.87).

3. Erreichte Ergebnisse

- Abschluss der Arbeiten im internationalen Rahmen (Bereinigung der Kapitel "Zusammenfassung" und "Schlussfolgerungen"). Der IEA-Schlussbericht sollte demnächst veröffentlicht werden.
- Bereinigung des Entwurfes für den "Schweizer-Bericht"; Ergänzungen sind noch notwendig beim Kapitel über Luftfeuchtigkeit, wobei die in den SIA-Normen 180 (in Vorbereitung) gegebenen Grundlagen mitberücksichtigt werden sollen. Dieser Bericht kann voraussichtlich im Frühjahr 1988 veröffentlicht werden.

4. Internationale Zusammenarbeit

Die Veröffentlichung des IEA-Schlussberichtes hat sich stark verzögert, und deswegen konnte auch der vorgesehene Zeitplan für die Veröffentlichung des "Schweizer-Berichtes" nicht eingehalten werden.

Die Kontakte an den Arbeitssitzungen sowie am Workshop "Tight Building Syndrom" brachten jedoch immer wertvolle Impulse und Anregungen für die eigenen Arbeitsgruppen.

5. Veröffentlichungen

- Wanner H.U., Schlatter J.: Verunreinigungen der Raumluft - gesundheitliche Auswirkungen und Massnahmen. Sozial- und Präventivmedizin 32, 249-250 (1987).
- Wanner H.U.: Minimale Lüftungsraten. Forschungsprogramm Energierelevante Luftströmungen in Gebäuden, 1. Status-Seminar, 18. November 1987.
- Wanner H.U.: "Wohngifte" - gesundheitliche Gefährdung? Schweizer Baublatt, Nr. 88, Seiten 5-8, 8. November 1987.
- Schlatter J., Wanner H.U.: Strategies to Avoid Negativ Health Effects of Passive Smoking. Indoor Air 87; Proceedings of the 4th International Conference on Indoor Airquality and Climate, Berlin, 17.-21. August 1987. Institute for Water, Soil and Air Hygiene, Berlin.
- IEA-Schlussbericht (im Druck): Energy Conservation in Buildings and Community Systems Programme, Annex IX, Minimum Ventilation Rates. Final Report of working phases I and II, April 1986.

  Editorial Board:

  L. Trepte (Operating Agent of Annex IX), Dornier Systems GmbH, Germany; P. Warren, Building Research Establishment UK; V. Meyringer, Dornier System GmbH, Germany. Stephanus Druck GmbH, Tübingerstr. 3, D-7772 Uhldingen-Mühlhofen.

6. Neue Forschungsarbeiten

Die im Projekt "Maximale Lüftungsraten" erarbeiteten Grundlagen sollen im neuen IEA-Projekt "Demand Controlled Ventilating Systems" soweit wie möglich berücksichtigt werden. Dies betrifft vor allem Fragen im Zusammenhang mit der Luftqualität (u.a. Frischluft- und Umluftraten, Leitkomponenten für die Luftqualität, Luftaufbereitung und Luftreinigung).

Zürich, den 15. Dezember 1987

H. U. Wanner J. Schlatter

Prof. Dr. H.U. Wanner Dr. J. Schlatter

OFEN — PROJETS DE RECHERCHE ÉNERGÉTIQUE 1987

BEW — ENERGIE - FORSCHUNGS - PROJEKTE 1987

AIVC

AIR INFILTRATION & VENTILATION CENTRE

Ziel des Projekts:

Das Ziel der AIVC-Tätigkeit (Forschergruppe, tätig in U.K.) liegt darin, als Koordinationsstelle und Informationsstelle für alle Luftströmungs-Vorhaben tätig zu sein und diese mit eigenen technischen Arbeiten zu ergänzen. Es unterstützt primär die Forscher in den Mitgliederländern und bereitet sekundär Unterlagen für Planer und Behörden auf.
Ziel der Arbeiten der Kontaktstelle in der Schweiz ist es, notwendige Informationen aus der Schweiz in das AIVC-Zentrum zu transferieren, insbesondere aber die AIVC-Informationen angepasst, teilweise übersetzt, zuhanden von schweizerischen Forschern, Planern, Industrie und Behörden aufzubereiten.

Dauer des Projekts: gegenwärtige Periode des AIVC vom 1.6.85 - 31.5.89

Beitragsempfänger: - AIVC, Bracknell U.K. (direkte Beitragszahlung)
- EMPA, Abt. Bauphysik, 8600 Dübendorf (Kontakte, Umsetzung)

Berichterstatter: Herr Dr. Peter Hartmann

Adresse: EMPA, Abt. Bauphysik, CH-8600 Dübendorf

Telephon: 01/823 42 76 / 01/823 47 01 (Sekretariat)

1. Anvisierte Ziele für 1987

Vorbemerkung: In den nachfolgenden Abschnitten wird jeweils die Arbeit des AIVC selbst vorgestellt und andererseits die Arbeit in direktem Zusammenhang in der Schweiz (Angabe mit "CH/EMPA")

AIVC:

Ein wesentliches Ziel für 1987 war die Schaffung einer optimaleren Management Struktur für das Centre. In technischer Hinsicht sind neben der Behandlung des Messtechnik-Handbuches insbesondere die Erarbeitung eines Gesamtkonzeptes für die Zusammenarbeit aller "Air-Projekte" im Vordergrund.

CH/EMPA:

Als Ziele für 1987 waren die Umsetzung des AIVC-Rechentechnik-Handbuches und die Uebertragung der Erkenntnisse aus AIVC-Unterlagen in die Arbeitspläne für ERL-Vorhaben und das IEA-Projekt "Air flow" anvisiert.

2. Durchgeführte Arbeiten 1987

AIVC:

Neben der "normalen" Informationstätigkeit konnte das Zentrum einige bemerkenswerte technische Publikationen (z.B. den Workshop-Bericht über Feuchtigkeit) herausgeben und auch das Messtechnik-Handbuch weit vorantreiben. Dank intensiver Anstrengungen, teilweise auch von Seiten des Berichterstatters, gelang es, eine neue Management-Struktur aufzuzeigen und diese, nach Bereinigung einiger Konditionen, anfangs 1988 umzusetzen.

CH/EMPA:

Die Bearbeitung des Rechentechnik-Handbuches zusammen mit den deutschen AIVC-Vertretern ist etwas langwierig, sodass eine Publikation erst 1988 möglich ist. Ein sehr positiver Start zeichnet sich hingegen - in vielen Belangen dank dem AIVC - bei den vielen ERL-Projekten ab und bei der Aufnahme des Projektes IEA "Air flow patterns" (unter schweiz. Leitung). Als Sonderaufgabe konnten an der EMPA einige Mehrzonen-Rechengramme auf ihre Einsatzmöglichkeiten untersucht werden (vgl. [3]).

3./4. Erreichte Ergebnisse

Das AIVC investierte im Jahr 1987 einen grossen Teil seiner Zeit in den Aufbau eines gut koordinierten Forschungsprogrammes "Luftströmungen" im IEA Programm "Building".

Diese Koordinations- und Transferrolle war ihm von ExCo aufgetragen worden. Diese Rolle besteht darin, dass das AIVC in allen Projekten Vorbereitungen unternimmt (Literaturrecherchen, Mithilfe bei Konzeption, Uebersicht Mess- und Rechenmethoden), die laufende Koordination übernimmt und schliesslich besorgt ist für eine einwandfreie englische Publikation der Berichte (vgl. entsprechendes Konzeptpapier des AIVC hiezu, erhältlich bei Berichterstatter).

Eine hervorstechende technische Publikation des Jahres war jene mit der Darstellung der verfügbaren Definitionen im Bereich "Ventilation efficiency" (TN 21 [3]). Aus der Vielzahl der teilweise überschneidenden Begriffe muss unbedingt ein reduzierter Set von kohärenten Definitionen herausgeschält werden. Nur so lässt sich in diesem für die Zukunft einer energieffizienten Lüftungstechnik wichtigen Bereich Klarheit schaffen.

CH/EMPA:

Ueber die im Berichtsjahr wesentliche Uebersetzung, des Rechentechnik-Handbuches, soll im nächsten Jahr berichtet werden nach seinem Erscheinen.

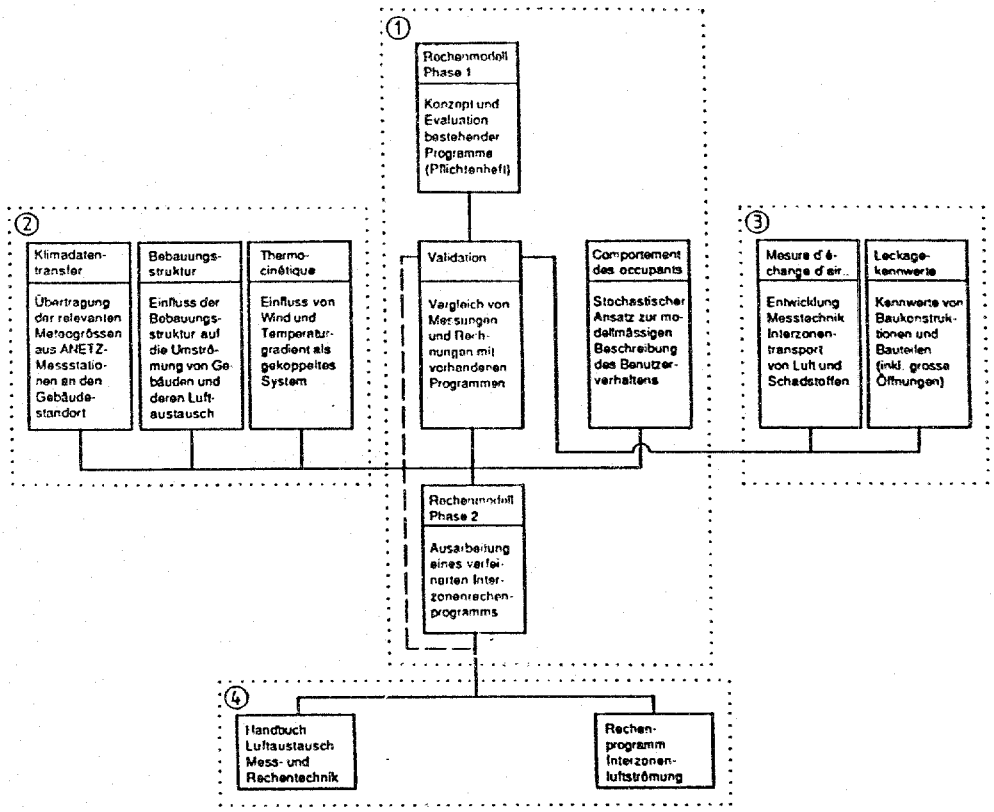
Für einen Einstieg in die Problematik oder für Lehrzwecke hilfreich ist die von Herrn H. Moor erarbeitete Publikation über Gebäudeaerodynamik, welche in einfacher Sprache die komplexen Zusammenhänge zeigt, aber auch Ungereimtheiten oder Lücken nicht verheimlicht [6].

Ein wesentlicher Umsetzungs-Einsatz des Berichterstatters lag beim Aufbau des ETH-Forschungsprogrammes "ERL", das unter der Koordination von Herrn Dr. Zollinger steht.

Das Ziel der einzelnen Vorhaben wie auch das komplexe Zusammenspiel der ERL-Vorhaben unter sich und mit den IEA-Vorhaben nach aussen ist in [5] dargestellt.

./.

Ein Beispiel stellt die Struktur des Bereiches B (Luft- und Schadstofftransport zwischen einzelnen Räumen) dar, wie sie in der folgenden Abbildung ersichtlich ist.



Strukturierung der Forschungsarbeiten im Teilbereich B des Programms

Seit 1 1/2 Jahren bemüht sich die EMPA darum, öffentlich zugängliche Multizonen-Rechenprogramme zu erwerben und am Institut zu erproben. Anhand einfacher Fallbeispiele wird die Eignung dieser Modelle für bestimmte Fragestellungen beurteilt. Im Hinblick auf die Detailzielsetzungen des genannten Vorhabens ERL war es nötig, diese Programmeigenschaften zu klassieren.

Die nachfolgende Tabelle zeigt (J=Ja, N=Nein), ob die 5 Programme (linksstehend deren Namen wie das Luftaustauschberechnungsprogramm des Institutes TNO in Holland etc.), mit welcher Feinheit sie die Gebäude aufgliedern oder verschiedenartige Lecks nachbilden können (Auszug aus Publikation D. Brühwiler in [5]).

	Gebäudestandort beliebig	mehrere Zonen	Zonenanordnung beliebig	Zonentemperatur wählbar	kleine Lecks	grosse Oeffnungen	Leckposition wählbar	mehrere Lecks in 1 Wand	Lüftungsschächte	Benutzereinfluss
TNO	J	J	J	J	J	N	J	J	J	N
NRC	J	J	N	N	J	N	N	N	J	N
NBS	N	J	J	J	J	N	J	J	N	N
AIRCOMP	J	J	(J)	J	J	N	J	J	J	N
FLOW	J	J	?	?	J	N	J	J	?	N

Möglichkeiten des Einbezugs von Gebäude und Lekage bei 5 bestehenden Rechenprogrammen

Die Darstellung lässt deutlich erkennen, dass Fragestellungen, die für schweizerische Bauten wesentlich sind, nicht mit bestehenden Rechenmodellen berechnet werden können, wie etwa Strömungen durch grosse Oeffnungen oder der Einbezug des Benutzerverhaltens (z.B. statistische Verhaltensdaten).

5. Publikationen

AIVC Publikationen

[1] TN-19-86: Charlesworth, P.

1986 Survey of current research into air infiltration and related air quality problems in buildings

[2] TN-20-87: AIVC;

Airborne moisture transfer: New Zealand workshop proceedings and bibliographic review

[3] TN-21-87: Liddament, M.W.;

A review and bibliography of ventilation effectiveness definitions, measurement, design and calculation

[4] TB-22-87: AIVC;

A subject analysis of the AIVC's bibliographic database - 'AIRBASE', 5th edition

CH-Publikationen

[5] Forschungsprogramm Energierelevante Luftströmungen in Gebäuden: Tagungsunterlagen 1. Statusseminar 18. Nov. 87 (erhältlich bei Berichterstatter)

[6] Moor, Hans (und AIVC):

Physikalische Grundlagen der Gebäudeaerodynamik im Hinblick auf die Berechnung des Luftaustausches, EMPA, Jan. 1987

[7] Notice technique AIVC 16;

La distribution des fuites d'air dans les immeubles
- une bibliographie commentée, Mars 1987

6. Neue Forschungsarbeiten

Der Charakter des AIVC bringt es mit sich, dass es wegen seiner ständigen Unterstützungsfunktion für Forschung und Planung keine klare zeitliche Begrenzung haben kann. Von schweizerischer Sicht aus könnte eine Beendigung in den kommenden Jahren nicht sehr erwünscht sein, nachdem nun sehr viele Gruppen an Teilvorhaben des Programms ERL beschäftigt sind. Aus diesem Grund hat die Programmleitung ERL beschlossen, einen Ergänzungsantrag für die Periode 88/89 zu stellen (anfangs 1988); eine längerfristige Erweiterung auf eine kommende Periode 89 - 91 soll 1988 diskutiert werden auf Grund der Bedürfnisse.

OFEN — Projets de Recherche énergétique 1987

BEW — Energie - Forschungs - Projekte 1987

Radon im Inneren von Wohnbauten

Ziel des Projekts:

- Erfassung der bauphysikalischen Parameter, welche das Eindringen des Radons im Wohnbereich wesentlich beeinflussen
- Einfluss der Luftwechselrate auf Radon und Radonzerfallsproduktepegel
- Einfluss von Abdichtungsmassnahmen auf Radon- und Radontöchtergehalt in der Innenluft von Wohnbauten

Dauer des Projekts: 1.1.1987 - 31.12.1987

Beitragsempfänger: EIR, Abt. SU/81, Dr. R. Crameri

Berichterstatter: R. Crameri, H. Buser, D. Furrer, W. Burkart

Adresse: Biologie & Umwelt, Abt. SU/81, EIR, CH-5303 Würenlingen

Telephon: 056/ 99 23 43

1. ZIELPUNKTE UND DURCHGEFÜHRTE ARBEITEN

Im Rahmen des Radonprogramms Schweiz "RAPROS", einem Forschungsprogramm von nationaler Bedeutung, wurden die Richtlinien für die experimentelle Untersuchung des Radonproblems in der Schweiz festgelegt. Radon als Ursache der Strahlenbelastung für die Bevölkerung ist und wird voraussichtlich das dominierende radiologische Problem bleiben. Das Bundesamt für Energiewirtschaft erkannte frühzeitig die Bedeutung und Tragweite des Radonproblems und unterstützte von Anfang an das Projektvorhaben. Für das Jahr 1987 wurden als Ergänzung der im Rahmen des Projektes "RAPROS" laufenden Untersuchungen folgende Ziele anvisiert:

a) Abklärung der Einflüsse von Bauuntergrund und Bauphysik auf den Innenluftradonpegel durch quantitative Analyse von mindestens 20 Häuserpaaren mit gegensätzlichen Eigenschaften.

b) Untersuchung der Auswirkungen auf den Radonpegel bei natürlicher oder erzwungener Ventilation in einem Raum mit überdurchschnittlichem Radonpegel.

c) Auswahl eines Hauses mit mittlerem Radonpegel zwecks Abklärung der Einflüsse von Abdichtungsmassnahmen auf den Radonpegel.

d) Aufzeigen von Korrelationen und Beurteilung der Resultate.

Im Forschungsjahr 1987 wurden folgende Arbeiten durchgeführt:

a) Analyse des Einflusses der Fundamentstruktur auf den Radonpegel im Keller.

b) Analyse des Einflusses der Verbindungsart zwischen den Stockwerken auf den Radonpegel.

c) Einfluss der mechanischen Ventilation auf den Radonpegel in einem Keller mit extrem hohen Radonpegel.

d) Voruntersuchungen an Häusern, welche sich für eine Abdichtung eignen könnten.

e) Vorläufige Korrelationen und Beurteilung der Resultate.

2. ERREICHTE ERGEBNISSE

Unsere Studien haben gezeigt, dass die Geologie des Bauuntergrundes und das Trinkwasser die dominierenden Radonquellen darstellen. Diese Parameter schwanken sehr stark von Region zu Region. Um eine quantitative Aussage über den Beitrag weniger ausgeprägter Faktoren auf den Radonpegel in Innenräumen machen zu können, ist es deshalb notwendig, die starken Fluktuationen der Quelltermeinflüssen so weit wie möglich zu reduzieren. Untersuchungen an Häuserpaaren mit ähnlicher Geologie und ähnlichem Mikroklima (sog. "matched pair"-Analyse) ermöglichen eine Abschätzung der Beiträge einzelner Faktoren zum Innenluftradonpegel.

Einfluss der Fundamentstruktur auf den Radonpegel

Diese Untersuchung erfasste 32 benachbarte Einfamilienhäuserpaare aus verschiedenen geologischen Regionen, welche sich in der Fundamentstruktur unterscheiden (Naturboden, respektive Betonboden im Keller). Der Einfluss der Kellerbodenbeschaffenheit auf den Radonpegel wurde untersucht. Die Resultate sind in Tabelle 1 zusammengefasst.

Tabelle 1: Analyse der Radonpegeln in 32 Häuserpaaren mit unterschiedlicher Fundamentstruktur.

Fundamentstruktur des Kellers	Radonkonzentration Bq/m3 (pCi/l ± S.D. des Mittelwertes)		
	Keller (A)	Erdgeschoss (B)	1. Stock (C)
Naturboden (1)	1405 (37.98±7.58)	284 (7.67±1.41)	170 (4.59±0.77)
Betonboden (2)	460 (12.43±3.45)	175 (4.72±0.65)	125 (3.38±0.41)

	Differenz	S.D.	P	Faktor (1:2)
Keller (A1-A2)	945	(265)	<<0.0025	3.05
Erdgeschoss (B1-B2)	109	(52)	<0.025	1.62
1. Stock (C1-C2)	45	(26)	<0.05	1.36

Die Unterschiede der Radonpegeln im Keller, Erdgeschoss und 1. Stock zeigen eine signifikante Differenz. Die Resultate zeigen, dass die Radonpegel im ganzen Gebäude durch einen Naturboden im Keller um einen relevanten Betrag erhöht werden.

Einfluss der Art der Verbindung zwischen den Stockwerken auf den Radonpegel

Der festzustellende Trend, Kellerräumlichkeiten vermehrt für Freizeitaktivitäten zu nutzen, kann, durch den damit verbundenen Wegfall von Barrieren (Kellertüren) zum rascheren Aufstieg von Kellerluft in die höheren Wohnräumen und damit zu höheren Radonpegeln im Wohnbereich führen. Eine Analyse der Radonpegel in 30 benachbarten Häsuerpaaren in der Alpenregion, welche sich in der Art der Verbindung zwischen den Stockwerken (offen bzw. geschlossen) unterscheiden, wurde zur Abklärung dieser Frage durchgeführt (Tab. 2).

Tabelle 2: Analyse der Radonpegeln in 30 Häuserpaaren mit unterschiedlicher Verbindung zwischen den Stockwerken (Alpenregion).

Art der Verbindung	Radonkonzentration Bq/m3 (pCi/l ± S.D. des Mittelwertes)		
	Keller (A)	Erdgeschoss (B)	1. Stock (C)
offen (1)	622 (16.8±4.63)	332 (8.98±3.01)	257 (6.94±2.24)
geschlossen (2)	745 (20.1±4.83)	145 (3.92±0.81	153 (4.13±0.90)

	Differenz	S.D.	P	Faktor (1:2)
Keller (A1-A2)	-123	191	> 0.25	0.83
Erdgeschoss (B1-B2)	187	106	< 0.05	2.29
1. Stock (C1-C2)	104	94	>0.10 <0.15	1.69

Nur die Unterschiede für das Erdgeschoss lassen eine signifikante Differenz ($P < 0.05$) vermuten. Die fehlende Signifikanz der Unterschiede im ersten Stockwerk ($P > 0.10$) lässt sich vermutlich dadurch erklären, dass zwar eine offene Verbindung zwischen Keller und Erdgeschoss, aber meistens nicht zwischen Erdgeschoss und 1. Stock (Schlafzimmer) besteht.

Einfluss der erzwungenen Ventilation auf den Radonpegel

Der ausgewählte Raum für diese Untersuchungen (ein Keller mit Naturboden) zeichnet sich durch extrem hohen Radonpegel und schlechte Ventilation aus. Langzeitmessungen mit integrierenden Radondosimetern ergaben folgende Werte:

Messperiode	Radionkonzentration (Bq/m3) Keller	Erdgeschoss	1. Stock
07.07.-19.10.1986	15'155	167	167
20.04.-21.05.1987	16'635	196	178

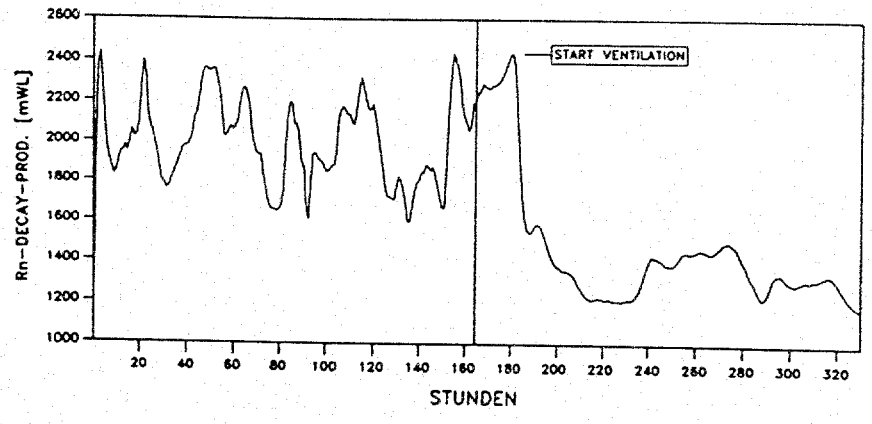
In einer ersten Periode wurden Langzeitmessungen der Luftwechselrate und der Radonzerfallsproduktekonzentration ermittelt. Nach Einbau eines Ventilators wurde dann die Luftwechselrate stufenweise erhöht und parallel die Radonzerfallsproduktekonzentration verfoglt (Tabelle 3).

Tabelle 3: Auswirkung der Lüftungsrate auf Radon- und Radonzerfallsproduktekonzentration

Messperiode 1987	Konzentration (Bq/m3) Rn-Zerfallsprod.	Rn-Gas	Gleichgewichts-faktor	Luftwechsel (/h)
15.04.-28.04.	15'824	13'149	0.60	
28.04.-20.05.	14'038	8'968	0.75	
21.05.-25.05.	15'810	9'848	0.80	0.06
26.05.-02.06.	17'834	11'123	0.70	0.07
02.06.-16.06.	17'131			0.08
30.07.-03.08.	4'277			0.70
03.08.-07.08.	2'613			1.10
07.08.-13.08.	4'374			0.70
17.09.-24.09.	1'665			1.35

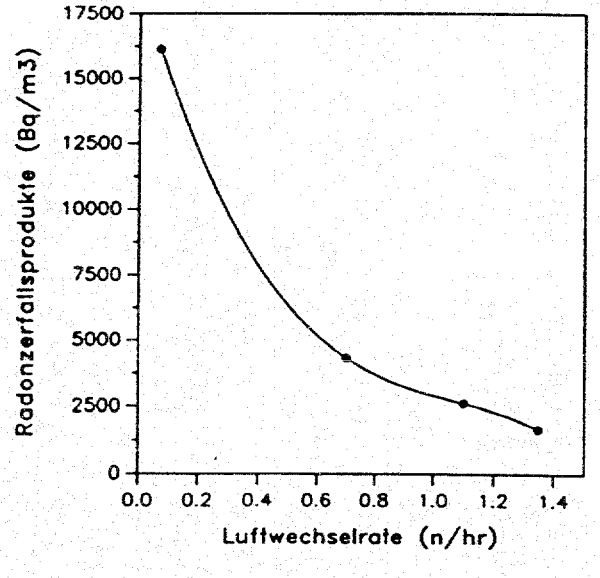
In Figur 1 ist die zeitliche Veränderung der Radonzerfallsproduktepegel bei Erhöhung der Luftwechselrate von n = 0.07 auf n = 0.70 dargestellt.

Figur1:Zeitliche Veraenderung des Radonzerfallsproduktepegels bei Erhoehung der Luftwechselrate



Figur 2 zeigt den Zusammenhang zwischen Luftwechselrate und Radonzerfallsproduktepegel. Leider wurden die Experimente durch die Umweltkatastrophe im Puschlavertal (Unterbrechung sämtlicher Bahn- und Strassenverbindungen) wesentlich verzögert. Die Fortsetzung der Messreihe ist in der vergleichbaren klimatischen Periode für 1988 vorgesehen. Trotzdem kann man aus den vorliegenden Daten schliessen, dass eine effiziente Ventilation den Radonzerfallsproduktepegel in diesem Raum drastisch senkt.

FIGUR 2: Radonzerfallsproduktekonzentration und Luftwechselrate



Vorläufige Messungen deuten darauf hin, dass der Radonzerfallsproduktepegel im Erdgeschoss um etwa die Hälfte herabgesetzt wird. Die laufenden Langzeitmessungen mit integrierenden passiven Dosimetern bei Dauerbetrieb der Ventilation werden zuverlässige Anhaltspunkte über die Einflüsse der mechanischen Belüftung des Kellers auf die höheren Stockwerke liefern.

Voruntersuchungen an Häuser, welche sich für die Abklärung der Einflüsse gezielter Abdichtungsmassnahmen auf den Radonpegel eignen würden

Die Voraussetzungen für die Durchführung dieser Arbeiten sind komplexer Natur. Wissenschaftlich auswertbare Ergebnisse lassen sich nur in einem Haus erreichen, welches mindestens folgende Bedingungen erfüllt:

- Schlechte Isolation von Fenstern und Türen
- Vernünftige Innenraum-Radonpegel
- Gewährleistung ungestörter und reproduzierbarer Messungen
- Vernünftiger finazieller Aufwand für die Abdichtungsmassnahmen
- Uneigeschränkte Zeit für die Messungen währen der Abdichtungsarbeiten

Mehrere Häuser wurden bezüglich der Eignung für eine solche Sanierung untersucht. Nach den Vorabklärungen kommen praktisch nur drei Gebäude in Frage. Vorbesprechungen mit den Hauseigentümern sind im Gange und eine konkrete Auswahl sollte bis Ende Jahr möglich sein.

3. VEROEFFENTLICHUNGEN

PENSKO, J. und W. BURKART: Die Bedeutung der Baumaterialien als Quelle der möglichen Strahlenexposition der Bevölkerung. EIR-Bericht Nr. 611, CH-5303 Würenlingen.

R. BUCHLI, K. HEUSI und W. BURKART: Zusammenhang zwischen der Geologie des Bauuntergrundes und dem Radongehalt von Häusern in den Schweizer Zentralalpen. TM-81-87-02, CH-5303 Würenlingen.

R. BUCHLI: Radongehalt des Schweizer Trinkwassers und Bedeutung des Trinkwassers als Radonquelle im Wohnraum. TM-81-87-03, CH-5303 Würenlingen.

W. BURKART: Assessment of the lung cancer risk from radiation exposures due to the airtightening of dwellings for energy conservation. In: Radiation Carcinogenesis and DNA Alterations Vol. 124, 139-145, 1987.

W. BURKART and R. CRAMERI: Increased Indoor Radon Levels due to Actinide containing Mineral Collections displayed in Living Areas. In: Proc. 4th. International Conference on Indoor Air Quality and Climate Vol. 2, 383-387, 1987.

OFEN PROJETS DE RECHERCHE ÉNERGÉTIQUE 1987

BEW ENERGIE - FORSCHUNGS - PROJEKTE 1987

TRACERBILDTECHNIK FÜR RAUMLUFTSTRÖMUNGEN

Ziel des Projekts:

Die Strömung in Räumen ist wesentlich für den Energiehaushalt, die Bauphysik und die Gesundheit und Behaglichkeit der Menschen, besonders im Hinblick auf Zugerscheinungen und Luftqualität.
Ziel dieser Arbeit ist es, eine Methode zu entwickeln, um quantitative Informationen über das dreidimensionale turbulente Strömungsfeld in einem grossen Abschnitt eines realen Raumes zu gewinnen. Dadurch werden bessere Aussagen möglich als mit den herkömmlichen qualitativen Rauchbildern oder den punktuellen Messungen. Die Methode beruht auf der quantitativen Auswertung der Bilder der Bewegung von Tracerkörpern (Seifenblasen).

Dauer des Projekts: 1 Jahr (ab Okt. 1987)

Beitragsempfänger: Prof. Dr. P. Suter
Institut für Energietechnik
Laboratorium für
Energiesysteme
ETH-Zentrum
8092 Zürich

Berichterstatter: G. Gottschalk

Adresse:

Telephon: 01 256 36 49 / 26 80

1. Ziele für 1987

1.1 Interesse und Randbedingungen der Praxis abklären

1.2 Internationalen Stand der Forschung überblicken; Kontakte aufbauen

1.3 Wahl der Tracerkörper

1.4 Konzept der Beleuchtungs- und Aufnahmetechnik

1.5 Einbringungstechnik der Tracer in den Raum

2. Durchgeführte Arbeiten 1987

- Definition der Anforderungen und Erarbeiten der Herstellung geeigneter Tracer in homogenen, stabilen Populationen
- Erarbeiten der geeigneten Beleuchtungstechnik
- Vorarbeiten zur Technik des Tracer-Transportes und der Tracer-Einbringung

3. Erreichte Ergebnisse

3.1 Es gelang, eine Technik zu entwickeln, mit welcher zeitlich stabile Tracer einer homogenen Population erzeugt werden, welche ein günstiges spezifisches Gewicht und gute optische Kontraste aufweisen, nämlich Seifenblasen.

3.2 Ein besonderes Beleuchtungsverfahren mit mehrfarbigen "gechopperten" Lichtschnitten ergibt dreidimensional auswertbare Bahnbilder. Da Laser-Lichtquellen der notwendigen Leistung für die grossen auszuleuchtenden Flächen zu teuer scheinen, wurden mit konventionellen Lichtquellen gearbeitet (siehe Abbildung).

3.3 Ein Gerät zur Kalibrierung und Selektion der Blasen wurde konzipiert, ebenso sind erste Versuche mit einer Einrichtung durchgeführt worden, welche die Blasen vom Selektor zum Versuchsraum transportiert, ohne die Strömung in letzterem zu stören.

3.4 Erste Versuche wurden auch durchgeführt, um Seifenblasen mit fluoreszenten Substanzen zu dopen, so dass sie im Ultraviolettlicht photographiert werden können; diese Technik würde störende Tageslicht-Reflexionen ausschalten.

4. Internationale Zusammenarbeit

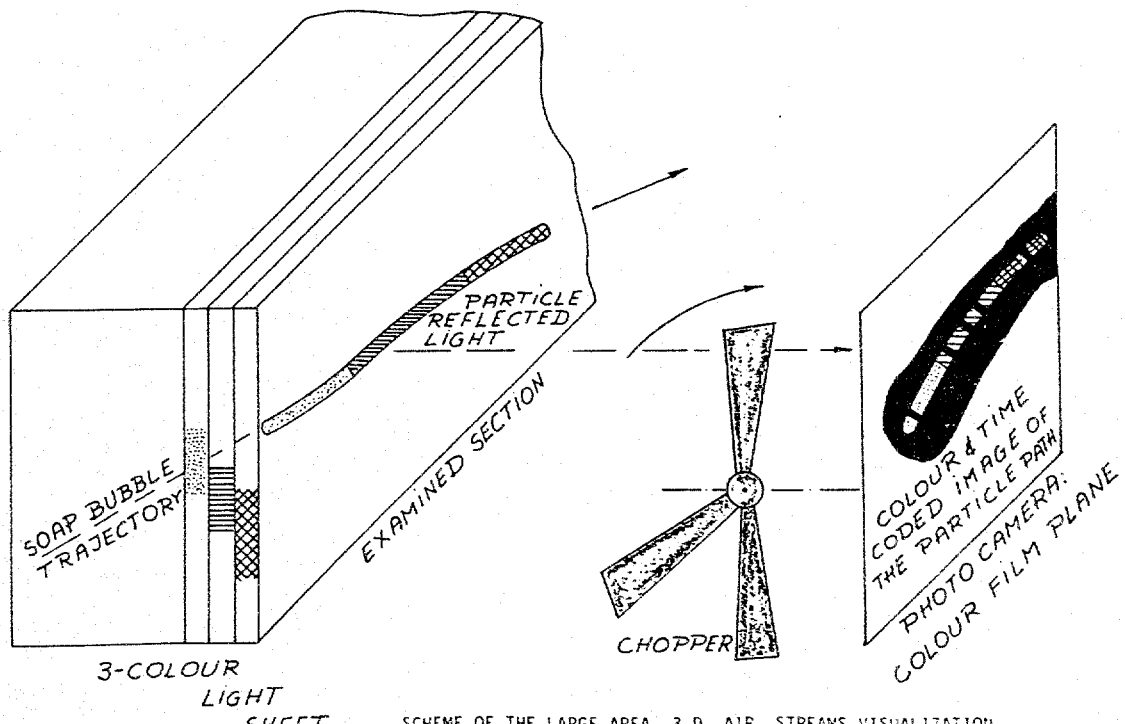
o Kontakte bestehen zu

- Penn State University, USA (holographische Methoden für Reinräume); Dr. Settles
- University of Tokyo (Bildverarbeitung), Prof. Kobayaski

o Eine Zusammenarbeit ist vorgesehen mit dem National Swedish Institute for Building Research (Dr. Sandberg) auf dem Gebiet der quantitativen grossflächigen Sichtbarmachung von Raumströmungen; es wurde vorgeschlagen, dies eventuell als Eureka-Projekt einzugeben).

5. Veröffentlichungen

Noch keine



SCHEME OF THE LARGE AREA 3-D AIR STREAMS VISUALIZATION

OFEN
BEW

PROJETS DE RECHERCHE ÉNERGÉTIQUE 1987
ENERGIE - FORSCHUNGS - PROJEKTE 1987

BERECHNUNG DER LUFTSTRÖMUNG IM EINZELRAUM

Ziel des Projekts:

Es sollen numerische Werkzeuge zur Berechnung der für Energiehaushalt und Benützerkomfort relevanten Grössen der Raumströmung bereitgestellt werden.
Die dabei eingesetzte Methode der finiten Differenzen wird auf ihre Eignung zur Lösung solcher Probleme überprüft; anschliessend wird sie als Planungswerkzeug ausgearbeitet, in stetem Vergleich zu Messungen. Dabei sollen auch neue Kenntnisse und Unterlagen über den Wärmeübergang bei gemischter Konvektion erhalten werden.

Dauer des Projekts: 4 Jahre

Beitragsempfänger: Prof. Dr. P. Suter
Institut für Energietechnik
Laboratorium für
Energiesysteme
ETH-Zentrum
8092 Zürich

Berichterstatter: CH. Schönenberger / Dr. A. Moser

Adresse:

Telephon: 01 256 36 41

5.11

1. Anvisierte Zielpunkte 1987

Es soll gezeigt werden, dass die Finite-Differenzen-Methode (FD) imstande ist, turbulente Raumströmungen mit gemischter Konvektion für Ingenieur-Zwecke zu berechnen.

2. Durchgeführte Arbeiten 1987

2.1. Ein FD-Programmpaket wurde beschafft und in Betrieb genommen.

2.2. Anhand einfacher Problemfälle wurde das Paket kennengelernt.

2.3. Eine erste Turbulenzmodellerweiterung für Auftriebsströmungen wurde eingebaut.

3. Erreichte Ergebnisse

3.1. Das FD-Programmpaket PHOENICS wurde auf dem neuen Betriebssystem NOS/VE des Rechenzentrums der ETHZ in langwieriger Kleinarbeit installiert und steht jetzt dort mit einer bequemen Benützerschnittstelle zur Verfügung.

3.2. Es wurden folgende Testfälle gerechnet:

3.2.1. Isotherme erzwungene Raumströmung
Hier wurde ein Raum nachgerechnet, bei dem sich an derselben Wand eine Ein- und eine Austrittsöffung befinden. Die sich einstellende Strömung wurde sowohl laminar als auch turbulent angenommen. Die Rechnung erfolgte 2- und 3-dimensional. Dieser Testfall zeigte gute Uebereinstimmung mit Resultaten, die mit einem anderen Programm gefunden wurden.

3.2.2. Auftriebsströmung
Bei diesem Testfall erfolgte die Rechnung nur 2-dimensional. Es wurde ein Raum mit quadratischem Querschnitt betrachtet. Die beiden Vertikalwände wiesen verschiedene Oberflächentemperaturen auf, Decke und Boden waren thermisch isoliert. Die Rechnung wurde für verschiedene Raumgrössen, d.h. für verschiedene Rayleigh-Zahlen, durchgeführt. Die Strömung wurde dabei laminar angenommen. Die Resultate wurden mit 2 ausländischen Arbeiten zum gleichen Thema verglichen und zeigten gute Uebereinstimmungen.

3.2.3. Wandprofile
Für die Programmvalidierung wurden laminare und turbulente Geschwindigkeitsprofile in der Grenzschicht nachgerechnet. Das laminare Profil wurde mit der exakten Lösung gemäss Blasius und das turbulente Profil mit Messungen verglichen. Die Uebereinstimmungen waren ausgezeichnet.

3.3. Das Programmpaket PHOENICS hat als Turbulenzmodell ein k-epsilon-Modell eingebaut, das nur erzwungene Strömungen genügend genau beschreibt. Will man aber Auftriebsströmungen rechnen, muss dieses Modell erweitert werden. Auf der Suche nach einer geeigneten Modellerweiterung stiessen wir auf ein Modell, das an der technischen Universität in Delft (Niederlande) verwendet wird. Diese Erweiterung wurde in PHOENICS eingebaut.
Dieser Einbau wurde durch mangelnde Programmdokumentation stark verzögert. Somit konnte bis jetzt noch keine verbindliche Validierung der Resultate durchgeführt werden.

4. Internationale Zusammenarbeit

Das nationale Projekt "Energierelevante Luftströmungen in Gebäuden" wird der schweizerische Beitrag zum IEA-Programm "Energy Conservation in Buildings and Community Systems" werden. Unser Beitrag wird im Annex 20 "Air Flow Patterns within Buildings" geleistet.

5. Veröffentlichungen: keine