

SET
9018000-47

Office fédéral de l'énergie
Bundesamt für Energiewirtschaft

Recherche énergétique

Energie-Forschung 1988

2 Rapports annuels des mandataires
Jahresberichte der Beauftragten

Le dieu du vent, Ogata Korin, 17ème s.





Office fédéral de l'énergie
Bundesamt für Energiewirtschaft

Recherche énergétique

Energie-Forschung 1988

Rapports annuels des mandataires Jahresberichte der Beauftragten

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 1989

Bern, Februar 1989

T o m e 2 : Rapports des mandataires

B a n d 2 : Berichte der Beauftragten

T a b l e

I n h a l t

1. Conservation de l'énergie dans les bâtiments

Energiesparen in Gebäuden

- Energierrelevante Luftströmungen in Gebäuden, F. Widder...1.1
- Demand Controlled Ventilating Systems, C. Filleux.....1.2
- Air Flow Patterns Within Buildings, A. Moser.....1.3
- Radon im Inneren von Wohnbauten, R. Crameri1.4
- Minimale Lüftungsraten, H.U. Wanner.....1.5
- System Simulation, G. Zweifel.....1.6
- Effiziente Energienutzung in Schulhäusern, B. Wick.....1.7
- Gestion de l'énergie dans les hôpitaux, P. Chuard.....1.8
- Air Infiltration & Ventilation Centre, P. Hartmann.....1.9

2. Valorisation de la chaleur ambiante, rejets
thermiques et chaleur-force

Umgebungs- & Abwärmenutzung, Wärme-Kraft-Kopplung

- Computersimulation von Luft-Wasser-Wärmepumpen, M. Conde.2.1
- Optimierung drehzahl geregelter Wärmepumpen, T. Afjei....2.2
- Bodenkühlung durch Erdsonden (Kt.ZH), R.J. Hopkirk.....2.3
- Erdsonden für Raumheizung (Kt.TG), R.J. Hopkirk.....2.4
- Energetisches Verhalten einer Schulanlage, R. Favre.....2.5
- Perpetuelles Heizungssystem, J.V. Hurdes.....2.6
- Schadstoffmessungen an Kat.-Gasmotoren, Hp. Eicher.....2.7
- WKK mit holzgefeuertem Stirlingmotor, C. Gaegauf.....2.8

3. Combustion

Feuerung & Verbrennung

- Flammenuntersuchungen und deren Modellierung, D. Aiulfi.3.1
- 3-D Bestimmung der Flammentemperaturfelder, H. Peter....3.2
- Schnell-Messverfahren in Flammen, J. Gass.....3.3
- Laser Diagnostik, B. Ineichen.....3.4
- Cyanursäure-Abgasreinigung von Dieselmotoren, Hp.Eicher.3.5
- Advanced Atmospheric Coal Firing System, B. Gysel.....3.6
- Aluminium Verbrennung, J. Wochele.....3.7

4. Sécurité des installations nucléaires

Nukleare Sicherheitsforschung

- Simulationsmodelle zur Transienten-Analyse, E. Knoglinger. 4.1
- Loss of Fluid Test, S. Guntay.....4.2
- Stossversuche (Simulation Flugzeugabsturz), P. Zwicky.. 4.3
- Erdbebensimulationen, H. Fierz..... 4.4
- LWR-Kontaminationskontrolle, E. Schenker.....4.5
- Heiss-Dampf-Reaktor, O. Mercier.....4.6
- Sicherheit des schnellen Brutreaktors, P. Wydler.....4.7

5. Solaire thermique & stockage de chaleur

Aktive Solarnutzung & Wärmespeicherung

- Solar Radiation and Pyranometry Studies, A. Zelenka....5.1
- Horizonteinflüsse auf Globalstrahlung, S. Kunz.....5.2
- Untersuchungen an unverglasten Kollektoren, J. Keller..5.3
- Selektive Schichten für hohe Temperaturen, P. Oelhafen.5.4
- Speicherung solarer Hochtemperaturwärme, J. Keller.....5.5
- Kollektor-Leistungsfähigkeit & -Lebensdauer, U. Frei...5.6
- Capteurs à injection directe simplifiée, O. Zahn.....5.7
- Solare Prozesswärme, J.V. Hurdes..... 5.8
- SOLARIN 2, O. Guisan.....5.9
- Intégration d'un système solaire à Meyrin, O. Guisan..5.10
- Stockage saisonnier de chaleur, P. Jaboyedoff.....5.11
- Intégration de "SPEOS", B. Saugy.....5.12
- Impacts du stockage en aquifères, J.J. Miserez.....5.13
- Kurztestmethode für Solaranlagen, A. Eggenberger.....5.14
- Planung & Ausführung von Solaranlagen, P. Schneiter...5.15
- PHOEBUS (Supersotel), H.W. Fricker.....5.16

6. Architecture solaire

Solararchitektur

- Solar-Geschäftshäuser, S.R. Hastings.....6.1
- Solar-Wohnbauten, S.R. Hastings.....6.2
- Vakuumisoliertes Lichtelement, E. Bächli.....6.3
- Transparente Isolation, P. Schneiter.....6.4

7. Photovoltaïque

Photovoltaik

- Albedoeinfluss auf PV-Anlage in den Alpen, W. Durisch..7.1
- Solarkraftwerksspezifische Meteodaten, B. Hofer.....7.2
- Solarzellen aus amorphem Silizium, A. Shah.....7.3
- 3 kW-Solarwechselrichter, V. Crastan.....7.4
- 4 kW-Impianto FV a moduli amorfi, M. Camani.....7.5
- Betriebsauswertung netzgebundener PV-Anlagen, M. Real..7.6
- PV-Potential im Verkehrsnetz, T. Nordmann.....7.7

8. Vent

Wind

- Prédiction énergétique, J.P. Ludwig.....8.1
- Modellierung von Standorten für Windanlagen, S. Kunz...8.2
- Typologie des sites propices, M. Roten.....8.3
- Kriterien zur Standortevaluation, R. Horbaty.....8.4
- Cogénération Vent-Biogaz en îlot, P. Pralong.....8.5

9. Biomasse

Biomasse

- Biogasproduktion aus Festmist, A. Wellinger.....9.1
- Vergärung fester Abfallstoffe, W. Edelmann.....9.2

10. Fusion nucléaire contrôlée

Kontrollierte Kernfusion

- Dünne Schichten für Fusionreaktoren, P. Oelhafen.....10.1
- TEXTOR, S. Veprek.....10.2

11. Stockage chimique & Hydrogène

Chemische Speicherung & Wasserstoff

- Stockage photochimique, M. Grätzel.....11.1
- Korrosionsschutz von Photoelektroden, H.v. Känel.....11.2
- Solar-Intensitätsverteilung in Konzentratoren, J. Keller...11.3
- Solarreaktoren für pulverförmige Stoffe, J. Keller....11.4
- Methanol-Luft-Brennstoffzelle, T. Allmendinger.....11.5
- Solare-Wasserstoffproduktion, M. Real.....11.6
- Photochem. Speicherung: Messtechniken, G. Calzaferri..11.7

12. Systèmes & Interfaces

Systeme & Energie-Umfeld

- Dialogue énergétique, P. Pralong.....12.1
- Expertensysteme für präventive Wartung, D. Maurer....12.2
- Verbrauch, Umweltschadstoffe & Oekonomie, S. Kypreos..12.3

ENERGIERELEVANTE LUFTSTRÖMUNGEN IN GEBÄUDEN

Ziel des Projekts: Den Planern von Gebäuden und haustechnischen Anlagen sollen die Mittel zur Verfügung gestellt werden, die es erlauben, alle relevanten Parameter der Luftströmung in und um das Gebäude schon in der Planungsphase zu berücksichtigen. Dabei ist auch der Einfluss der speziellen schweizerischen Randbedingungen von Klima, Witterung, Gebäude- und Baustruktur sowie des Benützerverhaltens zu erfassen. Damit soll erreicht werden, dass nach Abschluss des Projektes Planungs- und Dimensionierungsunterlagen vorhanden sind, die zu besseren und wirtschaftlicheren Systemen führen, welche gute Luftqualität bei optimiertem Energieeinsatz gewährleisten. - Ziel des vorliegenden Auftrages ist die Koordination der Abwicklung der Arbeiten in den einzelnen Teilbereichen des Projektes bezüglich Inhalt, Termine, Kosten und Umsetzung.

Dauer des Projekts: 1. Juli 1986 bis 31. Dezember 1992

Beitragsempfänger: Paul Scherrer Institut

Berichtersteller: Dr. F. Widder

Adresse: Paul Scherrer Institut, 5232 Villigen PSI

Telephon: 056 / 99 26 91

1. Anvisierte Zielpunkte für 1988

Nach Abschluss der Startphase des Projektes ging es 1988 um das Erreichen der für die 1. Etappe formulierten Ziele. Diese lassen sich für die einzelnen Teilbereiche wie folgt zusammenfassen:

Teilbereich A "Strömung im Einzelraum"

Nachweis, dass mit den entwickelten Rechenprogrammen laminare und turbulente Raumströmungen grundsätzlich gerechnet werden können durch Vergleich der Simulationen mit den bei SULZER in Winterthur durchgeführten und ausgewerteten Messungen. Entwicklung der Methode der Tracer-Bildtechnik und Beweis des Funktionsprinzips sowie Bau und Erprobung einer portablen Anlage.

Teilbereich B "Luft- und Schadstoffaustausch zwischen einzelnen Zonen eines Gebäudes und seiner Umgebung"

Abschluss der vorbereitenden Arbeiten zur Entwicklung eines Rechenmodells für die Interzonenluftströmung sowie Beginn der Rechnungen mit bestehenden Programmen. Ausarbeitung eines ersten statistischen Modells zur Erfassung des Benützerverhaltens. Erfassung der durch die ANETZ-Stationen der SMA gemessenen Windgeschwindigkeiten und -richtungen und Korrektur dieser durch den Einfluss der Topographie verfälschten Werte. Abschluss der Vorstudie zur Erforschung der gemischten Konvektion d.h. der Luftströmungen in Gebäuden unter dem Einfluss von Wind und Temperaturgradienten (Thermokinetik). Fortführung der Arbeiten zur Entwicklung bzw. Verbesserung zweier Methoden (CCGT, EDA) für die Messung des Luftaustausches und Schadstofftransportes innerhalb eines Gebäudes und zwischen Gebäude und Umgebung sowie zur Validierung von bestehenden Rechenprogrammen gemäss Zeitplan.

Teilbereich C "Zukunftsgerichtete Lüftungssysteme"

Grundsätzliche Abklärungen und Uebersicht über bestehende Lüftungssysteme. Durchführung von Befragungen von "Opinion leaders" und Liegenschaftsbesitzern zur Erfassung des Standes der Technik und der Einsatzmöglichkeiten der existierenden Systeme. Untersuchung der Auswirkungen hoher Wärmedämmung und grosser Dichtheit der Gebäudehülle auf den Einsatz und die Regulierbarkeit von lufttechnischen Anlagen. Erstellen von Pflichtenheften für neue Systeme. Abschluss der 1. Phase der Messungen zum Energie- und Schadstofftransport in Räumen mit natürlicher und mechanischer Lüftung.

Internationale Vorhaben

Definitive Festlegung der ERL-Beiträge zu den Projekten IEA Annex 18 "Demand controlled ventilating systems", IEA Annex 20 "Air flow patterns within buildings" und COMIS (Conjunction of multiroom infiltration specialists, Lawrence Berkeley Laboratory) sowie Beginn der damit zusammenhängenden Arbeiten. Weiterführung der Zusammenarbeit mit dem "Air infiltration and ventilation centre".

2. Durchgeführte Arbeiten 1988

Die durchgeführten Arbeiten sind im Detail im Bericht zum 2. Statusseminar vom 2. November 1988 beschrieben (1). Gemäss Vereinbarung mit den finanzierenden Fonds' akzeptieren diese die jährliche Berichterstattung am Statusseminar als technisch-wissenschaftlichen Jahresbericht.

Auch die Aktivitäten der Gesamtleitung und -koordination sind im erwähnten Bericht dargestellt. Als besonders hervorzuheben sind hierbei:

- Die Neubesetzung der Stellen des Leiters des Teilbereiches B und des Gesamtkoordinators
- Anpassung und Bereinigung des Forschungsprogrammes für den Teilbereich B unter besonderer Berücksichtigung der Beteiligung an den internationalen Projekten IEA-Annex-20 und COMIS
- Bildung einer Begleitgruppe zur Koordination der Zusammenarbeit zwischen ERL und den internationalen Projekten
- Koordination der Arbeiten für die Lösung der messtechnischen Probleme im Teilbereich C
- Erarbeitung eines Entwurfes für das ERL-Umsetzungskonzept
- Abklärungen zur Finanzierung der durch die internationale Zusammenarbeit entstehenden zusätzlichen Kosten.

3. Erreichte Ergebnisse

Im Teilbereich A wurden die gesteckten Ziele der 1. Etappe im wesentlichen erreicht:

- Bei den Rechenverfahren besteht gute Uebereinstimmung zwischen Rechnung und Versuch bei isothermer (strahlgetriebener) Strömung und auch die anisotherme (auftriebsgetriebene) Strömung wird befriedigend erfasst. Die Methode der finiten Differenzen verspricht, das Kostenziel (3 kFr./Fall auf VAX oder CRAY 2) zu erreichen.
- Bei den Messmethoden wurde die Punkt-Strömungsmessung mit Faseroptik und LDA (Laser-Doppler-Anemometrie) entwickelt und erfolgreich erprobt; die Methode ist betriebsfähig und auch für schwache Raumströmungen störungsfrei einsetzbar. Die Tracerbildtechnik zur quantitativen Strömungserfassung eines ganzen Feldes ist prinzipiell verifiziert und hat gute Aussichten; die Erprobung einer portablen Anlage musste in die 2. Etappe verschoben werden.

Im Teilbereich B entstanden durch unvorhergesehene Entwicklungen bei den einzelnen Teilprojekten Verzögerungen bis zu einem halben Jahr gegenüber dem ursprünglichen Zeitplan. Dies gilt insbesondere für die Entwicklung eines Rechenmodells für die Interzonenluftströmung. Durch die Uebergabe dieses Projekts vom IHBT/ETHZ an die EMPA und die dadurch notwendig gewordene Schaffung und Besetzung einer neuen Stelle an der EMPA konnten hier lediglich die Forschungs-, Zeit- und Arbeitspläne bereinigt, das Pflichtenheft erstellt und die Teilnahme an verwandten internationalen Projekten

(IEA Annex 20, COMIS) abgeklärt werden. Auch mit den Arbeiten zur statistischen Erfassung des Benützerverhaltens konnte aus personellen Gründen erst im Juni 1988 begonnen werden. Seither laufen die Untersuchungen plangemäss und ein erstes Modell konnte bereits ausgearbeitet sowie eine Studie über den internationalen Stand und die bereits existierenden Daten durchgeführt werden.

Nur kleine Verzögerungen erlitten die Auswertung und Bestimmung der Korrekturen der ANETZ-Winddaten; die Herausgabe der entsprechenden Dossiers ist im Frühjahr 1989 zu erwarten. Planmässig wurde die Vorstudie zum Forschungsprogramm über die Thermodynamik des Luftaustausches in Gebäuden abgeschlossen; ein detaillierter Plan für das ganze Projekt liegt nun vor. Ebenfalls abgeschlossen wurde die Entwicklung der Tracergasmethode CCGT (Konstante Konzentration, Verwendung von 3 Gasen) zur Untersuchung von Luftaustausch und Schadstofftransport, während die entsprechenden Arbeiten zur EDA-Methode (effusion-dilution-adsorption) noch im Gange sind. Eine Apparatur zur Bestimmung der Luftdurchlässigkeit bzw. der Dichtigkeit von Gebäuden wurde am LESO/EPFL aufgebaut und in Betrieb genommen; die mit dieser Anlage gesammelten Messdaten liefern, zusammen mit den notwendigen Klimadaten (Temperatur, Wind, Feuchtigkeit), den Input für die mit Hilfe der Luftaustauschmessungen zu validierenden Computerprogramme.

Im Teilbereich C sind die Arbeiten zur 1. Etappe sowie die Planung zur 2. Etappe weit fortgeschritten:

- Im Rahmen des Projektes "Grundsätzliche Abklärungen zu Lüftungssystemen" wurde ein umfangreiches Datenmaterial zusammengetragen und ausgewertet. Ein detaillierter Bericht über die dabei gewonnenen Erkenntnisse soll im Frühjahr 1989 erscheinen.
- Beim Projekt "Convection naturelle et forcée" ist die erste Messphase (thermischer Komfort) abgeschlossen worden. Es wurden interessante Resultate über die Luftwechselrate bei mechanischer Lüftung und über den Einfluss des Benützerverhaltens auf die Wärmeenergiebilanz erzielt.
- Als Vorbereitung für die in der 2. Etappe geplante Messkampagne (Fallstudien) spielt die Messkoordination innerhalb des gesamten ERL-Projektes eine wichtige Rolle. In einer ersten Besprechungsrunde wurde ein Überblick über die in der Schweiz verfügbaren Techniken erarbeitet. Im weiteren wurde ein Pflichtenheft für den Messverantwortlichen im Bereich C erstellt.
- Mit der Konstitution einer Industriebegleitgruppe aus Mitgliedern des VSHL/SWKI konnte ein enger Bezug zur Praxis hergestellt werden, was für die Umsetzung der ERL-Forschungsergebnisse von grosser Bedeutung ist.

4. Internationale Vorhaben

Die Beteiligung an den in Abschnitt 1 erwähnten internationalen Projekten wird durch das BEW finanziert. Entsprechend wird über diese Aktivitäten gesondert berichtet und es kann an dieser Stelle auf die betreffenden Jahresberichte verwiesen werden.

5. Veröffentlichungen

- (1) Forschungsprogramm Energierrelevante Luftströmungen in Gebäuden,
Tagungsunterlagen 2. Statusseminar, 2. November 1988, Lausanne
(darin enthalten die Publikationslisten zu den einzelnen Teilprojekten)

6. Neue Forschungsarbeiten

Alle innerhalb ERL geplanten Forschungsarbeiten liegen bereits in schriftlicher Vorschlagsform vor.

Die Aufnahme weiterer Gebiete in das Programm ist innerhalb des vorgegebenen finanziellen Rahmens nicht mehr möglich.

1. 2

O F E N

PROJETS DE RECHERCHE ÉNERGÉTIQUE 1988

B E W

ENERGIE - FORSCHUNGS - PROJEKTE 1988

DEMAND CONTROLLED VENTILATING SYSTEMS

Projektziel: Erarbeitung von Planungsunterlagen für zukunftsgerichtete bedarfsgeregelte Lüftungssysteme in Bauten verschiedener Nutzung

Projektstruktur:

- Subtask A - Stand der Technik und Marktabklärungen zu Fühlern
- Subtask B - Fallstudien mit erfolgversprechenden Systemen
- Subtask C - Referenzbuch (Informationsdokument) gestützt auf Charakteristiken erprobter Systeme

Bezug zu ERL-Bereich C: Die Mitarbeit am internationalen Projekt dient in erster Linie dazu, die Forschungsanstrengungen im Projekt "Energierrelevante Luftströmungen in Gebäuden" (ERL) direkt zu unterstützen. Im internationalen Projekt Annex XVIII ist der Schwerpunkt auf bedarfsgeregelte Lüftung (demand controlled) gesetzt worden, weshalb den Fragen für die Leitgrößen der Regelung (controlling contaminants) und der Fühlertechnik besondere Beachtung geschenkt wird.

Dauer des Projekts 1. August 1988 bis 31. Dezember 1991

Berichtersteller: Dr. Charles Filleux
Adresse: Basler & Hofmann, Forchstrasse 395, 8029 Zürich
Telephon: 01 - 55 11 22

1. Anvisierte Zielpunkte für 1988

In Abstimmung mit dem internationalen Projektplan war es vorgesehen folgende Zielpunkte zu erreichen:

- Bestandesaufnahme und Wertung der Anforderungen an die Raumlufthqualität
- Auswertung bisheriger Messungen zur Raumlufthqualität zwecks Festlegung von Kontrollgrössen
- Darstellung und Beurteilung der zur Verfügung stehenden Messtechniken zur Bestimmung der Raumlufthqualität
- Definieren von Messtechnik und "Reporting Format" für die Subtask B
- Uebersicht über die Systeme, Komponenten und Fühler für DCV-Systeme
- Teilnahme an den beiden Expertmeetings im Frühjahr und Herbst 1988
- Präsentation des Projekts Annex XVIII am 2. ERL-Statusseminar 1988 in Lausanne

2. Durchgeführte Arbeiten 1988

Da die drei Subtasks zeitlich gestaffelt sind, wurde im ersten Berichtsjahr fast ausschliesslich an der Subtask A gearbeitet. Daran war vor allem Basler & Hofmann beteiligt, unterstützt durch das Institut für Hygiene und Arbeitsphysiologie und die Firma Sorane. Folgende Arbeiten sind durchgeführt worden:

- Erarbeitung eines 4-teiligen Fragebogens zur Erhebung bestehender Daten zur Raumlufthqualität und DCV-Systeme in den verschiedenen Teilnehmerstaaten. Diese Arbeit erfolgte unter der Federführung des Subtask A Leaders (BRD Dornier) mit aktiver Beteiligung von Schweden und der Schweiz.
- Zusammentragen der relevanten Raumlufthdaten für die Schweiz durch B&H und Institut für Hygiene und Arbeitsphysiologie.
- Die Fragebogen wurden von W. Raatschen (BRD) ausgewertet und am zweiten Expertmeeting diskutiert. Bezüglich DCV-Systems muss noch einmal nachgefasst werden. W.Raatschen wird dabei von B&H unterstützt.
- Die Definition der Messtechnik ist durch den Ausfall des Subtask B Leaders nicht wunschgemäss vorangeschritten. Neu haben sich Schweden, Italien und Kanada für diese Arbeit engagiert. In der Schweiz ist es vorgesehen einen Messverantwortlichen einzusetzen. Das Pflichtenheft ist durch C. Filleux erstellt worden. Die Zusage des vorgesehenen Forschers steht noch aus.
- Das 3. Expertmeeting ist in der Schweiz (oberhalb Vevey) abgehalten und von C.Filleux organisiert worden.
- Am 2. ERL-Statusseminar in Lausanne vom 2. Nov. 1988 hat C.Filleux einen Bericht über Annex XVIII vorgetragen und dadurch die am ERL beteiligten Forscher direkt über das Projekt informiert.

3. Erreichte Ergebnisse

An alle Teilnehmer wurden Fragebogen gesandt, mit dem Ziel Grenzwerte und Standards für Raumluftverunreinigungen aus den verschiedenen Ländern zusammenzutragen (Fragebogen 1), eine Uebersicht über den Fühlermarkt zu gewinnen (Fragebogen 2) und den aktuellen Stand der Technik bezüglich Raumluftqualität und Bedarfslüftung zu erfassen (Fragebogen 3 und 4). Bisher wurden lediglich Fragebogen 1 und Fragebogen 2 ausgewertet /1/. Die nachfolgenden Abschnitte geben einen kurzen Abriss dieser Auswertung, ergänzt durch vereinzelt Erfahrungen über Schadstoffindikatoren und Bedarfslüftungen in der Schweiz.

Indikatoren für die Bedarfslüftung

Im Schlussbericht zu Annex IX "Minimum Ventilation Rates" werden die wichtigsten Raumluftverunreinigungen und deren Quellen aufgelistet. Die wichtigsten Verunreinigungen sind Wasserdampf (Feuchte), CO₂ und Körpergeruch, Tabakrauch (CO, NO₂, Partikel), Formaldehyd (HCHO) und Radon. Durch Massnahmen an der Quelle lässt sich das Ausmass der meisten Verunreinigungen erheblich verringern. Im Projekt Annex XVIII geht es nun darum zu prüfen, welche der oben genannten Raumluftverunreinigungen als Indikatoren für die Raumluftqualität eingesetzt werden können.

Wasserdampf

Im Bereich unter 30 % relative Feuchte reagiert der Mensch empfindlich. Bei Werten über 70 % können an Bauteilen Feuchteschäden entstehen. Der optimale Feuchtegrad liegt zwischen 30 % und 70 % relativer Feuchte. Die Messung der rel. Feuchte mit entsprechender Regelung des Lüftungsbedarfs kommt grundsätzlich als Variante der Lüftungsregelung in Frage. Der Grenzwert auf den zu regeln ist, ist noch nicht festgelegt.

Körpergeruch und CO₂

Zwischen dem CO₂-Gehalt in der Raumluft und dem wahrgenommenen Körpergeruch kann ein Zusammenhang nachgewiesen werden. Deshalb ist es naheliegend CO₂ als Indikator für Körpergeruch zu verwenden. Als "Acceptable Indoor Concentration" wird von den meisten Ländern ein Wert im Bereich von 1000 bis 1500 ppm CO₂ absolut angegeben. In der Arbeitsgruppe SIA 382/1 werden zurzeit ebenfalls Grenzwerte diskutiert. Im Vordergrund steht ein Vorschlag, welcher auf einem CO₂-Grenzwert von 1000 ppm basiert, mit einer Anhebung im Winter auf 1500 ppm. Um die 1000 ppm einzuhalten, ist eine minimale Frischluftfrate von 25 - 30 m³/hr. pro Person erforderlich. Wie vergleicht sich dieser Wert mit gemessenen Konzentrationen?

Schlechte Luftqualität verursacht durch Körpergeruch ist ein typisches Problem in Schulhäusern. In Belgien ist im Rahmen einer nationalen Kampagne eine grössere Stichprobe zum CO₂-Gehalt in der Klassenzimmerluft erhoben worden. Praktisch die Hälfte der Messergebnisse zeigten Werte über 1500 ppm, 19 % über 2500 ppm (vgl. Figur 1). In der Studie wird jedoch nicht gesagt, wie gelüftet wurde.

In der Schweiz hat die EMPA während zweier Messperioden in einem Schulhaus mit mechanischer Lüftung detaillierte Messungen zum CO₂-Gehalt in einem Klassenzimmer durchgeführt. Während im ersten Jahr noch 13.7 % der Werte über 1500 ppm lagen, waren es im zweiten Jahr infolge erheblicher Verbesserungen nur noch 9.2 %. Figur 2 gibt die Summenhäufigkeit der gemessenen CO₂-Konzentrationen. Laut den Autoren ist ein Einsatz von CO₂-Fühlern im Klassenzimmer nur bedingt sinnvoll, allenfalls nur in Kombination mit VAV-Systemen.

An der Universität Zürich sind im Frühjahr 1987 zwei Hörsäle auf CO₂-geregelte Lüftungsanlagen umgerüstet worden. Die Einschaltstufen liegen bei 750 ppm (Stufe 1) bzw. 1500 ppm (Stufe 2). Der Frischluftanteil wird nach CO₂ geregelt. Die Reduktion der Anlagelaufzeiten und dementsprechend des Elektrizitätsbedarfs sind beträchtlich, allerdings bei relativ hohen CO₂-Pegeln (Werte häufig über 1200 ppm).

Nicht zu vergessen ist die Tatsache, dass der CO₂-Gehalt der Aussenluft erheblich schwanken kann. In Reinaltgebieten liegt er um 350 ppm, in städtischen Ballungszentren werden Werte bis zu 800 ppm registriert. Trotzdem sind wir der Auffassung, dass es möglich ist, eine CO₂-geregelte Lüftung zu betreiben. Diese ist immer dann sinnvoll, wenn der Frischluftbedarf durch die Anwesenheit von Personen und nicht durch thermische Lasten bestimmt wird (Sitzungszimmer, Schulungsräume, Theater, Kino, Hörsäle).

Tabakrauch

Im Schlussbericht von Annex IX wird der Vorschlag gemacht, den CO-Anstieg als Indikator für Tabakrauch zu verwenden. Der durch Tabakrauch verursachte zulässige Anstieg liegt bei 1 - 2 ppm. Nun ist es aber so, dass der natürliche CO-Gehalt der Luft nur in ländlichen Gegenden niedrig und einigermassen konstant ist. In Industriegebieten entspricht der CO-Gehalt der Aussenluft etwa der Veränderung die man messen will. Hinzu kommt, dass es noch keine marktreifen Sensoren gibt, welche im Bereich einiger ppm mit genügender Genauigkeit arbeiten. Es ist daher noch offen, ob CO als Indikator für Tabakrauch verwendet werden kann. Erhöhte CO-Pegel, werden natürlich nicht nur durch Tabakrauch verursacht, sondern sind vor allem dem Verkehr und der Industrialisierung zuzuschreiben.

Acceptable Indoor Concentration (AIC)

Im Rahmen von Annex XVIII wurden für die drei im Vordergrund stehenden Indikatoren Wasserdampf (Feuchte), CO₂ und Körpergeruch, sowie Tabakrauch (CO) folgende AIC-Werte erhoben:

Verunreinigung/Schadstoff	Acceptable Indoor Concentration
H ₂ O	30 - 70 % rel. Feuchte
CO ₂	800 - 1500 ppm absolut
CO	2* - 11 ppm absolut

* 2 ppm falls durch Tabakrauch verursacht.

Formaldehyd und Radon stehen im Rahmen der Annex XVIII Arbeiten als Indikatoren nicht zur Diskussion, weil sie durch Bekämpfung an der Quelle weitgehend eliminiert werden können.

Ueberblick über Fühler

Die Umfrage bei den Teilnehmern an Annex XVIII hat folgendes Bild ergeben:

1. Es gibt relativ wenig Produkte; zudem verwenden die meisten Gerätehersteller dieselben Fühler (Sensoren).
2. Es besteht wenig produkteneutrale Felderfahrung.

Aus diesem Grund sind im Rahmen von Annex XVIII ausgedehnte Fühlertests vorgesehen.

Zur Messung der Indikatoren Feuchte, CO₂ und Tabakrauch stehen folgende prinzipielle Möglichkeiten zur Verfügung

Indikator	Feuchte (nichtoxydierte Gase)	CO2	Tabakrauch
Fühlertyp	Haarhygrometer Kapazitiv Halbleiter Lithiumchlorid	IR-Filter, photoakustisch IR-Filter, photometrisch	Metalloxyd Monokristallin

4. Internationaler Rahmen

Am internationalen Projekt, welches im Herbst 1987 angelaufen ist (Startmeeting in Ueberlingen) nehmen folgende Länder teil:

Bundesrepublik Deutschland	Leitung Subtask A
Dänemark	
Italien	
Kanada	Leitung Subtask B
Norwegen	
Schweden (L.G. Mansson)	Operating Agent und Leitung Subtask C
Schweiz	

Beobachterstatus haben:

AIVC (M. Liddament, P. Charlesworth), Belgien (P. Wouters), England, Finnland (M. Louma) und die Niederlande.

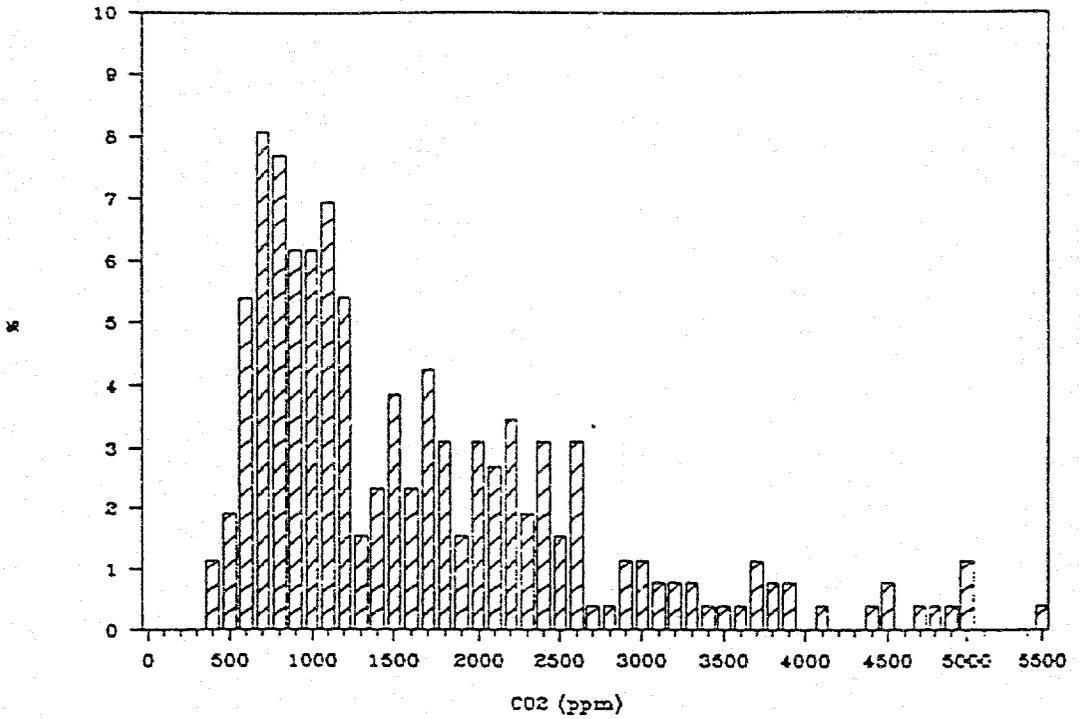
5. Veröffentlichungen

/ 1 / W. Raatschen, Market Analysis of Sensors for the use in DCV-Systems, Proceedings 9th AIVC Conference, Gent, Belgium, 1988

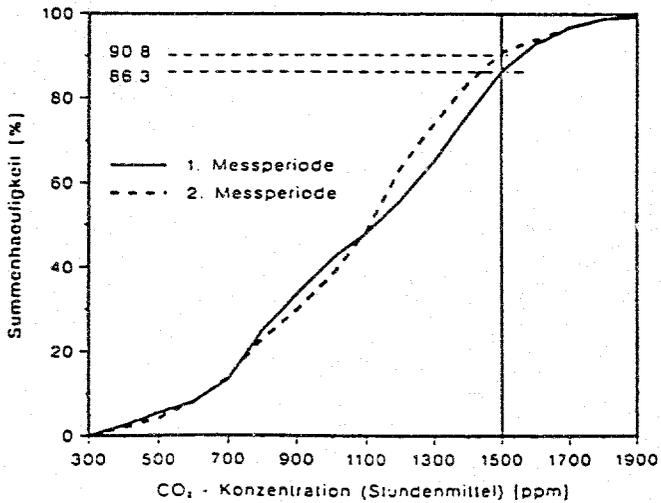
/ 2 / C. Filleux, Bericht über IEA Annex XVIII am 2. ERL-Statusseminar, Lausanne 1988

6. Neue Forschungsarbeiten

Keine Bemerkungen



Figur 1: Gemessene CO2-Konzentrationen in 260 Schulzimmern in Belgien



Figur 2: Summenhäufigkeit der CO2-Konzentrationen für Schulhaus Gumpenwiese

AIR FLOW PATTERNS WITHIN BUILDINGS

Ziel des Projekts:

Das Unterprogramm "Energy Conservation in Buildings and Community Systems" der Internationalen Energie Agentur (IEA) unterhält verschiedene zeitlich begrenzte Projekte, die "Annex" genannt werden. Jeder Annex wird von einem Teilnehmerland geleitet. Das Ziel des vorliegenden BEW-Auftrages ist die durch die Schweiz übernommene Projektleitung des IEA Annex 20 "Air flow patterns within buildings".

Das Ziel des Annex 20 ist die Bewertung von Methoden zur Voraussage von Luft- und Schadstoffströmungen in Gebäuden im Hinblick auf ihre Verwendung als Planungswerkzeuge.

Dauer des Projekts: 1. Januar 1988 - 31. Dezember 1991

Beitragsempfänger: Lab. für Energiesysteme, Inst. für Energietechnik,
ETH Zürich

Berichtersteller: Dr. Alfred Moser

Adresse: Inst. für Energietechnik ML,
ETH-Zentrum, 8092 Zürich

Telephon: 01 - 256 36 41

1.3

1. Anvisierte Zielpunkte für 1988

Der Vorschlag für diesen neuen Annex wurde im Dezember 1987 durch das Executive Committee (ExCo) des Implementing Agreements on Energy Conservation in Buildings and Community Systems in seiner Sitzung in Ispra angenommen und die Schweiz wurde offiziell als "Lead Country" bezeichnet.

Das gab dem Projektleiter, oder Operating Agent, grünes Licht, um das Projekt ins Rollen zu bringen. Die wichtigsten Ziele für das erste Projekt-Jahr waren:

- Werbung von Mitglieder-Ländern
- Projekt-Start anlässlich eines "kick-off" Meetings im Mai 1988
- Verteilen von Aufträgen für die Projekt Vorbereitungsphase
- Festlegen des Arbeitsplanes am Schluss der Vorbereitungsphase.

2. Durchgeführte Arbeiten 1988

Bei diesem BEW-Auftrag handelt es sich in erster Linie um die Durchführung einer Projektleitung. Technische Arbeiten werden also nur indirekt berührt. Allerdings können dank der Uebernahme dieser internationalen Führungsrolle für die Schweiz wesentliche Vorteile resultieren. Wissenschaftliche Ergebnisse können frühzeitig in die Schweiz umgesetzt werden. Vor allem ist unser nationales Projekt "Energierellevante Luftströmungen in Gebäuden" (ERL) besonders geeignet, vom technischen Know-how Import direkt zu profitieren.

Der Operating Agent hat neben der Projektleitung denn auch den folgenden expliziten Auftrag:

"... Er arbeitet mit den Projektverantwortlichen der schweizerischen Beiträge zusammen und gewährleistet die Uebertragung und Umsetzung der schweiz. Beiträge in den IEA-Annex und der IEA-Ergebnisse in die Schweiz."

Im Jahre 1988 wurden im Annex 20 noch keine eigentlichen Forschungsarbeiten durchgeführt.

Die wesentlichsten Aufgaben der Projekt Vor-phase bestanden in

- o der Festlegung einer Organisationsstruktur und eines Zeitplanes für das Projekt,
- o der Suche nach qualifizierten Unterprojektleitern (Subtask leaders), die auch bereit sind, diese verantwortungsvolle Aufgabe zu übernehmen und die die nötige Finanzierung in ihren Ländern beschaffen können
- o verschiedenen technischen Recherchen über den heutigen Stand des betreffenden Spezialwissens und der neuesten Rechen- und Messmethoden und über bestehende Versuchsstände
- o der genauen Definition der durchzuführenden Arbeiten. Diese Aufgaben wurden meistens auch gerade durch die Forscher formuliert, die sie nachher lösen werden.

1. 3

- o der Synthese der vorgeschlagenen Teilaufgaben zu einem koordinierten Arbeitsplan, der sich nach den gesetzten Annex Zielen ausrichtet.

Die Vorbereitungsarbeiten wurden am Kick-off Meeting in Winterthur besprochen und an die Teilnehmerländer verteilt.

Am zweiten Expert Meeting im November 1988 in Warwick, England, wurden die verfassten Berichte diskutiert und der definitive Arbeitsplan entworfen.

3. Erreichte Ergebnisse in 1988

Annex Organisation:

Das Projekt ist in zwei "subtasks" gegliedert.

1. Luft- und Schadstoffströmung im Einzelraum
2. Luft- und Schadstoffströmung zwischen mehreren Räumen und der Umgebung des Gebäudes. Neue Messmethoden.

Dem Operating Agent (der Berichterstatter) unterstehen zwei subtask leaders:

Subtask 1: T. Lemaire, TNO Delft, Niederlande

Subtask 2: C.-A. Roulet, EPF-Lausanne, Schweiz.

Elf Länder beteiligen sich am Annex 20:

Belgien, Kanada, Dänemark, Finland, Italien, Niederlande, Norwegen, Schweden, Schweiz, England, USA.

Das Kick-off Meeting in Winterthur wurde von 20 Teilnehmern aus allen 11 Ländern besucht. Die Teilnehmer der relativ starken schweizerischen Delegation haben nicht versäumt, bereits bei dieser Gelegenheit nützliche internationale Kontakte zu knüpfen.

Die von den Teilnehmern eingereichten Zusammenfassungen ihrer nationalen Projekte und Versuchsanlagen wurden als Tagungsunterlage an alle verteilt.

Das Tagungsprotokoll ist beim Berichterstatter erhältlich.

Während der Neunten AIVC Konferenz in Gent, Belgien, wurde ein Annex 20 Workshop mit weiterem Publikum durchgeführt. Dieser Anlass ist auf grosses Interesse gestossen, er hat unsere Arbeiten weiteren Kreisen bekannt gemacht, und kritische Äusserungen haben uns angeregt, die Projekt-Zielsetzung noch einmal zu überprüfen.

Das zweite Experten-Meeting in England wurde wieder von 20 Forschern besucht, die über die Ergebnisse ihrer Nachforschungen und Vorbereitungen berichten konnten.

1. 3

Die gute Stimmung und positive Einstellung unter den Teilnehmern ermöglichte die Aufstellung eines detaillierten Arbeitsplanes trotz kurzer Sitzungsdauer.

Die ganze Arbeit ist in Einzel-Aufträge eingeteilt und jeder dieser Aufträge ist auf einem standardisierten Arbeitsblatt umschrieben (Research Item Description). Diese Blätter sind die Basis-Dokumentation des Arbeitsplanes und enthalten den Auftrags-Verantwortlichen, Ziel, Methode, Zeitplan und Aufwand.

Eine enge Zusammenarbeit mit dem Air Infiltration and Ventilation Center (AIVC), das aus dem IEA Annex 5 herausgewachsen ist, ist geplant und auch unerlässlich. Dort vorhandene Datenbanken und Literaturübersichten können direkt verwertet werden, ausserdem dient das AIVC als Verleger der Annex 20 Publikationen.

Auch vom zweiten Expertentreffen liegt ein ausführliches Protokoll vor.

4. Mitwirkung an internationalem Projekt

Die Gespräche mit unseren ausländischen Kollegen haben gezeigt, dass fast jedes der beteiligten Länder in einem andern Spezialgebiet besonders stark ist.

Durch die enge Zusammenarbeit haben wir nun die Möglichkeit, die ausländischen Fachkenntnisse unmittelbar in unsere Arbeit einfließen zu lassen.

Dass wir so die Basis unserer technischen Expertise bedeutend ausweiten können, darf sicher als ein konkreter Vorteil der Zusammenarbeit bezeichnet werden.

5. Veröffentlichungen

(keine)

6. Neue Forschungsarbeiten

Mit besonderer Aufmerksamkeit sollten wir die Entwicklungen auf dem Gebiet der "Quell-Lüftung" (displacement ventilation) verfolgen. Bei diesem System steigt frische Luft am Menschen oder an wärme-abgebenden Geräten auf und wird nicht zuerst mit verbrauchter Luft gemischt. Unter gewissen Voraussetzungen kann dadurch sehr kosten-effizient belüftet werden.

Zu den geplanten Tätigkeiten, die zwar nicht Forschungs-Charakter haben, gehört die Umsetzung der Annex Ergebnisse in der Schweiz. In Zusammenarbeit mit dem ERL Projekt werden Strategien entwickelt, um die erwarteten Resultate in der Schweiz an Industrie, Lehre und Forschung weiter zu geben.

RADON IM INNEREN VON WOHNBAUTEN

Ziel des Projekts: Radon als Hauptursache der Strahlenbelastung der Bevölkerung ist das dominierende radiologische Problem der Schweiz. Energiesparmassnahmen, welche eine Herabsetzung der Luftwechselrate verursachen, können eine Erhöhung des Radonpegels in bewohnten Häusern zur Folge haben. Ziel dieses Projektes ist es, bauphysikalische Gegebenheiten, welche den Radonpegel beeinflussen, aufzuzeigen, die Auswirkungen des Benutzerverhaltens auf den Radonpegel in Modellexperimenten zu studieren sowie die Einflüsse von Abdichtungsmassnahmen auf Radongehalt der Innenluft und Energieverbrauch abzuklären.

Dauer des Projekts: 1.1. 1988 - 31.12. 1988

Beitragsempfänger: PSI, Abt. Strahlenhygiene, Dr. R. Crameri

Berichtersteller: R. Crameri, H. Buser, D. Furrer und W. Burkart

Adresse: Abt. Strahlenhygiene, Paus Scherrer Institut, 5232 Villigen, PSI

Telephon: 056\99'23'43

1. Zielpunkte und durchgeführte Arbeiten

Für das Jahr 1988 wurden gemäss Vereinbarung folgende Ziele anvisiert:

- a) Erweiterung der Untersuchung über die Einflüsse von Bauuntergrund und Bauphysik auf den Innenlufttridonpegel, insbesondere Validierung der vorläufigen Resultate durch Erweiterung der Stichproben ("matched pair" Analyse).
- b) Studien über den Einfluss mechanischer oder natürlicher Belüftung im Keller auf den Radonpegel im ganzen Gebäude.
- c) Erfassung von Luftwechsel- und Radonpegelschwankungen bei normaler Lüftung in Einzelräumen durch Simulationsexperimente. Abschätzung des zusätzlichen Energiebedarfs anhand einfacher Modelle.
- d) Experimentelle Abklärung der Einflüsse auf Luftwechsel und Radonzerfallsproduktkonzentration in einem Haus nach Abdichtung der Einzelräume.
- e) Synthese der Resultate in Form von allgemein zugänglichen Publikationen.

Im Jahr 1988 wurden folgende Arbeiten durchgeführt:

- a) Die "matched pair" Analyse wurde auf 50 Häuserpaare erweitert. Als Auswahlkriterien dienten Unterschiede in der Fundamentstruktur und in der Art der Verbindung zwischen den Stockwerken.
- b) Eine Langzeitstudie über den Einfluss einer natürlichen Ventilation im Keller auf dem Radonpegel in den oberen Stockwerken wurde vervollständigt.
- c) Simulationsexperimente über die Einflüsse der Benutzer auf den Radonpegel wurden mehrfach repetiert. Erste Abschätzungen des durch die Bewohner verursachten Mehrenergieverbrauchs wurden ausgearbeitet.
- d) Die Arbeiten über den Einfluss von Abdichtungsmassnahmen auf den Luftwechsel und Radonzerfallsproduktepegel wurden in Angriff genommen.
- e) Bekanntmachung der Resultate anlässlich der schweizerischen Radontagung am PSI (25.11.1988). Die Vorträge werden in einem PSI-Bericht zusammengestellt. Eine Auswahl von Publikationen in internationalen Fachzeitschriften wird unter Punkt 3 aufgeführt.

2. Erreichte Ergebnisse

Einfluss der Fundamentstruktur und der Art der Verbindung zwischen den Stockwerken auf den Radonpegel

Die Ausdehnung der Untersuchungen auf 50 Häuserpaare mit unterschiedlicher Kellerstruktur (Tabelle 1) bzw. mit unterschiedlichen Verbindungsarten zwischen den Stockwerken (Tabelle 2) bestätigte die vorläufigen Ergebnisse. Aus beiden Tabellen geht hervor, dass sowohl die Beschaffenheit des Kellerbodens als auch die Art der Verbindung zwischen den Stockwerken den Radonpegel in Wohnräumen wesentlich beeinflussen.

Tabelle 1. Analyse der Radonpegel in 50 Häuserpaaren mit unterschiedlicher Fundamentstruktur

Fundamentstruktur des Kellers	Radonkonzentration Bqm ⁻³ (S.D. des Mittelwertes)				
	Keller (A)	Erdgeschoss (B)	1.Stock (C)		
Naturboden (1)	1715 (398)	330 (57)	241 (36)		
Betonboden (2)	569 (136)	154 (22)	128 (17)		
	Differenz	(S.D.)	P	Faktor(1:2)	
Keller (A1 - A2)	1146	(423)	<<0.005	3.01	
Erdgeschoss (B1 - B2)	176	(58)	<0.0025	2.14	
1. Stock (C1 - C2)	113	(39)	<0.005	1.88	

Tabelle 2. Analyse der Radonpegel in 50 Häuserpaaren mit unterschiedlicher Verbindung zwischen den Stockwerken

Art der Verbindung	Radonkonzentration Bqm ⁻³ (S. D. des Mittelwertes)				
	Keller (A)	Erdgeschoss(B)	1.Stock(C)		
Offen (1)	937 (162)	335 (57)	238 (37)		
Geschlossen (2)	1347 (404)	149 (19)	131 (16)		
	Differenz	(S.D.)	P	Faktor (1:2)	
Keller (A1 - A2)	-410	(414)	>0.15	0.70	
Erdgeschoss (B1 - B2)	186	(78)	<0.0125	2.24	
1. Stock (C1 - C2)	107	(37)	<0.005	1.82	

Tabelle 1 und Tabelle 2 weisen nach, dass bauphysikalische Charakteristiken einen statistisch signifikanten Einfluss ($p < 0.05$) auf den Radonpegel haben.

Einfluss der Dauerlüftung im Keller auf den Radonpegel in den oberen Stockwerken

Die Geologie des Bauuntergrundes ist verantwortlich für mehr als 90 % der Radonkonzentration, welche im Keller von Gebäuden gemessen wird. Es kann deshalb vermutet werden, dass eine Reduktion des Radonpegels im Keller sich auf das ganze Gebäude auswirkt. Angesichts der starken Fluktuation des Radonpegels können solche Fragestellungen allerdings nur durch aufwendige Langzeitexperimente beantwortet werden. Wie in Tabelle 3 dargestellt, bewirkt schon eine schwache Dauerlüftung des Kellers eine markante Abnahme (durchschnittlich um mehr als die Hälfte) des Radon- und Radonzerfallsproduktepegels in den oberen Stockwerken. Die durch öffnen der Fenster verursachte natürliche Lüftung des Kellers ist damit wohl die billigste Reduktionsmassnahme.

Tabelle 3. Abnahme des Radonzerfallsproduktepegels im Wohnraum durch natürliche Lüftung des Kellers.

Messperiode (je 4 Wochen)	Radonzerfallsproduktekonz. Bqm ⁻³ (S.D. des Mittelwertes)			Mittlerer ** Luftwechsel(h ⁻¹)
	Keller	Erdgeschoss	1.Stock	
1	1863 (155)	728 (62)	513 (20)	0.12
2	1750 (594)	813 (89)	401 (32)	0.11
3	2247 (222)	559 (72)	397 (90)	0.09
4	182 (15)	290 (42)	220 (39)	0.32

**Des Kellers

Der zusätzliche Energieverbrauch pro Raumvolumeneinheit während der Kälteperiode lässt sich anhand einer einfachen Formel abschätzen:

$$\text{Energie} = n_l \times V \times c_w \times \Delta T \times t$$

n_l = Luftwechselzahl (h⁻¹)

V = Volumen (m³)

c_w = spezifische Wärme der Luft (kWs kg⁻¹ °C⁻¹)

= Luftdichte (kg m⁻³)

ΔT = Temperaturdifferenz (°C)

t = Zeit (h)

Mit einer realistischen Annahme von einer Temperaturdifferenz von 4 °C zwischen Kellersollwert (8 °C) und Aussentemperaturdurchschnitt für die Heizperiode (150 Tage) beträgt der Mehrenergieaufwand pro m³ Raumvolumen 1.066 kWh. Für den untersuchten Keller mit 63 m³ Volumen ergibt sich ein Mehrenergieverbrauch von 70 kWh pro Jahr, um eine Senkung des Radonpegels auf die Hälfte zu erreichen.

Erfassung von Luftwechsel- und Radonzerfallsprodukteschwankungen bei simulierter Lüftung

Die Abschätzung der Beeinflussung des Radonpegels durch die Benutzer wird durch die zeitliche Schwankung des Radonpegels selbst beeinträchtigt. Die Quantifizierung des Einflusses erhöhter Lüftung auf den Radonpegel kann durch den Vergleich von zwei nebeneinanderliegenden Räumen, welche praktisch identische Radonpegelverläufe aufweisen (Figur 1 A), vorgenommen werden. Das erlaubt definierte Lüftungen in einem Raum unter Beibehaltung des zweiten, unbelüfteten Raumes als Kontrolle (Figur 1 B). Die Resultate für einige Experimentalperioden sind in Tabelle 4 zusammengefasst. Der zusätzliche Energieverbrauch für diesen Experimentalraum während einer ganzen Heizperiode (150 Tage, Temperaturunterschied 15 °C) im Vergleich zum unbelüfteten Raum lässt sich mit der oben angegebenen Formel berechnen.

Tabelle 4. Einfluss einer kontrollierten natürlichen Lüftung auf den Radonzerfallsproduktepegel

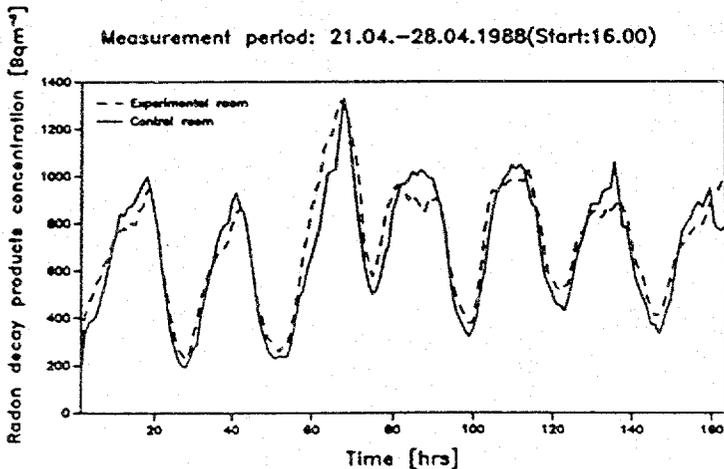
Periode (1988)	Raum	Zerfallsprodukte Konzentration (Bqm ⁻³)	Luftwechsel rate (h ⁻¹)	Reduktion (%)**
08.06-09.06	1	612 (+58)	0.32*	25
	2	829 (+43)	0.11	
21.06-22.06	1	687 (+36)	0.27*	20
	2	860 (+26)	0.10	
22.06-23.06	1	592 (+51)	0.29*	20
	2	742 (+31)	0.12	
23.06-24.06	1	788 (+47)	0.31*	20
	2	987 (+21)	0.12	

* Raum 1 wurde vier mal während 10 Minuten gelüftet.

** Der Radonzerfallsproduktekonzentration in Raum 1 verglichen mit Kontrollraum 2.

Für diesen Raum mit einem Volumen von 29 m³ und den in Tab. 4 angegebenen Lüftungsperioden würde der Mehrenergieverbrauch etwa 100 kWh Jahr⁻¹ betragen.

Figur 1 A. Fluktuation des Radonzerfallsproduktepegels in zwei benachbarten Räumen

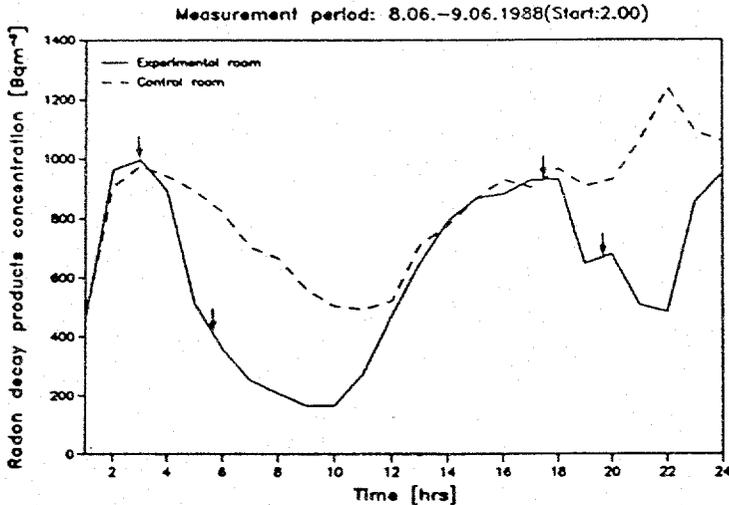


Einfluss von Abdichtungsmassnahmen auf den Radonpegel

Neben der Erfassung der Parameter, welche den Radonpegel in Innenräumen beeinflussen, ist die Abklärung der Auswirkungen von Abdichtungsmassnahmen zwecks Energieeinsparung ein zentrales Anliegen dieses Forschungsprojektes. Die Abdichtung

eines Hauses, Raum für Raum, hat als Ziel, Zusammenhänge zwischen Luftwechselrate und Radonpegel aufzuzeigen.

Figur 1 B. Einfluss einer kontrollierten Lüftung auf der Radonzerfallsproduktepegel.



Wegen der ausgeprägten täglichen Radonpegelschwankungen ist eine gute Charakterisierung des Hauses vor der Sanierung notwendig. Nach der Abdichtung müssen die Experimente unter möglichst ähnlichen klimatischen Bedingungen wiederholt werden, damit eine realistische Bilanz des Luftwechsels gezogen werden kann. Die Charakterisierung des Hauses vor der Sanierung wurde abgeschlossen. Alle wesentlichen Parameter sind registriert und ausgewertet. Die Abdichtungsarbeiten werden noch in diesem Jahr abgeschlossen. Die grösste Schwierigkeit besteht darin, genügend lange Perioden mit vergleichbaren meteorologischen Bedingungen zu finden. Aus diesem Grunde müssen die Messreihen nach der Sanierung im nächsten Jahr fortgesetzt werden.

3. Veröffentlichungen

- W. Burkart, R. Cramerer and R. Buchli: Increased indoor radon levels due to actinide containing mineral collections displayed in living areas. Health Physics, eingereicht.
- R. Cramerer and W. Burkart: The Radon Problem. Radiation Physics and Chemistry, in Druck.
- R. Cramerer, H. Brunner, R. Buchli, Ch. Wernli and W. Burkart: Indoor radon levels in different geological areas of Switzerland. Health Physics, eingereicht.
- R. Cramerer, D. Furrer and W. Burkart: Indoor radon concentration in the southeastern alpine area of Switzerland. Radiation Protection Dosimetry, in Druck.
- R. Cramerer, D. Furrer and W. Burkart: Building characteristics affecting the indoor radon levels in the Swiss Alpine areas. Proc. Symp. CIB Healthy Buildings'88, Vol. 2, 135-141.

MINIMALE LÜFTUNGSRATEN

Ziel des Projekts: Beschreibung der für die Luftqualität in Innenräumen massgebenden Faktoren, Ausarbeitung von Richtlinien für minimale Lüftungsraten sowie weitere Massnahmen. Zusammenstellung der verfügbaren Informationen und Techniken, die die Luftqualität einerseits und den Energieverbrauch andererseits 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

- Veröffentlichung des BEW-Berichtes "Raumluftqualität und Lüftung in Schweizer Bauten".

2. Durchgeführte Arbeiten

- Schlussredaktion des BEW-Berichtes; dabei wurde insbesondere das Kapitel "Luftfeuchtigkeit" überarbeitet. Herausgabe in deutscher und Uebersetzung in französischer Sprache unter Mithilfe der EMPA.
- Erstellen einer Kurzfassung des BEW-Berichtes zur Veröffentlichung in der Zeitschrift "Schweizer Ingenieur und Architekt" (in deutscher und in französischer Sprache).

3. Erreichte Ergebnisse

- Herausgabe der deutschen Fassung des BEW-Berichtes
- Kurzfassung des BEW-Berichtes zur Veröffentlichung eingereicht

4. Internationale Zusammenarbeit

- Veröffentlichung des IEA-Schlussberichtes "Minimum Ventilation rates"
- Teilnahme am Symposium Healthy Buildings '88 in Stockholm (Sept. 1988)

5. Veröffentlichungen

- IEA Schlussbericht: Energy Conservation in Buildings and Community Systems Programm, Annex IX, Minimum Ventilation Rates, Final Report of working phases I and II, 1987.
- Schlatter J. und Wanner H.U.: Raumluftqualität und Lüftung in Schweizer Bauten. Bericht zu Handen von Architekten und Lüftungsplanern. Schriftenreihe des Bundesamtes für Energiewirtschaft, Studie Nr. 44, 1988.

- Wanner H.U.: Exigences de l'homme en matière de limitation des émissions des matériaux de construction. Healthy Buildings'88, Volume 1, State of the art reviews. Swedish Council for Building Research, Stockholm, Sweden, June 1988.
- Wanner H.U.: Verunreinigung der Raumluft: Quellen, gesundheitliche Aspekte, Auswirkungen und Massnahmen. Referat anlässlich der Strahlenbiologischen Fortbildungstagung "Radon und die Strahlenbiologie der Lunge". 25. November 1988 am PSI in Villigen.

6. Neue Forschungsarbeiten

Die im Projekt "Minimale Lüftungsraten" erarbeiteten Grundlagen werden im neuen IEA-Projekt "Demand Controlled Ventilating Systems" sowie auch im Forschungsprogramm der ETH über "Energierrelevante Luftströmungen in Gebäuden" soweit wie möglich miteinbezogen. Es bestehen regelmässige Kontakte mit dem dafür zuständigen Forschungsleiter und Koordinator (Dr. Ch. Filleux).

Prof. Dr. H.U. Wanner

O F E N

PROJETS DE RECHERCHE ÉNERGÉTIQUE 1988

B E W

ENERGIE - FORSCHUNGS - PROJEKTE 1988

SYSTEM SIMULATION

Ziel des Projekts: Modellierung von HLK-Komponenten und Demonstration der Anwendbarkeit von Simulationsmodellen

Dauer des Projekts: März 1983 bis Jan. 1989

Beitragsempfänger: EMPA, Abt. Bauphysik

Berichterstatter: G. Zweifel

Adresse: EMPA, Abt. BAuphysik
8600 Dübendorf

Telephon: 01 / 823 45 30

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.

Wie bereits im Jahresbericht 1987 erwähnt, handelt es sich bei den in der Berichtsperiode noch durchzuführenden Arbeiten nur noch um die Uebersetzung einzelner Berichte. Die letzten 2 Dokumente wurden im Dezember 1987 an die Teilnehmer des internationalen Projektes versandt.

Die letzte Aufgabe im Rahmen dieses Projektes ist die Organisation eines Seminars im schweizerischen Rahmen zur Verbreitung der Resultate. Als Datum für diese Veranstaltung wurde der 26. Januar 1989 festgelegt. Die Vorbereitungen dazu sind im Gange. Eine erste Ankündigung wurde an ca. 50 Adressen versandt.

2. Resultate

Neue Resultate sind, wie schon vor einem Jahr, keine zur Präsentation vorhanden. Ein Uebersicht über die aus dem internationalen Projekt gesamthaft zu erwartenden Resultate wurde im Jahresbericht 1987 gegeben.

3. Fortschritt der Arbeiten im internationalen Rahmen

Das internationale Projekt wurde am Schlussmeeting in Liège vom Februar 1988 abgeschlossen, allerdings ohne dass die eigentliche Arbeit beendet gewesen wäre. Einige der Teilnehmer wurden verpflichtet, ihre Dokumente noch fertigzustellen. Für die Schweiz trifft dies nicht zu.

Einige Berichte sind zur Zeit noch ausstehend und werden im Hinblick auf die erwähnte Informationsveranstaltung erwartet.

4. Veröffentlichungen

Manuel R. Conde/Gerhard Zweifel:

Heat Pump Exercises on "La Chaumière" - Analysis of the Results

ETH Zürich, Laboratorium für Energiesysteme (Okt. 1986)

EMPA Dübendorf, Abt. Bauphysik (rev. Dez. 1987)

Jürg Gass/Nicole Hopkirk:

Analysis of the Boiler Simulations (Exercise 2 on the "La Chaumière" Building)

EMPA Dübendorf, Abt. Bauphysik (letzte Rev. Dez. 1987)

5. Neue Forschungsarbeiten

Sämtliche als Nachfolgeprojekte zu bezeichnenden Forschungsarbeiten sind bereits in die bestehenden Forschungspläne aufgenommen worden.

EFFIZIENTE ENERGIENUTZUNG IN SCHULHÄUSERN**Ziel des Projekts:**

Das Projekt soll die wichtigsten Lücken im Kenntnisstand des Energiesparens in Schulhäusern (Sanierungen und Neubauten) schliessen. Dabei sind vertieft die Komfortprobleme, Licht, Luft und Regelung zu untersuchen. Die Uebernahme vorhandener Erkenntnisse aus dem IEA-Bereich und der Erfahrungsaustausch mit dem Ausland sind gezielt zu fördern. Die Ergebnisse müssen für eine wirkungsvolle Umsetzung vorbereitet werden.

Dauer des Projekts: Juni 1988 bis Juni 1991

Beitragsempfänger: Bruno Wick, dipl. Ing. ETH, 8967 WIDEN

Berichterstatter: Bruno Wick, dipl. Ing. ETH, 8967 WIDEN

Adresse: Kesslermattstrasse 3, PB 70, 8967 WIDEN

Telephon: 057 33 51 22 Fax 33 08 84

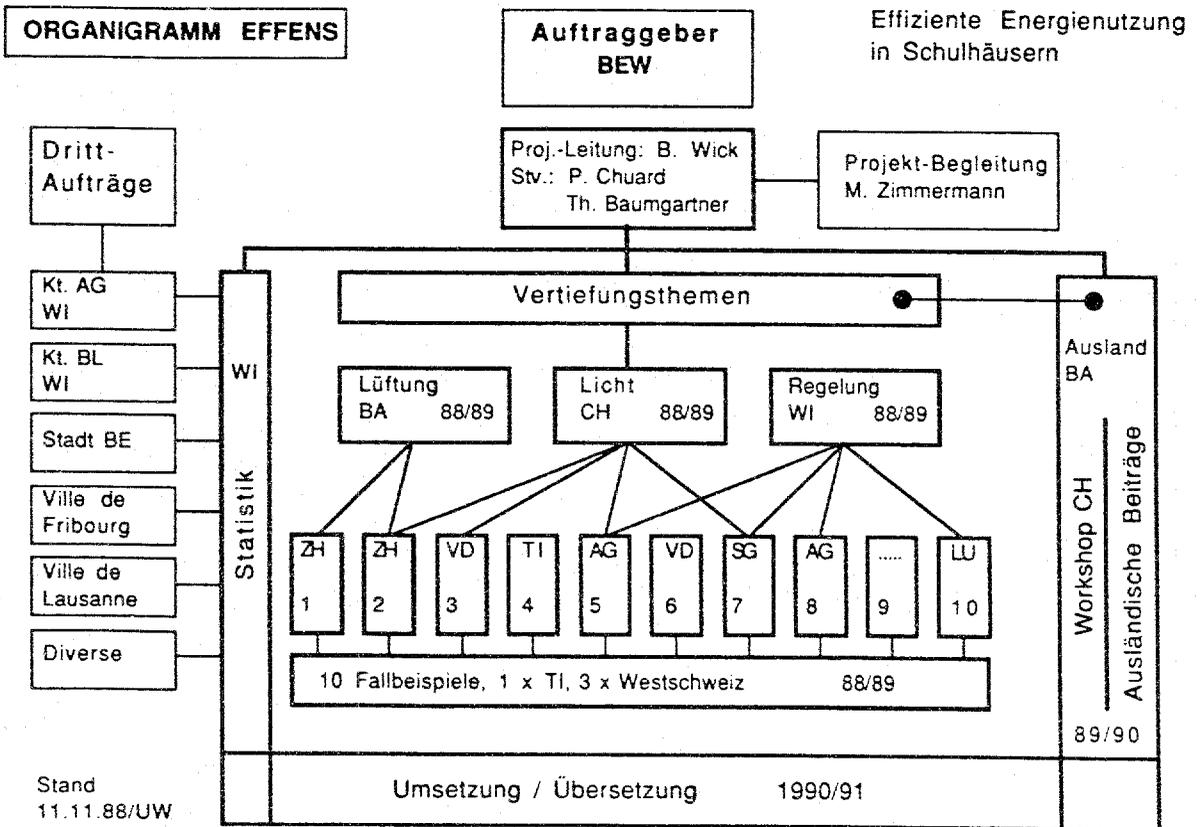
1. Anvisierte Zielpunkte für 1988

Nach der leicht verzögerten Vertragsunterzeichnung wurden vorerst alle organisatorischen Massnahmen getroffen zur Aufteilung der Arbeit auf die Themenleiter, zur Zugewinnung weiterer Leistungs- und Kostenträger und zur Absprache mit Behörden, wo Bewilligungen für die Durchführung von Messungen notwendig waren.

Im internationalen Bereich wurde der Entscheid über die Entstehung von Annex XV forciert. Nach dem negativen Ausgang (Entscheid im September) wurde der Antrag für einen thematischen Workshop in der Schweiz formuliert. Mit diesem Angebot sollen Gegenleistungen aus dem Ausland erreicht werden.

Die Umsetzung der Ergebnisse wurde für den Moment eher zurückgestellt, bis beim Auftraggeber in dieser Hinsicht seine Aufgabenbereiche neu definiert sind.

Das Organigramm zeigt die Verknüpfung einzelner Tätigkeiten.



2. Durchgeführte Arbeiten 1988

Für alle Projektbereiche wurden Ziele, Pflichtenhefte, Lösungsweg, Finanz- und Zeitbudget detailliert und fixiert.

2.1 Statistik

An alle kantonalen und einige der wichtigsten kommunalen Amtsstellen wurde ein Aufruf zur Bereitstellung von Daten erlassen. Mit den Kantonen Aargau und Baselland wurde je ein Vertrag über die Zweiterhebung von Energiekennzahlen erhoben. Das angemeldete Datenmaterial zusammen mit den zwei Grosserhebungen ist ausreichend für eine Aktualisierung der Verbrauchswerte im Schulwesen. Anfang November wurden 400 Fragebogen im Aargau versandt, weitere 250 folgen Ende November im Kanton Baselland.

2.2 Vertiefungsthemen

- Thema Lufthygiene

3 Schulanlagen -2 x natürlich gelüftet, 1 x mechanisch gelüftet - wurden ausgewählt und der Messumfang definiert. Die Messungen erfolgen im November 88 und Anfang März 89. Sie ergänzen die verfügbaren Resultate aus dem Messprojekt Gumpenwiese.

- Thema Licht / Beleuchtung

Der Arbeitsumfang ist definiert. Messungen erfolgen erst 1989. Noch dieses Jahr wird mit dem Projekt IEA Annex XII koordiniert.

- Thema Regelung

Zur Marktanalyse wurden Fragebogen an 15 schweizerische Regelungsfirmen versandt. Mehr als die Hälfte der Fragebogen sind ausgefüllt zurückgekommen. Genügend Firmen haben ausgeführte Anlagen für Messungen angegeben. Im Dezember wird im Rahmen einer öffentlichen Submission das gleiche Schulhaus von allen Firmen offeriert.

2.3 Fallbeispiel

Die Anforderungsprofile an die Fallbeispiele und Pilotprojekte wurden definiert. Es stehen ausreichend Objekte sowohl in geographischer Hinsicht, auch als in Bezug auf die Thematik zur Verfügung. Acht Fallbeispiele sind definiert. Es wurde Wert darauf gelegt, dass zwischen Fallbeispielen und Vertiefungsprojekten direkte Zusammenhänge bestehen.

3. Erreichte Ergebnisse 1988

Das erste Halbjahr wurde zur Organisation im Innern und zur Knüpfung von Beziehungen nach aussen genutzt. Es liegen aber noch keine Forschungsberichte vor.

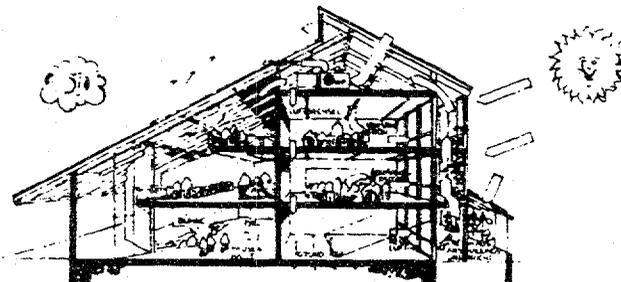
4. Internationales Projekt

Nach längerem Hin- und Her steht nun definitiv fest, dass zur Zeit das internationale Projekt im Sinne von Annex XV vorläufig nicht zustande kommt. Die Vorbereitung der internationalen Zusammenarbeit in geeigneter Form Offerte Workshop CH und Übernahme von Ergebnissen aus dem Ausland, wurde unverzüglich gestartet.

5. Veröffentlichungen

In einem zweisprachigen 12-seitigen Faltprospekt wurde das Projekt in Kurzform beschrieben. Er wird bei allen Aussenbeziehungen abgegeben. In den BEW-Nachrichten an die Kantone wurde das Projekt ebenfalls vorgestellt. Für die Publikation von Ergebnissen ist es noch zu früh.

Forschungsprojekt EFFENS



Wie

Effiziente Energienutzung in Schulhäusern

O F E N

PROJETS DE RECHERCHE ÉNERGÉTIQUE 1988

B E W

ENERGIE - FORSCHUNGS - PROJEKTE 1988

GESTION DE L'ÉNERGIE DANS LES HÔPITAUX

Ziel des Projekts: Méthode de gestion énergétique à l'usage des services d'exploitation des hôpitaux

Dauer des Projekts: 18.9.85 - 31.12.89

Beitragsempfänger: SORANE SA

Berichterstatter: Pierre CHUARD

Adresse: SORANE SA, Rationalisation énergétique
Av. Saint-Paul 1 - 1700 FRIBOURG

Telephon: (021) 37 11 75

I OBJECTIFS VISES

1.1 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.

1.2 Niveau national

- Elaboration d'une méthode de mesures, d'analyses et de gestion énergétique dans les hôpitaux (Phase I).
- Elaboration d'un manuel de gestion énergétique à l'usage des services techniques d'exploitation des hôpitaux (Phase II).
- Organisation des cours de gestion énergétique et mise à disposition d'une assistance au personnel technique des hôpitaux.
(Phase III)

II TRAVAUX EFFECTUES

Niveau international

- Participation au meeting de la Tâche (Turin 2-4 mars 1988)
- Relecture et critique des volumes préparés par les autres pays.
- Mise au point définitive du volume II (Thermal Energy Generation) du manuel de gestion énergétique.

La tâche internationale se terminant au début 1989, les volumes suivants seront disponibles

CONTENT OF THE SIX BOOKLETS

I	<u>GENERAL</u>	(CAN + I)
	1. Introduction	CAN
	2. Energy management	CAN
	3. Developing an energy program	CAN
	4. Systems used in hospitals	I
II	<u>THERMAL ENERGY GENERATION</u>	(CH + D + I + USA)
	1. Heat Generation	CH
	2. Cold Generation	USA
	3. Cogeneration	I
	4. Heat distribution	(CH + USA)
III	<u>HVAC-DHW</u>	(USA + D + B)
	1. Air conditioning - ventilation	USA + D
	2. DHW	B
IV	<u>ELECTRICAL SYSTEM</u>	(D + B)
	1. Electric system	D
	2. Lighting	D
V	<u>SERVICES</u>	(I + CAN + CH)
	1. Foreword	I
	2. Food service	I
	3. Laundry	I
	4. Sterilization	I
	5. Transport	I
	6. Medical equipment	I
	7. Incineration	CH
VI	<u>BUILDING ENVELOPE</u>	(B + USA + I)

Ces manuels serviront de base aux travaux nationaux dans les différents pays. En effet, la plupart des pays participants vont traduire ces manuels et développer certains chapitres présentant un intérêt national particulier.

Niveau national

Poursuite de la rédaction du manuel suisse dont la première partie a été testée dans quelques hôpitaux. Nous avons tenu compte des propositions faites par les exploitants ayant participé aux tests.

La méthode d'analyse de la consommation a été revue et simplifiée.

Les chapitres traitant des thèmes :

- distribution de chaleur (bouches terminales)
- Buanderie
- Cuisine
- Eau chaude sanitaire
- Stérilisation

et dont l'élaboration est en cours, doivent encore être mis en forme avec des graphiques explicites et intégrant des résultats de la tâche internationale.

Il est à noter que les chapitres concernant la buanderie, la cuisine et l'eau chaude sanitaire pourront également être utilisés par des institutions non hospitalières.

III RESULTAT OBTENUS

Niveau international

Le manuel "Energy Management in Hospital" a été révisé une nouvelle fois et mis en forme pour homogénéisation de la présentation; ce manuel est en cours de test dans différents pays. Aux USA et au Canada où le test a déjà été effectué, les services techniques des hôpitaux consultés considèrent que le niveau de ce manuel correspond à celui de leur personnel technique (hôpitaux de cent à huit cents lits) et que les solutions proposées sont applicables par leur personnel d'exploitation. Certains pays tel que l'Allemagne et l'Italie ont décidé de poursuivre, prenant exemple sur la tâche nationale suisse, en rédigeant un manuel national tenant compte des particularités de leurs hôpitaux.

Niveau national

La poursuite de la campagne de récoltes de données spécifiques de système, tel que buanderie, cuisine, stérilisation, a permis de définir des valeurs cibles présentées dans le manuel de gestion.

Le chapitre "Mesures et analyses de la consommation d'énergie dans l'hôpital" a nécessité une refonte complète, les travaux sont en cours.

Ils visent à simplifier la méthode proposée et à la rendre plus attrayante.

Les exploitants désirant un seul manuel de référence, sa forme de présentation a été repensée.

Cette contingence nous oblige à travailler avec des annexes pour toute la partie mesure, de plus, nous étudions en collaboration avec les exploitants d'hôpitaux le contenu des annexes traitant des connaissances de base nécessaires à la compréhension du manuel.

Les chapitres "Distribution de chaleur, cuisine, buanderie, eau chaude sanitaire" sont en cours de réalisation.

Le chapitre "Electricité et éclairage artificiel" tiendra compte des propositions contenues dans le manuel de la tâche internationale.

IV COLLABORATION INTERNATIONALE

Les six volumes du manuel international sont une bonne base pour notre manuel national. Le volume traitant de l'électricité, rédigé sous la responsabilité de l'Allemagne, se base sur une campagne de mesures importante dans une cinquantaine d'hôpitaux allemands. Cette expérience sera directement intégrée dans notre manuel et dans nos études futures.

V PUBLICATIONS

AIE XIII "Energy Management Hospital Booklet I à VI" dont Booklet II : "Thermal Energy generation" rédigé sous la responsabilité de la Suisse.

VI NOUVELLES RECHERCHES

- L'analyse détaillée de certains systèmes énergétiques tels que buanderie, cuisine, fera l'objet en 1989 - 1990 d'une analyse détaillée permettant aux exploitants d'avoir une connaissance précise de ces installations leur permettant d'une part de choisir le matériel adéquat lors du remplacement d'appareils, et d'autre part, de mieux gérer leur exploitation.

- Légionelles : les cas de pneumonies dus aux bactéries de souches légionelles sont fréquents et ont causé de nombreuses morts dans des hôpitaux en Angleterre et en Allemagne. Nous pensons qu'il est essentiel d'avertir le personnel technique et de lui donner les moyens de prévenir la prolifération de ces souches dans les installations techniques.

- Informatisation du dépouillement et d'analyses des mesures. La méthode d'analyses et de mesures développées dans le cadre de la phase I de nos études nécessite que l'on effectue un certain nombre de calculs et de recherches de valeurs dans des abaques de complexité variable. Dans le but de rendre les méthodes d'analyses plus simples nous avons proposé de mettre les tables et formules de calculs sous forme d'informations sur un tableur évolué. Un test de démonstration sera effectué en 1989. Les résultats de ce test permettront de juger des possibilités d'applications de cette forme d'informations.

P. CHUARD

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 Mitglie d e r l ä n d e r n 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, Warwick U.K. (direkte Beitragszahlung)
- EMPA, Abteilung Haustechnik, 8600 Dübendorf
(Kontakte, Umsetzung)

Berichterstatter: Dr. Peter Hartmann

Adresse: EMPA, Abteilung Haustechnik, CH 8600 Dübendorf

Telefon: 01/823 42 76 / 01/823 47 01 (Sekretariat)

AIR INFILTRATION AND VENTILATION CENTRE1. Anvisierte Zielpunkte für 1988

Ziel der Arbeit resp. des Centre:

- Unterstützung der nationalen und internationalen Forschung im Bereich Luftaustausch/Luftqualität durch geeignete Informationen, Koordination und gewisse eigene F+E-Arbeiten.
- Periodischer Transfer ausgewählter Forschungsergebnisse an die Planer.

Unterziel für die schweizerische Arbeit:

Einerseits wurde die Bearbeitung des AIVC-Rechentechnik-Handbuches in deutscher Sprache beendet, andererseits zusammen mit dem Impulsprogramm Haustechnik der Problemkreis Luftaustausch/Messung des Luftaustausches an einer Fachtagung präsentiert. Schliesslich gelang es einem Team (ETHZ, EPFL, EMPA) in Zusammenarbeit mit dem AIVC, das neue Projekt "Air Flow Patterns" in Gang zu setzen.

2. Durchgeführte Arbeiten 1988

AIVC

Nachdem von den "Routine-Arbeiten" des Centre zu verschiedenen Malen berichtet worden ist, soll hier nur auf die besonderen Projekte des laufenden Jahres hingewiesen werden.

- Messtechnik Handbuch

In zweijähriger Arbeit hat das Centre ein Handbuch über Messtechnik für Fragen des Luftaustausches erarbeitet und publiziert.

- Schlussbericht zu IEA Vorhaben "Inhabitant Behaviour with Regard to Ventilation" (TN 23) [2]:

Das AIVC hat bei der Erarbeitung dieses offiziellen Schlussberichtes eine wichtige Editor-Rolle gespielt. Es zeigte sich dabei, dass nicht nur sprachliche Editor-Arbeiten, sondern eine Integration des know-hows über das Umfeld eine solche Publikation bereichern können.

Es sind klare Pläne vorhanden, wie das AIVC ähnliche Editorarbeiten für Berichte anderer "Luft"-Projekte der IEA auführen wird; als nächste Arbeit ist eine Kurzfassung des Schlussberichtes aus Projekt IX (Minimum Ventilation Rates) geplant, zu späterem Zeitpunkt Dokumente für die Annexe XVIII, XIV und XX (vgl. Uebersichts-Artikel).

- Simulationsarbeiten durch einen externen Gast-Wissenschaftler:

Erstmals beherbergt das AIVC in der zweiten Hälfte des laufenden Jahres einen Gastwissenschaftler, Mark Bassett aus Neu-Seeland. Er hat vielseitige Luftaustausch-Messdaten zwischen Innen-Räumen und Dach-Räumen resp. Keller-Räumen mitgebracht und wird diese mit entsprechenden Simulations-Rechnungen vergleichen. Er benutzt hierzu

die am Center verfügbaren Rechenprogramme und kann so mit Martin Liddament zusammen die früheren Validierungen von Rechenprogrammen vertiefen. Es ist zu hoffen, dass diese - vom Center subventionierten - wissenschaftlichen Gast-Arbeiten in Zukunft häufiger sein werden.

- 9. AIVC Conference, Gent, September 1989

Die an der Tagung vorgetragenen Forschungsarbeiten sind in sehr vielen Bereichen anzusiedeln. Als hervorstechende Schwerpunkte der Arbeiten können folgende Themen genannt werden:

- Verfeinerte Pressurisation-Messungen zur Erfassung der örtlichen Lackage.
- Vielseitige Methoden zur Erfassung von Interzonenströmungen (passive/aktive Methoden; Ein- und Mehr-Gas-Methoden).
- Studium von Detailphänomenen bei der Durchströmung von Bauten (lokale Thermik, Strömung durch grosse Oeffnungen).
- Detailstudien an neuartigen Lüftungs-Systemen (Parameterstudien zur Eignung der Systeme bei verschiedenartiger Nutzung, verschiedenen Klimabedingungen etc.).
- Schaffung praxisbezogener Planungsmittel dank verbesserter Möglichkeiten der EDV.

Die Vielfalt der schweizerischen Forschungsarbeiten zu "Energierrelevante Luftströmung" (ERL-Arbeiten) widerspiegelte sich in einem halben Dutzend schweizerischer Beiträge und entsprechenden Teilnehmern aus der Schweiz. Diese nutzten die ausgesprochen günstigen Diskussionsmöglichkeiten zur Beschaffung wichtiger Informationen aus anderen Instituten.

CH / EMPA

Aus schweizerischer Sicht ist im Moment keine Uebersetzung des gesamten Inhalts des Messtechnik Handbuches geplant, da der Kreis der Nutzer relativ klein ist. Es gilt zu beurteilen, ob die von C. Roulet im Rahmen des Impulsprogramms Haustechnik erarbeiteten Messregeln ("Mesure in Situ", in deutscher und französischer Sprache gedruckt) das gesamte Feld "Luftaustausch" genügend abdecken, ob eventuell eine Ergänzungspublikation mit Informationen aus diesem AIVC-Handbuch sinnvoll ist, oder ob eine spätere Messtechnik-Publikation unter Einbezug der zu erwartenden ISO-Messregeln sinnvoller erscheint.

Als Umsetzungsarbeiten in der Schweiz erfolgten einerseits die eingespielten Versände der AIVC-Dokumente an die Abonnenten. Neben wenigen Abonnements-Absagen (Hauptgrund: zu viele Informationen auf einem Gebiet) kamen Neuabonnemente für ERL-Mitarbeiter dazu. Andererseits wurden zwei spezielle Efforts gemacht:

- Bearbeitung und Uebersetzung des Handbuches Rechentechnik in deutscher Sprache und
- Informations-Veranstaltung (sog. Spezialveranstaltung) über Luftaustausch in Gebäuden im Rahmen des Impulsprogramms Haustechnik.

3./4. Erreichte Ergebnisse

- Messtechnik Handbuch

Die Vorgehensweise zur Nutzung des Handbuches resp. die Bezeichnung der entsprechenden Kapitel ist aus Abb. 1 ersichtlich.

Im wesentlichen geht der Benutzer aus von seiner Fragestellung und ist dann in der Lage, eine geeignete Messmethode zu wählen, deren Vor- und Nachteile zu beurteilen und schliesslich sogar Details zu einzelnen Gerätetypen und deren Lieferanten zu erfahren. Dieses Handbuch stellt den aktuellen Stand der Kenntnisse dar und ist demzufolge eine sehr hilfreiche Unterlage für weiterführende Messtechnik-Arbeiten, seine Nutzung ist geplant im Rahmen von ERL., oder auch im Projekt "Air Flow Patterns".

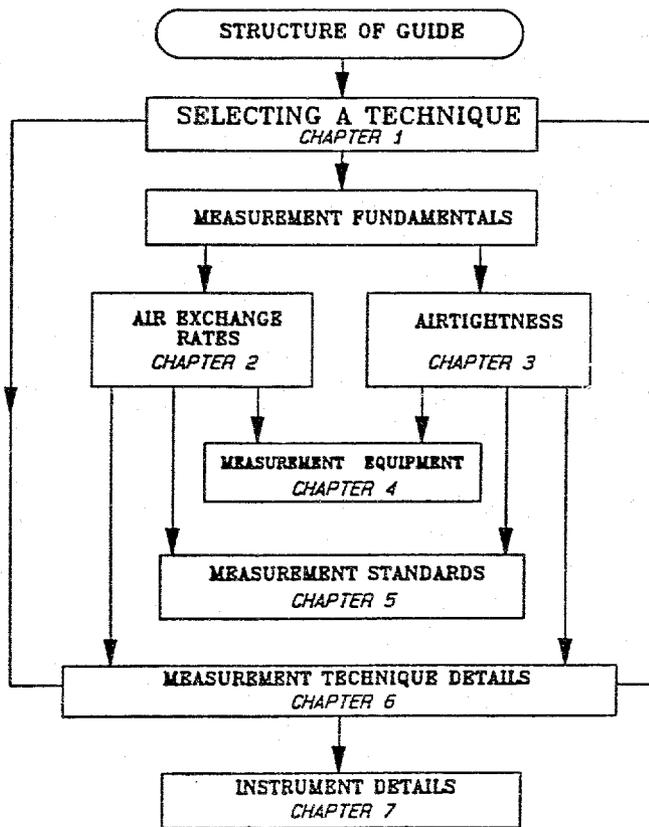


Abb. 1: Struktur der AIVC-Messtechnik-Handbuch

Uebersetzung des Rechentechnik-Handbuches

Leider ist die Editor-Arbeit am genannten Handbuch, die von Dornier-Systems geleistet wird, noch nicht soweit vorangekommen, dass das Handbuch gedruckt vorliegen würde. Es hat sich gezeigt, dass die Publikation eines Buches unter Mitarbeit diverser Autoren in zwei Ländern recht zäh ist, sodass der Sachbearbeiter in Zukunft die Bearbeitung der AIVC-Dokumente im eigenen Land vornehmen wird.

Die genannte Informations-Veranstaltung fand in Zürich und Bern statt und war gut besucht. Der Tagungsband ist nach wie vor erhältlich [4]. Der Themenkreis "Luftdurchlässigkeit" findet ab diesem Jahr besondere Beachtung, indem nun in der Schweiz erstmals diese Anforderungen den Charakter von Richtwerten haben. Wenn sie optimalerweise auch noch durch lokale Leckage-Anforderungen ergänzt würden, so sind diese Anforderungen doch ein wichtiger Schritt im Hinblick auf eine bewusste "Planung des Luftaustausches" durch den Architekten.

Gesamt-Luftdurchlässigkeit bei «geschlossener» Fassade bei 50 Pa Differenzdruck:

	$n_{L, 50} \text{ (h}^{-1}\text{)}$	
	unterer Grenzwert	oberer Grenzwert
EFH-Neubauten (mit Fensterlüftung)	2	4,5
MFH-Neubauten (mit Fensterlüftung)	2,5	3,5
Wohn-Neubauten mit Abluftanlagen	2	3
Gebäude mit Zu-/Abluft-Anlagen oder Klimaanlage	-	1

Die obigen Grenzwerte bzw. Bereiche gehen aus von einer mittleren Windexposition der Gebäude. Bei speziell starker bzw. schwacher Windexposition sind bei den ersten 3 Kategorien sinngemäss die unteren bzw. oberen Grenzwerte anzustreben.

Bei Gebäuden mit Abluftanlagen ist die Luftführung in den Räumen durch geeignete Positionierung der Ansaugöffnungen zu planen.

Abb. 2 Anhang 7
SIA-Norm 180, Ausgabe 1988 [3]:
Grenzwerte für die Luftdurchlässigkeit der Gebäudehülle

Unvorhergesehene Vorkommnisse und Entwicklungen

Zwei Ereignisse, welche miteinander verknüpft sind, brachten für das Centre im laufenden Jahr eine intensive Belastung:

- die Dislokation und teilweise Neuorganisation des Centre
- eine Unterdotierung an Arbeitskräften im Centre wegen gewisser Unsicherheiten über die Zukunft; dementsprechend erlitten gewisse Arbeiten Verzögerung.

Ausgangspunkt der Ereignisse war ein seit längerer Zeit schwelender Unmut über zu hohe Overhead-Kosten des Centre beim beherbergenden Institut. Gleichzeitig war man mit der technischen Arbeit des Centre und der kompetenten, speditiven Projektleitung sehr zufrieden. Dank der Einspruch-Möglichkeiten in der Steering Group, welche der Berichterstatter sehr intensiv nutzte, gelang es, das Centre mit seinem bestehenden Personal zu dislozieren, sich vom beherbergenden Institut vollständig zu lösen und ihm eine völlig neue "Firmenstruktur" zu geben. Es zeichnet sich ab, dass mit den gleichen Kosten mehr technische Leistung erbracht wird und die Projektleitung gleich effizient bleibt. - Die genannten Lücken im Personal werden nun nach der Verlegung nach Warwick rasch gefüllt. Die eingesparten finanziellen Mittel werden zu intensiveren Arbeiten im Jahr 1989 (gewisse Unterverträge an Aussenstehende) eingesetzt. Diese gesamte Umstellungsperiode ist nun abgeschlossen und es haben bereits intensive Kontakte zwischen dem Center und der University of Warwick (direkt neben dem neuen Standort) stattgefunden für gemeinsame technische Arbeiten.

5. Publikationen

- [1] AIVC, Peter Charlsworth: Air Exchange Rate and Airtightness Measurement Technique - an Application Guide; AIVC, Warwick, 1988
- [2] AIVC, TN 23/Carin Dubrul: Inhabitants Behaviour with Regard to Ventilation, AIVC, Warwick, 1988
- [3] SIA: Norm 180, Wärmeschutz im Hochbau; SIA, Zürich, 1988
- [4] Impulsprogramm Haustechnik, Dokumentation "Luftaustausch in Gebäuden", EDMZ, Form. 724.715, Bern, 1988

6. Forschungsarbeiten

Da die Forschungsunterstützung des AIVC von allen Mitgliederländern sehr geschätzt wird, da in den meisten Ländern nationale Vorhaben laufend sind, plant das Center mit Recht eine weitere Projektphase. Der entsprechende Arbeitsplan liegt vor.

2.1

O F E N

PROJETS DE RECHERCHE ÉNERGÉTIQUE 1988

B E W

ENERGIE - FORSCHUNGS - PROJEKTE 1988

COMPUTERSIMULATION VON LUFT-WASSER-WÄRMEPUMPEN

Ziel des Projektes: *Implementation into computer program 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 Projektes: 15.4.1986 - 30.6.1988

Beitragsempfänger: Prof. Dr. Peter Suter

Berichterstatter : Manuel R. Conde

Adresse : Institut für Energietechnik Laboratorium für Energiesysteme

ETH Zentrum 8092 Zürich

Telephon: 01/256 36 43

2. 1

1. GOALS FOR 1988

The goals of this project for 1988 were:

- Validation of the '*Simple Simulation Model for Air-Source Heat Pumps - HPM1*'. This model represents the heat pump as a '*black box*', and is intended for simulation of whole heating systems.
- Implementation into computer program of the component models not yet implemented of the simulation model *HPM2* - Enhanced Simulation Model. This model considers the heat pump by each of its components, and simulates as close as possible the actual physical phenomena taking place in each of them.
- Documentation and validation of these models.
- Installation of the test setup for validation of the Enhanced Simulation Model - program '*HP_DESIGN*'.

2. WORK ACCOMPLISHED IN 1988

Of the proposed goals for the year, most were attained:

- The '*Simple Simulation Model - HPM1*' was validated against field data.
- The individual component models for the '*Enhanced Simulation Model - HPM2*' were implemented into computer program.
- The test setup for validation of those individual models, and for the global model was installed (First tests still this year).
- Existing documentation for the mathematical models and for the program modules has been concurrently established.

2.1

The component models in *HPM2* for the expansion device, evaporator fan, and for the evaporator heat exchanger were implemented during this year's work. The model for the expansion device - thermostatic expansion valve - is the result of a very intensive research effort. The description of this model is the subject of an independent report. Most of the other activities were reported upon in the progress report dated June 1988.

3. RESULTS

3.1 Model *HPM1*

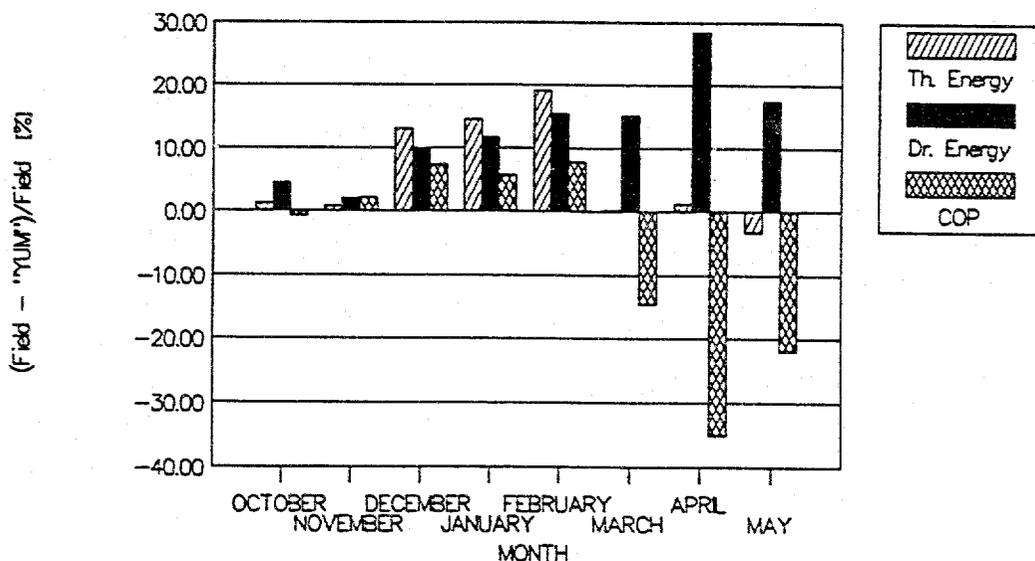


Fig. 1 - Deviations between Field Data and '*HPM1*' predictions.

Data for validation of *HPM1* were gathered at the '*Schulhaus Gumpenwiese*' by the Abt. Bauphysik of EMPA. This validation was the subject of a report included as Appendix B to the Progress Report dated June 1988. Fig. 1 shows some results of the validation, namely a comparison, on a monthly basis, of the model predictions to the field measurements.

In seasonal terms, the deviations for the thermal output, driving energy, and COP are 6.6%, 12.5%, and 2.7%, respectively.

2.1

3.2 MODEL HPM2 - Program 'HP_DESIGN'

This program is not ready to run as a whole yet. However, some interesting partial results were obtained, namely for the thermostatic expansion valve. Fig. 2, depicts valve opening characteristics for a 8.3 kW (3 Ton) nominal capacity thermostatic expansion valve, both as measured and as approximated by the model.

Models reported in the open literature are of two main types: Some are based on catalog data, while others try to simulate it by a single or by multiple orifice plates. In both cases the actual refrigerant states are not taken into account, and eventual adjustments made in the field cannot be reproduced, let alone the simulation of the expansion of a quasi-saturated liquid to a two-phase liquid-vapor mixture. The model developed accounts for the variation of the seat free-flow section, field adjustment of the static superheat, refrigerant states, and flashing of the saturated liquid refrigerant.

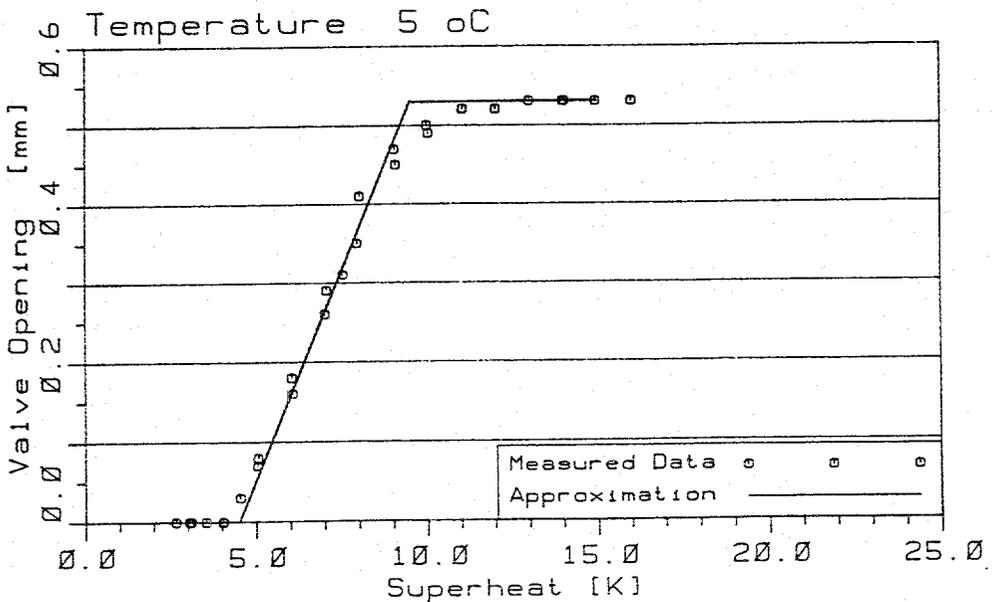


Fig. 2 - Opening characteristic of a thermostatic expansion valve at constant evaporating pressure.

2.1

Fig. 3, presents the results of a parametric study, using the model developed, and concerning the adjustment of the static superheat setting. In this case, the static superheat was reduced by about 1 K, with the consequent translation of the valve characteristic lines to the left. The static superheat is the value of the refrigerant superheat at evaporator outlet at which the valve starts to open. It is usually adjusted in the field in order to improve the ensemble evaporator-valve stability.

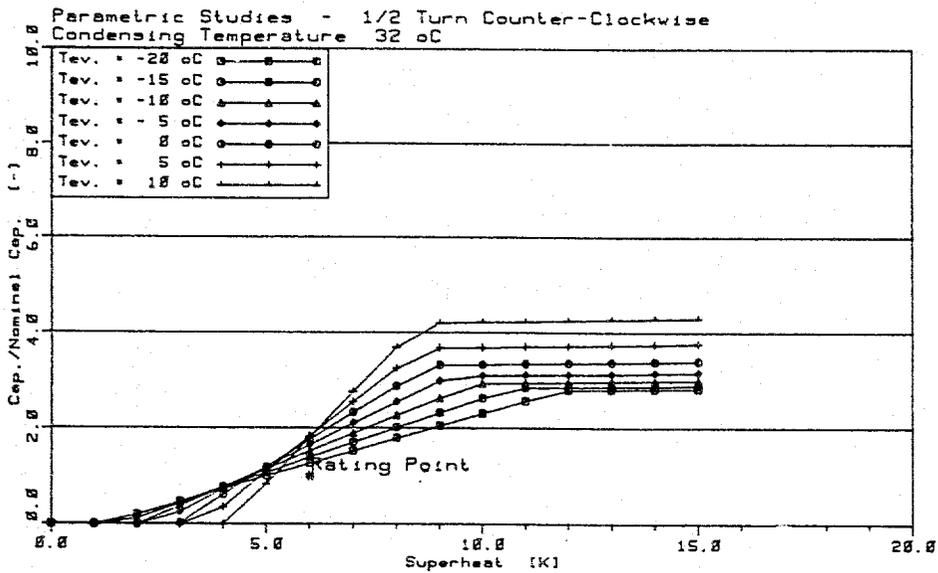


Fig. 3 - Relative valve capacity with reduced static superheat.

4. INTERNATIONAL COOPERATION

The results of this project are shared and discussed within the IEA program of R&D on Advanced Heat Pumps, namely its Annex 12 - Modeling Techniques for Simulation and Design of Compression Heat Pumps.

Seven countries participate in this Annex, with the United States as Operating Agent.

5. PUBLICATIONS

No external publication has yet resulted of this project. There are, however, a number of internal reports on individual component models, or aspects of component model development. A list follows:

M. R. Conde - Fan Models, IET LES, ETH-Z, April 1988.

M. R. Conde - Validation of the Simulation Program 'YUM' against the Second Set of Swiss Field Data, IET LES, ETH-Z, May 1988.

M. R. Conde - Pressure Losses in the Air Ducts of an Air-source Heat Pump, IET LES, ETH-Z, May 1988.

M. R. Conde - Simulation Model for Thermostatic Expansion Valves, IET LES, ETH-Z, October 1988.

6. NEW RESEARCH WORK

Given the modular structure of the computer program 'HP_DESIGN', its use for combinations of source-sink other than air-water, is desirable and easily feasible.

This requires the development of the mathematical models, and implementation of the program modules for the corresponding components.

With the growing concern for the effects of fully halogenated chlorofluorocarbons on the environment, there is a need for their replacement by refrigerants with less environmental impact. The program 'HP_DESIGN' is seen as a suitable tool for the analysis of the implications of this replacement upon existing machines and existing design methods.

Eventually some refinements will be required on some component models, and on the corresponding program modules for them to be used in the solution of that problem.

OPTIMIERUNG DREHZAHLGEEGELTER WÄRMEPUMPEN

Ziel des Projekts:

Beurteilung des technischen Potentials elektrisch angetriebener Wärmepumpen, deren Drehzahl mittels eines statischen Frequenzumrichters (Inverter) variiert wird.

Modellisierung und Simulation

- der einzelnen Komponenten,
- der Wärmepumpenheizung und
- spezieller Regelstrategien.

Dauer des Projekts: 3 Jahre

Beitragsempfänger:

Prof. Dr. P. Suter

Berichterstatter: T. Afjei

Institut für Energietechnik
Laboratorium für
Energiesysteme

Adresse:

ETH-Zentrum
8092 Zürich

Telephon: 01 256 36 49

1. Anvisierte Zielpunkte:

Zur Optimierung einer drehzahlgeregelten WP (= Wärmepumpe) muß einerseits das Zusammenwirken ihrer Komponenten, – Kompressor, Kondensator, Expansionsventil und Verdampfer –, andererseits deren Verhalten nach Einbindung in die WPHA (= Wärmepumpenheizungsanlage) untersucht werden.

Das bereits vorhandene Wärmepumpensimulationsprogramm "YUM" (= Yearly Utalization Model) war so zu modifizieren, daß ein Vergleich zwischen getakteter WP mit fixer Drehzahl und einer mit variabler Drehzahl in verschiedenen WPHA möglich ist.

Zur Bestimmung der Kompressorcharakteristik, präziser der Charakteristik des Inverters, des DASM (= Drehstromasynchronmotors) und des eigentl. Verdichters, welche das Verhalten einer drehzahlgeregelten WP entscheidend beeinflussen, wurden Versuche auf dem Kompressorprüfstand des NTB (= Neutechnikum Buchs, SG) durchgeführt.

2. Durchgeführte Arbeiten:

Mit "YUM" berechnete Arbeitszahlen einer Luft–Wasser–Wärmepumpe der "Schulanlage Gumpenwiesen" (Dielsdorf, ZH) wurden zur Validierung mit deren Meßwerten verglichen (siehe auch /1/ und /2/). Das Simulationsprogramm "YUM" wurde insoweit verbessert, daß die Konfiguration der WPHA sowie Perioden für Hoch–, Niedertarif und Nachtabsenkung eingegeben werden können. Außerdem werden im WP–Modell jetzt auch Taktverluste berechnet.

Im Rahmen einer Diplomarbeit wurden Versuche mit einem inverterbetriebenen Rollkolbenverdichter auf dem Kompressorprüfstand des NTB durchgeführt.

Notwendige Abklärungen für Messungen an einem drehzahlgeregelten Klimagerät mit "Scroll Compressor", vorgesehen Anfang 1989 am NTB, wurden getroffen.

Erste Abschätzungen zeigen den Vorteil der Drehzahlregulierung, gegenüber einer üblichen Wärmepumpe mit Ein/Aus–Regelung. Um diesen Vorteil sicherzustellen, ist ein gutes Teildrehzahlverhalten des Motors und des Verdichters nötig.

3. Erreichte Ergebnisse:

3.1 Wärmepumpensimulationsprogramm "YUM":

Um die verwendeten Begriffe zu verdeutlichen, werden im Bild 1 die verschiedenen Systemgrenzen definiert.

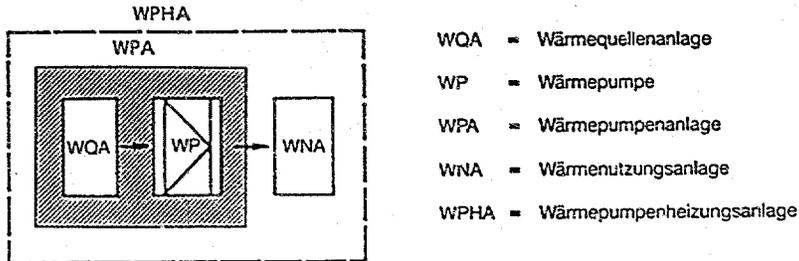
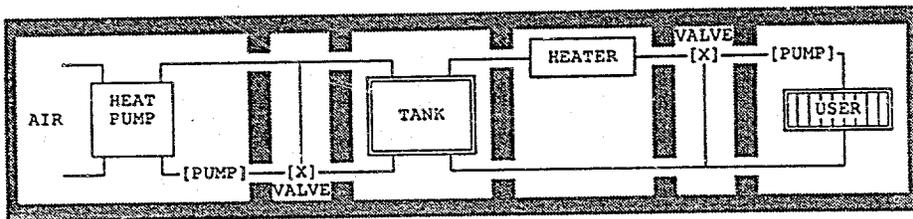


Bild 1: Systemgrenzen (aus SWKI-Richtlinie 88-2)

Mit dem weiterentwickelten Wärmepumpensimulationsprogramm "YUM" kann die WPHA interaktiv aus den im Bild 2 gezeigten Komponenten zusammengesetzt und damit konfiguriert werden.



MODULES:

- | | | | | | |
|-----------|--------------|----------------|------------------|--------------|---------------|
| Heat Pump | Mixing Valve | Storage Tank 1 | Auxiliary Heater | Mixing Valve | User and Pump |
|-----------|--------------|----------------|------------------|--------------|---------------|

Bild 2: Konfiguration der WPHA

Das "Black Box Model" der WP in "YUM" besteht im wesentlichen aus Herstellerdaten, d.h. Polynomen für die quasistaionäre Heizleistung und elektrische Leistungsaufnahme in Funktion von Luft- und Vorlaufemperatur. Der daraus berechnete COP (Quotient aus Heizleistung und elektr. Leistungsaufnahme) wird entsprechend der Außenlufttemperatur reduziert, um Ver- und Enteisungsverlusten der Luft-Wasser-WP Rechnung zu tragen. Die im Bild 3 gezeigte Kurve (vgl. /5/) entsteht aus der *Superposition* einer *Gaußkurve*, stellvertretend für das Vereisungsmaximum zwischen ca. 0^o und 5^oC, und einer *Geraden*, stellvertretend für die größere sensible Wärmezufuhr zur Enteisung bei tieferen Außenlufttemperaturen.

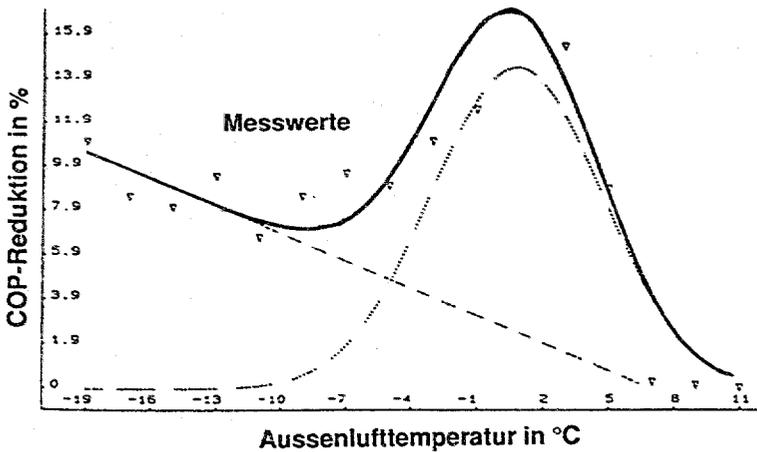


Bild 3: Reduktion des COP infolge Ver- und Enteisungsverlusten (aus /5/)

Die Taktverluste (Verluste beim Ein- und Ausschalten) wurden ebenfalls in "YUM" implementiert. Dabei wurde für die Heizleistung der WP beim Einschalten vereinfachend eine e-Funktion mit einer Einschaltzeitkonstanten, für das Ausschalten das Analoge angenommen.

Nach dem Einschalten:

$$(1) \quad \dot{Q}_{wp} = \dot{Q}_{stat} * (1 - e^{-t/\tau_{ein}}), \quad \tau_{ein} = \text{Einschaltzeitkonstante};$$

Nach dem Ausschalten:

$$(2) \quad \dot{Q}_{wp} = \dot{Q}_{stat} * e^{-t/\tau_{aus}}, \quad \tau_{aus} = \text{Ausschaltzeitkonstante};$$

Dabei wird aber nach dem Ausschalten keine Heizleistung der WNA (=Wärmenutzungsanlage) mehr zugute kommen, siehe Bild 4.

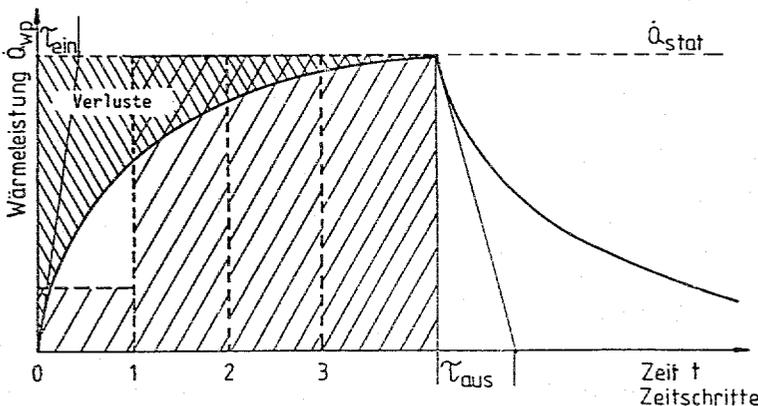


Bild 4: Ein- und Ausschaltvorgang der WP

3.2 Kompressormessungen:

Ab Anfang 1989 werden jedoch noch Messungen an einem Klimagerät mit eingebautem drehzahlregelmtem "Scroll Compressor" ausgeführt werden.

Auf dem Versuchsstand des NTB wurde im Rahmen einer Diplomarbeit die Charakteristik eines hermetischen Rollkolbenkompressors mit 750W Nennleistung gemessen. Da meßtechnische Probleme bei der Volumenstrommessung auftraten, konnten bisher nur die Messungen des isentropen Wirkungsgrades ausgewertet werden. Wie im Bild 5 dargestellt, zeigte sich, daß η_s stark vom Druckverhältnis Π und kaum vom Sauggaszustand (p_s, T_s) abhängt.

Charakteristik eines Rollkolbenkompressors

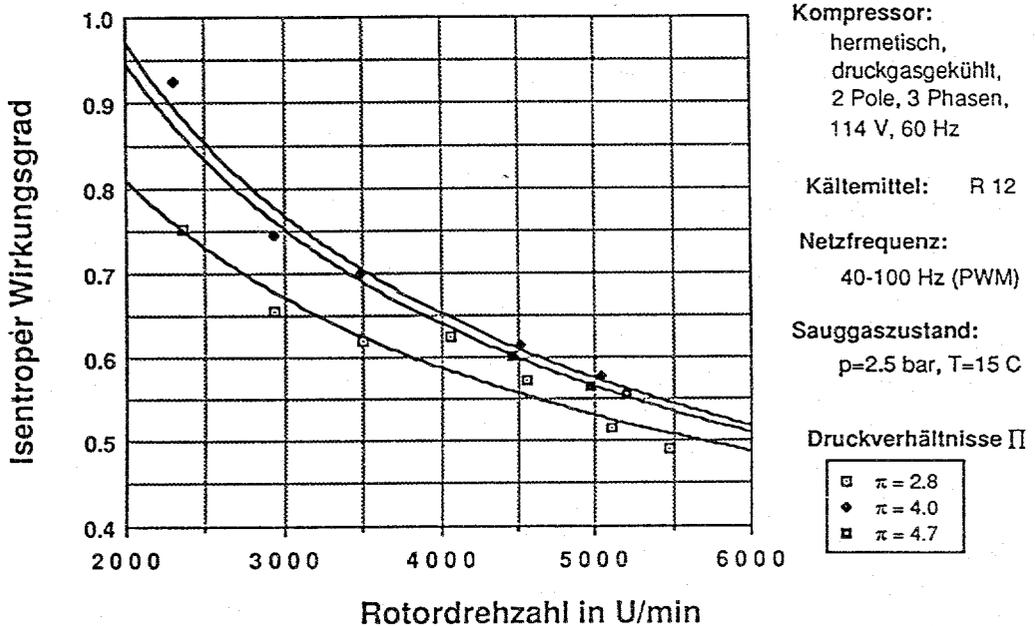


Bild 5: Isentropischer Wirkungsgrad eines Rollkolbenverdichters bei konstantem Sauggaszustand.

4. Internationale Zusammenarbeit:

Das Wärmepumpensimulationsprogramm "YUM" findet auch im IEA Annex 12, *Modeling Techniques for Simulation and Design of Compression Heat Pumps*, Anwendung.

5. Veröffentlichungen:

- /1/ Conde, M.R.: CREDA-Bericht 1988.
- /2/ Conde, M.R.: Validation of the Simulation Program "YUM" against the Second Set of Swiss Field Data, 1st Draft, IEA Program of R&D on Advanced Heat Pumps, Annex 12, Modeling Techniques for Simulation and Design of Compression Heat Pumps, ETH-Zürich, 6/88.
- /3/ Suter, P.; Afjei, T.: Personalcomputer als Planungshilfsmittel für Wärmepumpen heizanlagen, 5. Schweizerisches Statusseminar, Energieforschung im Hochbau, ETH-Zürich, 1988.
- /4/ Afjei, T.: "YUM", a Yearly Utilization Model for Calculating the Seasonal Performance Factor of Heat Pump Heating Systems using Air-to-Water Heat Pumps, Progress Report for the BEW, 7/88.
- /5/ Conde, M.R.: Technical Form IEA Annex 10, Air-to-Water Heat Pump, Simple Simulation Model, ETH-Zürich, 10/86.

6. Neue Forschungsarbeiten:

In einigen Publikationen wurde erwähnt, daß der maximal erreichbare exergetische Wirkungsgrad einer drehzahlgeregelten Wärmepumpe, -abhängig von Außenluft- und Vorlauf-temperatur-, bei Teillastdrehzahlen geringer ist als bei Vollastdrehzahl. Anscheinend arbeitet die WP bei Teillast nicht mehr unter den optimalen Bedingungen, die bei Vollastbetrieb vorherrschen. Es wäre daher erforderlich, dieses Phänomen genauer zu untersuchen.

BODENKÜHLUNG DURCH ERDSONDEN (KT.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: Anfangs 1986 bis Herbst 1990
(ursprünglich 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

1. ZIELSETZUNGEN

1.1 Zielsetzung allgemein

Zweck des Untersuchungsprogrammes in Elgg ist es, eine Erdwärmesonden-Wärmepumpen-Heizanlage zu untersuchen, deren Randbedingungen für den Erdwärmesondenbetrieb sehr genau definiert sind.

Die Erdwärmesondenanlage Elgg (ZH) ist seit Mitte Dezember 1986 in Betrieb. Der Ruhezustand des Bodens vor der Inbetriebnahme der Anlage ist gemessen worden. Im Laufe des Jahres 1987 wurde das Messsystem laufend ergänzt. Seit der Inbetriebnahme des Aussentemperaturfühlers in 2.0 m Höhe im September 1988 ist jetzt auch die Hardwareseite der Datenerfassung komplett. Das Messsystem besteht nun aus: 25 Boden-, vier Wasser-, vier Raum- und zwei Aussentemperaturfühlern, zwei Durchflussmessern sowie einem Fühler zur Messung der elektrischen Energieaufnahme der Wärmepumpe.

Das Programm zur Steuerung der Messungen via PC wurde weiter optimiert. Die Bodentemperaturfühler liefern absolute Genauigkeiten von - je nach Fühler - 0.01 bis 0.03 °C. Ein Messzyklus dauert 12 Minuten. Während der Heizperiode wurde alle 30 Minuten und während der Regenerationsphase im Sommer alle 60 Minuten eine Messung durchgeführt.

1.2 Zielsetzung 1989

Die Randbedingungen in beiden bisher gemessenen Heizperioden sind zu unterschiedlich als dass eine wissenschaftliche Wertung der Resultate mit guter Sicherheit vorgenommen werden kann. Die oben aufgezeigte - und auch in früheren Untersuchungen vorausgesagte - Tendenz muss in der nun laufenden Heizperiode zuerst bestätigt werden.

Es liegt nun ein vollständiger Datensatz vor, um mathematische Modelle, die das Langzeitverhalten solcher Anlage simulieren, zu eichen und zu validieren. Dies wird eine der Aufgaben des kommenden Jahres sein.

2. DURCHGEFUEHRTE ARBEITEN 1988

Die erste Heizsaison 1986/87 wies längere Perioden mit sehr tiefen Aussentemperaturen (Mittl. Monatstemperaturen: DEZ +0.3, JAN -5.4, FEB +0.2, MAR +0.0 °C) auf. Zudem war das Wohnhaus nicht vollständig isoliert. Teile der Heizenergie mussten noch zur vollständigen Bauaustrocknung aufgewendet werden. Die Regelung der Heizungsanlage funktionierte nicht optimal und die Zirkulationspumpen waren noch falsch eingestellt. Während der zweiten Heizperiode 1987/88, einem weitaus milderem Winter

2. 3

(Mittl. Monatstemperaturen: DEZ +1.9, JAN +2.9, FEB +0.9, MAR +3.0 °C), wurde die Primärpumpe durch eine leistungsfähigere Pumpe ersetzt. Das Haus war mittlerweile fertig installiert.

Obwohl der erste Winter absolut nicht als charakteristisch für eine durchschnittliche Heizperiode bezeichnet werden kann, folgender Vergleich einiger massgebender Systemgrössen: Die Rücklauftemperaturen zur Erdwärmesonde sind im ersten Winter sofort auf -6 °C abgefallen, im zweiten Winter ist das Absinken dieser Temperatur langsamer. Werte unter -3 °C werden im wesentlichen kaum erreicht. Das resultierende Defizit in den Bodentemperaturen durch ungenügende Regeneration im Sommer reduziert sich vom 0.8 Grad nach dem ersten Winter auf ca. 0.4 °C nach dem zweiten Winter (vgl. Fig. 1). Der tägliche Leistungsfaktor der Anlage liegt zu Beginn der Heizperiode bei 3.0, senkt sich während der heizintensiven Zeit auf etwa 2.5 und erholt sich gegen Ende Heizperiode wieder auf einen Wert knapp unter 3.0 (vgl. Figur 2). Auf der gleichen Abbildung ist ebenfalls die tägliche Laufzeit der Wärmepumpe dargestellt. Die inverse Korrelation zwischen dem täglichen Leistungsfaktor und der täglichen Laufzeit ist klar ersichtlich.

3. VERÖFFENTLICHUNGEN

Erste Resultate wurden im Berichtsjahr an drei Veranstaltungen präsentiert:

- Am Statusseminar "Erdwärmesonden" vom 8. Juni 1988 an der ETH Zürich. Organisator: BEW.
- Am 5. Schweizerischen Status-Seminar "Energieforschung im Hochbau" vom 8./9. September 1988 an der ETH Zürich. Organisator: EMPA-KWH.
- An der Konferenz JIGASTOCK 88 vom 18. bis 20. Oktober 1988 in Versailles (F). Organisator: AFME, BRGM, GEP-ASTED, MELATT.

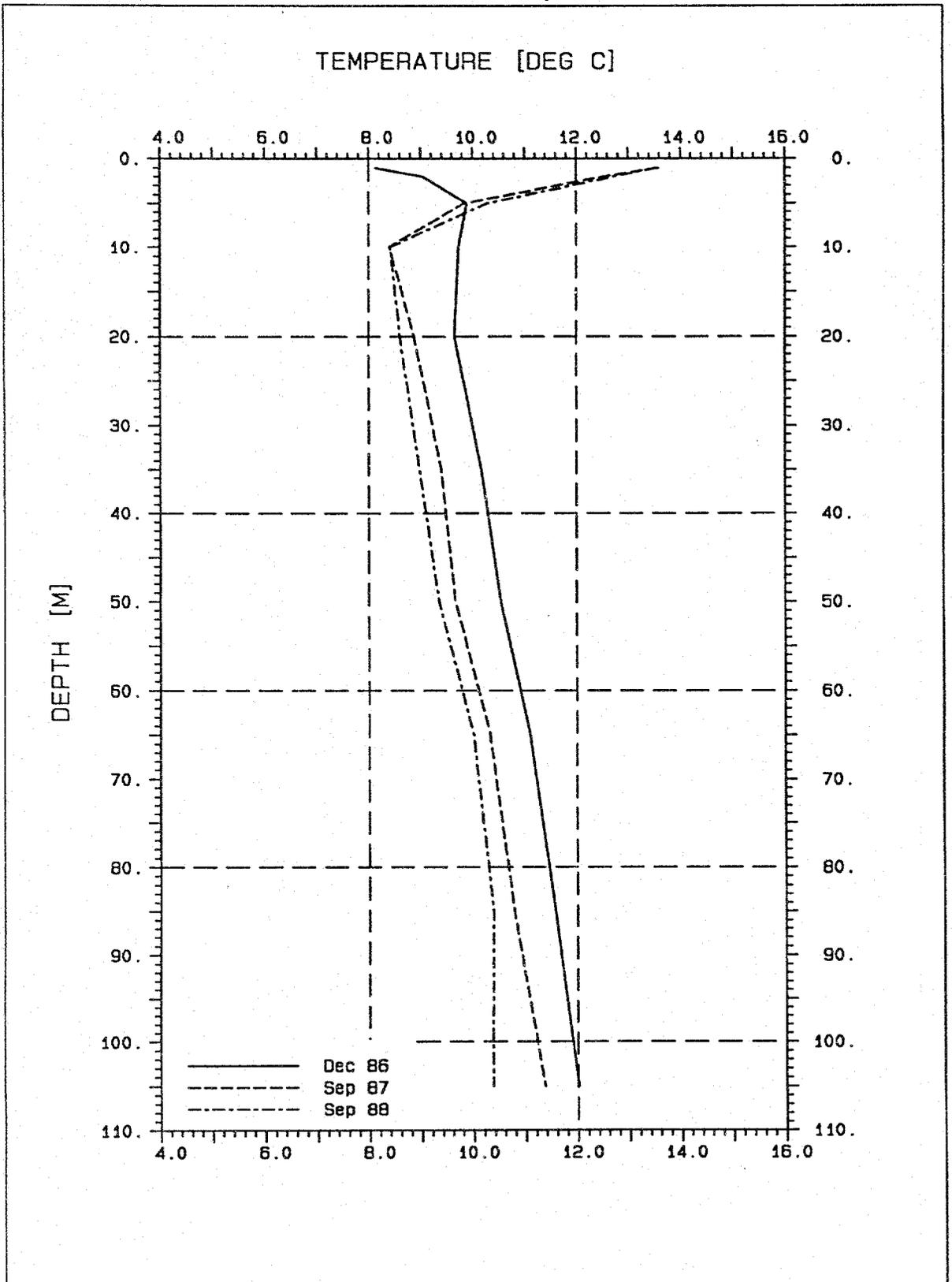


Fig.1: Abkühlung des Bodens 0.5m von der Sonde

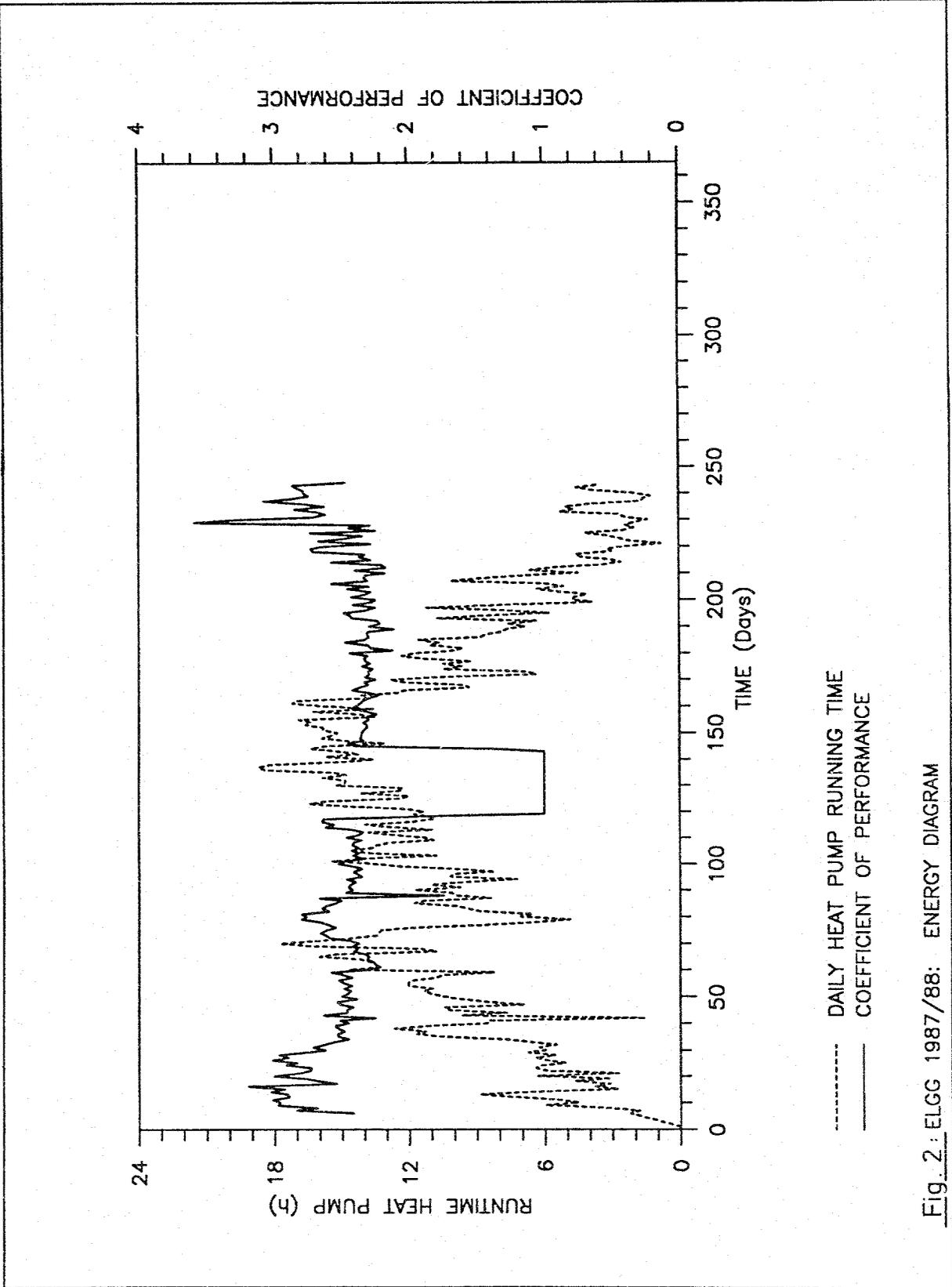


Fig. 2: ELGG 1987/88: ENERGY DIAGRAM

ERDSONDEN FÜR RAUMHEIZUNG (KT.TG)**Ziel des Projekts:**

Ziel des Projektes ist es, das Langzeitverhalten von zweier auf Erdwärmesonden und Wärmepumpen basierenden Raumheizanlagen mittels Messkampagnen zu beobachten. Die zwei Anlagen, in Rorschacherberg, SG bzw. Frauenfeld, TG sind an zwei verschiedenen Standorttypen.

Dauer des Projekts: Herbst 1986 bis Herbst 1990

Beitragsempfänger: Polydynamic Ltd., Zürich *

Berichterstatter: R.J. Hopkirk / W. Eugster

Adresse: Zeltweg 29
8032 Zürich

Telephon: 01 / 252 60 80

*) mit ETHZ, Inst. für Geophysik; ENFOG AG, Gossau SG

Die Untersuchungen an der Erdwärmesondenanlage Rorschacherberg (SG) werden nach Ende der Heizperiode im Frühjahr 1989 abgeschlossen. Die Messkampagne in Frauenfeld (TG) wird noch um ein weiteres Jahr verlängert. Der Schwerpunkt der Arbeiten im Jahre 1989 liegt beim intensiven Modellieren der beiden Anlagen.

2. DURCHGEFUEHRTE ARBEITEN 1988

2.1 Erdwärmesondenanlage Frauenfeld (TG)

Bei der Erdwärmesondenanlage in Frauenfeld wurden 1988 während des ganzen Jahres tägliche Messungen durchgeführt und aufgezeichnet. 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 atmosphärischen Temperaturen noch gut spürbar. Die mittlere Leistung der Sonde liegt weiterhin im Bereich von ca. 50 bis 70 W/m Sondenlänge.

In den Figuren 1 und 2 sind für die Jahre 1984/85 und 1986/87 der tägliche Energieentzug aus dem Boden und der tägliche Energieverbrauch der Wärmepumpe zusammen mit dem täglichen Leistungsfaktor über ein ganzes Jahr (beginnend jeweils am 1. Oktober = Tag 1) dargestellt. Beide Figuren zeigen deutlich, dass gut optimierte Erdwärmesonden-Anlagen Leistungskoeffizienten von 3.0 und mehr aufweisen können. Damit dringen solche Anlagen in wirtschaftlich durchaus interessante Bereiche vor.

2.2 Erdwärmesondenanlage Rorschacherberg (SG)

Bei der Erdwärmesondenanlage Rorschacherberg ist 1988 wiederum lediglich ein reduziertes Messprogramm durchgeführt worden. Es wurde - von einzelnen Perioden mit vier- bis sechswöchiger Messzeit - während jeweils nur an vier bis sechs 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, allerdings 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.

Der Datentransfer von der Firma Enfog AG an die ETH Zürich mittels McIntosh-kompatiblen Disketten hat sich mehr oder weniger problemlos eingespielt.

2.4 Modellentwicklung

Das Schwergewicht der Arbeiten 1988 lag bei der Weiterentwicklung des dreidimensionalen Modell. Es wurde ein vereinfachter Gefriermechanismus eingebaut. Ferner gab es einige Detailverbesserungen vorzunehmen. Erste Testläufe mit den Daten von Frauenfeld (TG) wurden bereits durchgeführt.

Tabelle 1: Bodentemperaturen [$^{\circ}\text{C}$] der Erdwärmesondenanlage Frauenfeld (TG) an ausgewählten Tagen in 1.0 m Entfernung von der Erdwärmesonde. Am 20.01.85, 13.02.86, 03.02.87 und am 05.02.88 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
27.09.87 (Heizbeginn)	13.5	9.9	9.9	10.2	10.7	11.6
05.02.88	9.8	8.9	8.9	9.0	9.3	10.4
10.06.88 (Heizende)	10.4	9.6	9.5	9.5	10.1	10.1
29.09.88 (Heizbeginn)	14.4	9.9	9.7	9.8	10.4	11.5

Tabelle 2: Bodentemperaturen [$^{\circ}\text{C}$] der Erdwärmesondenanlage Rorschacherberg (SG) an ausgewählten Tagen in 50, 150 und 243 cm Entfernung von der Erdwärmesonde. Am 21.01.83, 08.02.84, 08.02.85, 11.02.86, 06.02.87 und am 05.02.88 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
02.10.87 (Heizbeginn)		11.6	11.0	10.7	13.6	10.5	10.6
05.02.88		10.5	10.7	9.5	9.5	9.6	9.7
01.05.88 (Heizende)		11.7	10.7	9.5	10.9	9.4	9.5
15.09.88 (Heizbeginn)		11.7	12.8	10.3	10.3	10.5	10.7

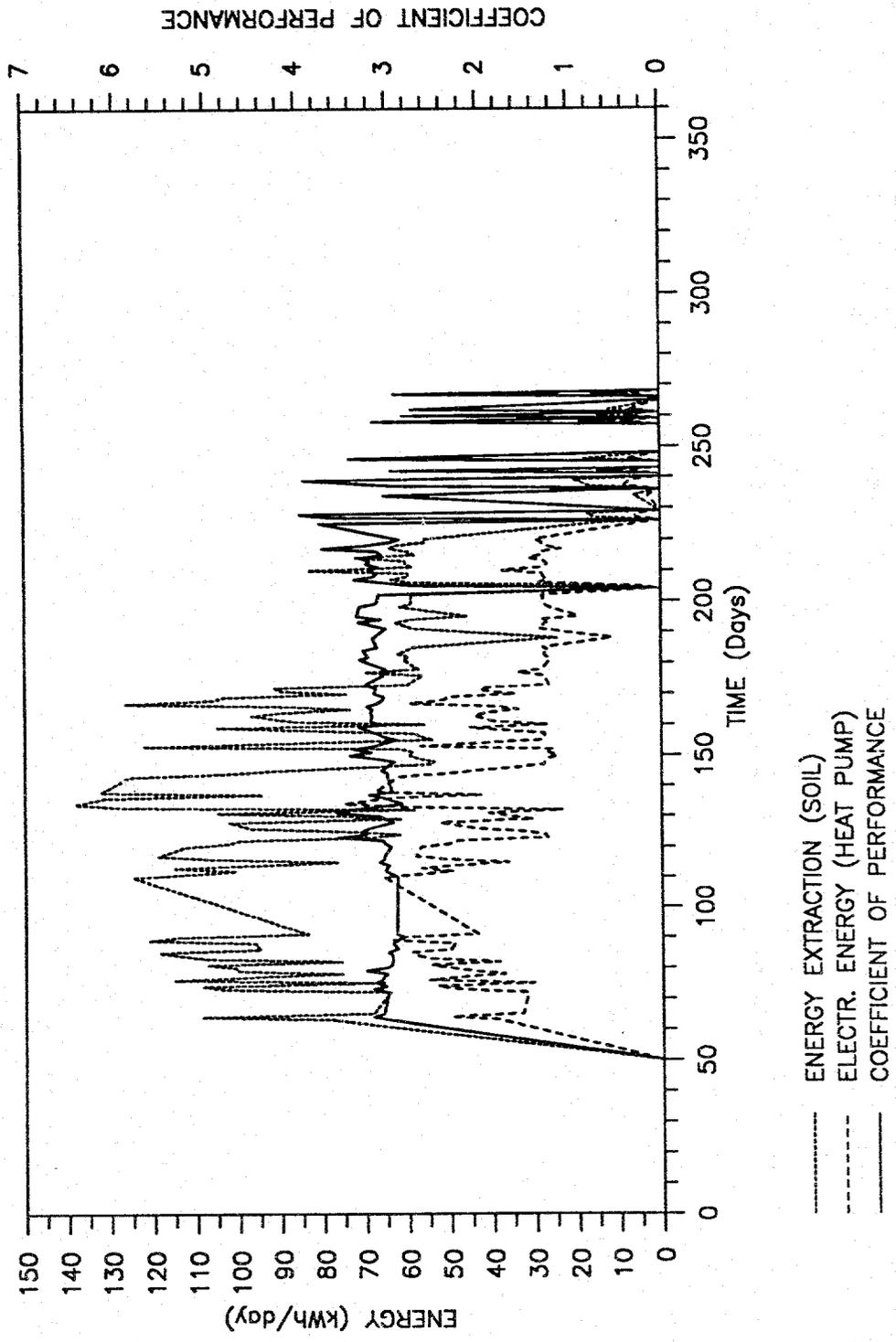


Fig.1 : FRAUENFELD 1984/85

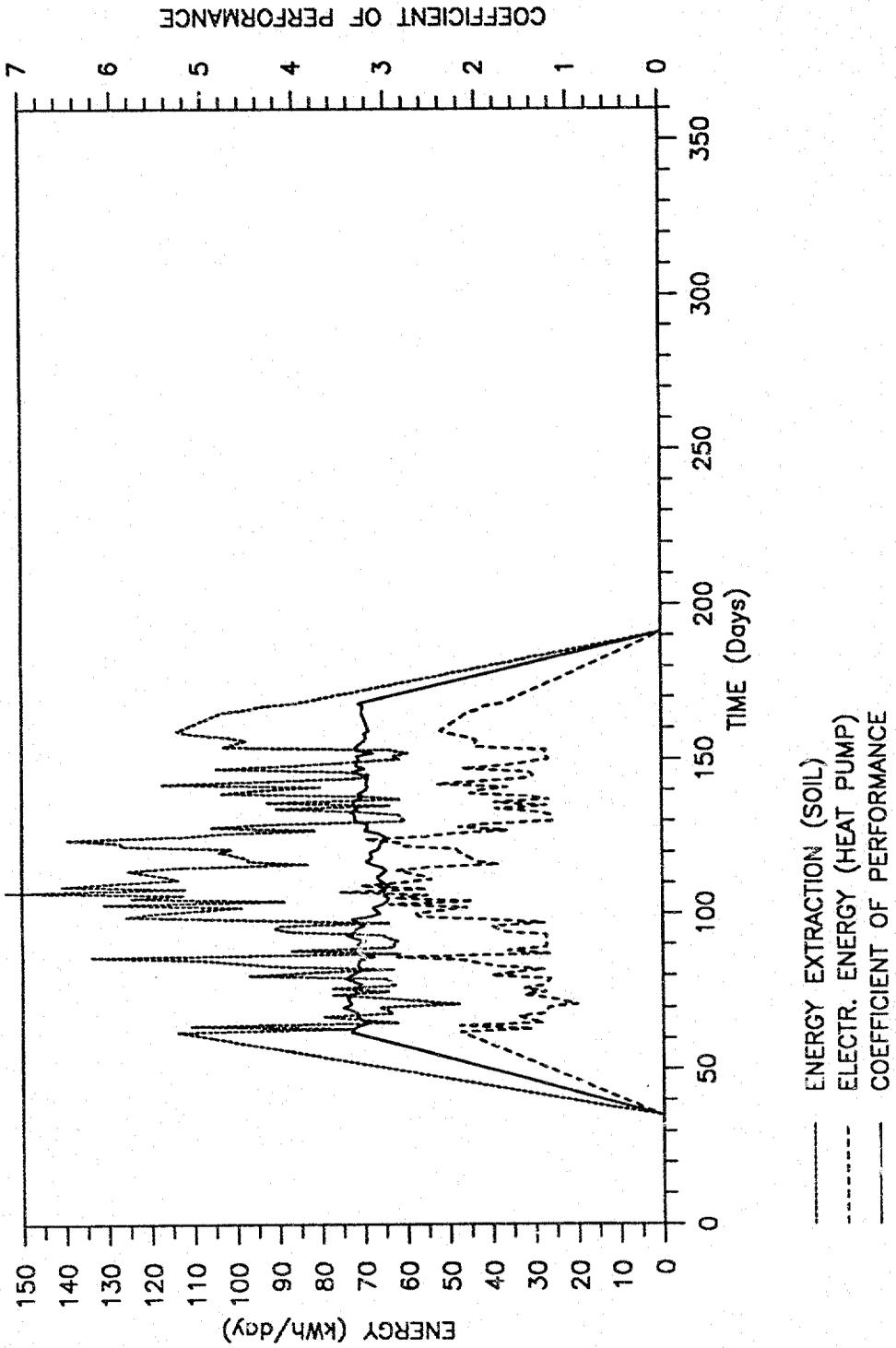


Fig. 2: FRAUENFELD 1986/87

ENERGETISCHES VERHALTEN EINER SCHULANLAGE

Ziel des Projekts: Messungen zur Analyse des Energieverbrauchs, zur Darstellung des energetischen Verhaltens einer Schulanlage moderner Konzeption. Dadurch Grundlagen zur Systemoptimierung und zur Gestaltung weiterer Schulhäuser.

Dauer des Projekts: 1985 - 1988

Beitragsempfänger: EMPA und Arbeitsgemeinschaft Favre, Lüthi, Wick.

Berichterstatter: Dr. René Favre

Adresse: Seefeldstrasse 5, 8880 Walenstadt

Telephon: 085/3 57 70 oder 01/208 21 21

1. Zielpunkte und durchgeführte Arbeiten

Das Mess- und Forschungsprojekt gliedert sich in 3 Teile

- a Abnahmemessungen und Funktionskontrollen (vor Messbeginn)
- b Messdatenerfassung und Auswertung
- c Mithilfe bei der Systemoptimierung

und abschliessender Dokumentation.

Die folgenden Zielsetzungen

- Kontrolle, Analyse und Darstellung des energetischen Verhaltens sowie der Raumluftthygiene eines Schulgebäudes mit kontrollierter Lüftung und passiver Nutzung der Sonnenenergie.
- Erarbeitung von objektbezogenen Optimierungsgrundlagen und allgemeinen Resultaten für die Konzeption und den Betrieb von Schulhausbauten mit mechanischer Lüftung und niedrigem Energieverbrauch.

konnten erfüllt werden.

Die zweite Messperiode konnte Ende 1987 abgeschlossen werden. Die Projektleitung erachtete es jedoch sinnvoll, 1988 Wochenmessungen durchzuführen, um die Messergebnisse der beiden Messperioden zu verifizieren und zu erhärten sowie allgemeinere Aussagen machen zu können.

Die Ausarbeitung der Dokumentation wurde dementsprechend um ein Jahr verschoben.

Die anvisierten Ziele wurden erreicht; die Abschlussarbeiten an der SIA-Dokumentation sind in der Endphase. Ende 1988 sollte die druckfertige Vorlage der rund 50 Seiten starken Publikation vorliegen.

2. Erreichte Ergebnisse

Auf die detaillierte Beschreibung des Messprojektes wird mit Verweis auf die Creda-Berichte der Vorjahre verzichtet.

Energieverbrauch

Die Energiekennzahl des Messgebäudes liegt mit $152 \text{ MJ/m}^2 \cdot \text{a}$ deutlich unter dem Wert von Neubauten (Bild 1) und unterhalb der Vorjahre (Bild 2). Dabei fällt auf, dass sich vor allem der Anteil der Heizung um rund 25 % verringert hat; die Anteile für Warmwasser und für die restlichen elektrische Installationen sind in den drei Jahren konstant geblieben. Die Senkung des Energieverbrauchs ist nicht nur eine Folge der Optimierungsmassnahmen, sondern der im Vergleich zum Vorjahr um 15.4 % gesunkenen Heizgradtage (Bild 3).

Bild 4 verifiziert diese Aussagen sowohl für den Klassentrakt als auch für die Turnhalle.

Elektrische Energie:

In Bild 5 sind die Wochensummen aufgeteilt auf die einzelnen Verbrauchergruppen dargestellt. Es bestätigt die Tatsache, dass die Anteile für HLK-Systeme und Warmwasser in der gleichen Grössenordnung liegen wie die restlichen Verbraucher. Der WW-Verbrauch konzentriert sich wiederum wie vermutet auf die Turnhalle (Bild 6). Entsprechend präsentiert sich der Elektrizitätsverbrauch (Bild 7).

Wärmeerzeugung:

In der Heizperiode 1987/88 waren die WP von der 43. bis zur 19. Woche in Betrieb (Bild 8). Deren MALZ liegt aber im Durchschnitt unter 2.5; dies bedeutet, dass die Gesamtanlage inklusive Heizkessel unter 2.0 arbeitet. Die Bilder 9 und 10 halten belegen diese Verhältnisse anhand der Wochenbilanzen für Nutzenergie und Endenergie fest.

3. Veröffentlichungen

Th. Baumgartner et. al.

Demonstrationsprojekt Schulhaus Gumpenwiesen

4., 5. und 6. Schweizerisches Status-Seminar Energieforschung im Hochbau

1986, 1987 und 1988

5. Neue Forschungsarbeiten

Das Projekt führte zum Forschungsprojekt EFFENS (Effiziente Energienutzung in Schulhäusern), das im Rahmen des IEA, Annex XV durchgeführt. Beteiligt sind die Herren B. Wick, Th. Baumgartner und P. Chuard

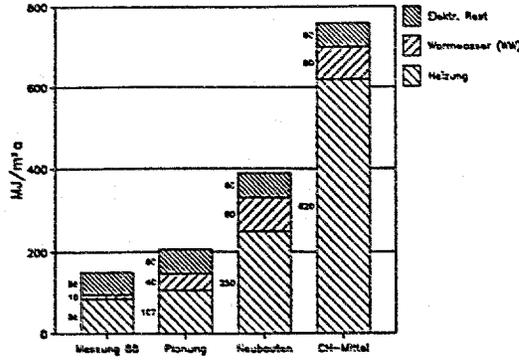


Bild 2: Energiekennzahlenvergleich Schulhaus 'Gumpenwiesen' 3 Messjahre von 1986 bis 1988

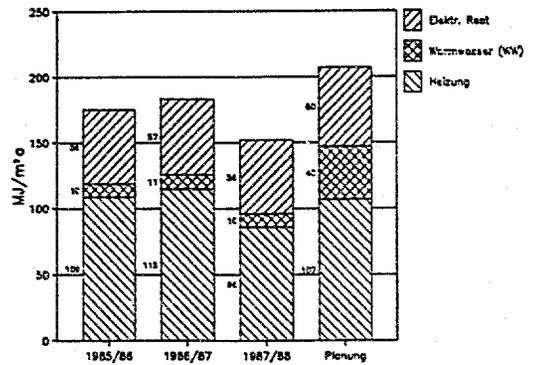


Bild 3: Veränderung der Heizenergie des Schulhauses 'Gumpenwiesen' 3 Messjahre von 1986 bis 1988

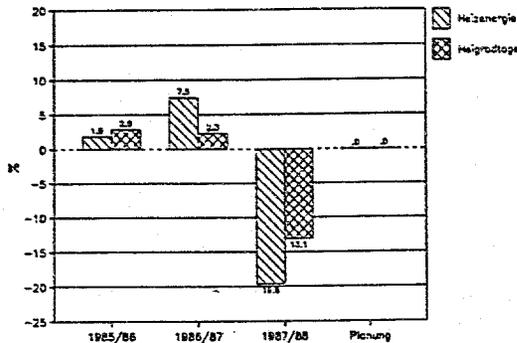
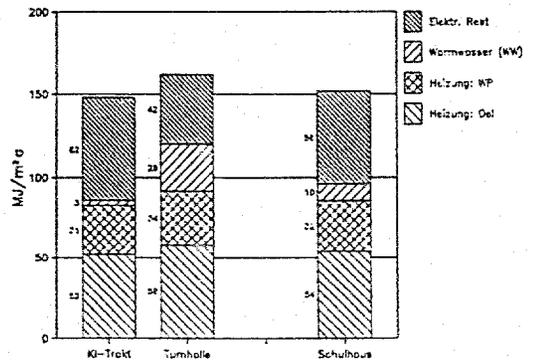


Bild 4: Energiekennzahlen Schulhaus 'Gumpenwiesen' Aufteilung Klassentrakt-Turnhalle



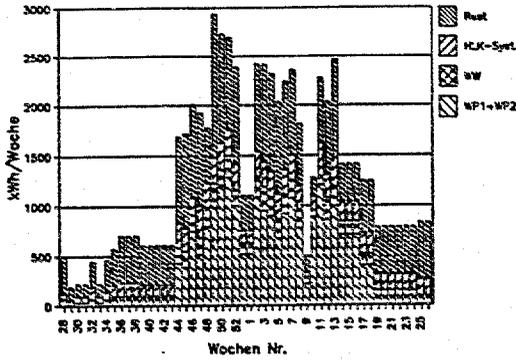


Bild 6: Schulhaus 'Gumpenwiesen'
Warmwasserverbrauch Messperiode 1987/88

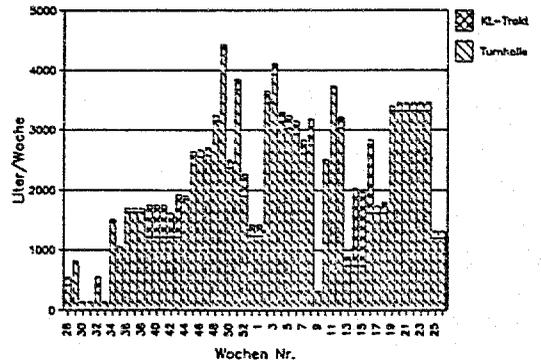


Bild 7: Schulhaus 'Gumpenwiesen'
Elektrizitätsverbrauch WW Messperiode 1987/88

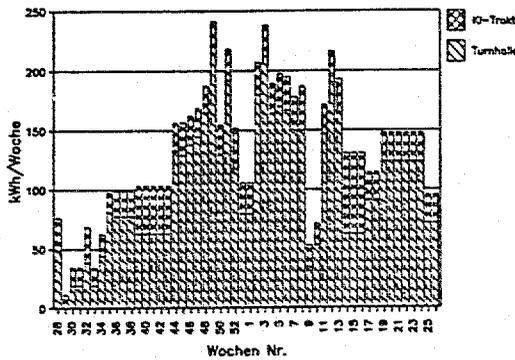


Bild 8: Schulhaus 'Gumpenwiesen'
Anlageleistungsziffer MALZ Messperiode 1987/88

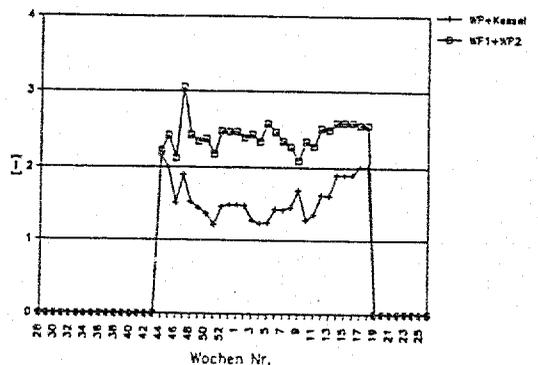


Bild 9: Schulhaus 'Gumpenwiesen'
Nutzenergie Wärmeerzeuger Messperiode 1987/88

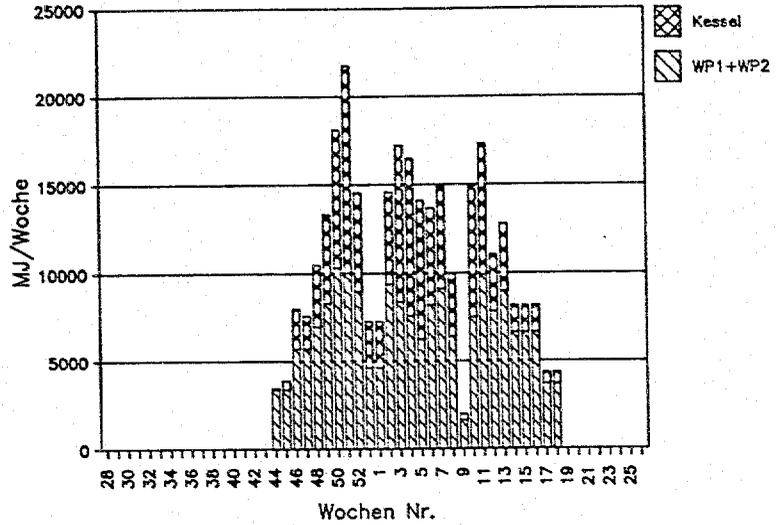
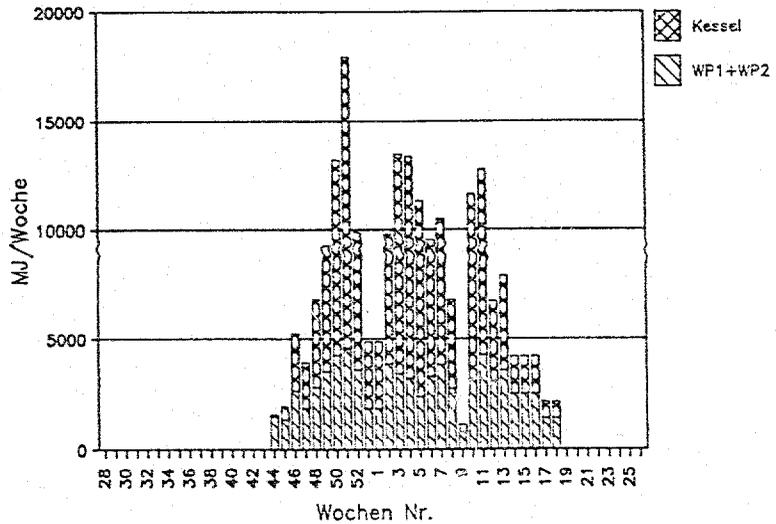


Bild 10: Schulhaus 'Gumpenwiesen'
Endenergie Wärmeerzeuger Messperiode 1987/88



PERPETUELLES HEIZUNGSSYSTEM

Ziel des Projekts: Entwicklung und Testen einer Wärmepumpen-Heizungsmethode mit ständiger Rezirkulation der für den Wärmepumpenverdampfer notwendigen Wärme. Untersuchung der Möglichkeit gleichzeitiger Sonnenenergienutzung in den Fassadenverdampfern. Berechnung der Wärmeflüsse, Zusammenstellung von Energiebilanzen und Ermittlung der Wirtschaftlichkeit der PHS-Heizungen. Erstellung einer Testwand zum Messen der Energieflüsse und Wärmegewinne des Fassadenverdampfers bei verschiedenen Absorberkonfigurationen, physischen Dimensionen des Hinterlüftungsraumes und mit verschiedenen Fassadenabdeckungs- und Verglassungsmaterialien.

Dauer des Projekts: 1.1.1988 bis 30.11.1989

Beitragsempfänger: Hurdes Energieconsulting

Berichterstatter: J.V. Hurdes, Dr.Ing. SIA

Adresse: Bahnhofstrasse 87
8245 Feuerthalen

Telephon: (053) 29 24 08

A) Phase II : Vorstudie

1. Anvisierte Zielpunkte 1988

Die während der ersten Projektphase erforschten Zusammenhänge zwischen dem Wärmebedarf von grösseren, wärmetechnisch sanierungsbedürftigen, bzw. neu zu erstellenden Gebäuden und deren Wärmeverluste, die den Gebäuden über eine Wärmepumpenanlage wieder zugeführt werden können, sollten durch theoretische Berechnungen an konkreten Fällen bestätigt werden. Folgende Hauptaspekte der PHS-Heizungsmethode sollten analysiert werden:

- Wärmerückgewinnung in der Gebäudehülle bei Temperaturen, die über den Umgebungstemperaturen liegen (Vermeidung der Kondensat- und Eisbildung).
- Aktive Nutzung der Solarstrahlung bei niedrigen Strahlungsintensitäten und bei niedrigen Umwandlungstemperaturen an den vertikalen Fassaden.
- Ermittlung der Wirtschaftlichkeit verschiedener PHS-Varianten beim Einsatz an grösseren Gebäudeobjekten (MFH, Schulen, Bürohäuser usw.).

2. + 3. Durchgeführte Arbeiten und erreichte Ergebnisse

Die Wärmebeiträge an die Wärmepumpe durch Wärmerückgewinnung in verschiedenen Teilen der Gebäudehülle wurden ermittelt und Einzel- sowie Globalbilanzen erstellt. An hand der Einzelbilanzen wurde die technische Machbarkeit der Wärmerückgewinnung überprüft, an hand der Globalbilanzen zusätzlich die Wirtschaftlichkeit der PHS-Methode im Vergleich zu anderen, insbesondere konventionellen Heizungsmethoden bewertet.

Bei sehr gut isolierten (nach SIA 380/1) isolierten Gebäuden sinkt der Anteil der Mauerwerkverluste auf sehr niedrige Werte. Wenn wärmedämmende Fenster eingesetzt werden, stellt der Anteil für die Frischluftherwärmung den grössten Energieverbraucher dar.

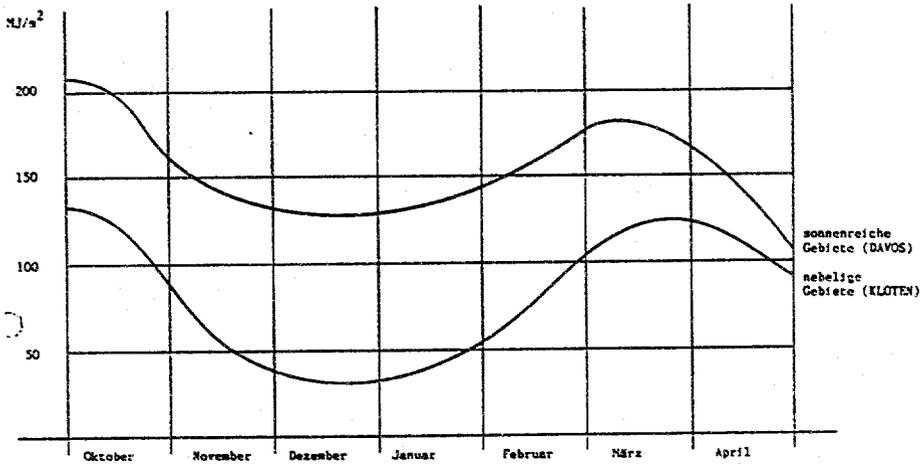
Durch die Wärmerückgewinnung im Mauerwerk und aus der Abluft (einschl. innerer Wärmequellen) wird üblicherweise genügend Energie gewonnen, um das Gebäude mit einer Wärmepumpe monovalent zu beheizen. Durch ihren Antrieb deckt die Wärmepumpe die durch Fenster und Warmwasser entwichenen Wärmeverluste, die nicht zurückgewonnen wurden.

Da die PHS-Wärmepumpe an keine Umgebungswärmequellen angewiesen ist, eignet sie sich ideal für den Einsatz in grösseren Gebäuden, für welche üblicherweise keine, bzw. ungeeignete (Aussenluft) Wärmequellen zur Verfügung stehen.

Die Leistungsziffer der Wärmepumpenanlage wird durch die Nutzung der Sonnenenergie an den vertikalen Fassaden erhöht. Zur Umwandlung der Sonnenenergie kann die in die Aussenwände zwecks Gebäudewärmerückgewinnung integrierte Anlage verwendet werden, sodass die aktive Sonnenenergienutzung nicht nur äusserst effizient, sondern auch äusserst wirtschaftlich verläuft.

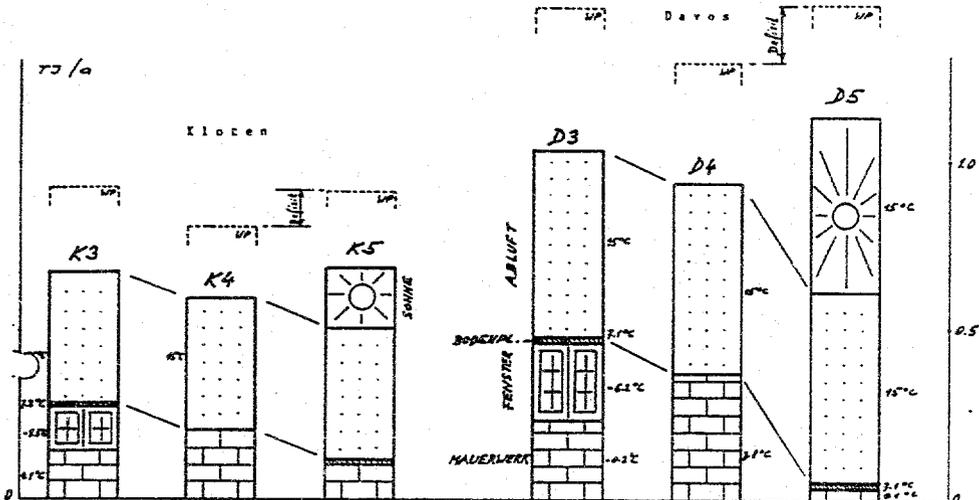
2.6

Sonnenenergie abgeliefert an die Wärmepumpe bei 15°C während einzelnen Monaten aus vertikalen Südfassaden in einem sonnenreichen und einem sonnenarmen Gebiet.

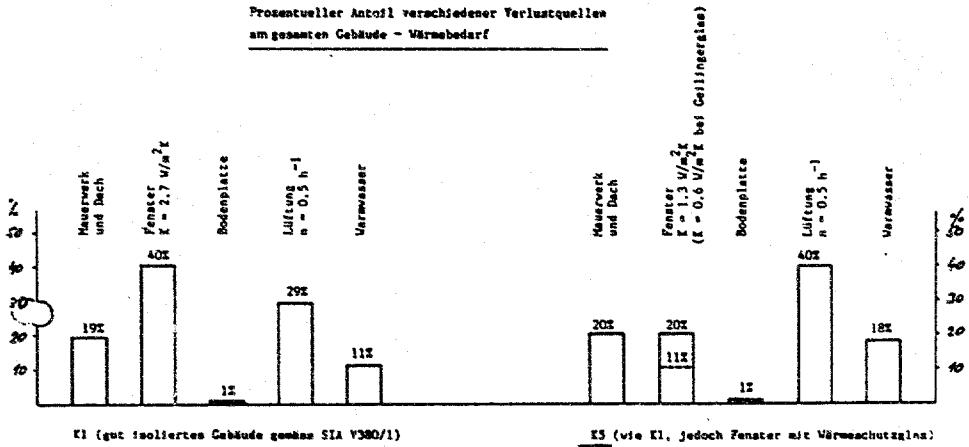


An hand der klimatischen Daten für zwei Standorte (Kloten, Davos) wurde festgestellt, dass die Sonnenenergie auch während den sonnenarmen Monaten (November bis Januar, durchschnittl. Bestrahlung ca. 100-150MJ/m²) einen hohen Anteil an der für die Wärmepumpe benötigten Wärmemenge decken wird. Dies hauptsächlich wegen der niedrigen Nutzungstemperatur der Solarwärme (5-10K über der Umgebungstemperatur).

Anteil verschiedener Gebäudeteile (Mauerwerk, Fenster, Bodenplatte, Abluft, Sonnenenergie an der Südfassade) an der Abwärmelieferung für die Wärmepumpe.

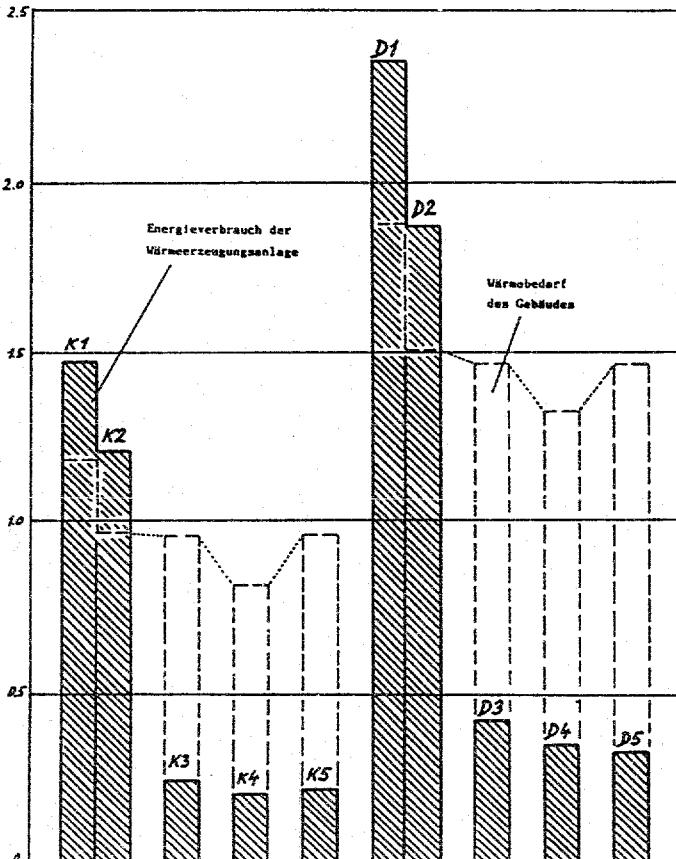


Durch die theoretischen Berechnungen wurde die physikalische und technische Machbarkeit der PHS-Methode bestätigt. Durch ökonomische Analysen, die an hand von technischen Spezifikationen und eingeholten Richtofferten durchgeführt worden sind, wurden diejenige Varianten ermittelt, die mit den konventionellen Ölheizungen am besten konkurrieren werden.



Ein nicht unbedeutender Nebeneffekt der PHS-Methode liegt in den positiven gesundheitlichen Auswirkungen: Als Folge der vollständigen energetischen Rückgewinnung der Abluft-Abwärme wird in das Gebäude kontinuierlich Frischluft zugeführt, mit welcher die Abluft zu 100% ersetzt wird. Die Notwendigkeit der Luftumwälzung (z.B. wie in Klimaanlagen) entfällt. Die Belegschaft der mit PHS-Heizungen ausgestatteten Gebäuden wird also nicht nur wirtschaftlich 60-80% Energie sparen, sondern sich auch in einer besseren Luft aufhalten können.

TJ/a

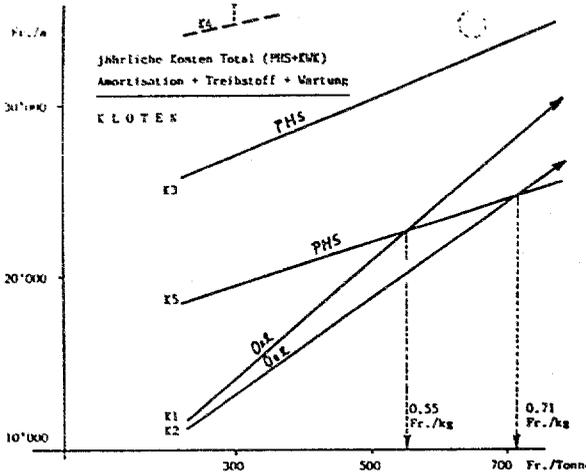


Die drastische Senkung des Energieverbrauches eines mit der PHS-Methode beheizten Gebäudes ist aus dem nebenstehenden Diagramm ersichtlich.

Durch den bedingten Einsatz von Wärmerückgewinnungsfenstern, bzw. Fenstern mit Wärmehitzglas, sinkt der Wärmebedarf gegenüber einem Gebäude nach SIA (K1, D1) auf ca. 82% (K3, K5, D3, D5), oder, unter Verwendung von Gailingerfenstern (K-Wert $0,65 \text{ W/m}^2\text{K}$), gar auf ca. 69% (K4, D4) ab.

Die Abwärme und evtl. Sonnenenergie decken ca. 3/4 des Gebäudewärmebedarfes, den restlichen 1/4 deckt die Wärmepumpe durch ihren Antrieb.

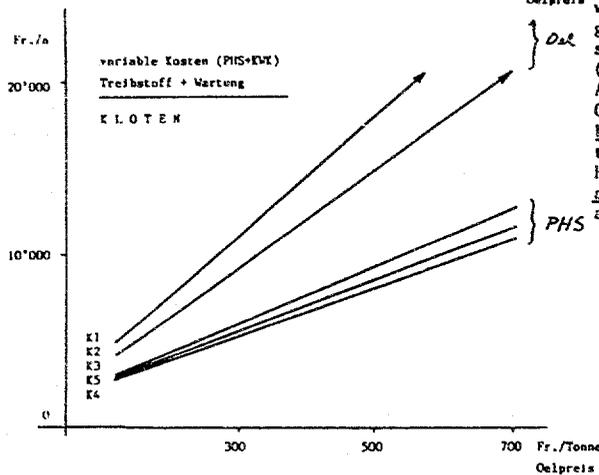
Unter Berücksichtigung der (zukünftigen) Kesselwirkungsgrade von ca. 80% beträgt die notwendige Wärmepumpenleistung nur noch 14-18% (im Vergleich zu K1, D1), bzw. 10-22% (im Vergleich zu K2, D2) des Treibstoffverbrauches einer konventionellen Ölkesselanlage.



Bei den heute üblichen Heizölpreisen von ca. Fr. 300.- pro Tonne sind die totalen jährlichen Heizkosten, zusammengesetzt aus Amortisationskosten für die Wärmerückgewinnungs- und Wärmeerzeugungsanlagen der PHS-Heizungen, höher als die Heizkosten aus den konventionellen Ölkesselanlagen. Die höchsten Heizkosten zeigen, wegen den relativ hohen Fensterpreisen, die Varianten K3,D3 und K4,D4, die erst bei relativ hohen Ölpreisen mit den konventionellen Heizkosten konkurrenzfähig werden.

Bei der Beurteilung ist allerdings in betracht zu ziehen, dass der Ölpreis einen durchschnittlichen Ölpreis über die ganze Lebensdauer der Wärmerückgewinnungsanlage (ca. 50 Jahre) darstellt. Bei einer durchschnittl. Inflationsrate von 3% p.a. erhöht sich der Ölpreis in 50 Jahren von heute ca. Fr.300.- auf Fr.1'315.- (Durchschnitt Fr.800.-) pro Tonne. Unter solchen Umständen ist nur der Fall K4,D4 unwirtschaftlich, alle andere Varianten sind bereits heute konkurrenzfähig.

Die über die Lebensdauer eindeutig niedrigsten Heizkosten werden im Fall K5,D5 verzeichnet. In diesem Fall wird auf die Wärmerückgewinnung in den Fenstern verzichtet, dafür wird Sonnenenergie an den Südfassaden genutzt. Die Verglasungskosten werden dabei nicht in betracht gezogen, da sie die Kosten für eine anderweitige Fassadenabdeckung (die u.U. auch teurer ausfallen könnte), ersetzen. In den Amortisationskosten sind die Kosten einer Gasturbinen-Generatoranlage mit Abwärmenutzung anteilmässig bereits berücksichtigt. Mit Durchschnittskosten (über die nächsten 50 Jahre) von Fr.0.55/kg (Klotes), bzw. Fr.0.32/kg Heizöl (Davos) ist diese Heizungsart wirtschaftlicher als die konventionelle Ölkesselheizung und ihr Einsatz aus ökonomischer Sicht bereits heute gerechtfertigt.



B) Phase III: Die Testphase

1. Anvisierte Zielpunkte 1988

Die zum Testen empfohlene PHS-Variante K5 besteht aus folgende Komponenten:

- Wärmepumpenanlage
- Luftkanalsystem zur Abführung der Abluft, Wärmeaustauscher zur Wärmerückgewinnung aus der Abluft
- In das Mauerwerk integriertes Energiegewinnungssystem

Während die zwei ersteren Komponenten dem Stand der Technik angehören, stellt die Energiegewinnung im Mauerwerk (ohne- bzw. mit der Sonnenenergienutzung) eine neue Technologie dar, bei welcher überprüft werden muss, ob

- die durch die Aussenwand entweichende Abwärme durch die Wärmerückgewinnungsanlage effizient zurückgewonnen werden kann

- die Wärmerückgewinnung bei Temperaturen verläuft, die immer über der Aussenlufttemperatur liegen
- die Sonnenenergie bei sehr tiefen Strahlungsintensitäten (Diffusstrahlung) und bei niedrigen Umwandlungstemperaturen effizient genutzt werden kann.

2. + 3. Durchgeführte Arbeiten und erreichte Ergebnisse

Bei der Firma STARO AG in Neftenbach (Hersteller von Wintergärten) wurde an eine wärmetechnisch sanierungsbedürftige Aussenwand eine Testfassade montiert. Die ca. 8.5 m^2 grosse Testfassade besteht aus 15 cm dickem Mauerwerk, 10 cm dicker Isolation (Mineralwolle) und einer vorgehängten, hinterlüfteten Fassade. Die Hinterlüftungsspalte kann varriert werden. Die Fassadenabdeckung wird aus verschiedenen, durchsichtigen Materialien versehen. Während Perioden ohne Sonnenschein (nachts) funktioniert diese Fassade wie jede übliche vorgehängte Fassade (Eternit-, keramische Fassaden). Tagsüber wird gleichzeitig die Wirkung der Sonnenenergie getestet. Die Geschwindigkeit der Luftströmung im hinterlüfteten Raum kann mittels Oeffnungen varriert werden.

Der Energieabsorber ist in einer beweglichen Einrahmung zwischen der Isolation und der Fassadenabdeckung eingefasst. Somit kann auch die Betriebsweise eines hinterlüfteten Absorbers getestet werden. Es können sowohl verschiedene Absorber wie auch verschiedene Fassadenabdeckungen getestet werden.

Der Absorber ist an einen Glykolkreislauf angeschlossen. Die durch den Absorber gewonnene Gebäudeabwärme bzw. Sonnenenergie wird durch einen Luftkühler an die Umgebung abgeführt. Der Wärmefluss durch die Wand und durch den Kreislauf muss relativ genau erfasst werden, weil (ohne Sonnenenergienutzung) in einem engen Temperaturbereich von ca. 3K gearbeitet wird. Zu diesem Zweck wurden an den 20 Messstellen sehr genaue Temperatursensoren PT100/G1250 (1/5 DIN) installiert. Die Messungen werden zwischen Dezember und April unter verschiedenen klimatischen Verhältnissen geführt.

SCHADSTOFFMESSUNGEN AN KAT.-GASMOTOREN

Ziele des Projektes:

- ◆ Feststellen der Emissionsfaktoren (in g/GJ Endenergie) von CO, NO_x, C_nH_m, bei Gasmotoren mit Katalysatoren.
- ◆ Feststellung des Einflusses der Betriebsweise (Anfahrvorgänge) auf die spezifischen Emissionen.
- ◆ Ableitung von Folgerungen für eine schadstoffoptimierte Betriebsweise.

Dauer des Projektes:

Jan. 1986 bis Dez. 1988

Beitragsempfänger:

Dr. Eicher & Pauli AG Liestal

Berichtersteller:

Hp. Eicher

Adresse:

Oristalstrasse 85, 4410 Liestal

Telephon:

061/921 99 91

1. ZIELSETZUNGEN

Dem Projekt liegen die nachstehend genannten Zielsetzungen zugrunde.

- ◆ Feststellen der Emissionsfaktoren (in g/GJ Endenergie) von CO, NO_x, C_nH_m, bei Gasmotoren mit Katalysatoren.
- ◆ Feststellung des Einflusses der Betriebsweise (Anfahrvorgänge) auf die spezifischen Emissionen.
- ◆ Ermittlung von Anlagendaten die einen Einfluss auf die spezifischen Emissionen haben.
- ◆ Ableitung von Folgerungen für eine schadstoffoptimierte Betriebsweise.

2. ANALYTIK

Für die Emissionsmessungen wurde ein mobiles Gasanalyzesystem aus einem Gaschromatographen sowie einem Chemilumineszenzdetektor zusammengestellt. Es erlaubt die Messung aller bei Verbrennungsanlagen und Wärmekraftmaschinen gängigen Emissionen, sowie die Analyse organischer Gase und Dämpfe, insbesondere von einzelnen Kohlenwasserstoffen.

3. ANLAGENBESCHREIBUNG UND ZUSAMMENFASSUNG DER RESULTATE

Tabelle 1 charakterisiert die Anlagen und zeigt die Mittelwerte der Emissionsfaktoren.

Nr.	Anlage	Lieferant	Bauherr	Ingenieur	Motortyp	Mischer	Kat. L. Sonde	T Abgas °C vor Kat.
1	GMWP Mission BS	Schindler AG Münchenstein	Basler Mission	Ingenieurbüro Bitterli, Liestal	Caterpillar G 3304	Venturi	Engelhard/ Bosch	600
2	BHKW Mythenschloss	DIMAG AG Niederdorf	Schw. Rück. Zürich	Schindler & Haerter AG, ZH	MWM 234 - 8	Venturi	Degussa/ Bosch	530
3	BHKW 3-Birken	DIMAG AG Niederdorf	ADEV Liestal	Eicher & Pauli AG Liestal	DIMAG/MWM G 227 - 3	Imco	Hereaus/ Bosch	590
4	BHKW Vollenweider	DIMAG AG Niederdorf	Vollenweider Zürich	Eicher & Pauli AG Liestal	DIMAG/MWM G 226 - 3	Imco	Hereaus/ Bosch	580
5	BHKW Krankenhaus, Baden	DIMAG AG Niederdorf	Krankenheim Baden	Leimgruber & Partner, Ennetbaden	MWM G 234 - 8	Venturi	---	---
6	GMWP Schulhaus Oberburg	Schindler AG Münchenstein	Gemeinde Oberburg	Ingenieurbüro Rieben, Bern	Caterpillar	Imco	---	---

Anlage Nr.	Regelung Katalysator	Emissionen Mittelwerte g/gJ				Laufzeit pro Jahr	Laufzeit pro Anlauf	Bemerkungen
		NOx	CO	CH4	HC			
1	Schindler AG Eigenbau	98	161	137	10	ca. 3400 h	6,2 h	Katalysatorregelung nicht stabil. Katalysator nach 3000h defekt. Hohe spezifische Laufzeit pro Anlauf durch Leistungsregelung. Rel hohe Emissionen.
2	MWM integriert	< 5	9	190	14	ca. 1200 h	1,73 h	Zu tiefe spez. Laufzeit. Anlagen überdimensioniert. Zu komplexe Gesamtanlage. Geringe Emissionen
3	DIMAG AG Vierpunkt	< 5	32	40	< 1	ca. 3500 h	4,85 h	Hohe spezifische Laufzeit. Tiefe Emissionswerte.
4	DIMAG AG Vierpunkt	< 5	< 6	130	3	ca. 3500 h	4,83 h	Katalysator nach Einbau zuerst defekt. Gute Laufzeit pro Anlauf. Sehr tiefe Emissionswerte.
5	MWM integriert	< 5	15	79	8	---	1,64 h	BHKW läuft nur wenn EWP auch in Betrieb. Anlage zu komplex.
6	Schindler AG Eigenbau	24	140	130	3	---	ca. 0,5h	Anlage überdimensioniert. Fehler in der Regelung. Instabiles Verhalten. Relativ hohe Emissionen.

4. EMISSIONSRELEVANTE FAKTOREN

4.1 Stabilität und Einstellung der Lambdaregelung

Bild 1 und 2 zeigen den dynamischen Verlauf der Lambdaspannung im stationären Betrieb sowie als Richtgrösse für die Schadstoffreduktion den Verlauf der Stickoxydemissionen.

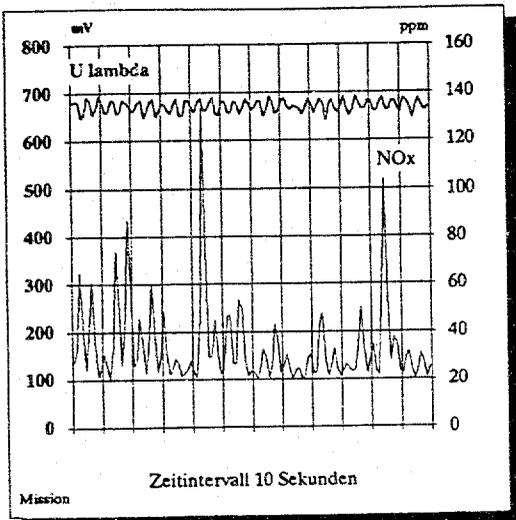


Bild 1: Basler Mission

Die Anlage in der Basler Mission weist mittlere Reglerschwankungen auf. Die sich daraus ergebenden Emissionsspitzen für NO_x sind sehr stark. Dies hängt damit zusammen, dass die Anlage im stationären Betrieb zu mager betrieben wird und die NO_x Emissionen schon bei kleiner Abweichung Richtung höherem Luftüberschuss sehr stark zunehmen.

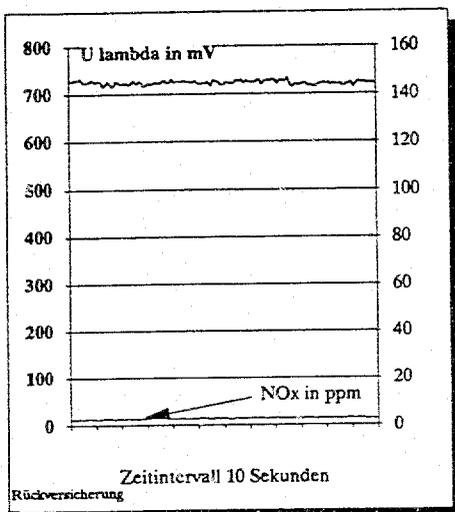


Bild 2: BHKW Mythen Schloss

Die Anlage im Mythen Schloss in Zürich wird bezüglich des Katalysators optimal betrieben. Dadurch ergeben sich sehr stabile und auch geringe NO_x Emissionen. Dies zeigt den Vorteil eines BHKW's mit direkt im Herstellerwerk integriertem Lambda Regelkreis. Die Anlage wurde bei Inbetriebnahme des Katalysators auch optimal eingestellt, weil die entsprechenden Messgeräte zur Verfügung standen.

Aus unseren Messungen ziehen wir die nachstehenden Folgerungen:

- ◆ Es ist von Vorteil, wenn der Motor und die Regelung vom gleichen Hersteller zusammengebaut, getestet und geliefert werden.
- ◆ Die Anlagen müssen bei der Inbetriebnahme optimal eingestellt werden. Zu magere Einstellung verursacht zu hohe NO_x Emissionen, bei zu fetten Einstellungen besteht die Gefahr der Überhitzung und frühzeitigen Katalysatorenalterung.
- ◆ Regelschwankungen sind bei grösseren Anlagen wesentlich gravierender als bei ganz kleinen Motoren.

4.2 Art und Dimensionierung der Katalysatoren

In den verschiedenen Anlagen wurden Katalysatoren unterschiedlicher Hersteller, Grösse und Beschichtung eingesetzt. Folgende generellen Aussagen können gemacht werden

Stickoxid NO: Die Umwandlung des im Abgas enthaltenen Stickstoffmonoxides NO lässt sich offenbar problemlos realisieren. Alle untersuchten Anlagen hatten Konversionsraten über 99%, falls der Katalysator ordnungsgemäss funktionierte.

Kohlemonoxid CO: Die Messungen zeigten, dass die Konversion von CO sensibler auf Störeinflüsse (schlecht eingestelltes Lambda, ungenügender Katalysator) reagiert. Bei einer optimal neu eingestellten Anlage sind Konversionsraten über 99% zu erreichen.

Methan CH₄: Die Konversionsrate von Methan CH₄ wies bei den Messungen die grössten Schwankungen auf. Konversionsraten im Bereich von 50% müssen akzeptiert werden. Die Methanemission scheinen uns jedoch nicht sehr relevant, da beim Transport von Erdgas 10 - 100mal mehr Methan entweicht als später im Abgas.

Kohlenwasserstoffe HC: Die höheren Kohlenwasserstoffe werden im Gegensatz zu Methan besser konvertiert. Gemessene Konversionsraten für Kohlenwasserstoffe (als Summe, ohne Methan) liegen um 90 %.

Tabelle 2 enthält die Messwerte der untersuchten Anlagen vor und nach dem Katalysator sowie die entsprechenden Konversionsraten.

Herbst 1987: Messdatum	Anlage 1 10-15. 12. 87			Anlage 2 21. 12. 87			Anlage 3 15-17. 12. 87			Anlage 4 17. 12. 87		
	vor Kat.	nach Kat.	k in %	vor Kat.	nach Kat.	k in %	vor Kat.	nach Kat.	k in %	vor Kat.	nach Kat.	k in %
Stickoxyd NOx	4600	40	99,1	3700	10	99,7	4100	10	99,8	3900	1300	66,7
Kohlenoxyd CO	4000	420	89,5	5600	50	99,1	4200	200	95,2	4200	870	79,3
Methan CH ₄	1600	200	87,5	1100	1100	0,0	1700	260	84,7	1400	1200	14,3
Höhere KW	400	10	97,5	400	200	50,0	400	0	100,0	300	100	66,7
	ppm	ppm		ppm	ppm		ppm	ppm		ppm	ppm	
Abgastemperatur °C	610	650			590							590

Frühling 1988: Messdatum	Anlage 1 12. 4. 88			Anlage 2 14. 4. 88			Anlage 3 1. 6. 88			Anlage 4 14. 4. 88		
	vor Kat.	nach Kat.	k in %	vor Kat.	nach Kat.	k in %	vor Kat.	nach Kat.	k in %	vor Kat.	nach Kat.	k in %
Stickoxyd NOx	4300	550	87,2	4000	10	99,8	4400	10	99,8	4500	10	99,8
Kohlenoxyd CO	4400	910	79,3	3700	20	99,5	2700	20	99,3	2600	20	99,2
Methan CH ₄	2000	1760	12,0	1500	800	46,7	1700	220	87,1	1600	790	50,6
Höhere KW	400	50	87,5	200	30	85,0	500	0	100,0	400	20	95,0
	ppm	ppm		ppm	ppm		ppm	ppm		ppm	ppm	
Abgastemperatur °C	600	640			590				540			580

Tabelle 2 Emissionswerte und Konversionsraten

4.3 Anfahrverhalten

Bis anhin wurden die Emissionen im stationären Betriebszustand der Anlagen betrachtet. Während der Anfahrphase entstehende Emissionen müssen jedoch für eine Angabe der Jahresemissionen der Anlagen mitberücksichtigt werden. Die Ursachen für diese erhöhten Emissionswerte sind:

- ◆ Der Katalysator hat bis zum Erreichen seiner unteren Betriebstemperatur keine oder nur verminderte Wirksamkeit.
- ◆ Je nach Anlage wird die Lambdaregelung erst ab einer bestimmten Abgastemperatur aktiviert.
- ◆ Die Gasmotoren laufen meist mit reduzierter Leistung an. Vollast wird erst freigegeben, wenn die Betriebstemperatur des Katalysators erreicht ist und eine einwandfreie Schadstoffreduktion garantiert werden kann.

In der Anfahrphase treten somit verschiedene Effekte auf, die auf den Schadstoffausstoß zum Teil gegenläufigen Einfluss haben können. Zudem können je nach der Gemischeinstellung (fette oder magere Einstellung) beim Anfahren, die einzelnen Emissionen unterschiedlich gross sein.

Bild 3 und 4 zeigen den Anfahrvorgang zweier unterschiedlicher Anlagen.

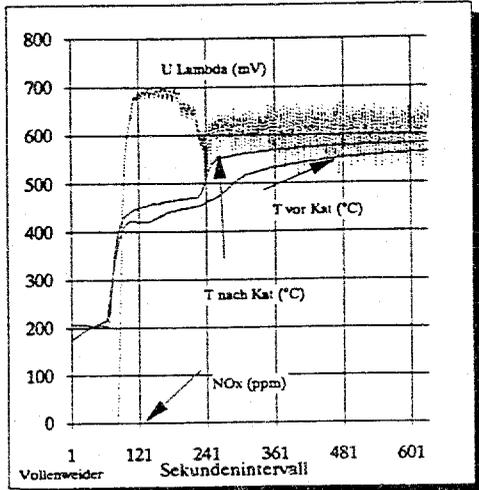


Bild 3: Anfahrvorgang Anlage 4

Bild 3 zeigt einen Anlaufvorgang mit noch heissem Katalysator. Während der Anfahrphase treten keine NO_x Emissionen auf. Man beachte auch das Schwingen des Vierpunkthereglers, was jedoch keinen Einfluss auf die NO_x Emissionen hat, weil der Katalysatorkörper sehr grosszügig dimensioniert wurde.

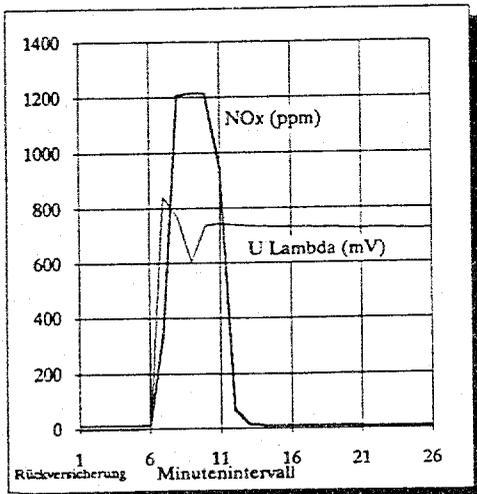
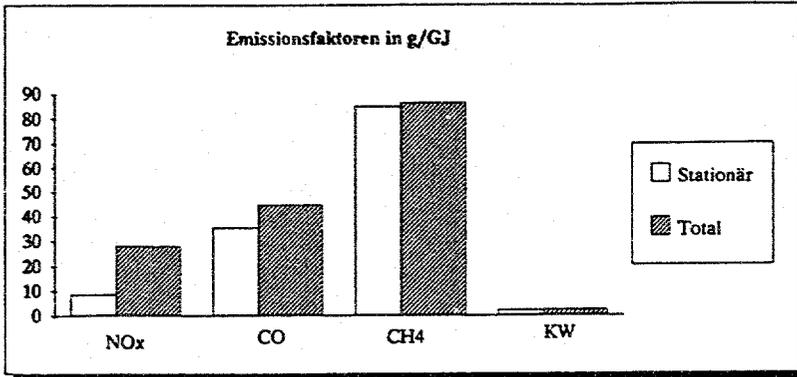


Bild 4: Anfahrvorgang Anlage 2

Ein völlig anderes Verhalten zeigt diese Anlage. Der Start erfolgt offensichtlich in einem Bereich mit hohem NO_x Emissionen (> 1000 ppm). Nach Erreichen der notwendigen Betriebstemperatur im Abgas greift der Regler ein, ca. vier Minuten nach dem Start beginnen die NO_x Emissionen wieder zu sinken und erreichen nach 6-7 Minuten ihre Minimalwerte.

Bild 5 zeigt die Emissionsfaktoren der Anlage eins bis vier mit und ohne Berücksichtigung des Anlaufvorgangs.



6. SCHLUSSFOLGERUNGEN

Ausgehend von unseren Messung ziehen wir die nachstehend angegebenen Schlussfolgerungen:

- ◆ Gasmotoren mit Dreiwege-Katalysatoren können äusserst geringe Schadstoffemissionen aufweisen, wenn sie optimal eingestellt werden. Insbesondere die NO_x Emissionen werden von keiner anderer WKK- oder Kesselanlage erreicht.
- ◆ Bei der Inbetriebnahme des Katalysators müssen unbedingt Abnahmemessungen durchgeführt werden. Es ist beschämend, wenn die Lieferanten ihre Anlagen mit Träger-Röhrchen einstellen. Nur hochqualifizierte Messgeräte kommen dafür in Frage. Gemessen werden NO_x, CO und die Spannung der Lambda-Sonde. Nach Durchführung der Einstellung ist eine kontinuierliche Abnahmemessung von 60 Minuten durchzuführen.
- ◆ Anlagen mit Katalysatoren und Regeleinrichtungen müssen auf den jeweiligen Motor zugeschnitten werden. Am besten werden integrierte Motor-Katalysator-Kombinationen verwendet.
- ◆ Der Planer hat durch ein geeignetes Regelkonzept dafür zu sorgen, dass die mittlere Laufzeit pro Anlauf möglich hoch ist. Als Minimum können 4 h pro Anlauf betrachtet werden.

7. WEITERE FORSCHUNGSARBEITEN.

Insbesondere im Bereich der Langzeitstabilität der Konversionsraten liegen noch keine stichhaltigen Erkenntnisse vor. Folgende Ursachen können zu einer Zunahme der Emissionen führen.

- ◆ Alterung der Lambdasonde
- ◆ Abnahme der Aktivität der Katalysatorbeschichtung

Die entsprechenden Fragestellungen sollen in einem zukünftigen Projekt beantwortet werden.

WKK MIT HOLZGEFEUERTEM STIRLINGMOTOR**Ziel des Projekts:**

In Kombination mit einem neuartigen Feuerungssystem für Holz-schnitzel soll ein Kurbelwellen-Stirlingmotor in einer Wärme-Kraftkoppelungsanlage untersucht werden.

Das primäre Ziel stellt die Analyse des Betriebsverhaltens des Schnitzel/Stirlingsystemes dar.

Neben den thermischen und elektrischen Wirkungsgraden interessieren die Mengen der emittierten Schadstoffe wie Partikel, Stickoxide und Kohlenwasserstoffe.

Dauer des Projekts: 1.2.1988 bis 30.3.1989

Beitragsempfänger: Zentrum für Angepasste Technologie, Langenbruck

Berichterstatter: Ch. Gaegauf

Adresse: 4438 Langenbruck

Telephon: 062 60 14 60

1. Projektziele 1988

Im Berichtsjahr wurden die zwei Schwerpunkte

- Anlageprojektierung der Holzschnitzel gefeuerten Wärme-Kraftkopplungsanlage in die bestehende Bau- und Haustechnikinfrastruktur
- Feuerungstechnische Untersuchungen an dem neuartigen Schnitzelbrenner

anvisiert.

Zur Abklärung der technischen Aspekte des Stirlingmotors erfolgte ein Besuch bei dem Lieferanten in den USA. Gleichzeitig bot sich die Gelegenheit beim Konstrukteur des Holzschnitzelbrenners einen Einblick in die Eigenschaften des Feuerungsaggregates zu gewinnen.

2. Durchgeführte Arbeiten

Im Berichtsjahr lag der Schwerpunkt der Arbeiten in der Planung der Wärme-Kraftkopplungsanlage. Bauseits wurde auf die kostengünstige Einbindung der Anlage in die bestehenden Gebäudestrukturen geachtet. Besondere Sorgfalt galt dem hydraulischen Gesamtkonzept der verschiedenen Energieerzeugungsanlagen wie Stirling-Wärme-Kraftkoppelungsanlage, Diesel-Wärme-Kraftkopplungsanlage, Niedertemperaturölkessel und der geplanten Sonnenkollektoranlage. Da für den Betrieb des Stirlingmotors ein Wasserspeicher erforderlich ist, wurde auf eine verlustarme Speicherbewirtschaftung geachtet. Für die Kühlung der Antriebsmaschinen der Wärme-Kraftkopplungsanlagen (Stirling- und Dieselmotor) musste das hydraulische Konzept auf tiefst mögliche Rücklauftemperaturen konzipiert werden. Im Rahmen einer Semesterarbeit löste ein Student des Labors für Energiesysteme der Eidgenössischen Technischen Hochschule Zürich (Prof. Dr. P.Suter) Detailaufgaben der Anlageplanung.

An einem Versuchsaufbau bei dem Projektpartner Schmid AG in Eschlikon erfolgten feuerungstechnische Untersuchungen am Holzschnitzelbrenner. Die Wärmeabführung gewährte ein Wärmeluftofen. Eine stufenlose Dosierung erlaubte die kontinuierliche Aenderung der Brennstoffzufuhr. In den Rauchgasen wurden Restsauerstoff, Kohlendioxid und Kohlenmonoxid gemessen. Die Daten wurden semikontinuierlich mit einer rechnergestützten Dataakquisition abgespeichert.

Eine erste Testserie hatte zum Ziel, die charakteristischen Eigenschaften des Schnitzelbrenners zu erfassen. Insbesondere waren die Parameter

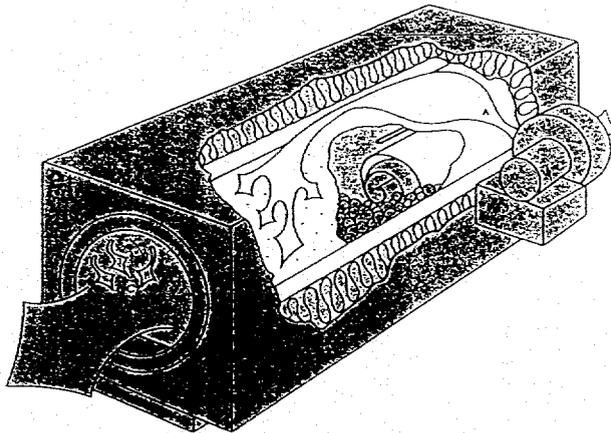
- Leistungsbereich
 - zulässiger Wassergehalt im Brennstoff
 - modulierende und intermittierende Betriebsweise
 - Verbrennung (Luftüberschuss, Kohlenmonoxidgehalt und Flammtemperatur
- von Interesse.

Aufgrund der ersten Resultate wurden Modifikationen an der Verbrennungsluftzuführung vorgenommen. In einer zweiten Versuchserie galt es, die vorgenommenen Aenderungen zu testen.

3. Ergebnisse

Die Untersuchungen am Schnitzelbrenner haben gezeigt, dass das Feuerungskonzept, wie es im vorliegenden Tunnelbrenner verwirklicht ist, gute Resultate zeitigt. Die Führung des Brennstoffes im Bewegtbett (siehe Abbildung 1) vermag eine weitgehend homogene Brennstoffschicht zu gewährleisten. Die Zonen der Stufenverbrennung sind von der Brennerkonstruktion her definiert. Dadurch ist die Auftrennung der Verbrennung in Trocknung, Verschwelung und Verbrennung (Oxidation) des Holzes in den einzelnen Zonen des Brenners gewährleistet.

Tunnelbrenner



- A Verbrennungsluftvorwärmung
- B Trocknungszone
- C Oxidationszone
- E Vergasungszone

Abbildung 1

Die Modifikation der Luftzuführung brachte eine deutliche Verbesserung der Verbrennung. In Diagramm 1 sind über verschiedene Brennstoffdurchsätze die Kohlenmonoxidemissionen aufgetragen. Die Werte sind gemäss den Normen auf 11 % Restsauerstoff bezogen. Testserie I umfasst die Resultate vor, Testserie II nach den Modifikationen am Brenner. Die Verminderung der Kohlenmonoxidemissionen lässt auf eine generelle Verminderung des Schadstoffausstosses schliessen.

2.8

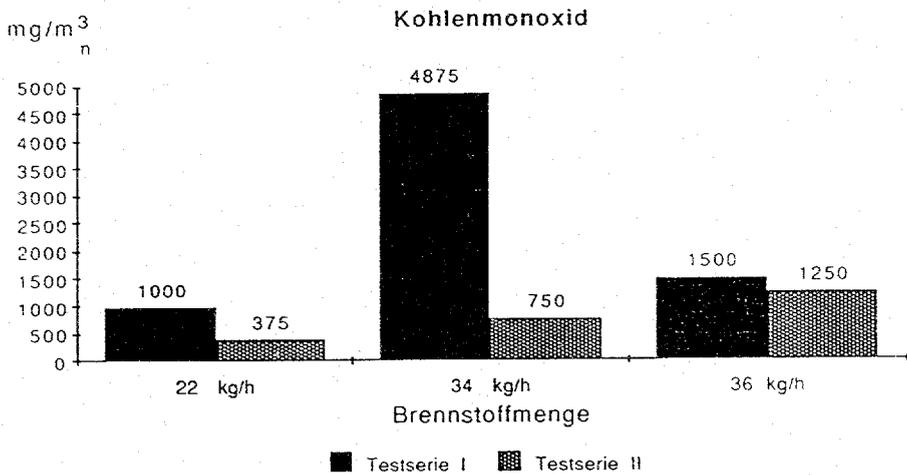


Diagramm 1

Aus Diagramm 2 sind die Verbesserungen des feuerungstechnischen Wirkungsgrades zu entnehmen. Die Verringerung des Luftüberschusses nach den Modifikationen bringt bei besserer Verbrennung einen höheren Wirkungsgrad.

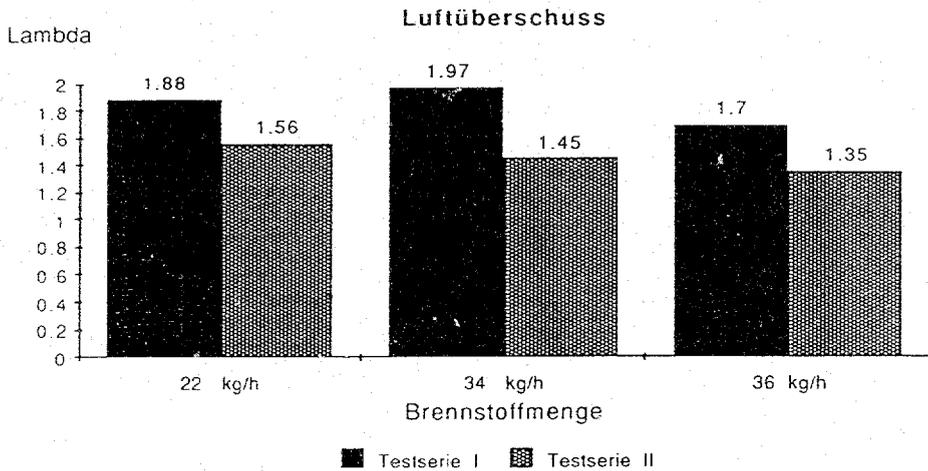


Diagramm 2

Der Brenner kann in einem Leistungsbereich zwischen 60 und

2.8

150 KW gefahren werden. Die Leistungsführung (Modulation) scheint in einem Bereich von 1:2 möglich. Hier liegen zur Zeit jedoch nur ansatzweise Resultate vor. In Diagramm 3 ist der Abfall der Verbrennungsqualität vor allem bei waldfrischen Holzschnitzeln (50% Wassergehalt) offensichtlich. Hier bedarf es weiterer Optimierungen einerseits in der Luftzuführung andererseits in der noch klareren Zonierung der Verbrennungsstufen. Diesbezügliche Modifikationen sind in Vorbereitung.

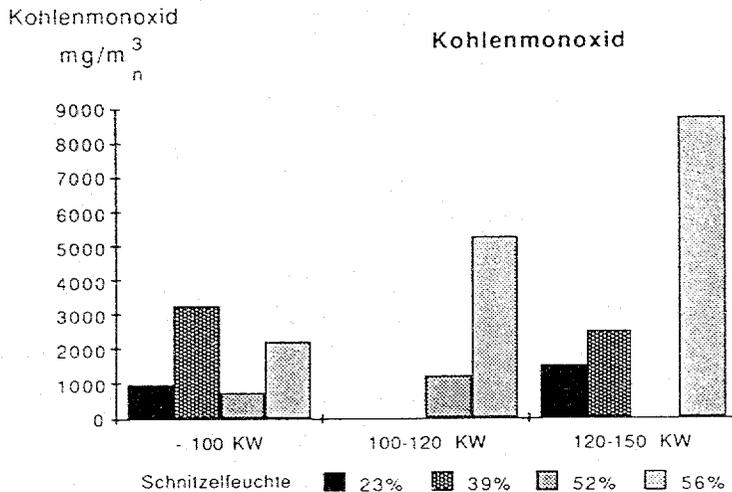


Diagramm 3

Seitens des Stirlingmotors liegt weiter das Hauptproblem in der Auslieferung. Zur Zeit befindet sich ein Schreiben der Lieferfirma bei der Projektleitung mit der Angabe des Auslieferungstermins Ende Mai 1989. Nach wie vor ist aber dieser wichtigste Teil des ganzen Projektes der kritischste Punkt im Terminplan.

4. Neue Forschungsarbeiten

Im Laufe des Projektes hat sich gezeigt, dass das bessere Verständnis des Verbrennungsvorganges im Holz notwendig ist. Dadurch könnte die Regelung für eine optimale und saubere Verbrennung weiter verbessert werden. Gerade die Senkung der Stickoxidemissionen bei Holzfeuerungen dürfte zukünftig von zentraler Bedeutung sein. Das Projektteam hat sich daher entschlossen einen Kybernetiker beizuziehen, der mit den Mitteln der technischen Kybernetik Wege zu einer optimalen Verbrennungsführung aufzeigen soll. Allerdings reichen die

Finanzen nicht aus, um über Ansätze hinaus Aussagen tätigen zu können, wie eine Regelung einer Holzfeuerung beschaffen sein muss, um neben einer vollständigen Verbrennung auch nur geringe Emissionen von Stickoxiden vorliegen zu haben. Neben der Regelung sind auch Feuerraumgeometrien zu optimieren, die eine gesamthaft emissionsarme Verbrennung gewährleisten. Weiterführende Untersuchungen, die über das vorliegende Projekt hinausgehen, scheinen dem Projektteam äusserst sinnvoll und nützlich, sind doch in letzter Zeit vermehrt Stimmen laut geworden, die auf die Emissionen von Holzfeuerungen hinweisen. Dass Holzfeuerungen jedoch nicht a priori einen hohen Schadstoffauswurf aufweisen müssen, zeigen die ersten Analysen des vorliegenden Projektes. Es zeigt sich jedoch, dass noch weitere Arbeiten notwendig sind.

3. 1

O F E N

PROJETS DE RECHERCHE ÉNERGÉTIQUE 1988

B E W

ENERGIE - FORSCHUNGS - PROJEKTE 1988

FLAMMENUNTERSUCHUNGEN UND DEREN MODELLIERUNG

Ziel des Projekts:

Ziel des Projektes ist die Entwicklung eines Werkzeuges für die numerische Simulation von Diffusionsflammen, speziell im Hinblick auf die Entwicklung von schadstoffarmen Feuerungen im Heizungsbereich. Diese Modelle werden überprüft durch Messungen an einer Versuchs-Brennkammer, d.h. durch die Bestimmung von Strömungsgeschwindigkeits-, Temperatur- und Konzentrationsfeldern (CO , CO_2 , NO , O_2 etc.)

Dauer des Projekts: 1.8.88 bis 31.12.91

Beitragsempfänger:

Berichterstatter:

D. Aiulfi / Dr. J. Gass

Adresse:

Telephon:

01 / 256 36 43

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

1.) Anvisierte Zielpunkte für 1988

Die Hauptziele für 1988 waren die folgenden :

- Validierung von unseren Verbrennungsmodellen durch Messungen an Diffusionsflammen ohne Drall .
- Berücksichtigung der Emissions- und Absorptionskoeffizienten des Gases in Funktion ihrer örtlichen Zusammensetzung von Abgasen und Temperatur.
- Zusätzliche Berücksichtigung der Mittelwertabweichungen der fluktuierenden Größen mittels Wahrscheinlichkeitsfunktionen.
- Verfeinerung des reaktionskinetischen Modells für die Berechnung der verschiedenen Radikalen (Reaktionen mit mehreren Stufen).

2.) Durchgeführte Arbeiten 1988

Diese Arbeiten können in zwei Kategorien geteilt werden :

- Messungen auf dem Prüfstand
- Modellierung der Verbrennung

2.1) Messungen

Diese Messungen sollten uns erlauben, unsere Modelle zu validieren. Im Vergleich zu früheren Arbeiten wurde der Brennerkopf geändert. Diese neue Ausführung erlaubt uns eine stabile Flamme über einen größeren Variationsbereich des Luftüberschusses. Bis jetzt wurden zwei verschiedene einfache Diffusionsflammen ohne Drall untersucht, nämlich mit Leistungen von 135 und 220 kW. Gemessen wurden Temperaturverteilungen, Strömungsverteilungen, Konzentrationsprofile verschiedener Spezies und die Abgaszusammensetzung im Kamin. Ähnliche Messungen sind geplant für einen neuen Flammentyp, wo die Lufteinführung gestuft als Primär- und Sekundärluft erfolgt. Weitere Messungen sind in Vorbereitung unter Verwendung eines Brennkammereinbaus mit ungekühlten Wänden, der höhere Flammentemperaturen und eine höhere Brennkammerbelastung erlaubt.

2.2) Modelle

- Das Strahlungsmodell wurde verbessert, indem der Absorptions- und Emissionskoeffizient nicht mehr als konstant sondern als Funktion der Temperatur und der Konzentrationen von CO_2 und H_2O angenommen wird.

- Die Fluktuationen der Konzentrationen und der Enthalpie wurden im Modell eingebaut. Mittels einer willkürlich gewählten Wahrscheinlichkeitsverteilung (PDF) für den Mischungsanteil des Brennstoffes wurde der Mittelwert der Konzentrationen und der Temperatur gerechnet. Zwei verschiedene PDF-Formen wurden geprüft (Gauss-Verteilung, Rechteck-Verteilung).

- Bis jetzt war die Reaktionsgeschwindigkeit als unendlich schnell angenommen, dass heisst, sie war nur durch den Mischungsvorgang kontrolliert. Die Benützung der PDF-Funktionen bringt eine wesentlich bessere Übereinstimmung mit dem Experiment.

- Als Variante, die keine PDF benötigt, wurde das Eddy-Dissipation-Modell von B. F. Magnussen geprüft. Mit diesem Modell ist die Geschwindigkeit der Reaktion nicht mehr unendlich schnell, sondern eine Funktion der Turbulenz und der Mischung der beiden Komponenten Luft und Brennstoff.

- Die Berechnung der Produktion von thermischem NO mit dem Zeldovitch Mechanismus ist für die verschiedenen Modelle jetzt möglich.

3.1

- Im Dezember 1988 ist die Einführung eines zwei-stufigen Verbrennungsmodells geplant. Die Verfeinerung des reaktionskinetischen Modells für die Berechnung der verschiedenen Radikale wurde noch nicht in Angriff genommen. Bevor wir in diese Richtung vorstossen, möchten wir diese vereinfachten Verbrennungsmodelle überprüfen und sehen, inwiefern sie für die Praxis anwendbar sind. Einfache Modelle müssen deshalb im Auge behalten werden, weil sie viel weniger Rechenzeit im Vergleich zu den detaillierten Modellen brauchen und somit auch in der Praxis anwendbar sind. Die Einführung der komplexeren Reaktionskinetik für Methangas würde die Rechenzeit um einem Faktor 15 vergrössern, was im Moment die am RZETH vorhandene Rechenkapazität übersteigt.

3.) Erreichte Ergebnisse

3.1) Messungen

In Fig. 1 ist der verbesserte Brennerkopf dargestellt.

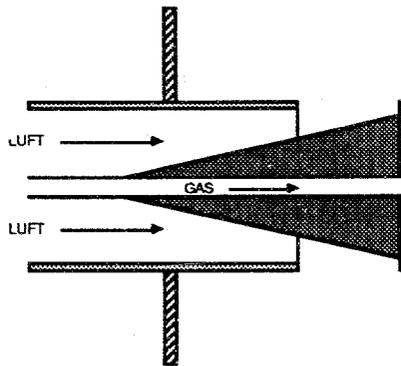


Fig. 1 Querschnitt des Brennerkopfes

Der Brenner besteht aus einer konzentrischen Anordnung von Gas- und Luftdüsen. Der ringförmige Luftaustritt ist durch einen Konus und eine Stauscheibe teilweise abgedeckt. Im Vergleich zum früheren Brenner erzeugt dieser eine grössere Rezirkulationszone und so eine bessere Stabilität der Flamme, da die Mischung besser geworden ist. Einige Messergebnisse werden später mit entsprechenden Rechnungen vorgestellt.

3.2) Modellierung

Es ist leider nicht möglich alle Ergebnisse hier darzustellen, es können nur die wichtigsten erwähnt werden.

3.2.1) Einführung der Fluktuationen des Mischungsanteils

Wenn die Reaktionsgeschwindigkeit als unendlich schnell angenommen wird, kann man die Verbrennung mit dem Mischungsanteil f beschreiben. Die Definition von f (Anteil des Brennstoffs in der Luft) basiert darauf, dass man die Bilanzgleichungen für Brennstoff und Oxidant unter Berücksichtigung des stöchiometrischen Faktors s (für Erdgas 3.5 kg Sauerstoff für 1 kg Gas) so voneinander subtrahiert, dass man eine Gleichung für den kombinierten Massenanteil $\gamma = m_{fu} - m_{ox} / s$ erhält, die keinen Quellterm besitzt. Durch die Normierung dieses kombinierten Massenanteils auf die Eintrittsbedingungen erhält man den Mischungsanteil f

$$f = \frac{\gamma - (m_{ox}/s)_{in}}{m_{fu,in} - (m_{ox}/s)_{in}}$$

dessen Werte immer zwischen 1 und 0 liegen (Fig. 2).

Bei zusätzlichen Annahmen reicht sogar nur f zur Berechnung aller anderen Massenanteile aus.

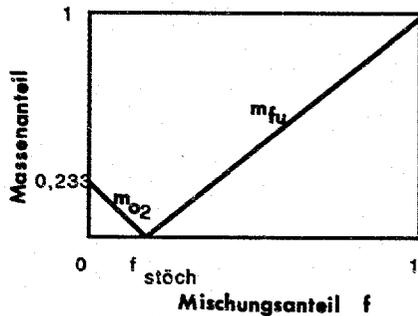


Fig. 2 Zusammensetzung der Abhängigkeit der Massenanteile von f

Dieses Modell führt zu hohen Temperaturen in der Reaktionszone ($f = f_{\text{stöch}}$) wegen der schnellen und vollständigen Verbrennung. Eine Verbesserung liegt in der Anwendung von Wahrscheinlichkeitsfunktionen. Wegen der Turbulenz ist f an einem bestimmten Ort eine variable Größe. Im Modell werden diese Fluktuationen durch Wahrscheinlichkeitsfunktionen (PDF) beschrieben, wobei die Schwankungsbreite durch die Varianz der PDF beschrieben wird. Die Wahl der Form der Wahrscheinlichkeitsverteilung erfolgt mangels genauer Kenntnisse willkürlich, wegen der Handhabbarkeit meist eine Gauss- oder ähnliche Funktion.

Die Anwendung der PDF bewirkt eine Verbreiterung der Reaktionszone, und das führt zu tieferen mittleren Temperaturen. Diese Fluktuationen spielen eine wichtige Rolle für die thermische NO_x -Bildung, dessen Produktion exponentiell von der Temperatur abhängt. Die Fig. 3 zeigt einen Vergleich zwischen je einer Rechnung mit und ohne Fluktuationen.

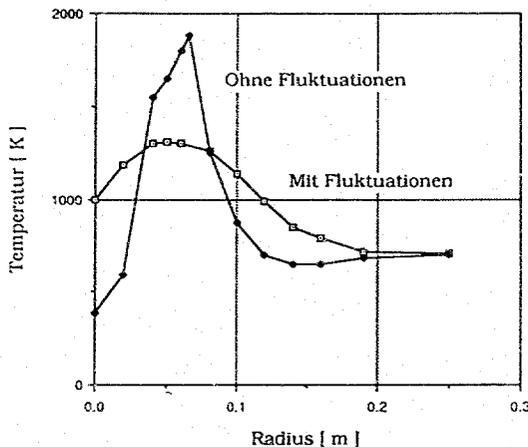


Fig. 3 Gerechnete Temperaturprofile mit und ohne Fluktuationen

3.2.2 Vergleich Messung-Rechnung

Für eine konstante Leistung von 135 kW wurde die Luftzahl von 1.3 bis 2.5 geändert. Die NO_x Konzentration im Kamin wurde gemessen und mit Rechnungen verglichen (Fig 4).

Die Temperatur wurde für die Rechnung des NO_x auf 2100 K begrenzt. Man merkt, dass für hohe Luftüberschüsse die Übereinstimmung gut ist. Für tiefere Luftüberschüsse ist die Produktion des NO_x falsch gerechnet und entspricht den Messungen nicht mehr. Der Grund dafür könnte eine schlechte Annahme für die Produktionsterme der Turbulenz und damit eine falsche Berechnung der Fluktuation von f sein. Diese sind für kleine Luftüberschusswerte grösser gerechnet als für höhere, was nicht den Erwartungen entspricht. Es scheint, dass wir uns in einem Fall befinden, wo die Annahmen für die Modellierung der Fluktuationsgleichung nicht mehr vernünftig sind. Die jetzige Arbeit besteht darin, diesen Problembereich besser zu verstehen.

Es ist interessant einige Profile von Messungen und Rechnungen zu vergleichen, zuerst die Fig. 5/6/7 für eine Luftzahl von 1.3 und dann die Fig. 8/9 für 2.2.

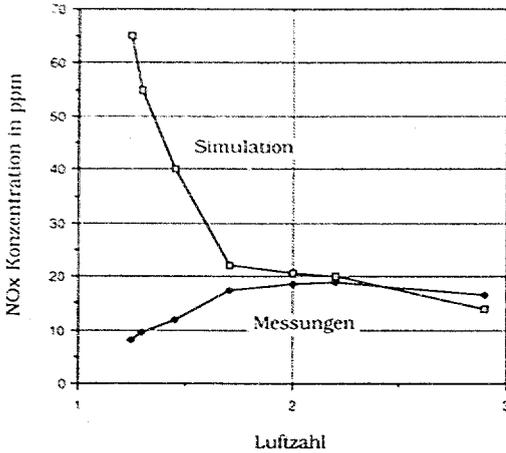


Fig. 4 NO_x Konzentrationen in Funktion der Luftzahl

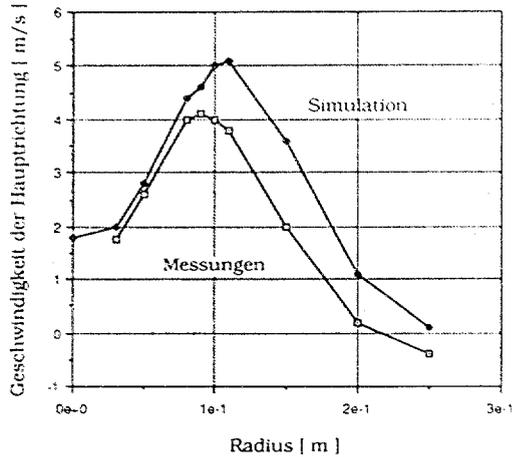


Fig. 5 Geschwindigkeitsprofile 30 cm vom Brenner, Luftzahl = 1.3

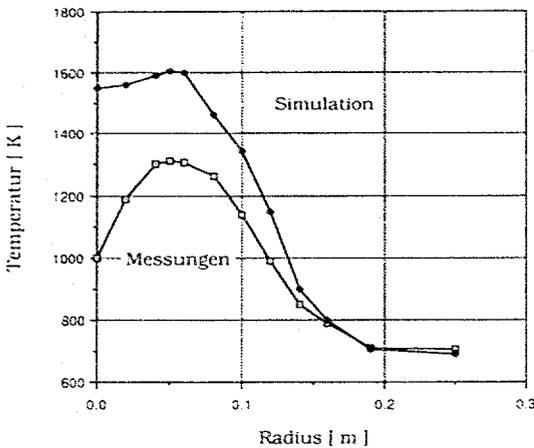


Fig. 6 Temperaturprofile 30 cm vom Brenner, Luftzahl = 1.3

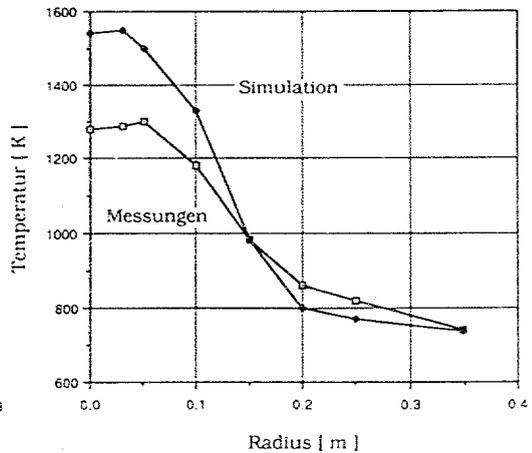


Fig. 7 Temperaturprofile 60 cm vom Brenner, Luftzahl = 1.3

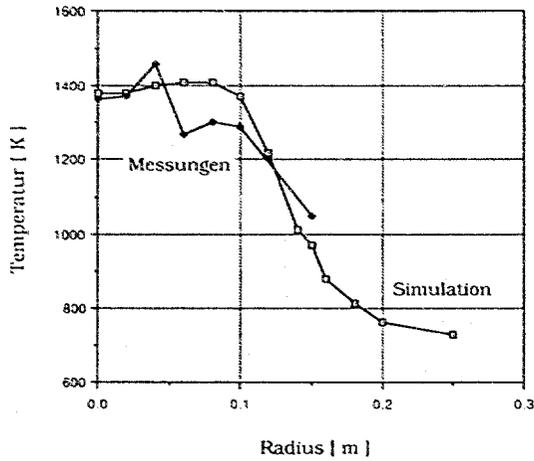


Fig. 8 Temperaturprofile 30 cm vom Brenner, Luftzahl = 2.2

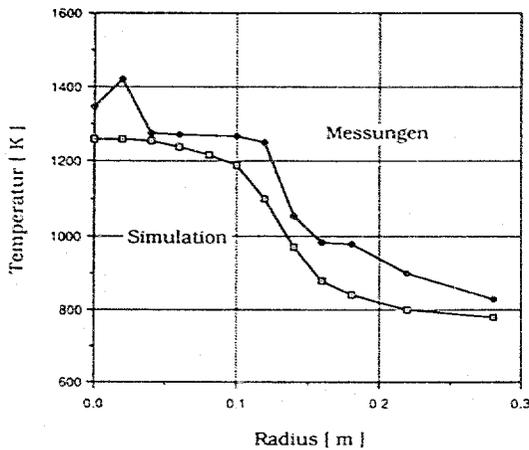


Fig. 9 Temperaturprofile 60 cm vom Brenner, Luftzahl = 2.2

Für die Luftzahl von 1.3 sind die gerechneten Temperaturen zu hoch, besonders in der Nähe der Symmetrieachse. Bei grösseren Werten der Luftzahl wird die Abweichung kleiner, die mittlere Temperatur und damit auch die NO_x -Bildung wird besser gerechnet. Es scheint, dass im Modell zu viel Wärme zu schnell freigesetzt wird. Vom zweistufigen Reaktionsmodell erwarten wir auch für kleinere Luftüberschüsse tiefere Temperaturen und NO -Werte. Die berechneten Geschwindigkeiten stimmen mit den Messungen gut überein, besonders wenn man an alle Messungenauigkeiten denkt, wie zum Beispiel die Dichte (Konzentration, Temperatur) am Messpunkt.

3.2

O F E N

PROJETS DE RECHERCHE ÉNERGÉTIQUE 1988

B E W

ENERGIE - FORSCHUNGS - PROJEKTE 1988

3-D BESTIMMUNG DER FLAMMENTEMPORFELDER

Ziel des Projekts:

Entwicklung eines Schnellmessverfahrens für dreidimensionale Temperaturfelder in Flammen, basierend auf einer tomographischen Auswertung 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:

Berichterstatter: H.PETER

Adresse:

Telephon:

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

01 256 36 45

3. 2

1. Anvisierte Zielpunkte 1988

- Inbetriebsetzung des Holographielabors im Gebäude der EAWAG (Tüffenwies 36).
- Erste Transmissionshologramme und deren Auswertung mit dem Bildverarbeitungssystem.

2. Durchgeführte Arbeiten 1988

Im Vordergrund stand Aufbau und Einrichtung des Holographielabors. Zuerst musste der definitive optische Aufbau festgelegt werden (Fig.1) : links erkennt man Puls laser mit Justierlaser (Schwarz) . Kernstück ist das Referenzstrahlmodul mit zwei externen Pockelszellen (Kristalle, die als opto-elektronische Verschlüsse benützt werden können), die im Doppelpuls mode des Lasers erlauben auch bei kurzen Zeitabständen (1 μ sec) mit zwei unterschiedlichen Referenzstrahlen zu arbeiten. Der rechte Tisch trägt hauptsächlich die Hologrammplatte mit Shutter, oder die Holographiekamera, und den zweiten Parabolspiegel. Der gefaltete Weg des Referenzstrahls dient zum Ausgleich der Weglängen von Objekt und Referenzstrahl. Der Aufbau wurde möglichst kompakt gewählt, um die Empfindlichkeit gegen Erschütterungen klein zu halten.

Im August konnte der Puls laser in Betrieb genommen werden. Die Abnahmeversuche zeigten, dass alle Spezifikationen bezüglich Leistung und optischer Qualität auf Anhieb erfüllt wurden. Ebenfalls funktionierte die externe Steuerung einwandfrei. Sie erlaubt die Fernbedienung des Lasers ab Keyboard eines PC und sorgt für ein exaktes "timing" der Laserpulse (Auflösung 0.1 μ sec). Anschliessend konnten die folgenden Punkte bearbeitet werden :

- Montieren und Justieren der Optik (u.a. die sehr heikeln Pockelszellen).
- Inbetriebnahme der Thermoplast-Holographiekamera.
- Einarbeiten in die Hologramm-Aufnahmetechnik und Entwicklung.
- Einarbeiten in das Bildverarbeitungssystem, dabei ergaben sich einige Hardware und Software Probleme.

3. Erreichte Ergebnisse in 1988

Kürzlich gelang die erste qualitative Auswertung eines Transmissionshologramms eines Heissluftstrahls mit der zwei-Referenzstrahlen-Methode. Dieser Heissluftstrahl dient als Übungsobjekt für die später anvisierten Messungen an Flammen.

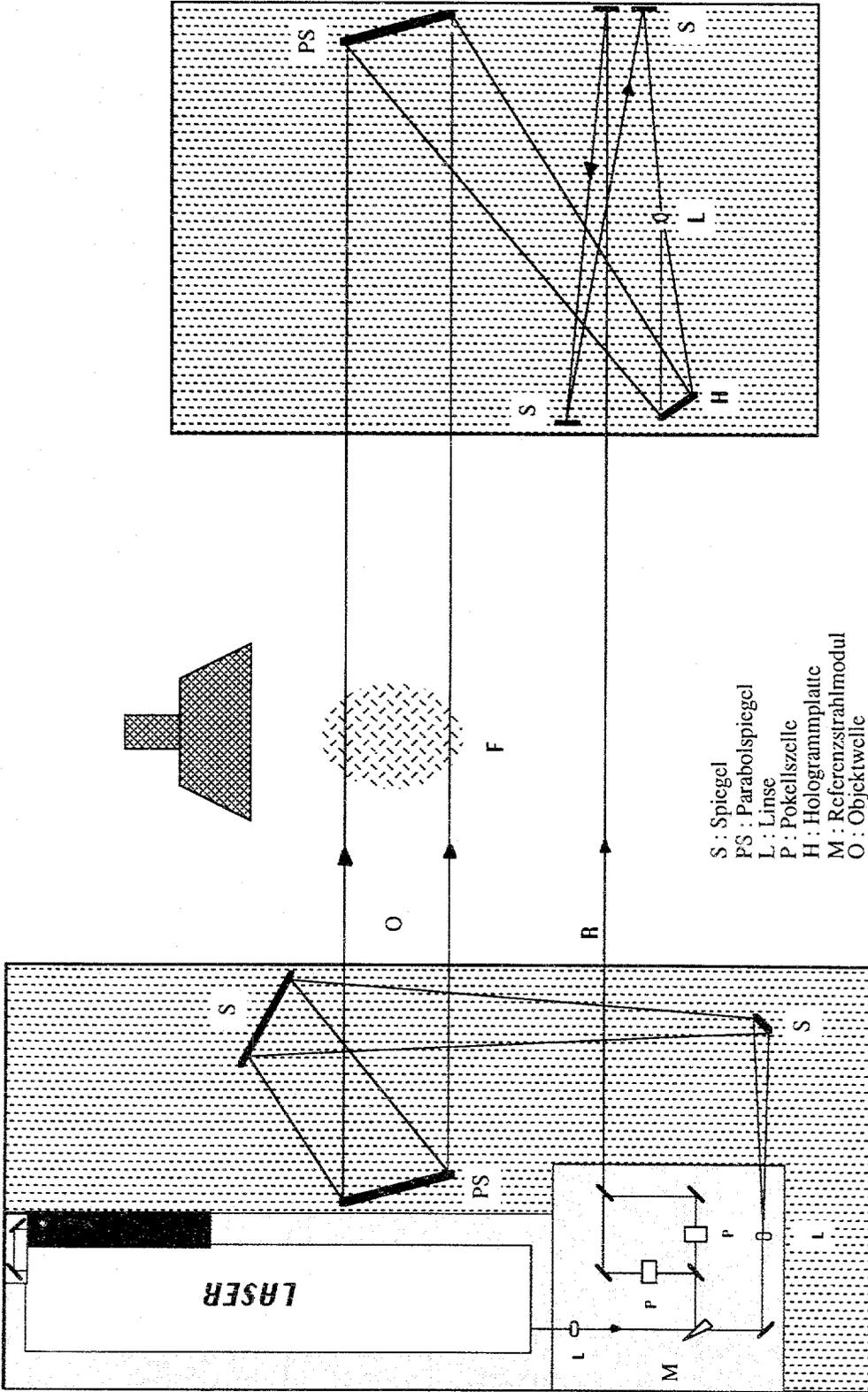


Fig. 1 Optischer Aufbau



Fig. 2 Streifenmuster



Fig.4 Integrierte Phasemap

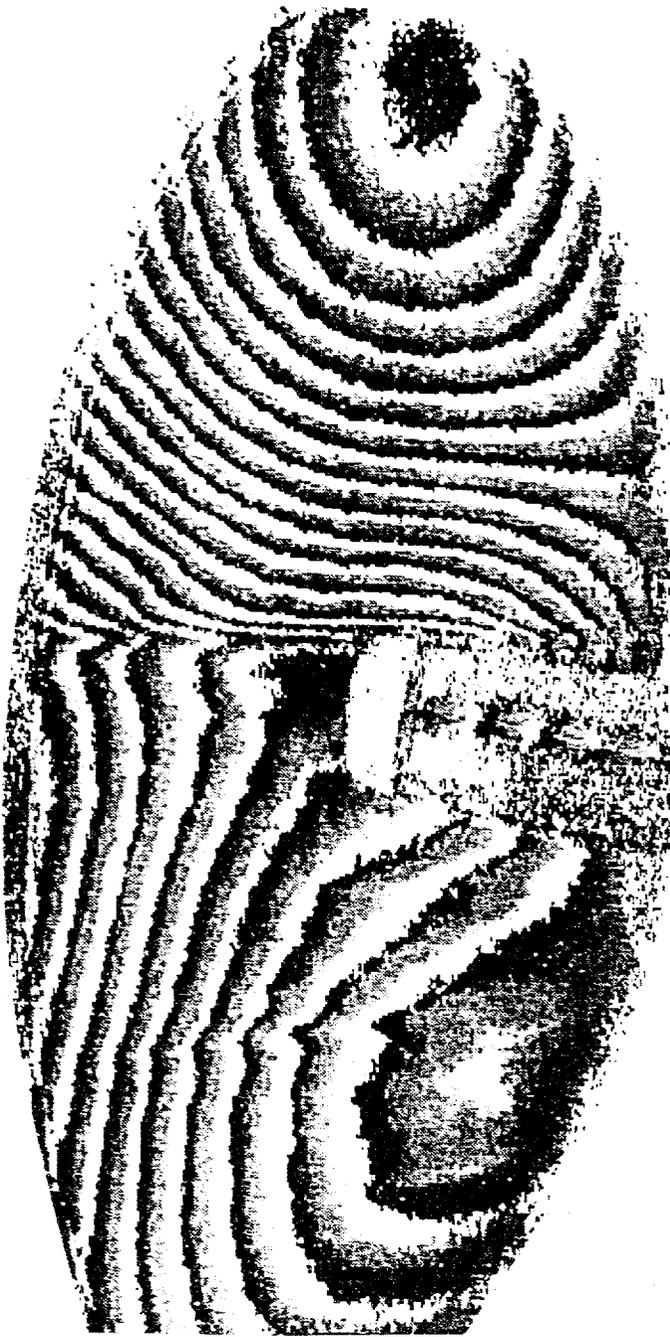


Fig.3 Phasemap (Seitenverkehrt).

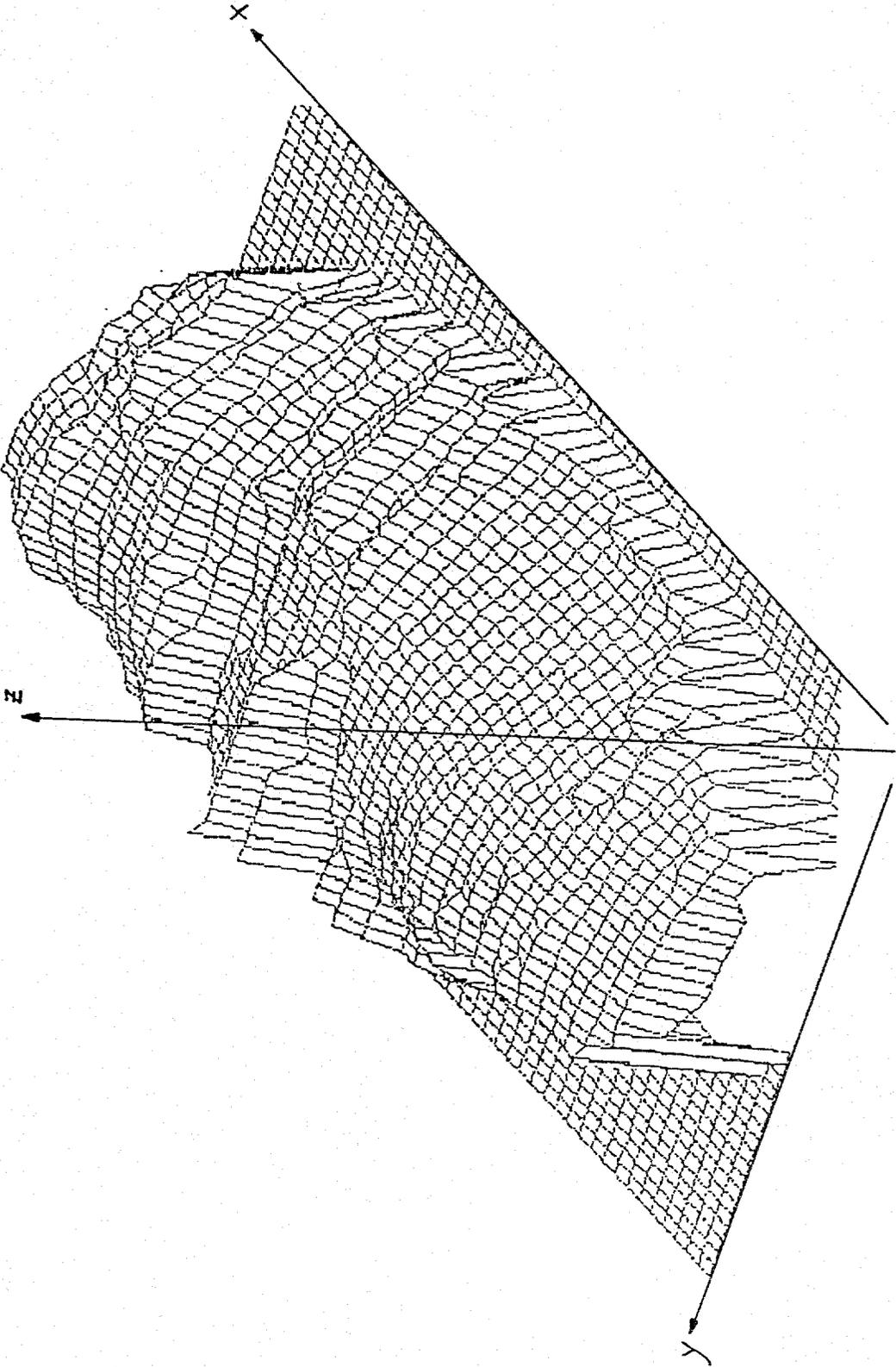


Fig.5 Pseudo3D Plot der Deformation

Die Methode besteht im Prinzip aus einer Überlagerung von zwei Aufnahmen : die Erste mit, die Zweite ohne Heissluftstrahl (on/off). Im folgenden wird nun aber die Auswertemethodik anhand eines Doppelpulsreflexionshologrammes beschrieben, das die Vibrationen einer Oberfläche darstellt. Die zwei Aufnahmen wurden mit zwei verschiedenen Referenzstrahlen aufgenommen, die zueinander einen kleinen Winkel aufweisen. Bei der Rekonstruktion werden beide Referenzstrahlen benützt, wobei jeder je eines der überlagerten Hologramme rekonstruiert. Mit einem Piezo-quartz ist es möglich die Phase eines der beiden Strahlen zu verschieben, damit kann auch die Phasenlage des Interferenzbildes der beiden überlagerten Rekonstruktionen verschoben werden. Aus drei, um je 120° phasenverschobenen Streifenmusterbilder (Fig.2) , wird eine Phasemap modulo 2π erzeugt (Fig.3). Dabei ist die Intensitätsverteilung nicht mehr sinusförmig , sondern tangensförmig, was durch die folgende Bilderkombination erreicht wird :

$$\tan \varnothing = \sqrt{3}(I_3 - I_2) / (2I_1 - I_2 - I_3)$$

I_1 = Phasenverschobene Streifenbilder.

Vorteil ist, dass die Richtung (positiv oder negativ) der Phaseninformation \varnothing erkannt werden kann. Die Integration über \varnothing dieser Phasemap (Fig.4) erlaubt es eine Pseudo 3D Darstellung der Deformation zu erzeugen (Fig.5). Diese Daten erlauben eine quantitative Auswertung der Verschiebung der Oberfläche zwischen den beiden Pulsen. Bei den Transmissionshologrammen enthält die Interferenzordnung die Information über die optische Dichte im Gasstrahl, was eine quantitative Auswertung der Temperaturen erlaubt.

In nächster Zukunft soll nun die Aufnahmetechnik für Transmissionshologramme verbessert werden, damit auch hier kontrastreiche Bilder zur Verfügung stehen.

Dazu soll dann auch die Verbindung zwischen den Daten des Bildverarbeitungs-systems (integrierte Phasemap) und der bereits im letzten Jahresbericht beschriebenen Konvolutionsmethode für die Ermittlung von 3D Temperaturfeldern hergestellt werden.

5. Veröffentlichungen

"Ongoing Research at the ETH Lab for Energy Systems (LES)

- a) 3D temperature measurments in flames by holographic interferometry
- b) Combustion simulation with the Phoenix Code at the LES-Test-Facility"

J.Gass, D.Aiulfi, H.Peter.

IEA Energy Conservation in Combustion; X.Task leaders Meeting Sept. 88 Amalfi, Italy.

SCHNELL-MESSVERFAHREN IN FLAMMEN

Ziel des Projekts:

Für die Entwicklung von Brennern mit minimalisiertem NO_x -Ausstoss spielt die Optimierung der Temperaturverteilung in der Flamme eine wesentliche Rolle. Ziel dieses Projektes ist es, ein Verfahren zu entwickeln, das durch Abbildung der Flamme in ausgesuchten Spektralbereichen diese Temperaturverteilung qualitativ sichtbar macht. Damit sollte es möglich sein, die bei Brennermodifikationen erzielten Veränderungen zu beurteilen.

Dauer des Projekts: 1.12.88 - 30.11.90

Beitragsempfänger:

Berichterstatter: Dr. Jürg Gass / Peter Stuber

Adresse:

Telephon:

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

01 256 36 45

O F E N

PROJETS DE RECHERCHE ÉNERGÉTIQUE 1988

B E W

ENERGIE - FORSCHUNGS - PROJEKTE 1988

LASER-DIAGNOSTIK**Ziel des Projekts:**

Es ist das Ziel, eine effiziente Laser Methode zur störungsfreien Messung der lokalen Temperatur und Konzentration weiterzuentwickeln zur Erarbeitung der notwendigen Kenntnis der grundlegenden Wechselwirkung, um in der Zukunft entscheidende Fortschritte bei einer besseren Ausnutzung des Brennstoffs und der Verminderung der Bildung von Schadstoffen zu erzielen.

Dauer des Projekts: 1.8.1989 - 31.12.1991**Beitragsempfänger:** PSI, CH-5232 Würenlingen + Villigen**Berichterstatter:** Dr. B. Ineichen**Adresse:** 5232 Würenlingen + Villigen**Telephon:** (056) 99 21 11

CYANURSÄURE-ABGASREINIGUNG VON DIESELMOTOREN

Ziele des Projektes:

- ◆ Das Verständnis für die grundlegenden Reaktionsabläufe bei der selektiven NO_x Reduktion mit Cyanursäure soll vertieft und erweitert werden.
- ◆ Das Verfahren soll in Laborversuchen und zwecks Umsetzung in die Praxis, mit realem Abgas an einem Dieselmotor untersucht werden.
- ◆ Es soll grundsätzlich abgeklärt werden, in welchen anderen Verbrennungsprozessen das Verfahren eingesetzt werden kann.

Dauer des Projektes:

Apr. 1988 bis März 1990 (Phase I und II)

Beitragsempfänger:

Dr. Eicher & Pauli AG Liestal
Paul Scherrer Institut Würenlingen

Berichterstatter:

Hp. Eicher, M. Koebel, M. Elsener

Adresse:

Oristastrasse 85, 4410 Liestal

Telephon:

061/921 99 91

1. EINLEITUNG

Im Dezember 1986 publizierten Perry & Siebers einen Artikel über die Reduktion von Abgasen in Dieselmotoren mittels Cyanursäure. Bereits bei 350 °C wurde eine sehr starke Reduktion von NO nachgewiesen. Dies war der Anlass für die Planung eines eigenen Forschungsvorhabens mit dem im April 1988 begonnen wurde. In der Zwischenzeit wurde die Analysetechnik für die Bestimmung aller relevanten Abgasbestandteile zu einem grossen Teil bereitgestellt. Der Aufbau einer Laborapparatur ist im Gange. Im August 1988 veröffentlichte Siebers weitere Forschungsarbeiten die ergaben, dass Harnstoff für den von uns geplanten Einsatz besser geeignet ist als Cyanursäure. Bei den weiteren Arbeiten wird daher ausschliesslich Harnstoff eingesetzt. Gleichzeitig können wir aufgrund der Arbeiten in den USA schneller als ursprünglich geplant war, mit der Entstickung eines Teilvolumenstromes an einem realen Dieselmotor beginnen.

2. ANALYTIK VON ABGASKOMPONENTEN

Ausser den typischen Abgaskomponenten wie Kohlendioxid (CO₂), Kohlenmonoxid (CO), Sauerstoff (O₂) und Stickstoffmonoxid (NO) interessieren uns vor allem die Folgeprodukte der Cyanursäurepyrolyse und ihrer Reaktion mit den Abgaskomponenten:

- ◆ Isocyanensäure (HNCO) als Hauptprodukt und Blausäure (HCN) als Nebenprodukt der Cyanursäurepyrolyse.
- ◆ Ammoniak (NH₃) von der Isocyanensäurehydrolyse.
- ◆ Distickstoffmonoxid (N₂O, Lachgas) als Nebenprodukt der Denoxreaktion.

2.1 Analyse von Stickstoffmonoxid, Sauerstoff und Kohlenoxiden

Die Bestimmung dieser Gase erfolgt mit herkömmlichen, kontinuierlich arbeitenden Gasanalysatoren. Geeicht wird mit käuflichen Eichgasen in Druckgasflaschen oder mit Aussenluft beim Sauerstoff.

Messverfahren:	Sauerstoff	Paramagnetismus
	Kohlendioxid	NDIR
	Kohlenmonoxid	NDIR
	Stickstoffmonoxid	Chemiluminiszenz

2.2 Analytik von Ammoniak, Blausäure, Isocyanensäure und Lachgas

Für diese Bestimmungen wurden nasschemische und gaschromatographische Analysemethoden gewählt. Als zentrales Problem erwies sich die grosse Reaktionsfreudigkeit der Isocyanensäure. Sie polymerisiert sehr schnell zu Cyanursäure und Cyamelid oder hydrolysiert mit Wasser zu Kohlendioxid und Ammoniak. Dieser Umstand erschwert ausserdem die Ammoniakbestimmung. Die einzigen in Frage kommenden Methoden zur HNCO-Bestimmung sind eine HPLC-Methode von [1] und eine gaschromatographische von [2]. Ein weiteres Problem ist die Instabilität von Gasgemischen mit kleinen HNCO-, HCN- oder NH₃-Gehalten. Diese sind in Druckgasflaschen nicht haltbar und müssen jeweils frisch hergestellt werden. Die in [3] beschriebene Methode für HCN-Eichgas konnte leicht angepasst auch für NH₃ und HNCO verwendet werden.

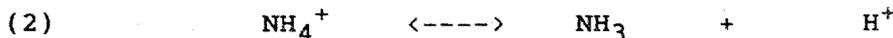
2.2.1 Herstellung von HNCO-, HCN- und NH₃-Eichgasen im ppm-Bereich

Blausäure-Eichgas: In einer wässrigen Natriumcyanid-Lösung stellt sich ein pH-abhängiges Gleichgewicht zwischen Cyanidionen und freier Blausäure ein.



Beim Durchleiten eines Gasstromes (Luft oder N₂) durch eine solche Lösung enthält der Gasstrom eine vom HCN-Partialdruck abhängige HCN-Konzentration. In dem man hohe Cyanidkonzentration vorgibt, die Lösung bezüglich H-Ionenaktivität gut puffert, bleibt der HCN-Partialdruck der Lösung auch bei langer Probenahme konstant, so dass man einen sehr stabilen Eichgasstrom erhält.

Ammoniak-Eichgas: Die Ammoniak-Eichgase erhält man auf gleiche Weise aus einer Ammoniumchloridlösung. Die Lösung wird mit einer NaH₂PO₄-Lösung gepuffert und der pH-Wert mit HCl eingestellt. Der NH₃-Gehalt wird nach Absorption in 0.01 N Schwefelsäure photometrisch nach der Indophenolmethode [4] bestimmt.



Isocyansäure-Eichgas: Für die HNCO-Eichgase dient eine wässrige Natriumcyanatlösung (NaOCN). Die HNCO-Konzentration wird nach Gleichung (3) ebenfalls durch eine pH-Verschiebung eingestellt.



Bei der Verwendung von konzentrierten Pufferlösungen aus NaH₂PO₄/Na₂HPO₄ und kleinen NaOCN-Konzentrationen bleiben die HNCO-Konzentrationen der entnommenen Eichgase bei 0 °C während 2-3 Stunden konstant. Es gelang Eichgase mit 40 ppm (pH 6.3), 24 ppm (pH 6.5) und 0.8 ppm (10% NaOCN, pH 10) herzustellen. Die Isocyansäure im Eichgas wurde nach der HPLC-Methode [1] bestimmt.

2.2.2 Gaschromatographische Bestimmung von HCN, HNCO, NH₃ und N₂O im ppm-Bereich

Aus der Arbeit von [2] über die GC-Bestimmung von HNCO ist ersichtlich, dass eine gleichzeitige HCN-Analyse möglich ist. Ein Varian Gaschromatograph wurde mit einem N-selektiven thermoionischen Detektor (TSD) und einer 20 m Megabor GS-Q Säule ausgerüstet. Die zusätzliche Bestimmung von NH₃ und N₂O ist zur Zeit in Bearbeitung.

HCN- und HNCO-Bestimmung: Grosse Probleme ergaben sich aus Adsorptionseffekten und Reaktionen an Stahloberflächen. Erst der vollständige Ersatz von Stahl in Probeleitung, Sampleloop und Detektorzuleitung durch Teflon ermöglichte die Bestimmung von HCN bis in den Bereich von 1 ppm. Eine Analyse von HNCO war jedoch auch im Bereich von 40 ppm noch nicht möglich. Die in [2] beschriebene Nachweisgrenze von 1 ppm konnte nicht erreicht werden. Allerdings wurde dort mit wasserdampffreiem Eichgas gearbeitet. Da in realen Abgasen jedoch immer Wasserdampf vorhanden ist, wird die aufwendigere HPLC-Methode der gaschromatographischen vorgezogen.

NH₃- und N₂O-Bestimmung: Diese beiden Komponenten ergeben beim TSD kein Signal und müssen mit dem weniger empfindlichen und nicht selektiven Wärmeleitfähigkeitsdetektor gemessen werden. Schwierigkeiten bereitet auch die richtige Säulenwahl, da das Ammoniak als schleppender Peak eluiert wird und schlecht vom Wasserpeak abgetrennt wird. Die zu erreichenden Nachweisgrenzen in einem realen Abgas dürften für NH₃ bei 80 - 100 und für N₂O bei 30 - 50 ppm liegen.

2.2.3 Isocyan säurebestimmung mit HPLC

Grundlage dieser in [1] beschriebenen Methode ist die Reaktion der HNCO mit einem sekundären Amin zu einem stabilen Harnstoffderivat. Für die Analyse wird ein bekanntes Gasvolumen durch eine Lösung mit N-4-nitrobenzyl-N-n-propylamin in Acetonitril geleitet. Der entstehende N-4-nitrobenzyl-N-n-propylharnstoff wird mit HPLC gemessen.

3. NEUE ERKENNTNISSE ÜBER DAS CYANURSÄURE-VERFAHREN

Im Laufe des Jahres 1988 sind aus USA (Siebers und Caton, Sandia Combustion Facility Livermore und Texas A & M University) neuere Arbeiten über die Entstickung mit Cyanursäure (CA) bekannt geworden [5]. Viele der darin enthaltenen Ergebnisse beantworten genau die Fragen, welche wir selbst mit unseren Versuchen aufklären wollten. Das Cyanursäure-Verfahren präsentiert sich nun als weit weniger aussichtsreich für die Entstickung von Abgasen aus Dieselmotoren wie in der ursprünglichen Publikation von Perry & Siebers [6]. Da diese Resultate bei der Fortführung unserer eigenen Arbeiten unbedingt berücksichtigt werden müssen, seien sie im folgenden zusammengefasst.

Reaktionstemperatur: Während in der ursprünglichen Arbeit von Perry und Siebers [6] Reaktionstemperaturen im Bereich 360 - 900 °C für Entstickungsgrade von über 90 % ausreichen, sind nach den neueren Arbeiten Temperaturen von mindestens 850 °C und maximal 1000 °C nötig. Dieser grosse Unterschied rührt davon her, dass in der neueren Arbeit ein Quarzreaktor, in der ursprünglichen ein solcher aus Stahl verwendet wurde. Da die Entstickungsreaktion durch Eisenoxidoberflächen katalysiert wird, wurde bei den ursprünglichen Versuchen nicht die Reaktionsgeschwindigkeit der homogenen Gasphasenreaktion erfasst, sondern diejenige der heterogenen katalytischen Oberflächenreaktion an Eisen(III)-oxidoberflächen.

Bedarf an Cyanursäure: Der Cyanursäurebedarf, ausgedrückt als Mol CA/Mol NO, ist geringfügig von der NO-Konzentration des Abgases abhängig; mit zunehmender NO-Konzentration nimmt er ab. Bei einem NO-Gehalt des Dieselabgases von 330 ppm betrug er ebenfalls 330 ppm. Da 1 Mol Cyanursäure 3 Mole Isocyanursäure enthält, entspricht dies bereits einem dreifachen Isocyanursäure-Ueberschuss. Da Cyanursäure eine vergleichsweise teure Substanz ist, führt der hohe Chemikalienverbrauch zu einem teureren Verfahren (1 kg Cyanursäure techn. kostet etwa 5 sFr.)

Bildung von Nebenprodukten: Als sehr störend muss die Bildung von Lachgas (N₂O) beurteilt werden, das Maximum fällt gar mit der maximalen NO-Reduktion zusammen. Vereinfacht kann man sagen, dass eliminiertes NO quantitativ durch N₂O ersetzt wird. Nachdem die Umweltauswirkungen von Lachgas heute noch kritischer als diejenigen

von NO beurteilt werden, erscheint die Anwendung eines solchen Verfahrens nicht sinnvoll. - Je nach Umsetzungsgrad wurde auch Isocyanensäure im behandelten Abgas gefunden. Hingegen konnte keine Blausäure nachgewiesen werden; Nachweisgrenze allerdings nur 20 ppm.

Einfluss von Begleitgasen: Es wurde festgestellt, dass CO, H₂O und O₂ einen günstigen Einfluss auf die homogene Gasphasenreaktion besitzen. Zum einen setzt die deutliche NO-Reduktion bereits bei tieferen Temperaturen ein, zum anderen ist der Temperaturbereich mit maximaler NO-Reduktion weiter. Es ergibt sich hieraus, dass unsere Untersuchungen nicht nur mit synthetischem, sondern möglichst bald mit einem realen Abgas durchgeführt werden müssen.

Katalyse durch Fe₂O₃: Zur Ueberprüfung katalytischer Effekte durch Eisen(III)-oxid wurden Versuche im Quarzreaktor mit einer Stopfung aus Quarzwolle, auf welcher Fe₂O₃ suspendiert war, durchgeführt. Auf diese Weise erhält man hohe NO-Reduktionsgrade bereits bei Temperaturen um 450°C. Als weiterer Vorteil entsteht unter diesen Bedingungen auch kein N₂O mehr, hingegen beobachtet man Bildung von Ammoniak.

Vergleich mit Ammoniak: Es wurde auch die *homogene Gasphasenreaktion* von NO mit Ammoniak im Quarzreaktor untersucht. Dabei zeigte sich, dass die erforderlichen Reaktionstemperaturen beim verwendeten Dieselabgas mit Ammoniak tiefer als mit CA liegen. Ebenfalls ist der Reaktionsmittelbedarf für einen hohen Reduktionsgrad deutlich geringer ($\text{NH}_3/\text{NO}_{\text{in}} = 1,5$ für 90 % Reduktion). Im Gegensatz zum CA-Verfahren wirken sich die Begleitstoffe CO, H₂O und O₂ eher ungünstig auf das Ammoniakverfahren aus.

Harnstoff: Es wurde experimentell nachgewiesen, dass bei der Pyrolyse von 1 Mol Harnstoff je 1 Mol Ammoniak und 1 Mol Isocyanensäure entsteht. Diese Tatsache ist bereits aus der Literatur bekannt [7]. Sie legt nahe, dass die Verwendung von Harnstoff als Reduktionsmittel für NO eine Chemie zeigen wird, welche die Vor- und Nachteile beider Verfahren vereinigt.

4. WEITERES VORGEHEN

4.1 Grundsätzliche Bemerkungen

Die von Siebers in der Zwischenzeit veröffentlichten Resultate haben zahlreiche Fragen, deren Klärung in der Startphase unseres Projektes erfolgen sollte bereits beantwortet. Darüber hinaus legen sie die Verwendung von Harnstoff in Kombination mit einem geeigneten Katalysator anstelle von Cyanursäure nahe. Ebenfalls deutlich geworden ist der Einfluss von CO₂ und H₂O auf den Reaktionsverlauf. Neben den grundsätzlichen Laborarbeiten sollen daher sobald wie möglich Versuche mit realen Abgasen an einem Dieselmotor durchgeführt werden.

4.1 Weitere Arbeiten

Die bisher durchgeführten Arbeiten im Bereich der Analyse- und Messtechnik können vollumfänglich übernommen und weitergeführt werden.

Anstelle der homogenen Gasphasen-Reduktion von NO_x durch Cyanursäure, wird nun die heterogene katalytische Reduktion mit Harnstoff als Reduktionsmittel untersucht. Folgende Arbeiten sind geplant:

Laborversuche: Ermittlung eines optimal geeigneten Katalysators mit Hilfe von Literaturrecherchen und Beratung durch Dr. A. Baiker, ETHZ Anforderungen: Optimale Wirksamkeit mit Harnstoff im Temperaturgebiet 250 - 450°C, daselbst minimale Bildung von Nebenprodukten, speziell Lachgas N_2O .

Die bisher entwickelten Messmethoden für Nebenprodukte werden auch für das Harnstoffverfahren erforderlich sein. Obwohl die Komponenten Blausäure (HCN), Ammoniak (NH_3) und Isocyanensäure (HNCO) einzeln bestimmt werden können, ergeben sich noch Probleme bei der simultanen Bestimmung von NH_3 und HNCO in derselben Probe. Eine gaschromatografische Methode für N_2O ist noch zu entwickeln, dürfte aber wenig Probleme geben.

Versuche am Dieselmotor: Parallel zu den Laborversuchen mit synthetischem Abgas werden so rasch wie möglich Entstickungsversuche an einem Teilvolumenstrom eines realen Dieselmotors vorgenommen. Insbesondere sollen folgende Fragestellungen untersucht werden:

- ◆ Zudosierung der Harnstofflösung in dem Abgasstrom.
- ◆ NO_x Reduktionsraten in Funktion der Abgastemperatur, der zudosierten Harnstoffmenge und des eingesetzten Katalysators.
- ◆ Analyse eventueller Nebenprodukte

In einem späteren Schritt wird die Vollenstickung des erwähnten Dieselmotors in Angriff genommen. Parallel dazu sollen weitere Forschungsarbeiten im Bereich der homogenen Gasphasenreaktion mit Harnstoff untersucht werden, da diese Reaktion für andere Einsatzgebiete von Bedeutung ist.

5. LITERATUR:

- [1] L.E. McClure; P.L. Stehmann: Determination of isocyanic acid in air by high performance liquid chromatography. *J.Liq. Chromato-gr.*, 7(11), 21151-2161 (1984)
- [2] F.F. Andrawes: Analysis of isocyanic acid in air by gas chromatography and thermoionic nitrogen detection. *J. Chromatogr.*, 284(20), 487-490, (1984)
- [3] P.Bourbon; F. Klein: Interférence de l'acide cyanhydrique sur le dosage de $(\text{NO})_x$ par chimie luminiscence. *Trib. Cebedeau*, 27 (366), 250-4
- [4] VDI 2461 Blatt 1, März 1974 Messen der Ammoniak-Konzentration, Indophenol-Verfahren
- [5] M. Koebel: Das Raprenox-Verfahren von Perry und Siebers - neueste Ergebniss und Implikationen für unsere Arbeiten. PSI-TM-51-88-..
- [6] R.A. Perry, D.L. Siebers: Rapid Reduction of Nitrogen Oxides in Exhaust Gas Streams. *Nature* 324, 657-8 (1986)
- [7] M. Koebel: Eigenschaften und chemisches Verhalten von Isocyanensäure, Cyanursäure und Harnstoff. PSI-TM-33-88-03 (1988)

3.6

O F E N

PROJETS DE RECHERCHE ÉNERGÉTIQUE 1988

B E W

ENERGIE - FORSCHUNGS - PROJEKTE 1988

ADVANCED ATMOSPHERIC COAL FIRING SYSTEM

Ziel des Projekts: Entwicklung eines neuen Konzeptes zur Verfeuerung von Kohle mit folgenden Zielen:

- . Verbesserung des Ausbrand
- . Absenkung der rauchgasseitigen Emissionen

Erprobung im 2 MW Masstab

Dauer des Projekts: 2 Jahre (Juli 1988 - Dezember 1989)

Beitragsempfänger: Gebrüder Sulzer AG

Berichterstatter: Herr B. Gysel, Gebrüder Sulzer AG

Adresse: PBKK/0328-4, Postfach, CH-8401 Winterthur

Telephon: 052 / 81 35 88

1. Anvisierte Zielpunkte für 1988:

Dieses erste Jahr dient dem Aufbau der Versuchsanlage, sowie der weiteren Erforschung des neuen Feuerungssystems im Kleinmassstab.

Die Teilziele sind :

1. Aufbau eines Reaktors zur Verbrennung eines Kohle-Wasser Gemisches (Slurry) mit einer Anlageleistung von 2 MW .
2. Aufbau des Brennstoff System zur Aufbereitung einer "Low Cost Slurry" (LCS).
3. Feuerungsversuche im 500 kW Massstab zur Untersuchung des Einflusses der Kohleeigenschaften auf den Verbrennungsprozess.

2. Durchgeführte Arbeiten 1988 :

Die Planung und Konstruktion des 2 MW Reaktors konnte zu ca. 80 % durchgeführt werden. Der Standort im Sulzer Kesselhaus Ober-Winterthur ist vorbereitet (Fundament). Der Reaktor wird zur Zeit in der Werkstatt hergestellt. Die Montage wird im Februar 89 erfolgen.

Der Aufbau des Brennstoff Systems wurde provisorisch realisiert (siehe Beilage 1). So können heute schon erste Vortests gefahren werden. Dies ermöglicht eine zeitliche Entflechtung Brennstoff/ Feuerungsversuche und wird uns bei den Hauptversuchen (1989) ein schnelleres Vorankommen ermöglichen.

Die Arbeiten im 500 kW Massstab wurden zu ca. 80 % durchgeführt. Es handelt sich um eine Serie von Feuerungsversuchen mit Kohle von marginaler Eignung sowie einer kleineren Anzahl von Pumpversuchen mit LCS.

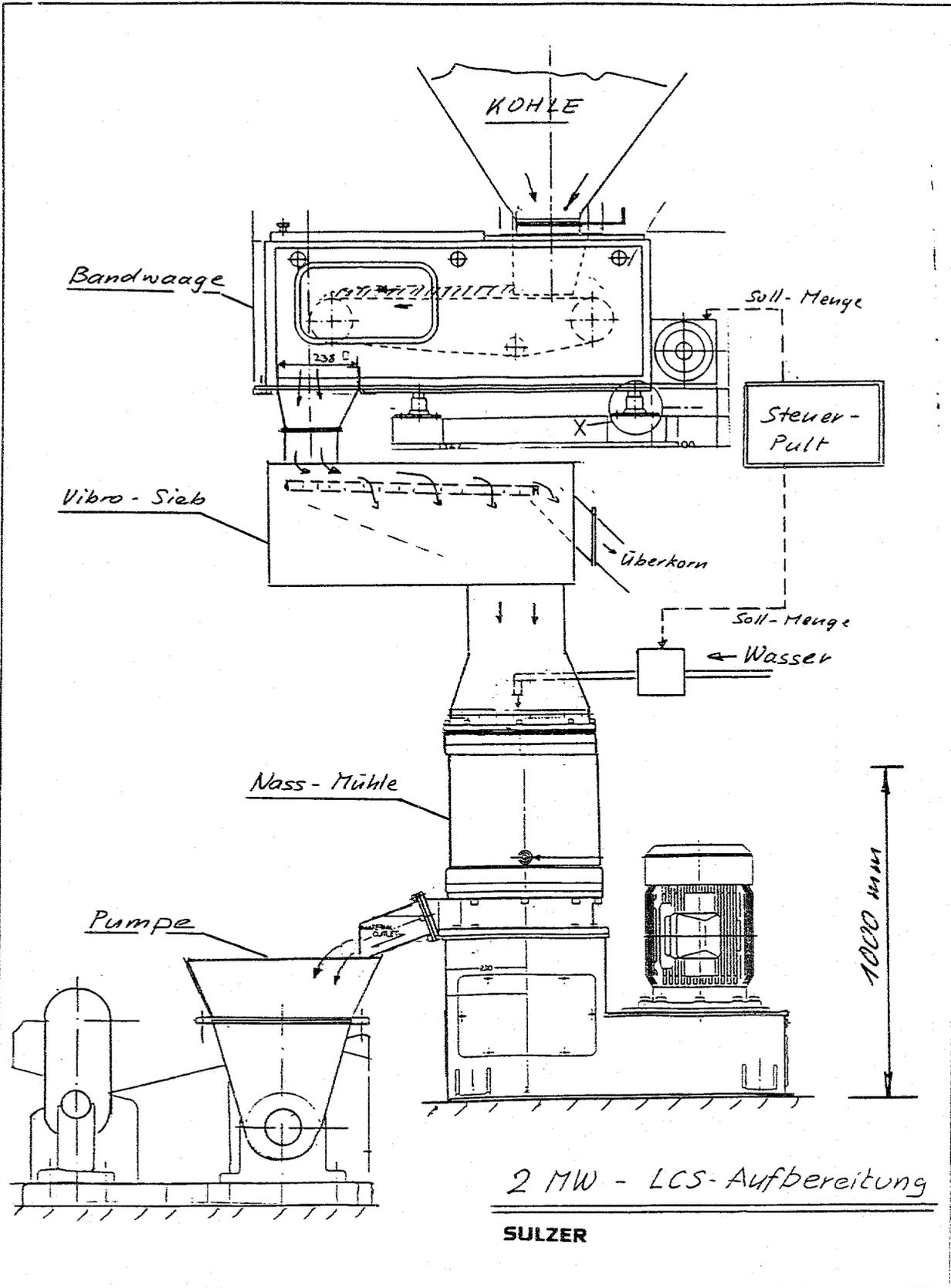
3. Erreichte Ergebnisse in 1988 :

Aus dem Bereich der LCS Herstellung liegen erste Ergebnisse aus sog. Tastversuchen vor. Es scheint, dass die gewählte Nassmahlung der Kohle die gewünschten Slurry Qualitäten liefern wird. Eine technische Eignung wird jedoch erst in den kommenden Optimierungsschritten geklärt werden können.

Aus den 500 kW Versuchen resultiert, dass die Eignung einer Kohle-Qualität für diesen Feuerungstypus mittels Kleinstversuchen prognostiziert werden kann (siehe Beilage 2). Erst die weitere Grundlagenforschung wird jedoch die Möglichkeit eröffnen können, dass auf Basis einer erweiterten Elementaranalyse der Kohle deren Eignung bzw. die entsprechenden Massnahmen auf der Feuerungsseite vorabgeklärt werden könnten.

Die Pumpversuche zeigten bis heute, dass die Schlauchquetschpumpe sog. LCS pumpen kann. Zur Zeit werden Versuche mit grösseren Schlauchdurchmessern gefahren. Es ist fraglich ob das Schlauchmaterial vernünftige Betriebsstundenzahlen hergibt.

B. Gyal



2 MW - LCS-Aufbereitung

SULZER

2 MW REAKTOR

Datum Sommer 88 Orig.-Maßstab

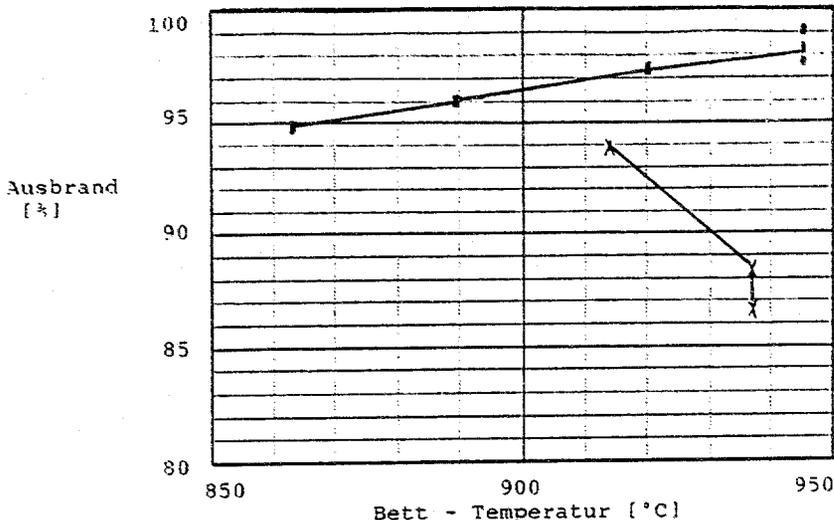
Projekt "AACFS"

KK/0328-4

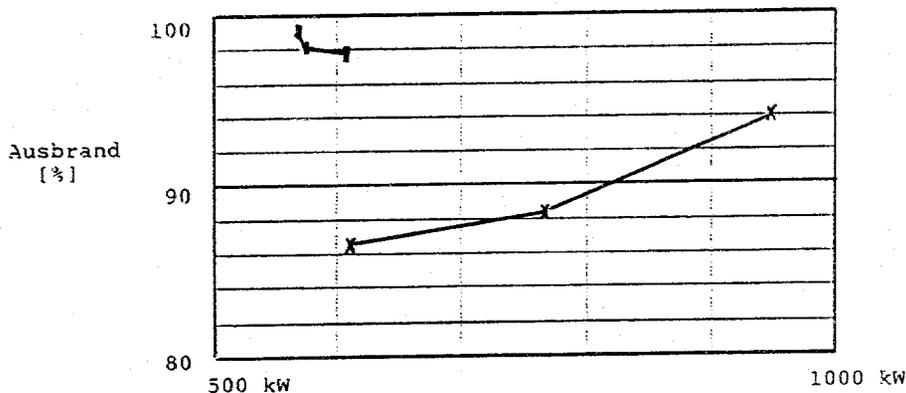
R. Gygel / M. Brühlmann

R 59.02.00

Das Urheberrecht an dieser Zeichnung, die dem Empfänger persönlich anvertraut wird, verbleibt unserer Firma. Ohne unsere schriftliche Genehmigung darf die Zeichnung weder kopiert noch vervielfältigt, noch Dritten mitgeteilt oder zugänglich gemacht werden.



Ausbrand als Funktion von der Bett-Temperatur



Ausbrand als Funktion von der Feuer-Leistung

■ Yan Zhou Coal , Agglomerat-Haerte : 20 kg
 x Da Tong Coal , " " : 15 kg

Versuchskommentar :

Der hohe Ausbrand, welcher mit der "Yan Zhou Coal" erreicht wurde, stellte sich bei den letzten Versuchen mit der "Da Tong Coal" nicht mehr ein. Aus der Kenntnis der Festigkeit der Brennstoffagglomerate (Labortests) wurde dies erwartet. Neu aufgetaucht und von grossem Interesse ist die beobachtete Verbesserung des Ausbrandes mit zunehmender Leistungsdichte im Wirbelschichtbett. Diese Versuche bestaetigen einmal mehr, dass entscheidende Verbesserungen aufgrund eines vertieften Verstaendnisses der physikal. und chem. Vorgaenge erwartet werden koennen.

'500' kW REAKTOR
 VERSUCH

Das Urheberrecht an dieser Zeichnung, die dem Emotanger personlich anvertraut wird, verbleibt unserer Firma. Ohne unsere schriftliche Genehmigung darf die Zeichnung weder kopiert noch vervielfaeltigt, noch Dritten ohne Mitteilung oder zuganglich gemacht werden.

Projekt "AACFS"

Datum Jan.-Okt. 88 Org.-MaBstab

KK/0328-4

Contract 3/88

R 99.02.00

ALUMINIUM VERBRENNUNG**Ziel des Projekts:**

Experimentelle Untersuchungen mit Aluminium als Speicherstoff zur saisonalen Speicherung von Sommerstromüberschüssen um wirtschaftlich attraktive, ökologisch vertretbare Lösungen des Energiespeicherproblems auf thermochemischem Weg zu finden. Am PSI wird der Entladungsprozess des Speicherzyklus untersucht mit dem Ziel, Prozess- und Heizwärme bereitzustellen.

Dauer des Projekts: 1987 - 1989

Beitragsempfänger: Paul Scherrer Institut (PSI)

Berichterstatter: J. Wochele, T. Marti

Adresse: 5232 Villigen PSI

Telephon: 056 / 99 26 26 oder 99 26 35

1. Anvisierte Zielpunkte

Im Berichtjahr wurden folgende Teilziele anvisiert :

- i) **Betrieb und Messungen mit bestehendem Pulverbrenner :**
Verbrennen von Alu-Pulvern mit Luft und Sauerstoff-Argon-Gemischen, Bestimmung des chemischen Umsetzungsgrades, Analyse der Verbrennungsprodukte, Stickoxid-Messungen (NO_x), Flammtemperaturbestimmung; Verbrennen von Silicium-Pulver.
- ii) **Weiterarbeit zur Wärmeauskopplung und Verbrennungsprodukte-Rückgewinnung:** Auslegung und Konstruktion einer integrierten Gesamtanlage mit Pulververbrennung, Wärmeauskopplung und Verbrennungsproduktrückgewinnung
- iii) **Vorversuche zum Schmelzbrenner:** Bau einer Schmelzlanze zur Verflüssigung von Aluminium-Draht und Verdüsung. Messungen.

2. Durchgeführte Arbeiten

i) Pulverbrenner : Mit dem Pulverbrenner Prototyp IV wurden ausgedehnte Versuche gefahren, verschiedene Modifikationen gemacht und Messungen durchgeführt. Problempunkt war nach wie vor ein zuverlässiger Betrieb ohne Verstopfung und Ablagerungen des Verbrennungsproduktes an der Düse, Stauscheibe und dem Brennrrohr. Wertvolle Erkenntnisse konnten gewonnen werden.

Im weiteren wurde auch Silicium-Pulver verbrannt, im Hinblick auf andere mögliche Brennstoffkreisläufe und der Herstellung feinstkörniger Metalloxide.

Noch nicht durchgeführt wurden die Versuche mit Sauerstoff/Argon-Gasgemischen als Oxidationsmittel der Verbrennung.

ii) Wärmeauskopplung und Verbrennungsprodukt-Rückgewinnung : Um die Emissionen bei den Verbrennungsversuchen, die im Freien gemacht wurden, zu reduzieren, war es notwendig, die Verbrennungsprodukte abzusaugen und abzuscheiden. Dies führte zur **offenen Gesamtanlage**, die gleichzeitig wichtige Erfahrungen zu den Verfahrensschritten Wärmeaustausch und Pulverabscheidung ermöglicht.

Die Arbeiten an der Auslegung und Konstruktion einer integrierten Gesamtanlage wurden weitergeführt, wobei sich die Erfahrungen mit der offenen Gesamtanlage als sehr nützlich erwiesen. Ein Prototyp ist im Bau.

iii) Schmelzbrenner : Beim Schmelzbrenner soll Aluminium in fester Form (Draht, Spähne, Barren) als Brennstoff dienen. Das Aluminium ist daher zuerst aufzuschmelzen und dann in den Brennraum zu verdüsen. Vorteile gegenüber dem Pulverbrenner sind die viel einfachere, sauberere Handhabung des festen Aluminiums und die wesentlich einfachere, energetisch günstigere und billigere Herstellung von festem Aluminium gegenüber Alu-Pulver.

3.7

Eine Schmelzlanze zum Aufschmelzen von Aluminiumdraht wurde gebaut und getestet. Daneben wurden für die Verdüsung des Aluminiums Prinzipversuche durchgeführt.

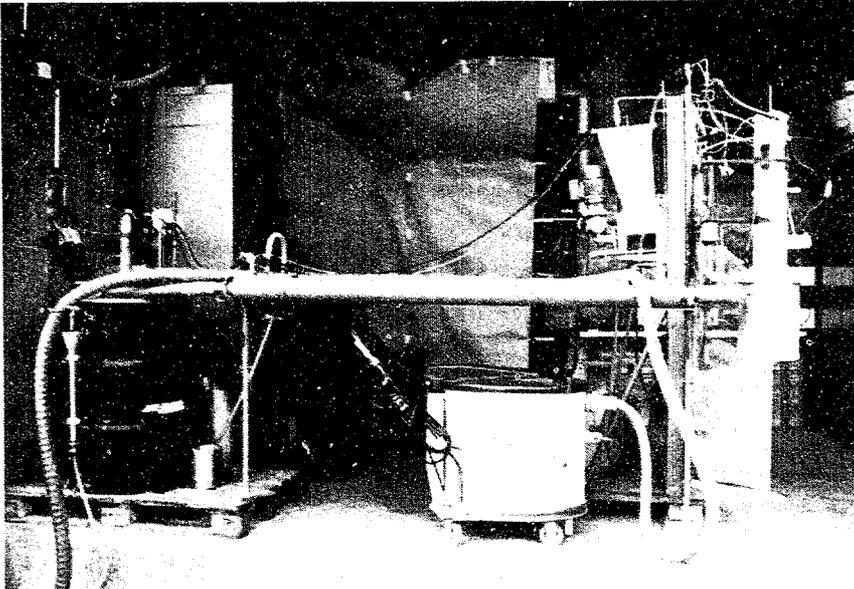


Bild 1 : Die offene Gesamtanlage zur Verbrennung von Aluminiumpulver. Rechts der senkrecht stehende, für die Flammenbeobachtung nach unten offene Pulverbrenner. Links der Fasszyklon und der Schlauchfilter zur Abscheidung des Aluoxids.

3. Erreichte Ergebnisse

i) Pulverbrenner : Mit der offenen Gesamtanlage und dem Pulverbrenner IV mit der schamottierten Brennkammer wurden folgende Resultate erreicht :

- Produktionsrate : 20 kW; 2.4 Kg Al/h; 4.5 kg Al₂O₃/h
- Brenndauer : > 3 h
- chemische Umsetzung : > 95 %
- gemessene Flammentemperatur: typisch 2300 °C
- Stickoxide NO_x : 1600 - 2000 g/MJ
- Erkenntnis : es ist möglich Aluminium kontrolliert mit Luft zu verbrennen, die anfallende Wärme zu nutzen und das Al₂O₃ zurückzugewinnen.

Die Anlage lässt sich in einem weiten Bereich, von ca. 10 kW - 30 kW-Leistung bei einem Luftverhältnis von 1.6-4.5 betreiben. Bei kleinen Leistungen reagiert der Brenner empfindlich auf Brennstoffzufuhrschwankungen, ebenso bei kleinen Luftverhältnissen - die Flamme reisst ab und erlischt. Reproduzierbare Brenndauern von mehr als 3 Stunden - limitiert durch die Alu-Pulver-Reserve - liessen sich bei ca. 20 kW-Leistung erreichen.

Das Anfahr- und Abschaltverhalten der Anlage ist sehr gut. Wichtig für zukünftige Anwendungen ist die Erkenntnis, dass sich Aluminiumpulver allein mit einem elektrischen Funken zünden lässt. Der chemische Umsetzgrad hat sich gegenüber früheren Brennerkonfigurationen infolge der weniger guten Durchmischung auf ca. 95 % erniedrigt. Die Flamme wird sehr lang, ca. 450 mm, dafür werden Ablagerungen und Verstopfungen vermieden. Die komplizierten dreidimensionalen Strömungsverhältnisse im Brenner werden noch zuwenig verstanden. Optimierungspotential ist vorhanden. Die adiabate Flammentemperatur errechnet sich für die Verbrennung von Aluminium mit Luft zu ca. 3400 °C. Typische, mit einem 2-Farben-Pyrometer *1' gemessene Flammentemperaturen liegen bei 2300 °C. Diese hohen Flammentemperaturen sind auch für die hohen Werte der (thermischen) Stickoxide verantwortlich. Die NO_x-Konzentrationen liegen in der gleichen Größenordnung wie die von unbehandelten stationären Gas- und Dieselmotoren. Sie übersteigen die heutige gültigen NO_x-Werte der LRV für Feuerungen (> 1 MW) um den Faktor 20. Die Reduktion der Stickoxide wird durch eine gekühlte Brennkammer und durch Optimierung der Luftführung angestrebt. Für Grossanlagen kommt auch die katalytische Reduktion in Frage.

Der Brenner wurde auch erfolgreich in horizontaler Lage in Betrieb gesetzt, dies als eine Annäherung an die heute übliche Anordnung bei Öl- und Gasheizungen.

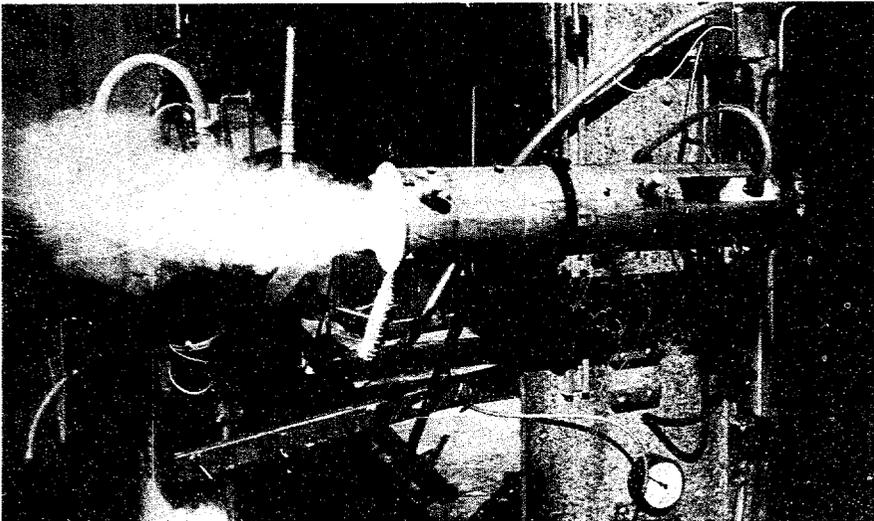


Bild 2 : Der Alubrenner im horizontalen Betrieb. Aluminium brennt mit einer gleissend hellen, weissen Flamme bei sehr hohen Temperaturen.

Mit Erfolg wurde eine wassergekühlte Brennkammer getestet. Sie hat gegenüber der bis anhin verwendeten, recht erfolgreichen,

*1' Die Weiterentwicklung des geschützten Thermoelements für diese Hochtemperaturmessungen wurde zurückgestellt.

3.7

schamottierten Brennkammer den Vorteil eines weit besseren Wärmegewinnungs-Wirkungsgrades und der tieferen mittleren Verbrennungstemperatur. Messungen und Verbrennungsproduktanalysen stehen hier noch aus.

Das bei der Verbrennung entstehende Aluminiumoxid (Al_2O_3) besteht aus einem Rauch von kugelförmigen Partikeln von $0.1 \mu m$ Durchmesser. Abgeschieden agglomerieren die Kügelchen zu lockeren, nicht stabilen Gebilden von einer Grösse im Zehntel- bis Millimeter-Bereich. Die Schüttdichte ist anfänglich sehr klein: $0.08 g/cm^3$, die Porosität liegt bei 0.95 . Die Korngrößenanalyse zeigt ein Pulver mit einer sehr engen Verteilung. Diese submikroskopischen Körner und die enge Verteilung könnten das produzierte Al_2O_3 zu einem interessanten Rohstoff für die Keramik-Industrie machen, oder es könnte als Füllstoff dienen. Wegen der riesigen spezifischen Oberfläche, $8 m^2/g$, käme es auch als Katalysatorträger in Frage.

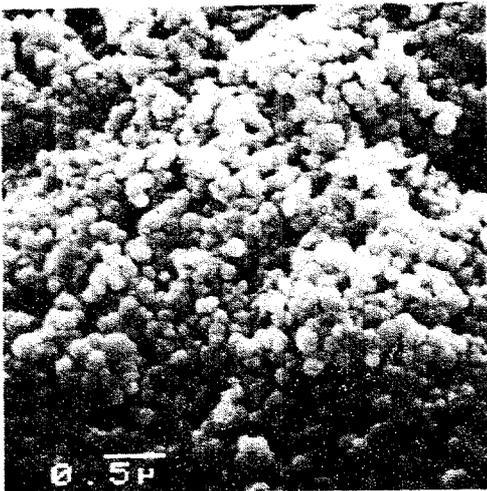


Bild 3 : Verbrennungsprodukt der Alu-Verbrennung : Al_2O_3

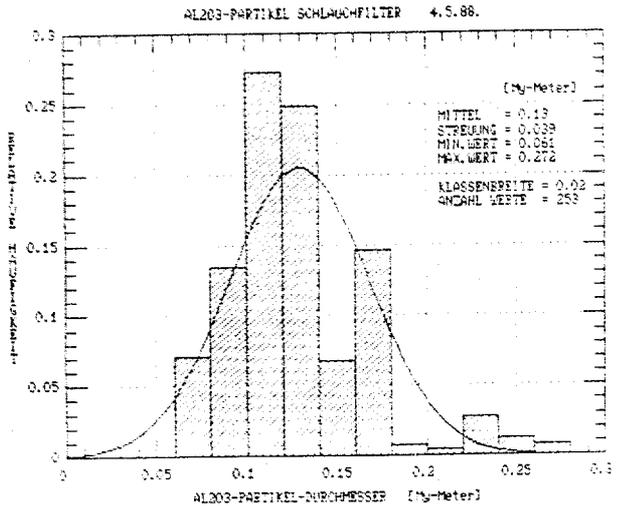


Bild 4 : Korngrößenverteilung von Al_2O_3 . 95 % der Körner sind $< 0.2 \mu m$.

Mit der bestehenden Einrichtung, Brenner-Prototyp IV mit schamottierter Brennkammer, wurde auch Silicium-Pulver verbrannt.

Silicium zündet und brennt weniger gut als Aluminium. Eine Gas-Stützflamme war während den Versuchen nötig. Die Verbrennungstemperatur liegt tiefer als bei Aluminium, bei ca. $1600 \text{ }^\circ C$. Die adiabate Flammentemperatur errechnet sich zu $1977 \text{ }^\circ C$. Das entstehende amorphe Siliciumdioxid (SiO_2) fällt ebenfalls als feinsten, weisser Rauch an mit ähnlichen Eigenschaften wie Al_2O_3 . Die Schüttdichte liegt bei $0.07 g/cm^3$ und die Porosität beträgt 0.97 .

ii) Wärmeauskopplung und Produkterückgewinnung: Wie die Erfahrung mit der offenen Gesamtanlage lehrt, lagert sich das entstehende Oxid auch bei tiefen Temperaturen an allen Flächen ab.

Darum ist es nötig, Wärmetauscherflächen von Zeit zu Zeit zu reinigen, was bei der integrierten Anlage durch eine mechanische Abstreifung erfolgen soll. Weiter hat es sich gezeigt, dass ein Zyklon durchaus zur Grobabscheidung einsetzbar ist, was bei der Gesamtanlage durch eine zyklonartige Wärmetauscher-Ausbildung berücksichtigt wird. Bei der offenen Gesamtanlage besteht die Endstufe der Produktabscheidung aus einem Schlauchfilter, welcher seine Aufgabe hervorragend löst. Allerdings lässt er sich nicht gut in eine einfache Anlage integrieren, darum wird auch an der Lösung mit einem Elektrofilter gearbeitet.

iii) Schmelzbrenner : Beim Prinzipversuch zur Verdüsung mit Wasser als Testflüssigkeit erreichte man eine äusserst feine, regelbare Zerstäubung. Leider ist die Umsetzung mit flüssigem Aluminium nicht so einfach. Aluminium legiert sich mit allen Metallen sehr gut, dabei steigt der Schmelzpunkt stark an, was zum Erstarren, vor allem in der Düse, führt. Daher waren die Versuche mit der Schmelzlanze wenig erfolgreich. Die systematische Suche nach einem metallischen Werkstoff, der eine genügende Standzeit für die Vorversuche hat, ergab, dass gewöhnlicher Kohlenstoff-Stahl das geeignetste Material ist. Auf eine Ausführung in Keramik, welche der beste Werkstoff wäre, wurde einstweilen wegen der komplizierten Bauformen und der hohen Kosten verzichtet.

5. Publikationen

TM-51-88-26 : Poster präsentiert am EC-EUROCONGRESS
 "NEW ENERGIES"
 vom 24.-28.10.1988. in Saarbrücken
 Verbrennen von Aluminium als Entladevorgang eines
 Langzeit-Energiespeicher-Systems.
 J.Wochele, T.Marti

6. Neue Forschungsarbeiten

Es wird vorgeschlagen, weitere Arbeiten zum Alu-Speicherzyklus aufzunehmen :

- Weitererforschung der abbrandfreien Elektrode, mit der sich bedeutend 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.
- Arbeiten zur Verdichtung und der Transportmöglichkeit des Aluminiumoxids.

Aber auch grundsätzlich neue Prozesse zur Rückgewinnung des Aluminiums aus dem sehr feinen Pulver (etwa im konzentrierten Strahlungsfeld einer Solaranlage oder im elektrischen Lichtbogen) sollten studiert und bei aussichtsreichen Lösungsmöglichkeiten gezielt experimentell untersucht werden.

ALU013.TXT WJ51, 12.12.88.

SIMULATIONSMODELLE ZUR TRANSIENTEN-ANALYSE**Ziel des Projekts:**

Ziel des Projektes ist die mathematische Modellierung aller in der Schweiz in Betrieb befindlichen Kernkraftwerke sowie die Erstellung und laufende Aktualisierung der für die Analyse von Störfällen in diesen Anlagen erforderlichen nuklearen und anlagespezifischen Datensätze. Mit der Realisierung dieses Zieles sollen am PSI die Werkzeuge, Datenbasen, das Fachwissen und die Erfahrungen entwickelt werden, die für eine fachkundige Unterstützung der nationalen Sicherheitsgremien bei der sicherheitstechnischen Beurteilung der im Land betriebenen nuklearen Anlagen erforderlich sind.

Dauer des Projekts: 1.9.1988 - 31.12.1993

Beitragsempfänger: HSK / PSI
Berichterstatter: Dr. E. Knoglinger
Adresse: PSI, Würenlingen und Villigen
Telephon: 056 / 99 27 31

Anvisierte Zielpunkte für 1988

Zur Realisierung des Projektzieles wurde ein Forschungs- und Entwicklungsprogramm formuliert, dessen Schwerpunkt die Entwicklung und Erprobung eines Rechenprogrammsystems (Fig. 1) zur Analyse des stationären und transienten Kern- und Anlageverhaltens von Druck- und Siedewasserreaktoren bildet. Gleichzeitig sollen die für die schweizerischen Kernkraftwerke spezifischen Input-Modelle (Simulationsmodelle) und Inputdatensätze erstellt, laufend aktualisiert und in einer zu errichtenden, zentralen Datenbank gespeichert werden. Die Erprobung des Programmpaketes (Fig. 1) soll durch Validierung der einzelnen Rechenprogramme an Hand generischer experimenteller Daten und - sofern möglich - durch Verifizierung der anlage- und transientenspezifischen Simulationsmodelle an Hand von Betriebsaufzeichnungen und Protokollen der jeweiligen Kernkraftwerksanlage erfolgen.

Dafür ist ein Arbeitsprogramm mit einer Laufzeit von 6 Jahren vorgesehen, in dessen Rahmen auch auslegungsüberschreitende reaktivitätsinduzierte Störfälle für den Kernkraftwerksblock Beznau-2 (KKB-II) und das KKW Mühleberg analysiert werden.

Reaktivitätsinduzierte Störfälle wurden schon vor Chernobyl in allen Ländern der westlichen Welt routinemässig im Rahmen der Genehmigungsverfahren für kommerzielle Reaktoren behandelt, da auch diesen Reaktoren positive Reaktivität auf vielfache Weise - z.B. beim Anfahren aus dem abgeschalteten Zustand - zugeführt werden kann.

Durch die Katastrophe von Chernobyl wurden die potentiellen Konsequenzen solcher Störfälle wieder ins Bewusstsein gebracht. Es setzten weltweit Anstrengungen ein, die vorliegenden Analysen systematisch zu überprüfen und die den Analysen zugrunde liegenden Störfallszenarien zu hinterfragen.

Vor diesem Hintergrund wurde auf Veranlassung der HSK das ursprüngliche Arbeitsprogramm um die Analyse der folgenden auslegungsüberschreitenden Steuerstabtransienten erweitert :

- Auswurf eines Steuerelementes im KKB-II,
- Ausfall eines Steuerelementes im KKW Mühleberg,
- Ausfahren eines Steuerelementes ohne Reaktorschnellabschaltung im KKW Mühleberg.

Im Berichtsjahr wurde die Analyse des "Steuerelementauswurfs" für den KKB-II in Angriff genommen mit dem primären Ziel, ein Simulationsmodell für diesen Störfall zu entwickeln und es durch Vergleichsrechnungen zur entsprechenden Störfallanalyse des Reaktorherstellers zu erproben.

Durchgeführte Arbeiten 1988

Dazu wurden im einzelnen folgende Arbeiten durchgeführt und abgeschlossen:

- Entwicklung eines für die Analyse von Stabauswurftransienten geeigneten RETRAN-02-Modelles des Primärkreislaufes des KKB-II;
- Punktkinetische Analysen des Steuerstabauswurfes im KKB-II innerhalb der Auslegungsszenarien (Vergleich mit Analysen von Westinghouse).

Darüber hinaus wurden in Vorbereitung auf die Analyse des gleichen Störfalles bei Fehlverhalten des Operateurs oder bei Ausfall bzw. Versagen der vorhandenen Sicherheitseinrichtungen (auslegungsüberschreitende Transiente) folgende Arbeiten durchgeführt und ebenfalls abgeschlossen:

- Punktkinetische Parameterstudie zur Vertiefung des Verständnisses der für den Störfall relevanten Einflussgrößen;
- Implementieren und Testen der Brennstabprogramme FRAPCON und FRAP-T zur stationären und transienten Brennstabanalyse;
- Erstellen eines FRAPCON-Modelles zur Analyse des Abbrandverhaltens eines typischen KKB-II Brennstabes mittlerer Leistung;
- Ermittlung der relevanten Brennstabparameter (FRAP-T Input für Störfall-Eintritt; für Zyklusbeginn BOL und Zyklusende EOL der Betriebsperiode 1987/1988, für Vollast und Teillast);
- Erstellen einer nuklearen Querschnittsbibliothek für die 3-dimensionalen stationären und transienten Analysen des Kernes des KKB-II;
- Entwicklung einer Methode zur Kopplung des stationären Code-Systems ELCOS (BOXER, CORCOD, SILWER) mit dem 3-dimensionalen Transienten - Code QUABOX/CUBBOX-HYCA.

Erreichte Ergebnisse

Auswurf eines Steuerelementes im KKB-II

Dieser Störfall ist nur unter der Annahme eines Bruches eines Steuerelementantriebstitzens am Deckel des Reaktordruckgefäßes denkbar und hat daher eine sehr geringe Eintritts-

wahrscheinlichkeit. Er führt zu einem plötzlichen Anstieg der Reaktivität, dessen Betrag von der Eintauchtiefe der Steuerelementbank, in der das ausgeworfene Steuerelement stand, und von der Anzahl der Steuerelemente, aus der sich diese Bank zusammensetzt, abhängig ist.

Durch geeignete Auslegungsmassnahmen (Begrenzung des Reaktivitätswertes und der zulässigen Einfahrtiefe des wirksamsten Steuerstabes) wird schon bei der Errichtung der Anlage sichergestellt, dass dabei die im Brennstoff und im Kühlmittel freigesetzte Energie die zulässigen Grenzwerte nicht überschreitet.

Für die Analyse getroffene Annahmen und verwendete Methoden

Die Analyse wurde mit dem transienten Systemprogramm RETRAN-02 unter Verwendung eines punktkinetischen Modelles für den Reaktorkern durchgeführt. Dabei wurde eine Modifikation des Programmes erforderlich, um auch in der punktkinetischen Simulation des Kernes zeitabhängige Leistungsverteilungen berücksichtigen zu können.

Das zur Modellierung des Kernes und der Anlage benutzte Nodalisierungsschema ist in Fig.2 dargestellt. Regelstabwerte, Formfaktoren, Dopplergewichtsfaktoren und Reaktivitätskoeffizienten wurden vom Reaktorhersteller übernommen. Da diese Grössen vom Abbrandzustand des Kernes abhängen, wurde die Analyse sowohl für den frischen als auch für den abgebrannten Kern bei Vollast und für den heissen kritischen Nulllastzustand der Anlage durchgeführt. Die Ergebnisse werden in einem detaillierten Analysenbericht beschrieben, der z.Z. erstellt wird.

Resultate

Der ungünstigere Störfall liegt beim Steuerelementauswurf bei Vollast vor. Der in dieser Studie berechnete zeitliche Verlauf der Reaktorleistung für den frischen und abgebrannten Kern ist gemeinsam mit den Ergebnissen des Herstellers in den Fig.3 und 4 dargestellt. Der Vergleich zeigt ausgezeichnete Übereinstimmung, sodass die Anlagenmodellierung für diese Transiente als abgeschlossen betrachtet wird.

Die Analysenergebnisse bestätigen, dass die sicherheitstechnisch relevanten Parameter (Energiedeposition im Brennstoff, maximale Brennstoff- und Hüllrohrtemperaturen) unter den zulässigen Grenzwerten bleiben und daher unzulässige Brennstoffschäden als Folge dieses Störfalles nicht auftreten.

Die Analyse des Störfalles unter auslegungsüberschreitenden Bedingungen wird im Jahr 1989 fortgesetzt.

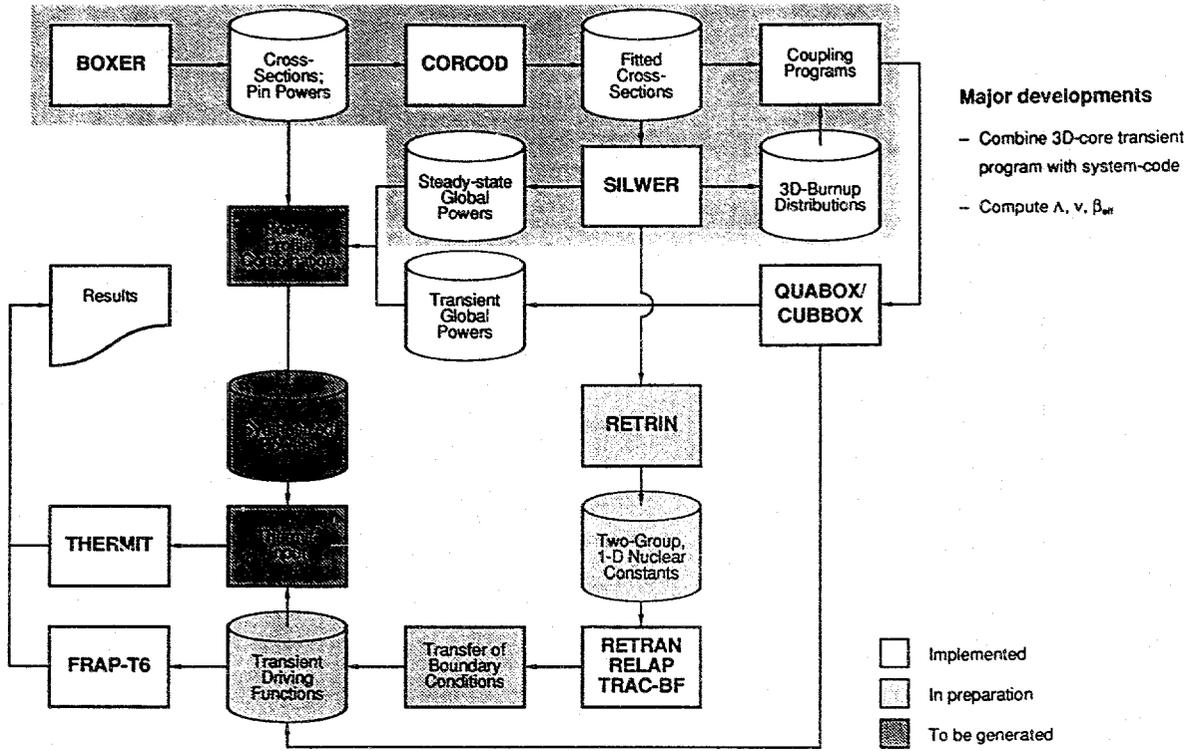


Fig. 1: PSI-Computer Code Package for 0D-, 1D- and 3D-Transient Analysis

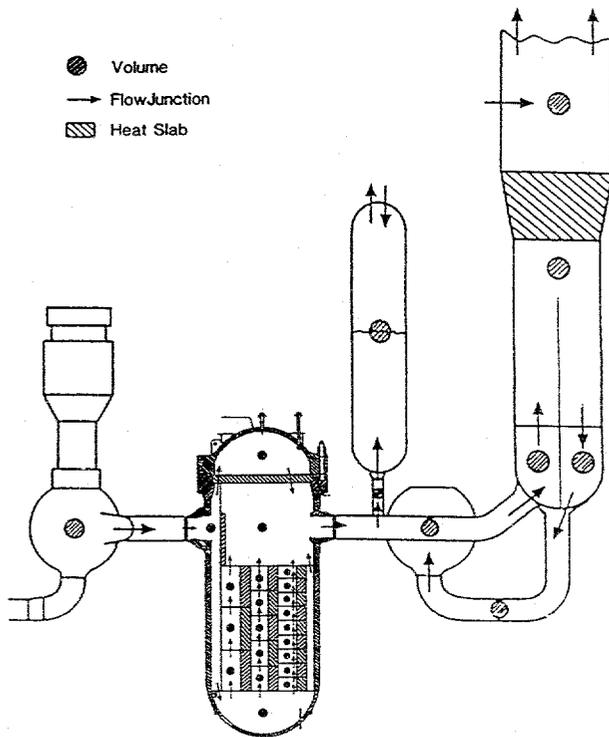


Fig. 2 Retran nodalization diagram of the primary loop.

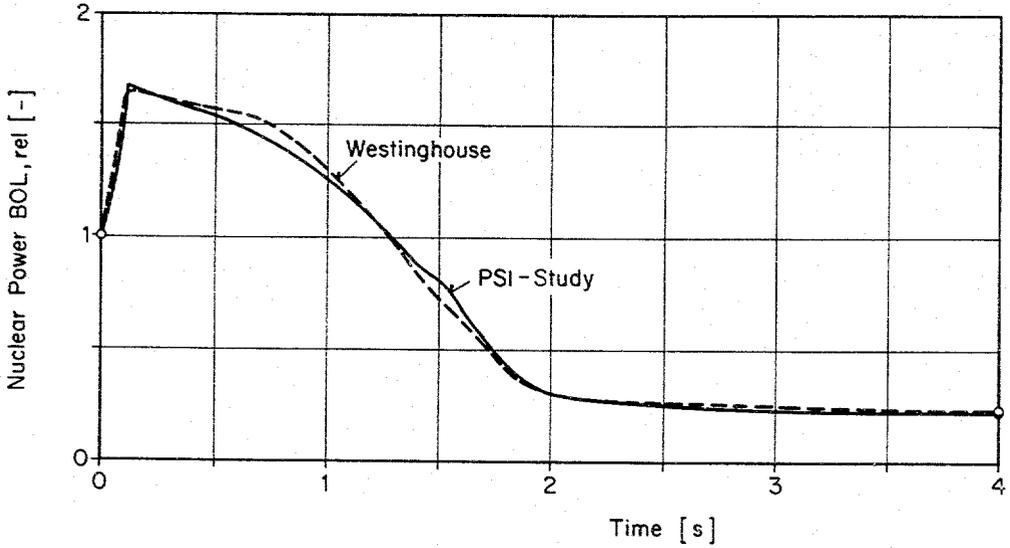


Fig.3 Verlauf der Reaktorleistung bei einem Steuerstabauswurf im KKB-II für den frischen Kern (Vergleich zwischen dem Ergebnis von *WESTINGHOUSE* im Sicherheitsbericht für Beznau-1 und der *PSI*-Analyse)

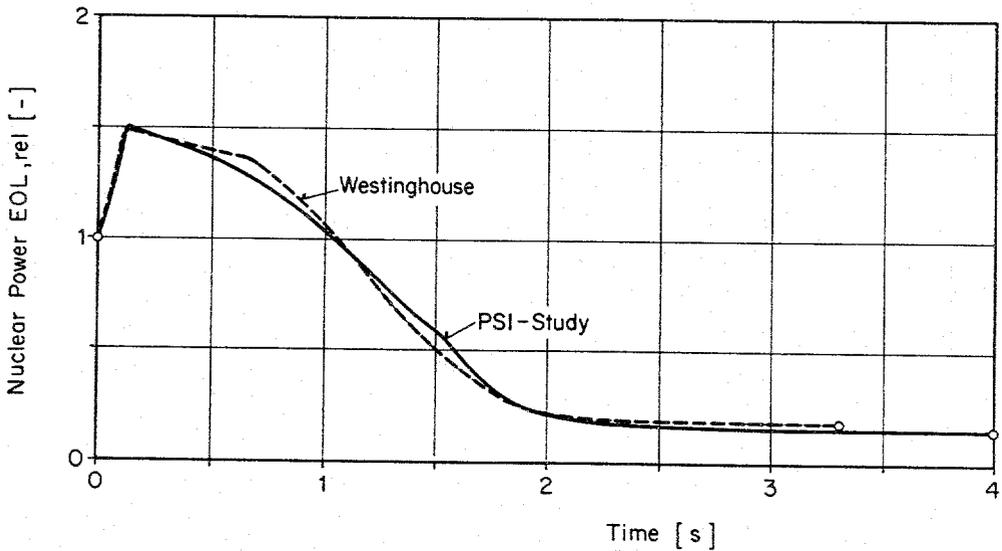


Fig.4 Verlauf der Reaktorleistung bei einem Steuerstabauswurf im KKB-II für den abgebrannten Kern (Vergleich zwischen dem Ergebnis von *WESTINGHOUSE* im Sicherheitsbericht für Beznau-1 und der *PSI*-Analyse)

LOSS OF FLUID TEST

Ziel des Projekts:

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, H₂ 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.

Dauer des Projekts: 1.1.87 - 31.12.89

Beitragsempfänger: Paul Scherrer Institute, PSI

Berichtersteller: S. Guntay

Adresse: Paul Scherrer Institute, 5232 Villigen PSI

Telephon: 056/99 26 77

1. OBJECTIVES AND ACHIEVED 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, H₂ 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 PSI. Thermal-hydraulic analysis of the first fission product experiment LP-FP-1 was completed and results were published. The PSI work on the release fractions observed during the first fission product test (FP1) was completed and released. Post test analysis of the second fission product experiment LP-FP-2 was initiated. This analysis covers the thermal hydraulic as well as fission product release and transport analyses using various computer programs.

1.1 LOFT experiments

LP-FW-1

The comparison report was completed by Italy in 1985 and was 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 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 and released by Switzerland. 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. GRS Germany issued the EASR on thermal-hydraulics. PSI work on fission products made the followings more clear: (a) large part of the noble gases (more than 80%) was released outside of the primary coolant system, (b) about half of the iodine was retained in the primary coolant water, (c) other fission products, like Cs, Ba, and Te were retained in large quantities in the primary coolant water (more than 75%).

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 were 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 draft of the EASR was also released by the project. The post test irradiation analysis (PIE) has been underway. The gamma scanning and neutron radiography of the damaged FP-2 center bundle were performed. Based on the observations on the pictures and sections from the bundle, it is seen that the bundle was damaged quite extensively. In order to get more information on fuel behaviour (cladding oxidation, fuel relocation and blockage, etc.) and fission product distribution, relocation and retention, the bundle was already sectioned. The analyses for flow blockage and other issues on various sections are underway.

Post test analysis of this test have been performed or underway by Spain, Japan and Switzerland. These analyses were incorporated in the comparison report. The report was discussed in the PRG meeting in Helsinki (September 1988)

1.2 Post Test Analysis of LOFT Experiments at PSILP-SB-3

Two post test analyses were completed successfully. The results were documented. PSI 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. PSI contributed the comparison analysis of LP-LB-1 and LP-02-06. The comparison analysis for LP-02-06 was conducted by PSI. The document was 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 PSI 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 was published in an PSI document.

The PSI thermal hydraulic and fission product analyses on this experiment was 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 were made to simulate the control rod behaviour, fission product inventory, release, and transport in the primary system using various computer programs. A US code (VAPOUR) was further developed to better simulate the PWR control rod behaviour. The results of the thermal hydraulic was incorporated in the comparison report as a joint work of US DOE and Switzerland.

Persons contributing:

S. Guntay
Dr. O. Mercier
F. Aeby
Dr. D. Lübbesmeyer

2. MITARBEIT IN DER IEA (1988)

In the period, covered by this report, two 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 chaired of the PRG (Program Review Group) during its last meetings this year.

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 H₂ production and fission product distribution, release and retention.

LP-LB-1

UK will send out the revised version of the comparison report in draft. The conclusions will be finalized after its circulation.

LP-FP-1

KWU (FRG) is going to issue the fission product EASR of LP-FP-1. Switzerland has already contributed to this analysis.

LP-FP-2

EPRI will issue the comparison report on thermal-hydraulics in draft form. PIE on center bundle is underway. US has prepared EASR in draft form on thermal-hydraulic and fission products issues and on severe core damage. Member countries continue their individual analyses.

OECD-LOFT Project Report

A decision was taken to prepare a report covering the highlights of the project and emphasising the outcome and impact of experiments on Light Water Reactor Safety Research. Outline of this report has already been prepared. Some member countries have taken role in writing the report.

4. PUBLICATIONS

- S. Güntay, O. Mercier, On the LP-FP-1 Release Fractions, Gemeinschaftsbericht Nr.21, September 1988.
- S. Güntay, A Comparative Analysis on OECD-Loft Experiment LP-02-6, OECD-LOFT-T-3410, November 1987.
- O. Mercier, Report from the Program Review Group to the LOFT Program Board of Management, Idaho Falls, July 1988.
- P. Coddington, Analysis of LOFT Experiment LP-LB-1 Using TRAC-Code, AEEW-R 2039, 1988.
- P. Coddington, A Comparative Analysis of OECD-LOFT Experiment LP-LB-1, 1988.
- S. M. Modro, LP-FP-2 EASR Thermal Hydraulic Analysis, 1988.
- F Aeby, PWR Control Rod Behaviour During Severe Accident, Improvements on the Computer Program Vapor, 1988.

5. NEW RESEARCH AREAS

The complete analysis of the test LP-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 coolant system. 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.

STOSSVERSUCHE (SIMULATION FLUGZEUGABSTURZ)

Ziel des Projekts: Auswertung der Stossversuche am HDR im Hinblick auf das Verhalten des Gebäudes und der Ausrüstungen bei Flugzeugabsturz, Bewertung der verfügbaren Berechnungsmethoden und der bisherigen Auslegungspraxis für schweizerische Kernkraftwerke

Dauer des Projekts: 1988

Beitragsempfänger:

Berichterstatter:

P. Zwicky
Basler & Hofmann AG

Adresse:

Forchstrasse 395, 8029 Zürich

Telephon:

01/55 11 22

1. Zielsetzung

Die in der BRD am Heissdampfreaktor (HDR) im Jahre 1985 durchgeführten Stossversuche und die begleitenden Modellrechnungen sollten systematisch ausgewertet werden. Dabei waren die folgenden Fragen zu untersuchen:

- Wie gut lassen sich die Gebäudeerschütterungen und das Verhalten der Ausrüstungen bei FLA mit den heute verfügbaren Methoden berechnen? Welche Anforderungen sind an die Berechnungsmethoden zu stellen?
- Welche praktische Bedeutung haben die durch den Aufprall induzierten Erschütterungen für die Festigkeit und Standsicherheit der Ausrüstungen?

Die aus den Versuchen gewonnenen Antworten auf diese Fragen sollten bezüglich ihrer Uebertragbarkeit auf den realen Auslegungslastfall diskutiert werden. Schliesslich sollte anhand der Ergebnisse die bisherige Auslegungspraxis in der Schweiz bewertet werden. Nach Möglichkeit waren auch Folgerungen für zukünftige Anwendungen abzuleiten.

2. Ergebnisse

Erkenntnisse aus den HDR-Stossversuchen

Mit den HDR-Stossversuchen ist es erstmals gelungen, das Verhalten eines Reaktorgebäudes unter einer FLA-ähnlichen Stosslast im Massstab 1:1 experimentell zu untersuchen. Dabei zeigte es sich, dass sich das Gebäude und die Rohrleitungen im wesentlichen so verhalten, wie man es aufgrund theoretischer Modelle von ihnen erwartete. Die massgebende Kenngrösse beim Stoss ist der Stossimpuls, welcher linear in praktisch alle Ergebnisse eingeht. Bei der Antwort des Abschirmgebäudes ist zudem der zeitliche Verlauf der Stosskraft, der sich im dynamischen Lastfaktor äussert, von Bedeutung. Die Rohrleitungen werden vorwiegend durch das ausschwingende Gebäude, also relativ tieffrequent, angeregt. Die hochfrequenten Beschleunigungen zu Beginn des Stossvorgangs werden für die Beanspruchung der Rohrleitungen kaum massgebend.

4.3

Da der Lastfall FLA in der Regel nur rechnerisch nachgewiesen werden kann, war der Vergleich der Versuchsergebnisse mit den Berechnungsergebnissen von zentralem Interesse. Hieraus waren Hinweise zur Genauigkeit und Zuverlässigkeit rechnerischer Vorhersagen zu erwarten. Die HDR-Versuche haben diesbezüglich bestätigt, dass der Lastfall FLA grundsätzlich einer rechnerischen Behandlung mit den heute üblichen Methoden zugänglich ist. Die Genauigkeit der Resultate kann allerdings je nach Qualität des Berechnungsmodells relativ stark variieren. Generell hat es sich gezeigt, dass die Antwort des Abschirmgebäudes tendenziell unterschätzt, jene der Innenstruktur eher überschätzt wird. Insbesondere die Genauigkeit der Schwingungsantwort des Abschirmgebäudes hängt stark vom Detaillierungsgrad des Modells ab: Die Modellierung der dynamischen Schaleneffekte ist eine unabdingbare Voraussetzung für einigermaßen zuverlässige Resultate. Als zweckmässigste Modellierungsart hat sich deshalb die Verwendung von Schalenelementen erwiesen, wobei im vorliegenden Fall rotationssymmetrische Elemente deutlich am effizientesten waren.

Auch die Beanspruchungen einer nahe bei der Aufprallstelle befestigten Rohrleitung konnten in der Modellrechnung gut angenähert werden. Sowohl Versuch als auch Berechnung zeigen, dass die hochfrequenten Anregungsanteile zwar für die Beschleunigungen, nicht aber für die Beanspruchungen der Rohrleitung massgebend sind.

Uebertragbarkeit auf den Auslegungslastfall FLA

Aufgrund der Versuchsergebnisse ist zu erwarten, dass ein um das 20-fache erhöhter Stossimpuls - wie er bei einem Auslegungslastfall FLA auftritt - beim HDR-Reaktorgebäude sowohl lokal (im Aufprallbereich) als auch global (im Bereich des Fundaments) zu überelastischen Beanspruchungen geführt hätte. Somit können die Schwingungsantworten am HDR-Reaktorgebäude und den Rohrleitungen nicht direkt auf den Auslegungslastfall hochgerechnet werden. Moderne Kernkraftwerkgebäude haben aber massivere Aussenschalen, grössere Fundamentflächen und generell gedrungeneren Formen. Ihre Baustrukturen sind oft so bemessen, dass sie beim FLA-Auslegungslastfall weitgehend elastisch bleiben und höchstens im Aufprallbereich lokal plastifiziert werden. Bei elastischem Verhalten sind alle Schwingungsantworten dem Stossimpuls proportional. Im Fall einer lokalen

Plastifizierung wäre lokal, im Aufprallbereich mit etwas erhöhten Beschleunigungsantworten zu rechnen. In grösserer Entfernung und an der Innenstruktur dürfte sich dies aber kaum auswirken.

Die Erkenntnisse aus den HDR-Stossversuchen werden deshalb als übertragbar beurteilt für die FLA-Auslegung von ausserhalb des Aufprallbereichs befestigten Ausrüstungen in Gebäuden, die derart ausgelegt sind, dass höchstens lokale Plastifizierungen im Aufprallbereich zugelassen werden.

Folgerungen für die Auslegungspraxis in der Schweiz

Die Erkenntnisse aus den HDR-Stossversuchen lassen erwarten, dass die Ausrüstungen in bestehenden schweizerischen Kernkraftwerken beim Auslegungs-FLA unter den folgenden Bedingungen kaum gefährdet sind, obwohl sie in den seltensten Fällen rechnerisch oder experimentell qualifiziert worden sind:

- Das umhüllende Gebäude ist gegen den FLA derart bemessen, dass höchstens lokale Plastifizierungen zugelassen werden.
- Die Ausrüstung ist nicht direkt an einem möglichen Aufprallbereich der Baustruktur befestigt und sie ist gegen Erdbeben ausgelegt.

Diese Bedingungen sind für die meisten der wichtigsten Ausrüstungen in den KKW Leibstadt und Gösgen erfüllt. Für zukünftige Auslegungen haben sich die in der HSK-Richtlinie 102 festgehaltenen Vorgaben im Hinblick auf die Ausrüstungen als wirksame Grundlage bestätigt.

ERDBEBENSIMULATIONEN

- Ziel des Projekts:**
- Zusammenfassende und kritische Darstellung der Ergebnisse und Erkenntnisse aus dem EPRI/USNRC-Validierungsprojekt von Analysemethoden der Boden-Struktur-Interaktion im Falle von Erdbeben
 - Folgerungen für die Ueberprüfungstätigkeit der HSK

Dauer des Projekts: 1988

Beitragsempfänger:

Berichterstatter:

H. Fierz
Basler & Hofmann AG

Adresse:

Forchstrasse 395, 8029 Zürich

Telephon:

01/55 11 22

1. Zielsetzung

Mit ihrer Teilnahme am EPRI/USNRC-Validierungsprojekt von Analysemethoden der Boden-Struktur-Interaktion im Fall von Erdbeben bietet sich der HSK die Gelegenheit, eine Uebersicht über den aktuellen Stand der Technik auf diesem Gebiet zu gewinnen. Durch die Auswertung und den Vergleich der Ergebnisse aller Teilnehmer am Validierungsprojekt sollen insbesondere folgende Punkte beleuchtet werden:

- Bestätigung bisher üblicher Modellannahmen
- Vor- und Nachteile verschiedener Analysemethoden
- Noch offene sowie im Rahmen des Validierungsprojektes neu aufgeworfene Fragen

Aus den gewonnenen Erkenntnissen sollen auch Folgerungen für die Ueberprüfungstätigkeit der HSK abgeleitet werden.

2. Durchgeführte Arbeiten

Um die im Rahmen des EPRI/USNRC-Validierungsprojektes eingesetzten Analysemethoden bewerten zu können, wurde versucht, die Einflüsse von Modellierung und Berechnungsmethode auf die Endergebnisse zu trennen. Dazu wurde die Interpretation der Baugrunddaten durch verschiedene Teilnehmer am Validierungsprojekt auf ein einheitliches Bodenmodell reduziert.

3. Ergebnisse

Die wichtigsten Erkenntnisse zur Analyse von Boden-Struktur-Interaktionsproblemen im Falle von Erdbeben können bezüglich Methodik, Modelldaten und Berechnungsmethoden folgendermassen zusammengefasst werden:

Methodik

Die Dehnungsabhängigkeit der Bodeneigenschaften (Schubmodul und Dämpfung) muss berücksichtigt werden. Die übliche Behandlung dieses nicht-linearen Verhaltens des Boden durch iteratives Vorgehen mit äquivalent-linearen Methoden gibt gute Resultate.

Modelldaten

Sorgfältige Baugrunduntersuchungen im Feld und im Labor sind eine wichtige Voraussetzung für eine gute Modellierung. Wegen der Inhomogenität des Baugrundes bleiben aber Unsicherheiten bestehen.

Berechnungsmethoden

Von den Berechnungsmethoden ist zu fordern, dass sie in der Lage sind, sowohl die Nichtlinearität der Bodeneigenschaften als auch den dreidimensionalen Charakter des Boden-Struktur-Interaktionsproblems zu berücksichtigen. Diese Anforderungen werden von den neuesten Berechnungsmethoden erfüllt. Zu bemerken ist aber, dass zur Erzielung brauchbarer Ergebnisse die Erfahrung beim Einsatz solcher Methoden eine nicht unbedeutende Rolle spielt.

Was die **Ueberprüfungstätigkeit** der HSK anbelangt, konnte festgestellt werden, dass sie dem aktuellen Stand von Wissenschaft und Technik entspricht.

LWR-KONTAMINATIONS-KONTROLLE**Ziel des Projekts:**

Ziel der Arbeiten ist die Entwicklung und Validierung eines Modells zur Beschreibung des Aktivitätstransports in Kühlkreisläufen von KKW's. Dabei stehen Arbeiten am Schwebstoff-loop im Vordergrund, begleitet von Einzeluntersuchungen in Autoklaven. Eine fortgeschrittene Wasseranalytik soll einen tiefern Einblick in die Chemie des Wassers und der Spurenverunreinigungen gestatten. Der Betrieb des Loops orientiert sich dabei an den Verhältnissen in schweizerischen Siedewasserreaktoren, was durch entsprechende Untersuchungen sichergestellt wird.

Dauer des Projekts: 1987 - 1991

Beitragsempfänger:

Berichterstatter: E. Schenker

Adresse: Paul Scherrer Institut, 5232 Villigen PSI

Telephon: 056 - 99 24 00

1. Einleitung

Das Arbeitsprogramm (1) gliedert sich in 5 Bereiche, die in gegenseitiger Wechselwirkung stehen. Dabei steht der **Betrieb des Schwebstoffloops** im Vordergrund, aber nicht losgelöst für sich, sondern als Werkzeug zur Validierung eines umfassenden **Ablagerungsmodells**. Dazu sind einerseits ergänzende **Laborversuche** notwendig, bei denen einzelne Versuchsparameter stärker und schneller geändert werden können als im Loop, andererseits Messungen und Probenahmen in Kernkraftwerken, um den Bezug zur **Kraftwerkrealität** herzustellen und zu behalten. Die Untersuchungen im Labor und vor allem im Schwebstoffloop benötigen eine **fortgeschrittene Analytik**, die unseren besonderen Bedürfnissen anzupassen ist, und die auch in den KKW's eingesetzt werden kann.

2. Schwebstoffloop

2.1 Ziele für 1988

Montage des Loops, einholen der Aufstellungsbewilligung beim SVDB für den eingebauten Elektroheisswasserbehälter. Inaktive Inbetriebnahme bei Sollbedingungen (Druck, Temperatur, Sauerstoffgehalt, Wasserqualität).

2.2 Durchgeführte Arbeiten 1988

Der Loop ist angeliefert und in den wesentlichen Teilen erprobt. Sobald die Bauteile, die den heissen Teil des Kreislaufs bilden, thermisch isoliert sind, kann er bei Sollbedingungen (90 bar, 290 °C) erprobt werden.

3. Ablagerungsmodell

3.1 Ziele 1988

Planung von Laborexperimenten. Einbau des Sedimentationsmodells für Schwebstoffe und des Kristallisationsmodells für gelöste Verunreinigungen in das Zweischichten-(ASEA)-Modell. Mitarbeit im WACOLIN-Projekt der IAEA.

3.2 Ergebnisse 1988

Die bestehenden Modelle zum Aktivitätsaufbau in Siedewasserreaktoren wurden kritisch gesichtet. Davon ausgehend wurden Vorschläge für Laborexperimente gemacht (2).

3.3 Internationale Zusammenarbeit

Die Mitarbeit im WACOLIN (Water Chemistry Control and Coolant Interaction with Fuel and Primary Circuit Materials in Water Cooled Power Reactors) ergibt wertvolle Kontakte mit führenden Stellen. Es wird ein "Manual of Good Practice on Reactor Water Chemistry in Nuclear Power Plants" geschaffen, welches die Kapitel Korrosion, Wasserchemie, Aktivitätsaufbau und Dekontamination umfassen soll. Als eigenständiger Beitrag der Schweiz wird ein Bericht über den Aktivitätsaufbau in Siedewasserreaktoren erstellt.

4. Laborversuche

4.1 Ziele für 1988

Für das Berichtsjahr war geplant, das Labor einzurichten und Autoklaven zu beschaffen, es sollte der Einfluss von TOC auf die Adsorption von Co-58 untersucht werden.

4.2 Ergebnisse 1988

Es wurde ein 1-Liter Rührautoklav, sowie eine Höchstdruckpumpe beschafft und in Betrieb genommen. Ein IAEA-Stipendiat untersuchte das Verhalten von anorganischen Hochtemperaturionenaustauscher auf der Basis von Titanoxid, Zirkonoxid, Ceroxid und Eisenoxid. Dabei zeigten sich Titanoxide sowohl bezüglich des Verteilungskoeffizienten als auch besonders bezüglich der Sorptionskapazität für Co^{2+} bei Raumtemperatur und bei hohen Temperaturen überlegen (siehe Tabelle 1). Bei allen untersuchten Oxiden nimmt der Verteilungskoeffizient mit steigender Temperatur ab. Aus der Temperaturabhängigkeit lassen sich für die Co^{2+} - Sorption Aktivierungsenergien von ca 66 kJ/Mol abschätzen. Dies sind deutlich höhere Werte, als wie sie üblicherweise für Ionenaustauschreaktionen gefunden werden, dies deutet auf die Bildung von Titanaten hin (3).

Tabelle 1 Sorptionskapazität verschiedener hydratisierter Oxide für Co^{2+} bei Raumtemperatur und bei 300 °C.

Sorbent	Kapazität für Co^{2+} (meq/g Oxid)	
	25 °C	300 °C
Fe_3O_4	0.14	0.17
ZrO_2	0.85	0.27
TiO_2 aq.Li*	3.18	0.97
TiO_2 aq.K**	1.41	0.34

* Hydratisiertes Titanoxid, mit Kalium beladen,

** Hydratisiertes Titanoxid, mit Lithium beladen.

5. Fortgeschrittene Analytik

5.1 Ziele für 1988

Vorgesehen waren die Eichung des Gerätes zur Messung des TOC (Total Organic Carbon) in Wasser und erste Messungen an Reaktorwasser, die Anschaffung eines Gerätes zur Analyse von Kieselsäure (SiO_2), sowie eines Gerätes zur Partikelzählung und Messung für Schwebstoffe.

5.2 Ergebnisse 1988

Zurzeit wird das Gerät zur Bestimmung von organischem Kohlenstoff in Wasser geeicht. Grosses Gewicht wurde auf die Herstellung von "reinem" Wasser gelegt, da die normalerweise in chemischen Laboratorien verwendeten deionisierten und destillierten Wässer einen TOC-Gehalt von 300 - 3000 ppb aufweisen, was bei einem Erwartungswert von ca 100 ppb für Reaktorwasser und bei einer Geräteempfindlichkeit von 10 ppb die Herstellung von Eichlösungen mit solchem "Reinwasser" ausschliesst. Für die Kieselsäureanalytik wurde ein älteres Spektralphotometer reaktiviert. Es wurden verschiedene Messgeräte mit Laserlichtquelle zur Zählung und Grössenmessung von Schwebstoffen evaluiert und zum Teil mit Grimselwasser geprüft. Bevor ein solches Gerät beschafft wird, soll vom Lieferanten gezeigt werden, dass das Gerät für in Line - Betrieb (90 bar, 290 °C) ertüchtigt werden kann.

6. Kernkraftwerkrealität

6.1 Ziele für 1988

Für das Berichtsjahr war geplant, an den die nuklidspezifischen Gammamessungen an den Umwälzschleifen der Kernkraftwerke Mühleberg und Leibstadt zu wiederholen. Ausserdem sollte Crud von Brennelementen und aus dem Reaktorwasser gesammelt werden.

6.2 Ergebnisse 1988

Die schon 1986 und 1987 ausgemessenen Teile der Umwälzschleifen des KKM und des KKL wurden erneut ausgemessen. Die Resultate dieser Messungen in Mühleberg werden publiziert (4).

7. Unterlagen

- (1) Schenker E., Francioni W.
Projekt LWR Kontaminationskontrolle, Arbeitsprogramm 1988/90
AN-43-88-31 vom 25.5.88
- (2) Covelli B., Alder H.P.
Zum Aktivitätsaufbau an den Umwälzschleifen von Siedewasser-
reaktoren: Grundlagen zur Modellierung der Transport- und Ab-
lagerungsvorgänge
PSI-Bericht Nr.2 März 1988
- (3) Bilewicz A.
Studies on the Sorption of Radionuclides in High Temperature
Water
(erscheint als Technische Mitteilung)
- (4) Gott K., Schenker E.
Build-up of Radioactive Deposits in the Replacement Recircu-
lation Piping in Mühleberg
Fifth International Conference of Water Chemistry of Nuclear
Reactor systems 1989

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: Paul Scherrer Institut (PSI)

Berichterstatter: Dr. O. Mercier

Adresse: Paul Scherrer Institut
5232 Villigen PSI

Telephon: 056 / 99 21 11

1 Zielpunkte, durchgeführte Arbeiten und erreichte Ergebnisse

Seit dem am 30.8.1983 erfolgten Vertragsabschluss zwischen dem Paul Scherrer Institut (PSI), vormals Eidg. Institut für Reaktorforschung (EIR) und dem Kernforschungszentrum Karlsruhe (KfK), nimmt das PSI zusammen mit schweizerischen Partnern aus Industrie und Hochschule am Sicherheitsprogramm Heissdampfreaktor (HDR) des KfK teil. Hauptziel dieser Forschung ist es, die Sicherheitsreserven von Reaktorkomponenten mit Rissen und anderen Defekten zu bestimmen. Als Teilziele wurden im Berichtsjahr gesetzt:

- Finite Elemente (FE)-Nachrechnung für Rohrkrümmerversagensversuche;
- Folgende Abschlussarbeiten des HDR-Programms, Phase II, inklusive Berichterstattung:
 - Langzeitthermoschock: Temperaturberechnungen;
 - Schallemission: Versuchgruppe THEL und Zwischenbehälter ZB2;
 - Abschlussbericht und vorbereitende Arbeiten für das PHDR-Phase III, Teilprojekte 2 und 3.

1.1 FE-Nachrechnung für Rohrkrümmerversagensversuche

Eine zyklisch wechselnde thermische Beanspruchung von Rohrleitungen, wie sie beispielsweise bei Kühlwassereinspeisung auftritt, kann Biegebelastungen bewirken, die ihrerseits Anrisse zur Folge haben können. Schadenfälle, verursacht durch Betriebslasten an ferritischen Rohrleitungen von Kernkraftwerken, haben gezeigt, dass dieser Vorgang durch Korrosion wesentlich beeinflusst wird. Im Berichtsjahr wurde *ORVIRT-II* zur bruchmechanischen Analyse einer unter der genannten Beanspruchung stehenden Rohrleitung eingesetzt [1]. Die Analyse orientierte sich an den experimentellen Daten des Versuchs RORV(B), der im Rahmen des HDR Sicherheitsprogramms durchgeführt wurde. Bei diesem Versuch wurde ein Krümmer der Versuchsrohrleitung mit Innendruck, Temperatur und einer von aussen eingebrachten Biegekomponente zyklisch belastet, bis er durch den natürlich herbeigeführten Längsriss versagte. Ziel dieses Versuchs war unter anderem, das gemessene Risswachstum mit Rechnungen zu vergleichen und die Übertragbarkeit Probe - Bauteil zu überprüfen.

Zur numerischen Analyse wurden einzelschrittbehaftete FE Modelle erstellt (Abb. 1a). Zur Erfassung der verschiedenen Etappen des Risswachstums wurden sowohl Risslänge wie auch Risstiefe variiert, beginnend mit von den Werten des im Experiment von der Innenseite der Krümmerflanke ausgehenden Durchrisses. Für jedes Modell wurde ein Belastungszyklus mit inkrementell gesteigertem Biegemoment durchgerechnet. Die Verwendung von *ORVIRT-II* zur Bestimmung der Energiefreisetzungsrate G erlaubte die Berücksichtigung sowohl des der Versuchstemperatur entsprechenden elastisch-plastischen Werkstoffverhaltens wie auch der infolge Innendrucks wirkenden Rissuferbelastung. Stellvertretend für die beträchtliche Menge von Ergebnissen zeigt Abbildung 1b für die volle Risslänge und einer der halben Wanddicke entsprechenden Risstiefe den Verlauf der Energiefreisetzungsrate G entlang der Risskante als Funktion des inkrementell gesteigerten

Biegemoments. Aus der hohen Beanspruchung bei maximaler Risstiefe in der Bogenmitte, im Vergleich zur geringeren im Bereich des Rissauslaufs, kann geschlossen werden, dass dieser Riss vorzugsweise in Wanddickenrichtung weiterwachsen wird. Die Ursache für die auftretende Oszillation der G-Werte beim Rissauslauf wurde als Resultat einer mit Hilfe von *ORMGEN-II* parallel durchgeführten Modellparameterstudie in der gewählten Geometrie des Maschennetzes gefunden. Das Niveau der G-Werte deutet an, dass vor allem während der Versuchsetappen mit erhöhtem Biegemoment-Mittelwert der Rissinitiationwert $J_i = 85$ Joule ständig überschritten worden war und das zyklische Risswachstum somit durch ein stabiles überlagert wurde. Diese Vermutung wurde durch die Bildung von zähen Waben, die auf den Bruchflächen gefunden wurden, bestätigt.

Bearbeitung: S. Brosi (Projektleiter), D. Uhlmann (MPA), H. Diem (MPA)

1.2 Abschlussarbeiten des HDR-Programmes, Phase II, inklusive Berichterstattung.

1.2.1 Langzeitthermoschock: Temperaturberechnungen

Will man die Sicherheitsabstände von der Beanspruchung zur Tragfähigkeit von Komponenten eines Kernkraftwerkes während der Lebensdauer garantieren, so müssen die Materialeigenschaften und wirklichen Beanspruchungen während des Betriebes möglichst genau erfasst werden. Eine Zone hoher Beanspruchungen stellt der Kaltstrang mit dem Stutzen zum RDB (Reaktordruckbehälter) dar, speziell bei Kaltwassereinspeisung (Abb. 2). Im HDR-Sicherheitsprogramm wurde die Belastung des Kaltstranges und des Reaktordruckbehälters während einer Hochdruckeinspeisung in den Kaltstrang in angenäherten Full-Scale-Experimenten untersucht (Versuchsgruppe TEMB). Anhand der dabei gewonnenen Messergebnisse werden die heute verwendeten Rechenverfahren (Codes) überprüft. Es wurden an mehreren Stellen im Ringraum die Wassertemperatur und an der RDB-Innen- und Aussenwand die Oberflächentemperatur sowie die Dehnungen gemessen. An einer Stelle direkt unter dem Stutzen wurden auch die Temperaturen in verschiedenen Positionen über die Wandstärke gemessen. Berechnungen an Modellen mit 1-dimensionalen und 2-dimensionalen Geometrien ergaben keine gute Übereinstimmung mit den im Experiment gemessenen Dehnungen. Bei der 3-dimensionalen Modellierung stellte sich das Problem der flächenhaften Bestimmung der Umgebungstemperatur sowie des Wärmeübergangs an der RDB-Innenseite. Die Temperaturberechnungen zeigen eine gute Übereinstimmung mit den gemessenen Temperaturen.

Bearbeitung: R. Wanner (Projektleiter), S. Brosi, M. Schmid

1.2.2 Schallemission: Versuchsgruppe THEL und Zwischenbehälter ZB2

Mit der Versuchsgruppe THEL wurde die als ungünstigster Lastfall auftretende Belastung aus Innendruck und Langzeitthermoschock untersucht. Im zyklisch belasteten Vier-Punkt-Biegeversuch THEL T 14 an einer 70 °C warmen Platte wurden die bruchmechanischen und numerischen Methoden zur Versagensvoraussage in den THEL Experimenten mit einem Grossprobenversuch überprüft. Die dabei registrierten Schallemissionssignale wurden auf die Reibung zwischen der Platte und den Belastungsrollen der Ermüdungsmaschine zurückgeführt. Bei den 3 Thermoschockversuchen THEL T14.1, T14.2 und T14.2.1

am HDR-Versuchsreaktor wurden einzig beim Versuch THEL T14.2.1 die richtigen experimentellen Bedingungen erfüllt, bei den anderen Versuchen war die Abkühlung ungenügend. In dieser Versuchsserie, bei welcher der von uns überwachte Riss nicht gewachsen ist, traten keine relevanten Schallemissionssignale auf.

Im Rahmen des HDR-Programmes konnten wir 1986 am Zwischenbehälter ZB2 Schallemissionsmessungen durchführen. Unsere Methode der lokalen Überwachung eines Fehlers zeigte auf, dass einzelne Quellen mit vorwiegend wiederkehrenden Ereignissen Schall emittieren und dass sie entlang der Rissfläche mit hoher Präzision 3-dimensional geortet werden können (Abb. 3, [2]). Die 1988 durchgeführte Bearbeitung aller Messresultate und deren physikalische Auswertung ergaben, dass die Schallemission durch Rissuferreibung hervorgerufen wurde [3]; für einige seltene Ereignisse kommt Risswachstum in Betracht. Daneben wurde am gemeinsamen Abschlussbericht aller am ZB2 beteiligten Institutionen sowie am Abschlussbericht des PSI gearbeitet.

Bearbeitung: R. Attinger (Projektleiter), B. Tirbonod, L. Hanacek, K. Wulle, E. Schneider

1.2.3 Abschlussbericht und vorbereitende Arbeiten für das Teilprojekt 2 und 3 der PHDR-Phase III.

Drei Teilabschlussberichte [4], [5] und [6] sind 1988 erschienen. Die Teilabschlussberichte über die FE-Nachrechnung für Rohrkrümmerversagensversuche, über die Langzeitthermoschock Berechnungen und über die Messungen der Schallemission am ZB2 sowie der Abschlussbericht der schweizerischen Beiträge am HDR Programm, Phase II, werden im ersten Quartal 1989 erscheinen. Der technische Anhang der Vereinbarung zwischen KfK und PSI über HDR, Phase III, wurde entworfen.

2 Mitarbeit in der IEA

Die wichtigsten Ereignisse des laufenden Berichtsjahres werden an der 11. SMiRT Konferenz im August 1989 in Los Angeles vorgetragen. Die Interpretation der am HDR durchgeführten Grossversuche erforderte das Beschaffen und Erarbeiten des notwendigen Know-hows sowie die Verifikation der eingesetzten Computer-Programme und Messverfahren.

3 Programm 1989

1989 wird Phase III unserer Beteiligung am HDR-Programm begonnen. Die folgenden Arbeiten sind geplant:

- Langzeitthermoschock: Spannungsberechnungen zu TEMB und Bau eines Heisswasserkreislaufs für Spannungsrisskorrosionsexperimente
- Rohrleitung-Experiment: Definition des Blow-Down Versuchs
- Schallemission: Laboruntersuchungen für die Klassifizierung von Schallemissionsquellen

Referenzen

- [1] D. Uhlmann, H. Diem, S. Brosi: "Bruchmechanische Strukturanalyse eines längsrisssbehafteten Rohrbogens unter statischer Belastung", 14. MPA-Seminar, Materialprüfungsanstalt Stuttgart, Oktober 1988.
- [2] 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", Proceedings of the 4th European Conference on Non Destructive Testing, Pergamon Press, Oxford, 1988, p. 2943.
- [3] B. Tirbonod, L. Hanacek: "Results of an Acoustic Emission Test During the Local Monitoring of a Crack in the Pressure Vessel ZB2", Presented to the 17th Meeting of the European Working Group in Acoustic Emission, Scheveningen, 20. - 23. September 1988.
- [4] R. Wanner, S. Brosi, R. Attinger: "Finite-Elemente-Berechnungen zu den HDR-Thermoschockversuchen am Stutzen des Reaktordruckbehälters", Vortrag am 11. Statusbericht PHDR, Dezember 1987.
- [5] H. J. Schindler, P. Zwicky: "Nichtlineare Vorausrechnungen, Resultatvergleich und Interpretation zu den Shakerversuchen am Reaktorgebäude", PSI Gemeinschaftsbericht 19, September 1988.
- [6] H. J. Rensch, B. Lohmeyer, H. Hofmann: "Einfluss von Einfach- und Vielfach-Rissen zu den Thermoschock-Untersuchungen THES/NOTS im Rahmen des HDR-Programmes", PSI Gemeinschaftsbericht 20, September 1988.

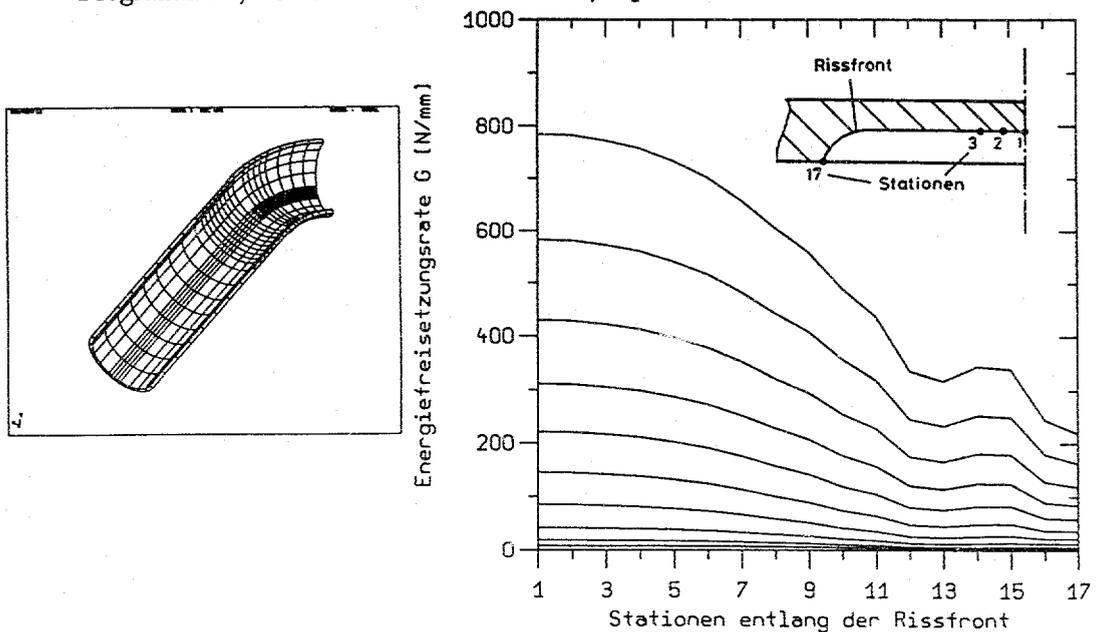


Abbildung 1: FE Maschennetz eines Viertels des Rohrkrümmers mit Einzelriss (a) und Energiefreisetzungsrate G entlang der Rissfront für verschiedene Laststufen (b)

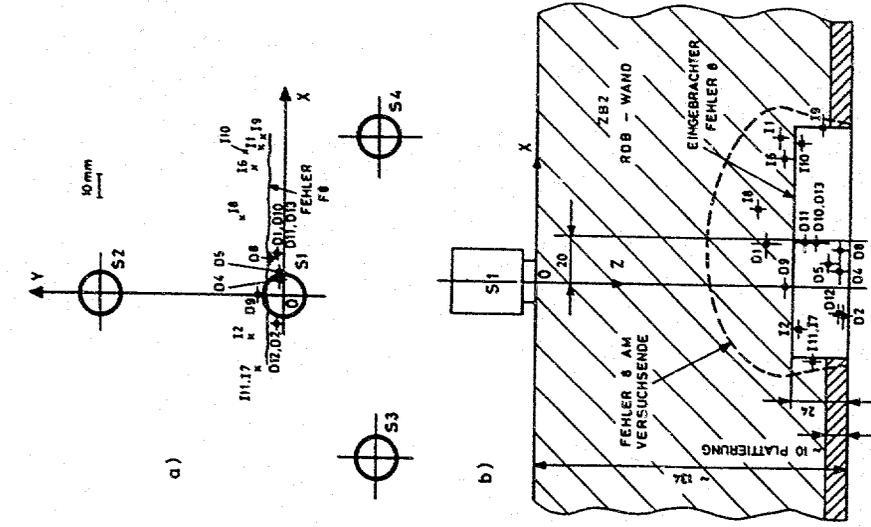


Abb. 3. ORTUNG DER QUELLEN DER SIGNALTYPEN - (1) AUS DRUCKZUNAHME (D) AUS DRUCKABNAHME
 a) IN DER ZYLINDEREBENE
 b) IN DER ZYLINDERWAND

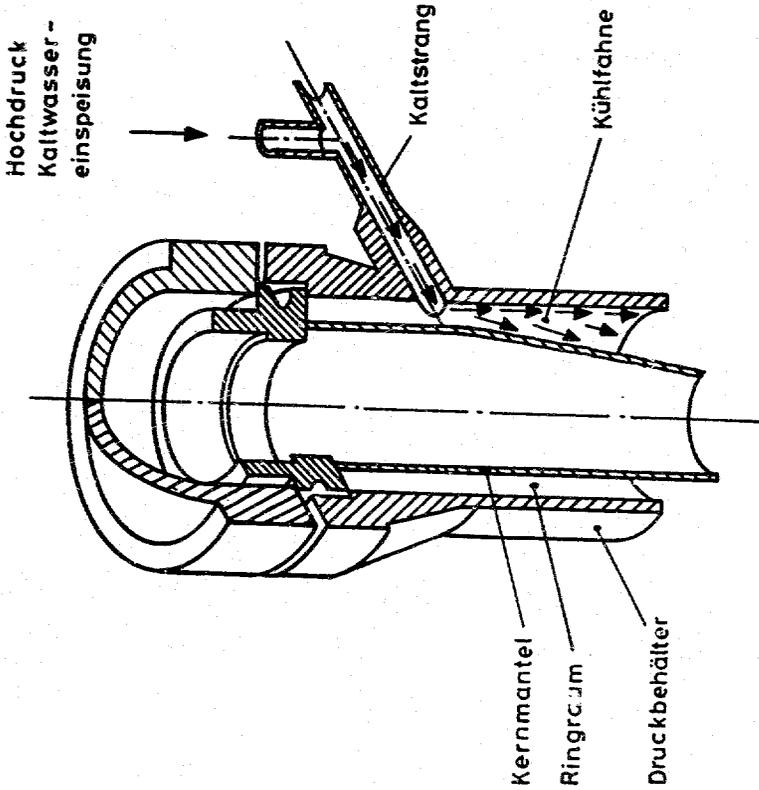


Abbildung 2 : Druckbehälter mit Kaltwasser-Einspeisung

SICHERHEIT DES SCHNELLEN BRUTREAKTORS**Ziel des Projekts:**

Leistung von Beiträgen zur internationalen Sicherheitsforschung für den natriumgekühlten Schnellen Brutreaktor.

Verfolgung der Schnellbrüter-Sicherheitstechnik und der Schnellbrüterentwicklung allgemein.

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

Beitragsempfänger: Paul Scherrer Institut, Würenlingen/Villigen
Berichterstatter: P. Wydler
Adresse: Paul Scherrer Institut, 5232 Villigen PSI
Telephon: 056 99 21 11 (Vermittlung) 056 99 20 67 (Durchwahl)

1. Ueberblick

Einen besonderen Schwerpunkt in der internationalen Brüttersicherheitsforschung bildeten während langer Zeit Untersuchungen im Zusammenhang mit der Leistungsexkursion, d.h. mit einer kurzzeitigen, durch eine unkontrollierte Reaktivitätszufuhr verursachten Leistungsspitze. Bis zu diesem Jahr hat auch das Paul Scherrer Institut (PSI) Beiträge zu diesen Untersuchungen geleistet, wobei die Entwicklung und Verifizierung eines Hydrodynamik/Strukturmechanik-Programms zur Berechnung des mechanischen Verhaltens der Komponenten des Primärkreislaufs unter Berücksichtigung der Fluid-Strukturwechselwirkung im Vordergrund stand.

Probabilistische Sicherheitsanalysen zeigen, dass das Gesamtrisiko nicht durch den schlimmsten Unfall, sondern durch kleinere, aber wesentlich häufigere Unfälle dominiert ist. In der Brüttersicherheitsforschung stehen deshalb heute Unfälle im Vordergrund, die bezüglich ihres Erwartungswertes und ihrer Auswirkungen zwischen den Auslegungsunfällen und den schweren hypothetischen Unfällen liegen. Ein wichtiger Unfall in diesem Zwischenbereich ist der "Brennelementunfall", der durch eine plötzliche, vollständige Blockade der Kühlmittelzufuhr zu einem Brennelement ausgelöst würde. Dieser Unfall ist zwar ebenfalls ein hypothetischer Unfall, wird aber in bezug auf die Auswirkungen als umhüllend für eine Reihe von denkbaren Kühlmittelblockadeunfällen betrachtet.

Das PSI beteiligt sich an thermomechanischen Untersuchungen zum Brennelementunfall, die durch das Commissariat à l'Énergie Atomique (CEA) in Cadarache durchgeführt werden. Dabei geht es insbesondere um die Analyse des Versagens der Brennelementkastenwand unter der von einem Schmelzbad im Innern des Brennelements herrührenden thermischen Belastung sowie die Modellierung dieses Versagens im Rahmen eines Unfallsimulationsprogrammes.

Im Hinblick auf die Bedürfnisse für Unfallsimulationen werden die am PSI zur Verfügung stehenden reaktorphysikalischen Rechenmethoden und Neutronikdaten anhand eines Benchmark-Modells überprüft. Bei diesem Benchmark-Modell handelt es sich um das 1977 vom Nuclear Energy Agency Committee on Reactor Physics (NEACRP) vorgeschlagene Modell für einen 1250 MWe-Reaktor, für welches umfassende Resultate aus 10 verschiedenen Ländern vorliegen.

2. Arbeiten und Ergebnisse 1988

2.1 Thermomechanische Untersuchungen zum Brennelementunfall

Mit den Wärmeleitungs- und Spannungsanalysenprogrammen ADINAT und ADINA wurden Vorrechnungen für die französischen "out-of-pile"-Experimente COTHA (comportement

du tube hexagonal lors de l'accident d'assemblage) durchgeführt. Bei diesen Experimenten werden Testrohre elektrisch aufgeheizt und gleichzeitig von innen unter Druck gesetzt, bis sie thermomechanisch versagen. In einer ersten, demnächst beginnenden Serie von Experimenten werden hexagonale Rohre des Rapsodie-Reaktors verwendet. Die interessierenden Parameter sind die Druckrampe, die Temperaturrampe sowie radiale und azimutale Temperaturgradienten, die durch die Kühlung des Rohrs von aussen verursacht werden. Die Vorrechnungen des PSI ergaben, dass das Versagen je nach Parameterkombination in einer Ecke oder in der Mitte einer Seitenfläche zu erwarten ist. Die experimentelle Bestätigung der analytischen Resultate ist deshalb wichtig, weil der Unfallablauf im Reaktor durch den Ort des Versagens des Brennelementkastens wesentlich beeinflusst wird.

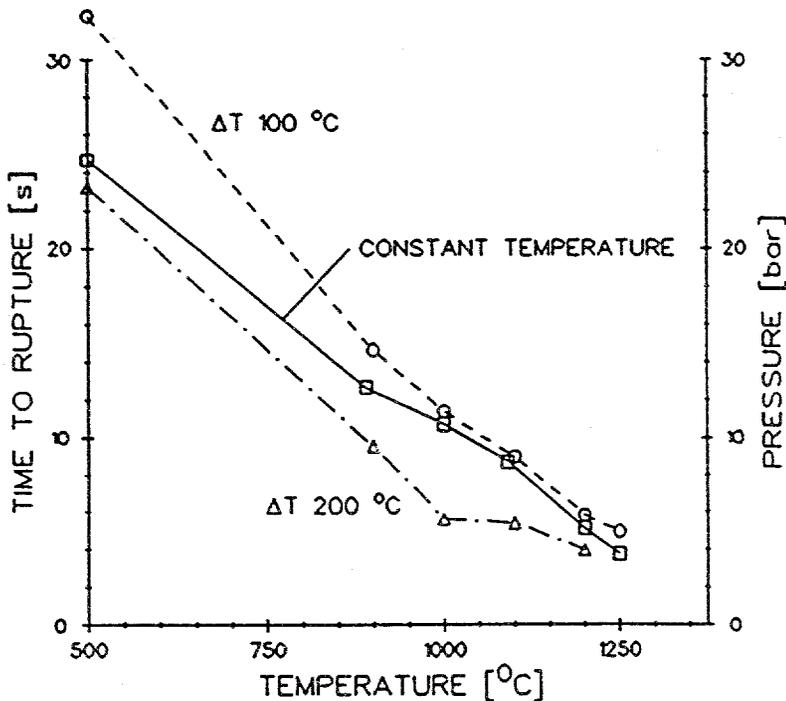


Figure 1: Mit ADINA berechnete Versagenszeit eines Hexrohrs bei einer Druckrampe von 1 bar/s

Figur 1 zeigt die mit ADINA berechnete Versagenszeit (y-Achse) für ein Hexrohr mit zeitlich konstanter Temperatur, das mit einer Druckrampe von 1 bar/s belastet wird. Die Parameter sind die mittlere Temperatur (x-Achse) und die Temperaturdifferenz ΔT zwischen der Innen- und der Aussenseite. Bei $\Delta T = 0$ (Kurve "constant temperature") liegt die für das Versagen kritische Stelle in der Ecke auf der Innenseite. Bei einem mässigen Temperaturgradienten ($\Delta T = 100$ °C) verschiebt sich die kritische Stelle in die Mitte der Aussenfläche, und das Hexrohr wird dadurch besonders bei niedrigen Temperaturen etwas widerstandsfähiger.

Bei einem grösseren Temperaturgradienten ($\Delta T = 200 \text{ }^\circ\text{C}$) nimmt die Widerstandsfähigkeit jedoch wieder ab.

Als Vorbereitung für die Analysen der COTHA-Experimente wurden 1987 thermomechanische Benchmarkrechnungen durchgeführt. Diese Rechnungen ermöglichten einen direkten Vergleich der am PSI verwendeten Programme ADINAT und ADINA mit den äquivalenten französischen Programmen DELFINE und INCA. In diesen Vergleich wurde neuerdings auch der von der italienischen ENEA benützte ABAQUS-Code einbezogen. Ueber die Resultate erscheint 1989 ein gemeinsamer Konferenzbeitrag [1].

2.2 Ueberprüfung der reaktorphysikalischen Rechenmethoden

Die Notwendigkeit einer Ueberprüfung der reaktorphysikalischen Rechenmethoden ergibt sich aus der Einführung von neuen, auf dem Joint Evaluated File (JEF) beruhenden Wirkungsquerschnittsdaten und neuen Programmodulen des im Aufbau begriffenen Codesystems AARE. Die Nachrechnungen umfassten k_{eff} -Werte für verschiedene Konfigurationen des Benchmark-Modells, Reaktionsraten, Konversions- und Brutverhältnisse, Kontrollstab-Reaktivitätswerte sowie die Sicherheitsparameter Na-Void und Brennstoff-Doppler. Die Resultate für die beiden Sicherheitsparameter sind in Tabelle 1 zusammengefasst.

Table 1: Vergleich der wichtigsten Sicherheitsparameter

	Na-Void ($k_{\text{void}} - k_{\text{ref}}) / k_{\text{ref}}$		Brennstoff Doppler ($k_{\text{hot}} - k_{\text{cold}}) / k_{\text{cold}}$ *	
	Na Void im inneren Kern	Na Void im Kern + ax.Blanket	Mit Na	Na Void
BENCHMARK				
Mittelwert der 16 Lösungen	0.02116	0.02098	-0.00729	-0.00433
Streuung (1σ) in %	12.1	16.8	10.8	14.3
PSI (JEF)	0.02066	0.02049	-0.01033	-0.00687
Abweichung in %	-2.4	-2.3	41.7	58.7

* $k_{\text{hot}} = k_{\text{eff}} (2200 \text{ }^\circ\text{K})$, $k_{\text{cold}} = k_{\text{eff}} (1100 \text{ }^\circ\text{K})$

Aufgrund der bis jetzt durchgeführten Vergleiche lassen sich folgende Feststellungen machen:

- Die k_{eff} -Werte liegen bei allen Reaktorkonfigurationen um ca. 1.4 % über den Mittelwerten aller Benchmark-Lösungen.
- Die wichtigen Reaktionsratenverhältnisse im Reaktorzentrum liegen innerhalb von 2 Standardabweichungen vom Benchmark-Mittelwert.
- Die Konversions- und Brutverhältnisse sind 6 - 8% kleiner als die entsprechenden Benchmark-Mittelwerte, der totale Reaktorbrutgewinn sogar um 27 %.
- Die Reaktivitätswerte des zentralen Kontrollstabs und für Na-Void liegen nahe bei den Mittelwerten, die Streuung der letzteren ist jedoch gross.
- Die Doppler-Reaktivitäten sind um mehrere Standardabweichungen höher als die Benchmarkmittelwerte.

Die Untersuchungen zeigten, dass die mit JEF berechneten kleinen Konversions- und Brutverhältnisse vor allem auf kleine Einfangsrate von U-238 und grosse Spaltraten von Pu-239 zurückzuführen sind. Ferner wurde beobachtet, dass der Schwerpunkt des zentralen Neutronenflussspektrums bei den JEF-Daten deutlich unter den Benchmark-Werten liegt, was das Ergebnis für die Doppler-Reaktivitäten erklären könnte. Die Abklärungen über die Ursachen dieser Abweichungen sind im Gange.

Die Nachrechnungen des Benchmark-Problems für den 1250 MWe-Reaktor mit den JEF-Daten wurden als Beitrag zur Jahrestagung Kerntechnik 1989 der Kerntechnischen Gesellschaft und des Deutschen Atomforums eingereicht [2].

3. Weitere Entwicklung und internationale Einbettung

Im Jahr 1989 werden sich die Arbeiten des Projekts auf die Interpretation der COTHA-Experimente konzentrieren. Aufgrund der gewonnenen Erkenntnisse wird dann ein vereinfachtes, für den Einbau in einen Unfallanalysencode geeignetes Modell für das Verhalten des Brennelementkastens bei einem Brennelementunfall entwickelt. Die Arbeiten des PSI sind ein Bestandteil eines grösseren Sicherheitsforschungsprogramms des Département de Recherche Physique im CEN Cadarache mit dem übergeordneten Ziel der Simulation des ganzen Brennelementunfalls von der totalen Kühlmittelblockage bis zur Schadenspropagation zu den Nachbar-elementen.

4. Veröffentlichungen

1. R.O. Attinger, W. Heer, P. Wydler, D. Desprez*, J.Louvet*, A. Zucchini**
"Thermal and Mechanical Behaviour of a Subassembly Hexcan under Total Instantaneous Blockage Conditions; a Code Comparison"
10th International Conference on Structural Mechanics in Reactor Technology, Anaheim, California, USA, August 14-18, 1989.
* Commissariat à l'Energie Atomique, DRP, CEN Cadarache
** ENEA, CSR E. Clementel, Bologna
2. H.U. Wenger, P. Wydler
"Benchmark-Rechnungen für einen schnellen Brutreaktor mit JEF-1-Neutronendaten"
Jahrestagung Kerntechnik, Düsseldorf, 9.-11. Mai 1989.

SOLAR RADIATION AND PYRANOMETRY STUDIES

But du projet:

Poursuivre les travaux effectués dans la cadre de la Tâche 9 de l'AIE pour déterminer les techniques d'interpolation utiles à l'évaluation de l'insolation en Suisse, ainsi que pour tester les performances de diverses années de référence en fonction des techniques servant à leur établissement.

Durée du projet: janvier 1988 à décembre 1990

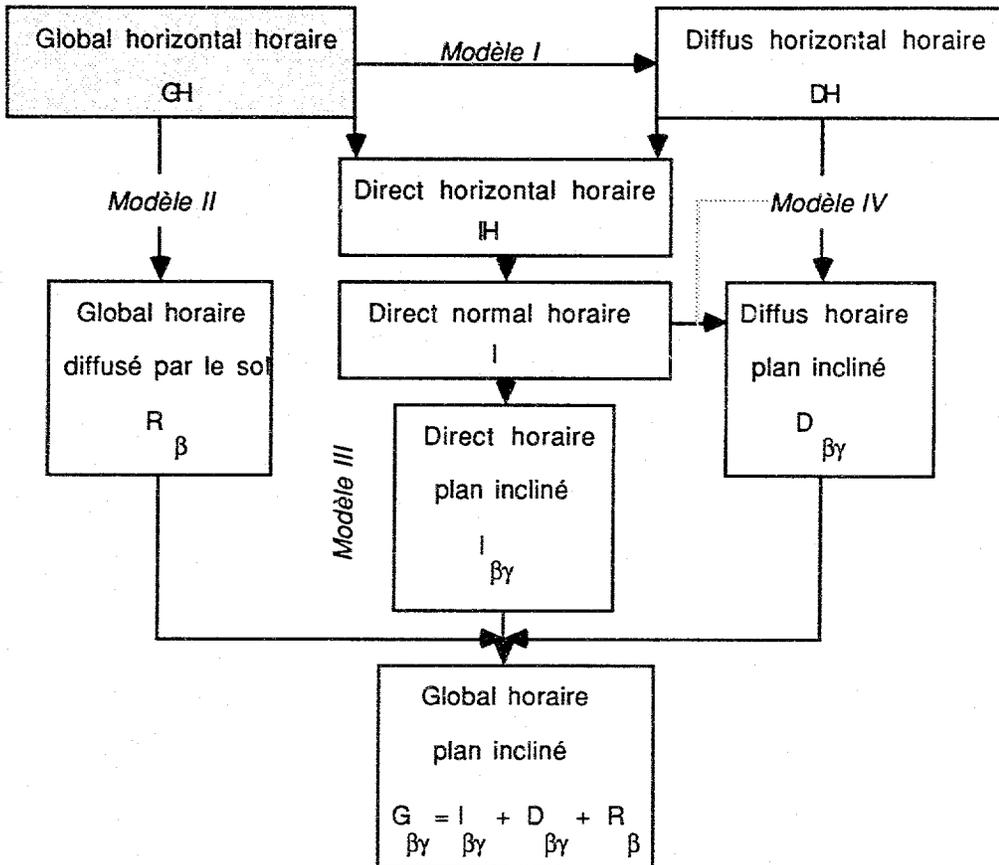
Mandataire: Institut Suisse de Météorologie
Rapporteur: Dr. A. Zelenka
Adresse: Krähbühlstrasse 58, 8044 Zürich
Téléphone: 01/256 93 74

5. 1

1. Objectifs

A. Sous-Tâche 9D "Techniques for Supplementing Network Data for Solar Energy Applications"

Le schéma standard pour le calcul de l'insolation globale $G_{\beta\gamma}$ sur un plan d'orientation donnée (inclinaison β , azimut γ) s'appuie sur l'insolation horizontale G_H . Les modèles I à IV portés dans ce schéma ont été sélectionnés lors des travaux précédents de la Tâche 9 et ils sont décrits dans les publications 1 à 3 énumérées au paragraphe 5.



L'objectif du projet 9D est de rendre ce schéma utilisable en n'importe quel lieu d'application. Ceci revient à rechercher les techniques les plus efficaces pour l'interpolation de l'insolation horizontale G_H entre les stations du réseau automatique ANETZ de l'ISM où cette valeur est mesurée régulièrement.

Alternativement, il s'agit d'examiner les méthodes d'évaluation de G_H basées sur les mesures photométriques effectuées par les satellites (météorologiques) géostationnaires. Dans l'un comme dans l'autre cas, il s'agit, en quelque sorte, de compléter le réseau au moyen de stations fictives.

B. Sous-Tâche 9E "Representative Design Years for Solar Energy Applications"

L'efficacité de différentes méthodes de génération (purement ou semi-synthétique) d'années type sera évaluée directement par le résultat des simulations auxquelles ces années servent.

La participation à ce projet est assurée par l' "erg"/EMPA. A part l'organisation d'une réunion du groupe 9E à Zurich en avril dernier, le plan de travail de l' "erg" ne prévoyait une activité que pendant les deux derniers mois de 88. Il est donc trop tôt pour rapporter ici des travaux effectués dans ce domaine.

2. Travaux effectués

2.1 *Etablissement du fichier de validation*

L'efficacité des méthodes d'évaluation de l'insolation globale horizontale se mesure au moyen de validations croisées. Il est donc indispensable d'établir un fichier contenant (au moins) le GH mesuré par chaque station du réseau, la position de la station et le temps de la mesure.

Les mesures doivent être contrôlées afin d'éviter l'introduction de signaux étrangers à l'état (nébulosité, turbidité et humidité) de l'atmosphère. Dans l'ANETZ ceci pose le problème de l'influence de l'horizon local sur la mesure. Nous avons donc étudié l'horizon de chaque station et mis au point un critère d'acceptation, qui sert également à l'investigation dont nous faisons état sous 2.3.

2.2 *Répertoire et sélection des méthodes d'interpolation*

D'études préalables (cf. la publication No. 5) il est ressorti que seules les méthodes géostatistiques sont à même de concurrencer les méthodes satellitaires. Nous avons alors fait effectuer une étude pilote par M. O. Jaquet de Géosciences Appliquées à Montreux, qui représente Géovariances International (GI) en Suisse. GI commercialise les méthodes développées au Centre de Géostatistique de l'Ecole des Mines de Paris à Fontainebleau.

Plusieurs instituts de l'EPFZ partageaient notre intérêt. Finalement, c'est l'Institut de Recherche sur les Forêts et le Bois qui a acquis le logiciel BLUEPACK-3D de GI et qui en accorde l'accès aux usagers intéressés.

La validation des méthodes dites de krigeage est donc assurée. Insistons ici sur la propriété unique au krigeage qui est de fournir la variance de l'estimation avec l'estimation elle-même.

2.3 *Répertoire et sélection des méthodes satellitaires*

Depuis avril 87 le Service Météorologique Allemand à l'Observatoire Météorologique de Hambourg applique régulièrement la méthode de Cologne/METEOSAT aux pixels correspondant aux stations de l'ANETZ. Cette méthode ne tient pas compte de l'altitude des stations. Nous mettons au point un procédé empirique pour pallier cette lacune qui introduit un biais dans les évaluations au-dessus de 1000m.

La méthode de Cologne/METEOSAT requiert les données numériques de METEOSAT et son application implique donc l'existence d'un centre de réception et de traitement adéquat.

Depuis cet été, le Centre de Télédétection et d'Analyse des Milieux Naturels (CTAMN) de l'Ecole des Mines de Paris à Sophia-Antipolis offre une station HELIOSAT implantée sur PC et alimentée par le signal METEOSAT analogique. Le captage de ce signal ne posant aucun

problème majeur, il est concevable qu'un bureau d'études se serve un jour de la station HELIOSAT. Nous sommes en train d'acquérir un prototype de la station pour l'inclure dans nos validations.

3. Résultats obtenus

3.1 *Fichier de validation*

La consistance interne des mesures pyranométriques de l'ANETZ doit se situer aux alentours des 5% qui sont estimés pour des réseaux semblables (Allemagne, Autriche, Canada). Aussi fixons-nous notre critère d'acceptation d'une station en exigeant que la présence de l'horizon local ne modifie pas une somme journalière par ciel clair de plus de 2%. Ceci revient, sous nos latitudes, à exiger qu'au moins le 85% de chacun des deux semi-arcs diurnes soit libre de tout obstacle. Alternativement, ceci veut dire que le Soleil doit pouvoir briller au-dessus d'une hauteur allant de 4° en hiver à 11° en été.

Environ trois douzaines de stations de l'ANETZ satisfont ce critère pour tous les jours de l'année et ce seront celles-ci qui constitueront le fichier de validation.

3.2 *Interpolations*

Une somme journalière estimée par satellite peut être directement comparée à la somme mesurée par une station. Quand l'estimation s'appuie sur le réseau, on procède par validation croisée.

L'étude pilote effectuée par M. O. Jaquet porte sur les somme journalières de l'ANETZ en avril 82. L'estimation par krigeage conduit à un biais moyen nul (propriété intrinsèque du krigeage) ainsi qu'à un écart quadratique moyen de 3 MJm⁻². Cette dernière valeur est à comparer à la moyenne mesurée de 18.8 MJm⁻².

Pour la même période, la méthode de Cologne/METEOSAT sous-estime en moyenne la mesure de 7% alors que l'écart quadratique moyen est de 3.7 MJm⁻². Corrigée avec l'algorithme cité sous 2.3 (qui est basé, dans ce cas particulier, sur des mesures ANETZ d'avril 87), la méthode fonctionne avec exactement la même précision que le krigeage.

4. Collaboration internationale

Les commentaires suivants se limitent à la Sous-Tâche 9D dont nous assumons la gestion. La mise en place de la collaboration a été plus laborieuse que prévu. Une redistribution sensible de la participation à la Tâche 9 n'a pas permis un début des travaux aussi rapide qu'escompté. En fait, ce n'est que depuis la réunion du groupe tenue à Lyngby, Danemark, du 7 au 10 novembre, que les plans de tous les cinq pays participant activement sont définitivement arrêtés.

C'est en Allemagne que les travaux sont le plus avancés. L'Italie ne dispose pas de mesures de réseau adéquates, mais elle peut mettre à la disposition du groupe un savoir-faire bien établi dans le domaine des interpolations géostatistiques. En Suède l'accent est d'abord mis sur la préparation des données. Aux U.S.A., un seul des groupes intéressés a obtenu les fonds nécessaires à une collaboration. La contribution espérée des estimations régulières (faites par le NESDIS) basées sur le satellite GOES est devenue incertaine. C'est donc de la collaboration avec l'Allemagne et l'Italie que nous attendons les plus grands bénéfices.

5. 1

5. Publications

- No. 1 "Transposition horaire du rayonnement diffus. Application de 4 modèles pour 4 sites suisses"
P. Ineichen, A. Razafindraibe, O. Guisan, et A. Zelenka
Publication GAP No. 16, Université de Genève, Mars 1988.
- No. 2 "Solar radiation transposition models applied to a plane tracking the sun"
P. Ineichen, A. Zelenka, O. Guisan, and A. Razafindraibe
Solar Energy 41, 371-377, 1988.
- No. 3 "Evaluation du rayonnement solaire sur un plan incliné à partir de sa connaissance sur un plan horizontal"
P. Ineichen, A. Zelenka, O. Guisan, and A. Razafindraibe
5. Status-Seminar Energieforschung im Hochbau, EMPA-KWH, 353-360, 1988.
- No. 4 "Evaluation de l'insolation globale horizontale en Suisse: résultats acquis et projets de la Tâche 9 de l'AIE"
A. Zelenka
5. Status-Seminar Energieforschung im Hochbau, EMPA-KWH, 345-352, 1988.
- No. 5 "Supplementing network global irradiance data"
A. Zelenka and D. Lazic
Advances in Solar Energy Technology. Proc. 1987 Biennial Congress ISES, Hamburg. Vol. 4, pp. 3861-3865, Pergamon 1988.

HORIZONTEINFLÜSSE AUF GLOBALSTRAHLUNG

Ziel des Projekts: Das Grundlagenwerk METEONORM soll durch ein einfaches "Rezept" ergänzt werden, welches es erlaubt, den Einfluss des Horizontes auf die Globalstrahlung und damit auf den Ertrag einer Sonnenenergieanlage abzuschätzen. Teilziele dabei sind Lösungsansätze zur Erfassung des Horizontes, Vergleich von Methoden zur Globalstrahlungsberechnung. Darstellung von Beispielen und Vorschläge für weitergehende Arbeiten.

Dauer des Projekts: 3 Monate (geplant)
vorauss. Abschluss: Jan. 89

Beitragsempfänger: METEOTEST
Berichterstatter: Dr. S. Kunz
Adresse: Fabrikstrasse 29 a, 3012 Bern
Telephon: 031 23 74 17

1. Zielsetzung

Ziel ist die Entwicklung eines "Rezeptes" für METEONORM zum Einbezug des Horizontes in die Berechnung der Globalstrahlung auf eine Empfängerfläche (Warmwasser-Kollektor, PV-Panel, Fassade).

Dabei sind verschiedene Teilziele definiert worden:

- 1) Sichtung einiger Verfahren zur Erfassung/Beschreibung des Horizontes.
- 2) Anwendung/Modifikation des aus METEONORM stammenden 3-Komponenten Strahlungsmodells für Monatsmittelwerte.
- 3) Anwendung eines alternativen Ansatzes zum Modell von Pkt. 2) von A. ZELENKA (SMA, Zürich).
- 4) Definition möglicher zusätzlicher Arbeiten zur Untersuchung des Horizonteinflusses im Sinne eines weiterführenden Forschungskonzepts.

2. Durchgeführte Arbeiten

2.1. Erfassen des Horizontes

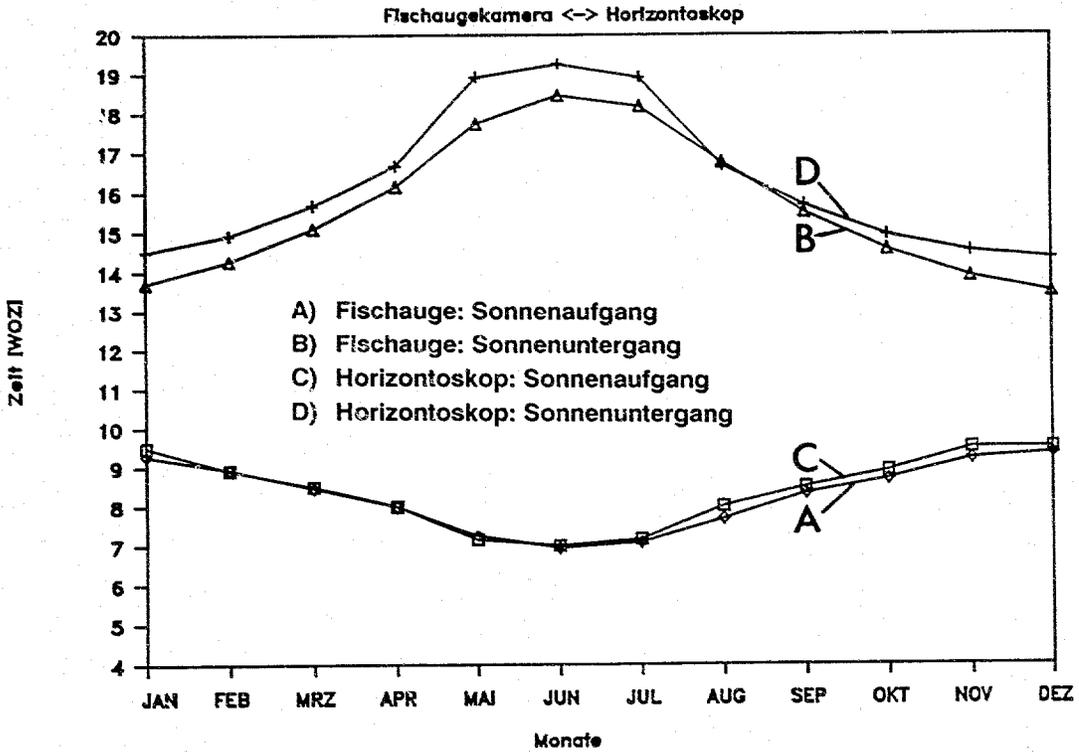
Aus der grossen Palette von möglichen Verfahren zum Erfassen des Horizontes wurden zwei Alternativen ausgewählt, die in Bezug auf Kosten und Leistung zwei verschiedene Bereiche abdecken.

Das Horizontoskop von TONNE ist ein einfaches Gerät zum Ablesen des Horizontverlaufes, bestehend aus einer ca. 11cm messenden Plexiglaskuppel mit darunterliegenden Diagrammscheibe. Das Gerät ermöglicht die Bestimmung des Sonnenauf- und Sonnenuntergangs pro Monat in der Genauigkeit von etwa einer Viertelstunde. Das Horizontoskop besticht durch seine einfache Handhabung, die schnelle Erfassung und den Preis (ca. Fr. 200.--).

Eine qualitativ hochstehende Fischaugekamera mit anschliessender computerunterstützter Auswertung der Bilder ermöglicht eine genaue Erfassung des Horizontes (besser als $\pm 1^\circ$). Diese Methode ist im Felde ähnlich schnell oder schneller als die Erfassung mit dem Horizontoskop, bedingt aber einen wesentlich höheren gerätetechnischen Aufwand (ca. Fr. 5000.--) und auch aufwendigere Auswertungen. Die Resultate bestehen hier aus Tabellen möglicher Sonnenauf- und -untergangszeiten (Genauigkeit ± 4 min.).

In einer Felduntersuchung wurden an 13 Standorten in Zusammenhang mit einem pflanzenbaulichen Projekt im Tessin die beiden Methoden verglichen. Figur 1 zeigt einen solchen Vergleich, wobei hier die Fischaufnahmen umgerechnet wurden auf mittlere monatliche Sonnenauf- und -untergänge (Daten, welche auch das Horizontoskop liefert). Die Figur repräsentiert durchschnittliche Verhältnisse des Vergleichs zwischen den beiden Methoden. An einzelnen Standorten wurden bedeutend bessere, an wenigen um einiges schlechtere Übereinstimmungen erreicht.

Vergleich von Horizontaufnahmen

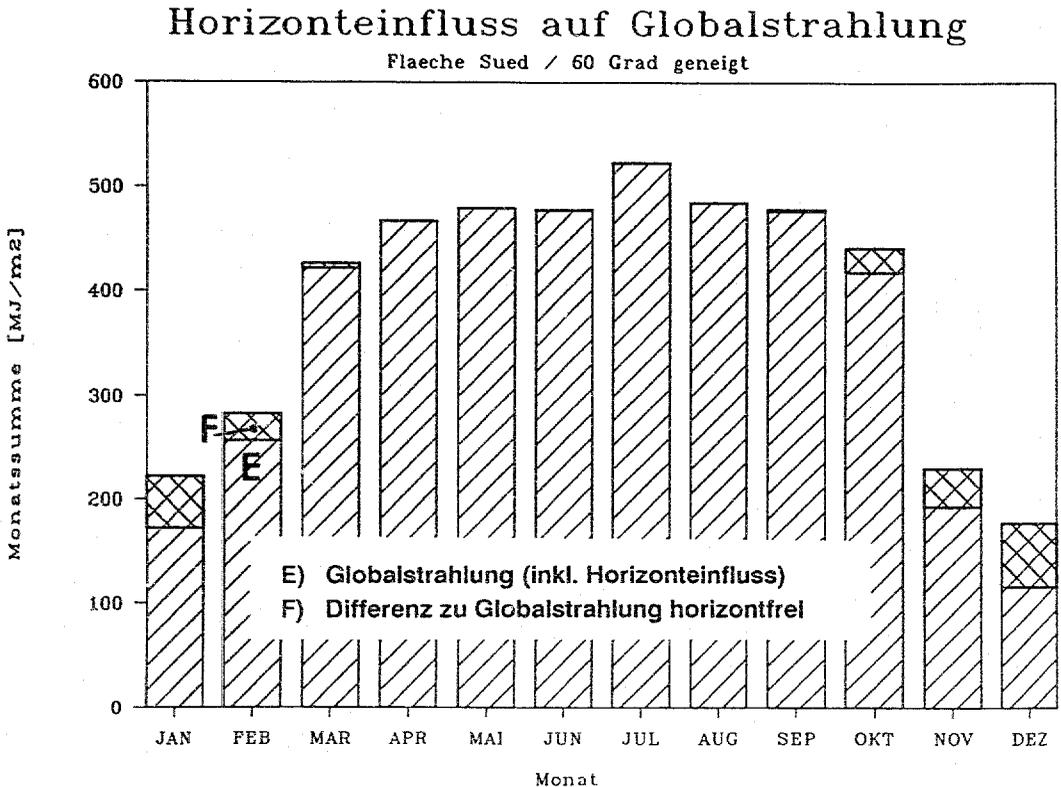
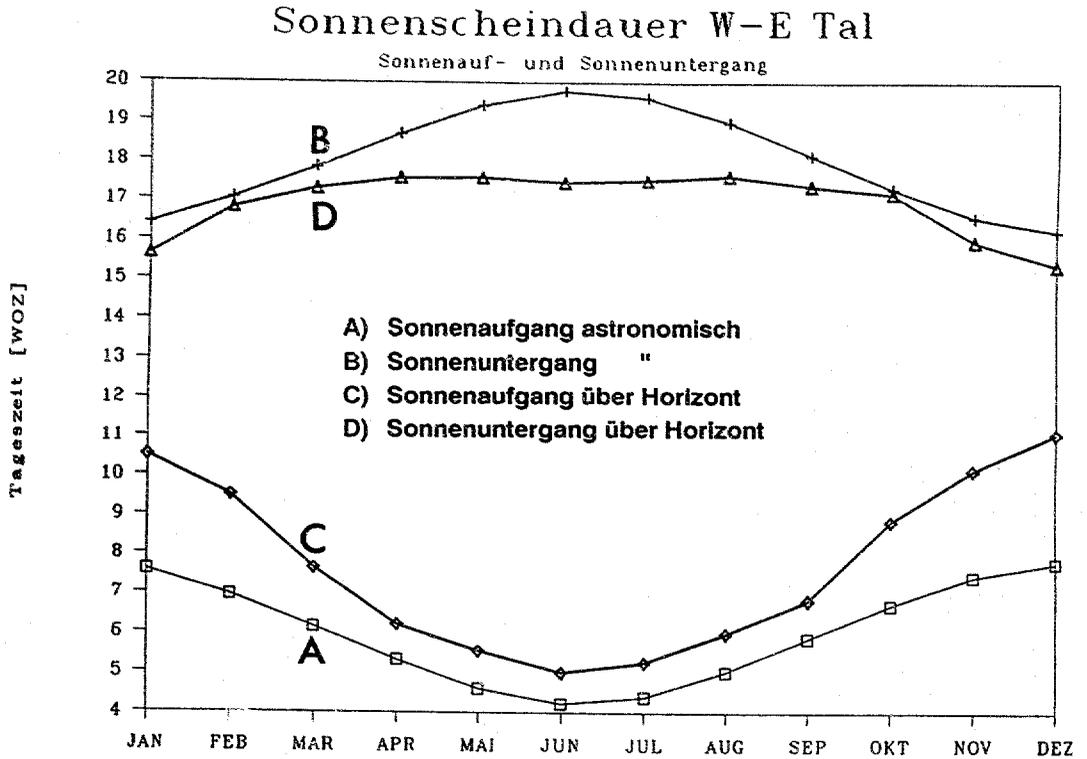


Figur 1: Vergleich von Horizontaufnahmen

2.2. Monatsmittelwertsmodell: Modifikation und LOTUS 1-2-3 Version

Das in METEONORM verwendete 3-Komponenten Strahlungsmodell für Monatsmittelwerte kann dahingehend modifiziert werden, so dass anstelle der theoretischen Sonnenauf- und -untergänge die realen Sonnenauf- und -untergänge aus der Horizonterfassung in die Berechnung einbezogen werden. Im Rahmen dieses Projektes wurde das Modell in dieser Richtung abgewandelt und getestet.

Figur 2:Horizonteinfluss auf Globalstrahlung



Die Abwandlung des METEONORM-Modells erfolgte auf einem LOTUS 1-2-3 Worksheet, einer weitverbreiteten Software auf Personal Computers. Es ging hier auch darum zu testen, inwieweit die Berechnungsgrundlagen zur Strahlung auf solchen standardisierten Paketen durchgeführt werden können. Figur 2 zeigt eine solche Auswertung für einen Standort im Rheintal oberhalb Chur. Im oberen Teil der Figur ist der Horizont abgebildet, im unteren der Einfluss des Horizontes auf die Berechnung der Globalstrahlung mittels METEONORM-Modell. Da sich die Berechnung auf eine stark Süd orientierte Fläche bezieht, verschwindet der Einzug des Horizontes im Sommer fast vollständig.

2.3. Einbezug der diffusen Komponente

Während im Monatsmittelwerts-Modell von METEONORM (Kap. 2.2.) nur die Komponente Direktstrahlung modifiziert wird, erlaubt ein Algorithmus von ZELENKA 1988 den Einbezug der diffusen Strahlung. Dabei wird der Horizont durch eine horizontale und parallele Ueberhöhung dargestellt, wobei zwei Horizonterhöhungen einbezogen werden. Die eine ist die Erhöhung des Gesamthorizontes, die andere die Erhöhung des Horizontteils, welcher für die Empfängerfläche sichtbar ist.

3. Ergebnisse

Ergebnisse liegen vorerst für den Horizontvergleich und das 3-Komponenten-Modell METEONORM für Monatsmittelwerte vor. Wenn die Arbeiten mit dem Ansatz nach ZELENKA abgeschlossen sein werden, wird auch ein Vergleich der beiden Methoden möglich sein.

4. Internationaler Rahmen (keiner)

5. Veröffentlichungen (keine)

6. Neue Forschungsarbeiten

Der Modellvergleich der beiden erwähnten Ansätze wird es ermöglichen, zu definieren, inwiefern die Modelle durch Messungen überprüft werden können und sollen. Es ist denkbar mit anderen Projekten, welche Messungen in stark abgeschatteten Tälern und an Einzelstandorten mit wesentlichen Horizonthindernissen erfolgen, den Vergleich der Methoden durchzuführen. Es zeigt sich schon jetzt aus den Auswertungen, dass der Horizonteinfluss nur dann zu berücksichtigen ist, wenn die Horizontabschattung in der Grössenordnung von Stunden liegt.

Literatur

- ZELENKA, A.; 1988: Calculation of diffuse irradiance with parallel horizon obstructions. Technical Note, Swiss Meteorological Institut, Zurich.
- METEONORM, 1985: Planungsgrundlagen für den Solarplaner. 4 Bände, Bundesamt für Energiewirtschaft, Bern.

UNTERSUCHUNGEN AN UNVERGLASTEN KOLLEKTOREN**Ziel des Projekts:**

Vom damaligen 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 bei hoher Luftfeuchtigkeit oder klarem Himmel) genügt, andererseits auf verschiedene Kollektorbauarten anwendbar ist. Die im Formalismus auftretenden kollektorspezifischen Parameter sollen sich in einem Test auf dem Freiluftprüfstand bestimmen lassen.

Dauer des Projektes: vom 1. September 1986 bis zum 1. März 1988

Beitragsempfänger: Paul Scherrer Institut (PSI), Dr.J.Keller

Berichterstatter: Dr.J.Keller

Adresse: 5232 Villigen PSI

Telephon: 056/99 21 11

1 ANVISIERTE ZIELPUNKTE FUER 1988

Die Rohdaten der 1987 auf dem Freiluftprüfstand unseres Instituts ausgemessenen 5 Prüflinge sind an der EPFL auszuwerten. In einem ersten Teil sind die im Rahmen eines früheren Projektes eingeführten Parameter zur Charakterisierung des thermischen Verhaltens von unabgedeckten Kollektoren für Fälle beliebiger Meteosituationen (insbesondere für Bedingungen mit Wasserdampfausscheidung aus der Luft) zu bestimmen. Im zweiten Teil (welcher bei Gesuchstellung nicht vorgesehen war) soll versucht werden, aufgrund der gemessenen Daten ein im Rahmen des IEA Solar Heating and Cooling Program von der Universität München vorgeschlagenes Testverfahren zu validieren.

2 DURCHGEFUEHRTE ARBEITEN 1988

In der ersten Hälfte des Jahres 1987 wurden auf dem Freiluftprüfstand die folgenden fünf Elemente untersucht. Als Referenzfläche F wurde die sog. Einstrahlungsöffnung (d.h. die "Ansichtsfläche", nicht die effektive Wärmeaustauschfläche) festgelegt:

- Ziegelenergiedach KELLER/Ludovici ($F = 6.37 \text{ m}^2$)
- Schwimmbadkollektor FAFCO I (Referenzkollektor, $F = 5.86 \text{ m}^2$)
- Schwimmbadkollektor SOLARÜESCH ($F = 6.17 \text{ m}^2$)
- Wärmetauscher (Energiezaun) FAFCO II ($F = 7.44 \text{ m}^2$)
- lamelliertes Wärmetauscherregister (Konvektor) ($F = 3.60 \text{ m}^2$)

In Fig. 1 sind die beiden Schwimmbadkollektoren, der Konvektor sowie ein schmaler Ausschnitt des Ziegelenergiedaches zu sehen.

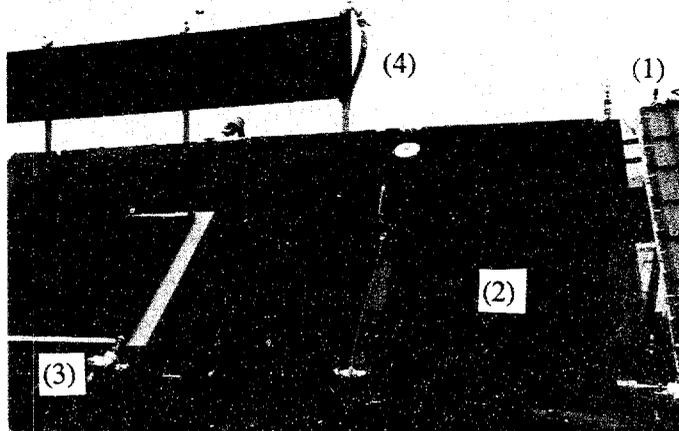


Fig. 1:

Ansicht eines Teils der untersuchten Elemente: (1) Ziegelenergiedach, (2) FAFCO I, (3) SOLARÜESCH, (4) Konvektor.

5. 3

Die im Jahresbericht 1987 beschriebenen Messgrössen wurden an die EPFL zur weiteren Verarbeitung übertragen. Der erste Teil war der Charakterisierung des auf die Referenzfläche F bezogenen Wärmeübertragungskoeffizienten U_m gewidmet, welcher sich aus den Messdaten zu

$$U_m = m \cdot c \cdot \ln \{ (T_a - T_i) / (T_a - T_o) \} / F \quad (1)$$

berechnet. Dabei bedeuten

- T_a Umgebungstemperatur
- T_i Eintrittstemperatur
- T_o Austrittstemperatur
- m Massendurchsatzrate des Wärmeträgermediums
- c spezifische Wärme des Wärmeträgermediums

Die Modellierung von U_m für beliebige nächtliche Meteobedingungen (Windgeschwindigkeit, relative Feuchtigkeit, Infrarotzustrahlung) liefert einen recht komplizierten Ausdruck. Für Situationen ohne Wasserdampfausscheidung und bei bedecktem Himmel lässt sich dieser Ausdruck jedoch vereinfachen zu

$$U_m = 1 / \{ 1 / [k j(v) + 4(\epsilon + e) \sigma T_a^3] + 1 / U_i \} \quad (2)$$

mit

- e $(1 / \epsilon_p + 1 / \epsilon - 1)^{-1}$
- ϵ_p Emissionsvermögen des Daches hinter dem Kollektor
- ϵ Emissionsvermögen des Kollektors
- $j(v)$ konvektiver Wärmeübergangskoeffizient für den Übergang von einer Platte auf ein strömendes Medium
- k Gewicht des Wärmeübergangskoeffizienten j
- v Windgeschwindigkeit längs der Platte
- U_i "innerer" Wärmeübergangskoeffizient, bezogen auf die Fläche F
- σ Stefan-Boltzmann- Konstante, $5.67 \cdot 10^{-8} \text{ W} / \text{m}^2 \text{ K}^4$

Für alle Kollektorelemente liessen sich aufgrund von Gl. (2) die Parameter k und U_i durch eine Ausgleichsrechnung bestimmen. Die unabhängigen Variablen T_a und v sind dabei gemessene Grössen. Der Wärmeübertragungskoeffizient U_m berechnet sich ebenfalls aus gemessenen Daten gemäss Gl. (1). Für das Verfahren wurden Messdaten bei beliebigen nächtlichen Meteobedingungen herangezogen.

Mit den Messdaten der 5 Elemente wurde ausserdem versucht, eine von der Universität München entwickelte, auf der Hottel-Willier-Bliss Gleichung beruhende Charakterisierungsmethode zu validieren. In diesem Verfahren werden der optische Wirkungsgrad $F_R \alpha$ und der thermische Verlustfaktor $F_R U_L$ als lineare Funktion der Windgeschwindigkeit bestimmt. Diese Methode ist in erster Linie auf Betriebszustände bei Kollektortemperaturen oberhalb der Umgebungstemperatur zugeschnitten und berücksichtigt keine Zustände mit Wasserdampfkondensation. Damit können Kollektoren eher im Hinblick auf ihren Einsatz bei Schwimmbadheizungen und nicht für Wärmepumpenanwendungen getestet werden. Die Datenbank der 5 Elemente eignet sich daher nur beschränkt für eine Validierung der Methode.

3 ERREICHTE ERGEBNISSE

Es zeigt sich, dass sich das ursprünglich für Schwimmbadkollektoren entwickelte Charakterisierungsverfahren ebenfalls auf Elemente anwenden lässt, deren Aufbau sich wesentlich von einer idealen Platte unterscheidet. Insbesondere ist es im Gegensatz zu den ersten Validierungsarbeiten möglich, die Parameter k und U_i auch unter Beizug von Meteorozuständen mit Wasserdampfausscheidung zu bestimmen. Es ist jedoch zu bemerken, dass bei der Auswahl der Rohdaten sorgfältig vorgegangen werden muss, um eine übermäßige Streuung zu vermeiden. Die resultierenden Werte für k und U_i sind in Tabelle 1 zusammengestellt.

Kollektor	k [-]	U_i [W/m ² K]
Ziegelenergiedach	1.53	44
Schwimmbadkollektor FAFCO I	2.05	86
Schwimmbadkollektor SOLARÜESCH	1.45	101
Energiezaun FAFCO II	26.32	167
Konvektor	23.49	217

Tab. 1:
Gewissungsparameter k und "innerer" Wärmeübergangskoeffizient U_i der fünf untersuchten Elemente

Wird mit diesen Koeffizienten der Wärmeübertragungskoeffizient U_m bei beispielsweise 2 m/s berechnet, ergibt sich für die beiden Schwimmbadkollektoren FAFCO I und SOLARÜESCH ein Wert von ungefähr 20 W/m² K, dies wegen ähnlichem Aufbau und Montage. Der Wert des Ziegelenergiedaches liegt mit 16 W/m² K wegen des beträchtlichen Wärmeleitungswiderstandes der Ziegel etwas tiefer. Der Energiezaun FAFCO II und der Konvektor weisen mit 110 und 130 W/m² K wesentlich höhere Werte auf. Dies ist hauptsächlich auf die im Verhältnis zur Referenzfläche grössere Wärmeaustauschfläche zurückzuführen. Zudem wurde bei der Messung von Windgeschwindigkeit und -richtung nicht der in der Elementebene liegende Vektor, sondern die Horizontalkomponenten erfasst. Weitere Angaben sind in /1/ und in den dort aufgeführten Referenzen aufgeführt.

Der Versuch, das innerhalb der Task III des IEA Solar Heating and Cooling Program vorgeschlagene Testverfahren zu validieren, war nur teilweise erfolgreich. Einerseits waren die Betriebsbedingungen bei der Prüfung der Elemente nicht den Anforderungen des Verfahrens angepasst (der Entscheid, die Validierung durchzuführen fiel erst nach Abschluss der Messungen), andererseits war die Erfassung der infraroten Zustrahlung mit relativ grossen Fehlern behaftet. Immerhin konnten im Falle der beiden Schwimmbadkollektoren Werte für $F_R\alpha$ und $F_R U_L$ bei $v = 0$ m/s gefunden werden, die vergleichbar sind mit Resultaten früherer Arbeiten (vgl. die in /1/ zitierte Literatur).

Unvorhergesehene Ereignisse: Die Auswertungen an der EPFL mussten wegen des Weggangs von Herrn Passos von dessen Vorgesetzten, Herrn Dr.N.Lan, selbst (unter Beizug von Studenten) durchgeführt werden. Als einschneidendes Ereignis ist sodann die Kündigung von Herrn Lan im Frühjahr des Berichtsjahres zu erwähnen. Die letzten Auswertungen sowie die Verfassung des Schlussberichts müssen in dessen Freizeit abgeschlossen werden, wodurch das auf Ende Februar festgelegte Projektende verzögert wird. Vom fachlichen Standpunkt her unvorhergesehen war der Validierungsversuch des Münchner Modells, was ebenfalls beträchtlich zur Verzögerung beitrug.

4 INTERNATIONALER RAHMEN

Die vorliegenden Arbeiten sind eine Fortsetzung der bereits im Rahmen des IEA "Solar Heating and Cooling Program", Task III (Collector Testing) erfolgten Untersuchungen. Innerhalb dieser Task bestehen im speziellen Kontakte zu der Universität München, wo das vereinfachte Testverfahren für unverglaste Kollektoren entwickelt wurde.

5 VERÖFFENTLICHUNGEN

/1/ J.Keller, N.Lan, E.Lambert, A.Périllard, C.Stähli, "Collector / Heat Exchanger Elements for Heat Pump Applications". 3rd Workshop on Solar Assisted Heat Pumps with Ground Coupled Storages, 16. - 18.Januar 1989, Göteborg (S).

6 NEUE FORSCHUNGSARBEITEN

keine

SELEKTIVE SCHICHTEN FÜR HOHE TEMPERATUREN

Ziel des Projekts:

Bei "Receivern" der Hochtemperatur-Solartechnologie im Temperaturbereich oberhalb 500°C spielen sowohl das Absorptionsvermögen im Bereich des Sonnenspektrums als auch das Emissionsvermögen im infraroten Bereich eine entscheidende Rolle. Ziel des vorliegenden Projekts ist die Entwicklung optimaler Absorptionsschichten für diese Hochtemperaturanwendungen. Die Hauptanforderungen an diese Schichten sind einerseits günstige optische Eigenschaften bei den vorgesehenen Arbeitstemperaturen, die thermische und chemische Stabilität sowie gute mechanische Haftung.

Dauer des Projekts: 1. Juli 1988 bis 30. Juni 1991

Beitragsempfänger: PD Dr. Peter Oelhafen

Berichterstatter: dito

Adresse: Institut für Physik, Klingelbergstr. 82, 4056 Basel

Telephon: 061 44 20 40

1 Anvisierte Zielpunkte

Für das im Juli 1988 angelaufene Projekt wurden im ersten Halbjahr folgende Ziele vorgesehen:

- Abklärungen betreffend optimaler optischer Eigenschaften für den anvisierten Temperaturbereich sowie Auswahl potentiell günstiger Materialien.
- Aufbau einer Apparatur zur Herstellung optischer Schichten.
- Ausbau der Messungen der optischen Eigenschaften .
- Untersuchung der Adhäsion von Beschichtungen auf verschiedenen Substraten.

2 Durchgeführte Arbeiten und erreichte Ergebnisse

2.1 Optimale optische Eigenschaften und Auswahl günstiger Materialien

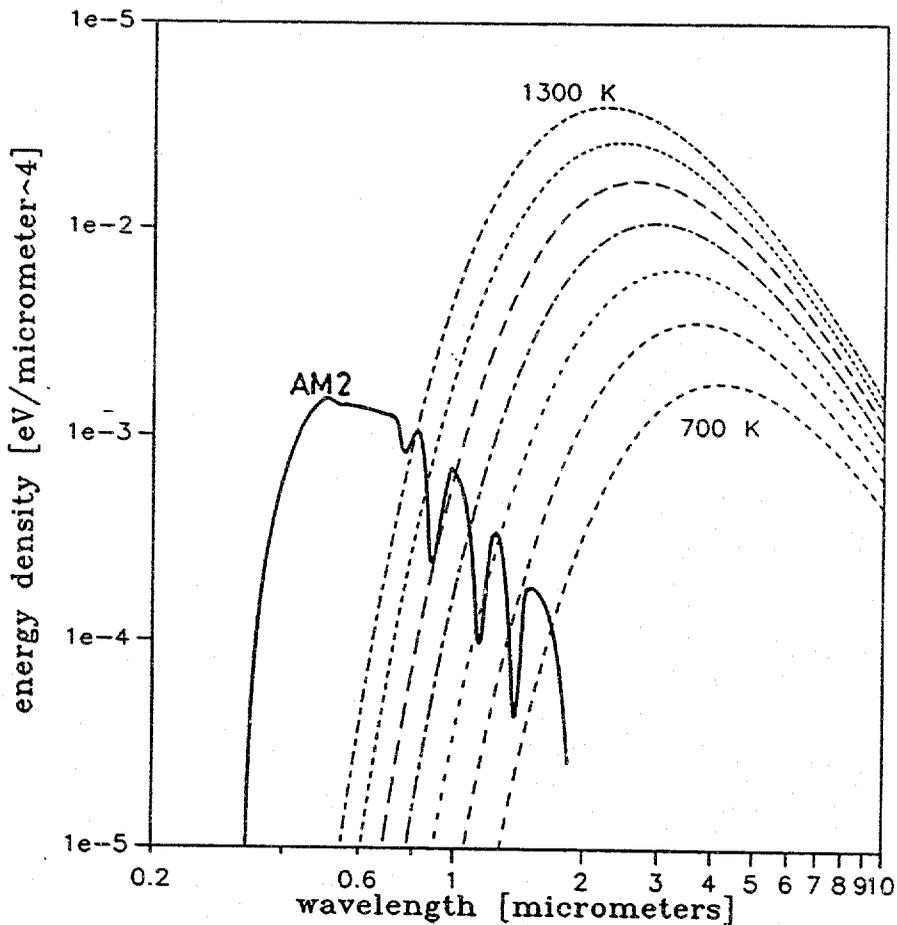
Ein erstes Problem für die Einwicklung optisch optimaler Schichten im Hochtemperaturbereich stellt die teilweise Überlappung zweier Wellenlängenbereiche dar, in denen das Material einerseits hohe Absorption und andererseits eine möglichst kleine Infrarotemission aufweisen soll. Figur 1 zeigt, dass diese Überlappung bei einer Temperatur von 1300 K schon recht beträchtlich ist. Als Modell für die Infrarotemission sind die Strahlungsspektren des schwarzen Körpers bis 1300 K dargestellt. In der gleichen Darstellung ist das Sonnenspektrum wiedergegeben. Der Vergleich mit den Spektren zeigt, dass ein optimales Material im Temperaturbereich um 1300 K eine möglichst hohe Absorption für Wellenlängen unterhalb $1\mu\text{m}$ und eine möglichst kleine Emission oberhalb $1\mu\text{m}$ aufweisen muss.

Die Auswahl der in Frage kommenden Materialien kann von verschiedenen Seiten her angegangen werden. Da die relevanten optischen Daten der in Frage kommenden Hochtemperaturmaterialien in der Literatur nur spärlich zu finden sind und somit eine systematische Suche mit Hilfe bereits publizierter Daten nicht möglich ist, bleiben folgende Wege:

- Optimierung bereits bekannter und verwendeter Schichten (z. B. siliziumreicher Siliziumkarbidschichten, verwendet in CESA-1 Almeria, Spanien)
- Herstellung und Ausmessung bekannter Hochtemperatur Materialien (z. B. Carbide, Nitride)
- testen neuer Materialien für die vorliegende Anwendung.

Die ersten beiden Punkte werden bearbeitet, sobald die Apparatur zur Herstellung dieser Schichten betriebsbereit ist (siehe 2.2).

Zum dritten Punkt ist zu erwähnen, dass neue Hochtemperaturmaterialien für eine mögliche Anwendung im vorliegenden Fall geprüft werden sollten. Dazu gehören



Figur 1: Schwarzkörperstrahlungsverteilungen von 700 K bis 1300 K in Schritten von 100 K. AM2 ist das Sonnenspektrum bei 60° Einfallswinkel auf der Erdoberfläche.

zweifellos die kristallinen Diamantfilme, die neuerdings sehr aktuell geworden sind und in verschiedenen Forschungsgruppen intensiv untersucht werden. Diese Filme werden meistens mit einer plasmaunterstützten CVD ('chemical vapor deposition') Technik bei hohen Temperaturen abgeschieden [1]. Diese Abscheidetechnik lässt sich relativ einfach verwirklichen und ist eine billige Herstellungstechnik. Folgende Eigenschaften könnten für eine mögliche Anwendung von Interesse sein:

- sehr hohe Temperaturbeständigkeit.
- 'einstellbare' Absorptionskanten vom UV-Bereich bis in den sichtbaren Bereich ('schwarze Diamantschichten')
- Diamant und Diamantfilme besitzen die höchste thermische Leitfähigkeit aller

bekannter Materialien.

- beeinflussbare IR-Eigenschaften über Kristallitgrösse

Die Herstellung solcher Diamantfilme ist innerhalb der nächsten Monate geplant.

2.2 Apparatur zur Herstellung optischer Schichten

Für die Herstellung der in Frage kommenden Schichten stehen die folgenden Herstellungsmethoden im Vordergrund:

- Sputter-Deposition
- reaktives Sputtern
- PE CVD ('plasma enhanced CVD')

Diese Methoden können in einer dafür ausgelegten Plasma-Depositionsanlage realisiert werden. Wir haben ein Konzept entworfen, das uns erlaubt die verschiedenen oberflächenanalytischen Methoden auf die hergestellten Schichten unmittelbar anzuwenden. Die dazu notwendige Apparatur ist gegenwärtig im Bau und soll im April 1989 in Betrieb genommen werden. Wir haben vorgängig bei verschiedenen Herstellern Depositionsanlagen besichtigt und erste Siliziumkarbidschichten mit reaktivem Sputtern hergestellt. Eine Optimierung solcher Schichten kann allerdings nur durch die Herstellung einer grösseren Anzahl von Proben gemacht werden, was nur mit einer eigenen Anlage realisiert werden kann.

2.3 Ausbau der Messungen der optischen Eigenschaften

Für das vorliegende Projekt stehen uns an der Universität Basel (Institut für Physikalische Chemie) optische Spektrometer im interessierenden Wellenlängenbereich zur Verfügung (IR, nahes IR, sichtbarer und ultravioletter Bereich). Die Möglichkeiten sollen dahin ergänzt werden, dass optische Messungen bei hohen Temperaturen (wenn möglich bis 1300 K) durchgeführt werden können. Dieser Punkt wurde bis jetzt nicht bearbeitet, da wir uns bis jetzt auf den Aufbau der Depositionsanlage konzentriert haben.

2.4 Untersuchung der Adhäsion harter Kohlenstoffschichten auf verschiedenen Substraten

Bei diesen Untersuchungen handelt es sich zweifellos um einen Nebenaspekt des vorliegenden Projekts. Durch Charakterisierung der Grenzschicht zwischen Deckschichten und verschiedenen Substraten erwarten wir grundlegende Einsichten über das Adhäsionsverhalten zu gewinnen können. Die Adhäsion von optischen Schichten bei hohen Arbeitstemperaturen könnte im vorliegenden Fall ein Problem darstellen. Es ist z. B. denkbar, dass bei hohen Temperaturen, verursacht durch unterschiedliche Ausdehnungskoeffizienten, ein Abplatzen der Schicht erfolgt. Falls Probleme dieser

Art auftreten sollten, ist es sicher von Vorteil bereits über Möglichkeiten zu verfügen, die die Adhäsion verbessern können.

Die Untersuchung der Adhäsion und der Grenzflächeneigenschaften von diamantartigen Kohlenstoffschichten (a-C:H) auf metallischen und halbleitenden Substraten hat für das vorliegende Projekt Modellcharakter.

Wir haben mit Hilfe der Elektronenspektroskopie, Transmissionselektronenmikroskopie, Rutherford Backscattering und Ion Channeling verschiedene Grenzflächen zwischen a-C:H und Silizium, Germanium und Galliumarsenid sowie einigen Metallen untersucht. Die Ergebnisse lassen sich grob wie folgt zusammenfassen:

- In denjenigen Fällen, in denen gute Adhäsion beobachtet wird, wie z. B. auf Silizium und Germanium, beobachtet man an der Film/Substrat Grenzfläche eine ausgeprägte Verbindungsbildung; es bildet sich ein Karbid [2].
- Die Bildung eines Karbids ist jedoch keine hinreichende Voraussetzung für gute Adhäsion. Im Falle von Wolfram bildet sich zwar ein Wolframkarbid an der Grenzfläche, dieses weist jedoch selbst eine geringe Adhäsion auf dem Wolfram Metall auf [3].
- Im Falle von Verbindungshalbleitern wie Galliumarsenid kann eine selektive Karbidbildung zu einer Segregation des Substrats in der Grenzflächenregion führen und damit die Adhäsion drastisch reduzieren [4,5].
- Die Vorbehandlung des Substrats kann für gute Adhäsion entscheidend sein. Die Verwendung von geeigneten Zwischenschichten kann zu einer Verbesserung der Adhäsion führen.

Referenzen

- [1] D. E. Meyer *et al.* Growth of diamond by rf plasma assisted chemical vapor deposition. *J. Mat. Res.* **3**, 1397 (1988). University of Nebraska, Lincoln sowie Solar Energy Research Institute, Golden, Colorado.
- [2] D. Ugolini, P. Oelhafen, and M. Wittmer. Characterization of a-C:H/substrate interfaces by electron spectroscopy measurements I: Semiconducting substrates. In P. Koidl and P. Oelhafen, editors, *Amorphous Hydrogenated Carbon Films*, page 287, Les Editions de Physique, Les Ulis (France), (1987).
- [3] D. Ugolini, P. Oelhafen, and M. Wittmer. Characterization of a-C:H/substrate interfaces by electron spectroscopy measurements II: Metallic substrates. In P. Koidl and P. Oelhafen, editors, *Amorphous Hydrogenated Carbon Films*, page 297, Les Editions de Physique, Les Ulis (France), (1987).
- [4] D. Ugolini, J. Eitle, P. Oelhafen, and M. Wittmer. I. Electronic Properties at the Interface. (1988). submitted for publication in *Applied Physics*.
- [5] M. Wittmer, D. Ugolini, J. Eitle, and P. Oelhafen. II. Microstructural Properties of the Interface. (1988). submitted for publication in *Applied Physics*.

SPEICHERUNG SOLARER HOCHTEMPERATURWÄRME

Ziel des Projekts:

Aufbauend auf repräsentativen Experimenten und einem 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, andererseits 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 bis 800°C.

Dauer des Projekts: 1.August 1987 bis 31.Dezember 1990

Beitragsempfänger: Paul Scherrer Institut (PSI), Dr.W.Durisch

Berichterstatter: Dr.J.Keller

Adresse: 5232 Villigen PSI

Telephon: 056 / 99 21 11

1 ANVISIERTE ZIELPUNKTE FUER 1988

Für Untersuchungen an verschiedenen sensiblen Speichermaterialien ist der 1987 entworfene Experimentier - Schütt Speicher mit Heissgaseinspeisung aufzubauen. Aus der Liste der möglichen Speichermaterialien sind geeignete Produkte auszuwählen und das Temperaturverhalten im Experimentierspeicher zu untersuchen. Es ist weiter vorgesehen, mit den Speichermaterialien in separaten Tests Temperaturzyklen zu fahren, um die thermische Stabilität zu prüfen. Für den Vergleich mit der Theorie ist das sinerzeit von W.Durisch in ALGOL geschriebene Computerprogramm PACKBEDA, welches die Berechnung von Temperaturverläufen im Speicher ermöglicht, in FORTRAN umzuschreiben.

2 DURCHGEFUEHRTE ARBEITEN 1988

Zu Beginn des Berichtsjahres wurde das in ALGOL geschriebene Computerprogramm PACKBEDA durch einen externen Auftrag auf FORTRAN umgeschrieben und steht auf der VAX 780/785 des PSI zur Verfügung.

Um ein Gefühl für das Verhalten von Schütt Speichern zu gewinnen, wurde ein erster zylindrischer Experimentierspeicher (Höhe 1.2 m, Durchmesser 0.15 m) mit hitzebeständiger Aussenisolation gebaut ("ARIANE I"). In der Zylinderachse sind jeweils im Abstand von 10 cm Thermoelemente eingebaut. Ein Industriefön, welcher wahlweise oben oder unten am Speicher angeflanscht werden kann, liefert einen Lade- bzw. Entladeluftstrom von maximal 700 °C und etwa 12 kg/h (im kalten Speicher entspricht dies einer auf den leeren Anströmquerschnitt bezogene Luftgeschwindigkeit von etwa 0.17 m/s. Die Datenerfassung erfolgte vorerst mit Hilfe einer HP85 - Anlage, welche jedoch im Laufe des Jahres durch eine ACRO 900 Anlage auf IBM PC - Basis ersetzt wurde.

Als Speichermaterialien für die ersten Versuche wurden aus einer Liste von gegen 30 Kandidaten die in Tabelle 1 zusammengestellten Proben ausgewählt. Kriterien für die Wahl war eine ideale Kugelform für die Validierung des Computerprogramms (bei Porzellan), die mutmassliche Temperaturbeständigkeit (bei allen 4 Proben) bzw. der für eine spätere grosstechnische Anwendung wichtige Preis (bei Kies, Lava und Magnesit). Mit jedem dieser Speichermaterialien wurden mindestens ein Lade- bzw. Entladezyklus gefahren und der zeitliche Temperaturverlauf für jede Fühlerposition aufgezeichnet. Die über den Speicher gemittelten Stoffwerte und Luftgeschwindigkeiten bildeten anschliessend die Eingabe für das Computerprogramm PACKBEDA.

Die im Abschnitt 3 dargestellten Resultate zeigten, dass der erste Experimentierspeicher noch Mängel aufweist. Deshalb wurde eine verbesserte Version in Auftrag gegeben, die weniger Masse sowie eine Innenisolation aufweist. Zudem können jetzt im Gegensatz zur ersten Version der Luftdurchsatz und die Temperatur am Speichereintritt unabhängig voneinander variiert werden. Erste Versuche mit diesem Speicher sind im Anlaufen. Für die Modifikation von PACKBEDA zum Zweck der Uebereinstimmung von Theorie und Experiment wurde zudem die Anstellung eines Informatikers in die Wege geleitet.

Um die Temperaturfestigkeit von Speichermaterialien gezielt prüfen zu können, werden gegenwärtig mit Hilfe der am PSI vorhandenen Testöfen Temperaturzyklen zwischen 100 und 800 °C gefahren. Dabei unterliegt eine Probe einem mechanischen Druck, der etwa einer Kiessäule von 2 m entspricht, wogegen eine zweite Probe drucklos getestet wird.

Material	c_p kJ/kgK	ρ kg/m ³	$c_p \cdot \rho$ kJ/m ³ K	$\rho_{\text{Schüttung}}$ kg/m ³	$c_p \cdot \rho_{\text{Schüttung}}$ kJ/m ³ K
Kies aus dem unteren Aaretal, Körnung ca. 20-50 mm	0,83	2640	2190	1660	1380
Lava-Granulat aus der Eiffel, Körnung 10-15 mm	1,11	2140	2370	930	1030
Magnesit-Granulat, Körnung 10-25 mm	0,90	3200	2870	1730	1560
Porzellan-Kugeln, Steatit Durchm. 20 mm	0,83	2680	2230	1560	1300

Tabelle 1:

Spezifische Wärme c_p und Dichte ρ der im ersten Experiment untersuchten Speichermaterialien

3 ERREICHTE ERGEBNISSE

Der Vergleich zwischen den ersten im Speicher ARIANE I gemessenen Temperaturverläufen (Temperaturstufe am Eintritt von Umgebungstemperatur auf ca 700 °C) und den entsprechenden Berechnungen mit PACKBEDA zeigt relativ grosse Diskrepanzen. Zum Beispiel zeigen die Kurven im Fall einer Schüttung aus Porzellankugeln von 20 mm Durchmesser nur für Zeiten kleiner als etwa 120 min eine Uebereinstimmung. Für Zeiten grösser als etwa 330 min liefert die Simulation einen isotherm geladenen Speicher, wogegen im Experiment selbst nach 900 min immer noch 200 °C Temperaturdifferenz zwischen Ein- und Austritt bleiben. Während des Ladevorgangs ist zudem die experimentelle Temperaturverteilung mehr verschmiert als durch das Modell vorausgesagt. Es ist zu vermuten, dass der Grund in verschiedenen Effekten zu suchen ist: a) in den im Modell noch nicht berücksichtigten Wärmeverlusten durch die Isolation, b) in der relativ grossen Speichergefässmasse, c) in der Wärmeleitung in der Gefässwand, d) in dem bei ARIANE I noch ungünstigen Verhältnis von Höhe zu Durchmesser sowie e) in den als Konstanten ins Programm eingegebenen Stoffwerten.

Ein Vergleich der vier verschiedenen Speichermaterialien zeigt qualitativ dasselbe Temperaturverhalten. Unterschiedlich ist die maximal erreichbare Temperatur, die für Lava den höchsten Wert annimmt, gefolgt von Magnesit und Porzellan. Der Grund liegt in den verschiedenen Druckabfällen und damit in den sich einstellenden Luftdurchsatzraten sowie in den unterschiedlichen Wärmekapazitäten der Materialien. Aus diesen Vorexperimenten konnte allerdings noch nicht beurteilt werden, inwiefern die Körnung der Speicherladung die Temperaturschichtung im Speicher beeinflusst.

Diese ersten experimentellen Erfahrungen führten daher zur Konstruktion einer verbesserten Speicherversion ("ARIANE II"), welche gegenüber ARIANE I eine dünnere Wandung, eine Innenisolation sowie eine unabhängige Regelung von Luftdurchsatz und Lufttemperatur aufweist.

Hinsichtlich der thermischen Stabilität der Speichermaterialien konnten ebenfalls erste Erfahrungen gesammelt werden. Eine visuellen Prüfung zeigte, dass das verwendete Kies nach der Erhitzung auf etwa 600 °C zerbröckelt, also für einen Einsatz als Speichermedium nicht in Frage kommt. Die andern drei Materialien scheinen stabil zu sein. Nähere Angaben können nach Abschluss der Materialtests gemacht werden.

Unvorhergesehene Ereignisse: Bei Gesuchstellung war die Herstellung eines einzigen Experimentierspeichers (Speichervolumen ca 0.6 m³) vorgesehen. Es hat sich aber schon früh gezeigt, dass es sinnvoll ist, vorerst an einem Vorexperiment Erfahrungen für die Auslegung dieses Speichers zu sammeln.

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 in den USA untersuchten Salzschnmelzen ($T < 550$ °C) sowie den an der Deutschen Versuchsanstalt für Luft und Raumfahrt (DFVLR) in Entwicklung begriffenen latenten Speichermaterialien.

5 VERÖFFENTLICHUNGEN

- /1/ W.Durisch, "Berechnungen zum Hochtemperaturspeicher-Experiment mit dem Code PACKBEDA". PSI-TM-13-87-13. 10.nOVEMBER 1987
- /2/ D.Wuillemin, "ARIANE Versuch zum Hochtemperatur - Schüttspeicher - Experiment". PSI-TM-51-88-14. 1.Juli 1988
- /3/ J.Keller, Th.Kohler, "FORTRAN - Version des Computercodes PACKBEDA (Simulation eines Schüttspeichers)". PSI-TM-51-88-10. 13.Juli 1988

6 NEUE FORSCHUNGSARBEITEN

Falls die gegenwärtigen Arbeiten erfolgreich sind, lassen sich durch gezielte Variation der Heizleistung entsprechend der wirklichen Meteoschwankungen (durch Variation von Eintrittstemperatur und/oder Luftdurchsatz) die Lade- bzw. Entladezyklen unter den in der Praxis zu erwartenden Betriebsbedingungen simulieren. Im weiteren könnte ein Speicherexperiment - sensibel oder latent - in grösserem Massstab angestrebt werden. In diesem Rahmen sollte sich die Schweiz mit dem erarbeiteten Know-how an einem eventuellen Grosseperiment in Almeria beteiligen.

KOLLEKTOR-LEISTUNGSFÄHIGKEIT & -LEBENSDAUER

Ziele des Projekts: - Einsatz neuer Materialien zur
Verbesserung der Lebensdauer
und Betriebssicherheit von
Solaranlagen
- Aufbau der Prüfstelle Rapperswil

Dauer des Projekts: 1.1.1988 bis 31.12.90

Beitragsempfänger : Interkantonales Technikum Rapperswil
Berichterstatter : U.Frei
Adresse : Oberseestr.10, 8640 Rapperswil
Telephon : 055' 21 91 41
Telefax : 055' 27 35 78

1. Anvisierte Zielpunkte

Durch verschiedene Tests an Absorberbeschichtungen, transparenten Abdeckungen, Isolationsmaterialien und Wärmeträgerflüssigkeiten sind Verbesserungsvorschläge für die Herstellung von Solaranlagen zu erarbeiten. Dies beinhaltet auch den Aufbau von entsprechenden Prüfständen.

2. Durchgeführte Arbeiten 1988

A. Absorberbeschichtungen

Die umfangreichen Untersuchungen an 6 verschiedenen, industriell hergestellten Absorberbeschichtungen wurden ausgewertet und in einem Bericht zusammengestellt.

B. Transparente Abdeckungen

Die Auswertungen der bisherigen Messungen sind in vollem Gange und werden noch bis ca. Mitte 1989 andauern.

Die 3. Probe von jeweils 5 exponierten in Davos und Rapperswil wurde entnommen, und die Messungen der optischen Eigenschaften sind grösstenteils abgeschlossen.

Mit Hilfe der bisherigen Ergebnisse wurden 6 geeignete Produkte als Abdeckungsmaterialien für Flachkollektoren evaluiert. Die Exponierung im Freien erfolgte unter praxisgerechten Bedingungen. Für die Themen "Niederemittierende Schichten für Gläser und Folien" sowie "Transparente Isolationsmaterialien" wurde, im Rahmen der IEA-Arbeiten, eine Round Robin Untersuchung der optischen und thermischen Eigenschaften gestartet.

C. Wärmeträgerflüssigkeiten

Die Wiederholung des Versuchs mit Ethylen- und Propylenglykol bei Temperaturen um 180°C scheiterte an geeigneten Umwälzpumpen. Der Einfluss des Chloridgehalts im zugemischtem Wasser auf das Korrosionsschutzverhalten bei der Verdünnung von konzentriertem Glykol zu Gebrauchsmischungen wurde weiter untersucht.

D. Lebensdaueruntersuchungen an Flachkollektoren

Die zweite, auf dem Lebensdauerprüfstand untersuchte Charge wurde ausgewertet und die Resultate zusammen mit Prüf- und Auswertverfahren publiziert.

E. Alterungstests an transparenten Isolationsmaterialien

In Zusammenarbeit mit einer Privatfirma wurde ein Prüfstand für die Untersuchung der Einsatzfähigkeit und Alterungsbeständigkeit von transparenten Isolationsmaterialien aufgebaut. Erste Ergebnisse sind Ende 1989 zu erwarten.

F. Prüfstelle Technikum Rapperswil

Die Prüfstände wurden vom PSI nach Rapperswil überführt. Die Bestandesaufnahme zusammen mit der Vorprojektierung der neuen Prüfstände zeigte, dass nur ein sehr kleiner Teil des Materials sinnvoll wieder eingesetzt werden kann. Gemäss der aktuellen Planung für das Jahr 1989, sollten die ersten Prüfstände für die Kennwertbestimmung von Flachkollektoren im Oktober 1989 in Betrieb gesetzt werden.

3. Erreichte Ergebnisse

A. Absorberbeschichtungen

Die detaillierte Auswertung der durchgeführten beschleunigten Alterungstests bestätigten die Resultate aus den Voruntersuchungen. Schwarzchrom- bzw. Schwarznickel-Schichten erfüllen die gestellten Anforderungen für den Einsatz in Flachkollektoren. Voraussetzung ist die Wahl eines geeigneten Substrats (z.B. Chrom-Nickel-Stahl oder nickelbeschichtetes Kupfer). Nickelpigmentierte Aluminiumoxid-Schichten zeigen eine deutliche Sensitivität gegenüber Feuchteeinwirkungen. "Blue stainless steel", eine durch chemische Konversion von Chrom-Nickel-Stahl hergestellte Schicht, ist wenig temperaturstabil. Eine gute Möglichkeit die Hauptdegradationsfaktoren zu erkennen, ist die differentielle Spektroskopie. Die Abbildung 3.1 zeigt die differentiellen Spektren verschiedener Prüfungen an selektiven Schichten. Für den Bezug zur natürlichen Alterung sind die Spektren für die kontrollierte Exponierung in Davos und Rapperswil eingetragen.

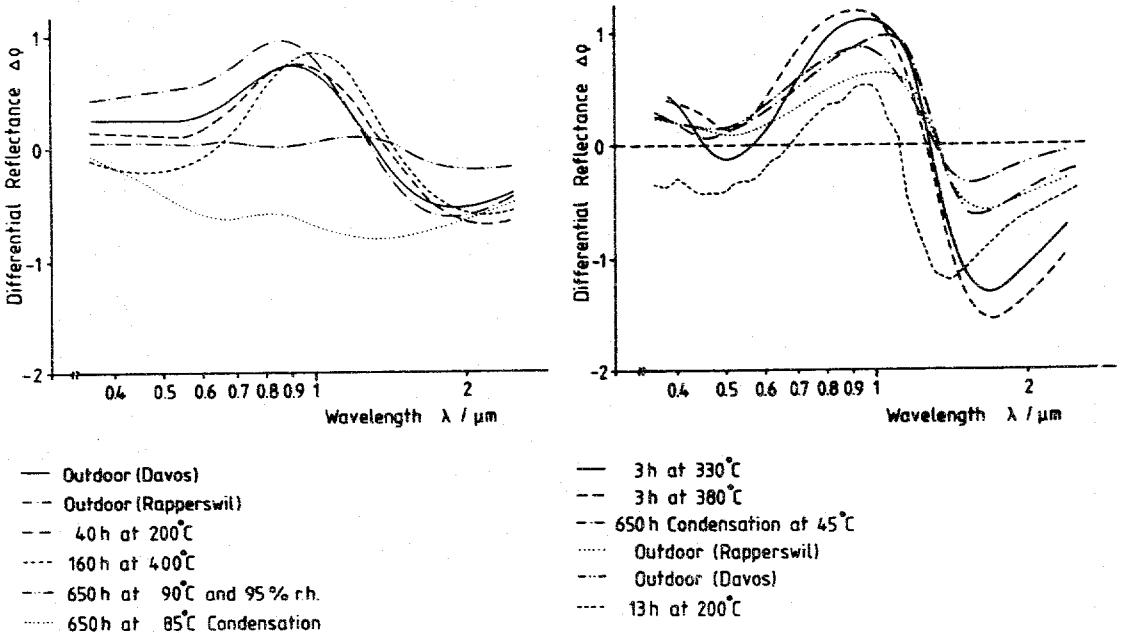


Abb. 3.1 Grafik links zeigt die gute Übereinstimmung zur äquivalenten, thermischen Belastungen (40h/200°C) bei einer "Blue Stainless Steel"-Beschichtung. Die Grafik rechts zeigt eine Schwarz-Chrom-Beschichtung, bei der die Kondensationsprüfung (650h/45°C) am besten mit den Outdoorprüfungen übereinstimmt. Damit sind die Hauptdegradationsfaktoren der jeweiligen Schichttypen (Temperatur bzw. die hohe Feuchtebelastung (Kondensation)) identifiziert.

B. Transparente Abdeckungen

In der Abbildung 3.2 sind die Messungen einer Folie aufgetragen. Die Reduktionen einzelner Produkte sind entgegen den Angaben in Prospekten der Hersteller nicht zu vernachlässigen, sondern reduzieren den Ertrag eines Kollektors massiv (Bericht folgt).

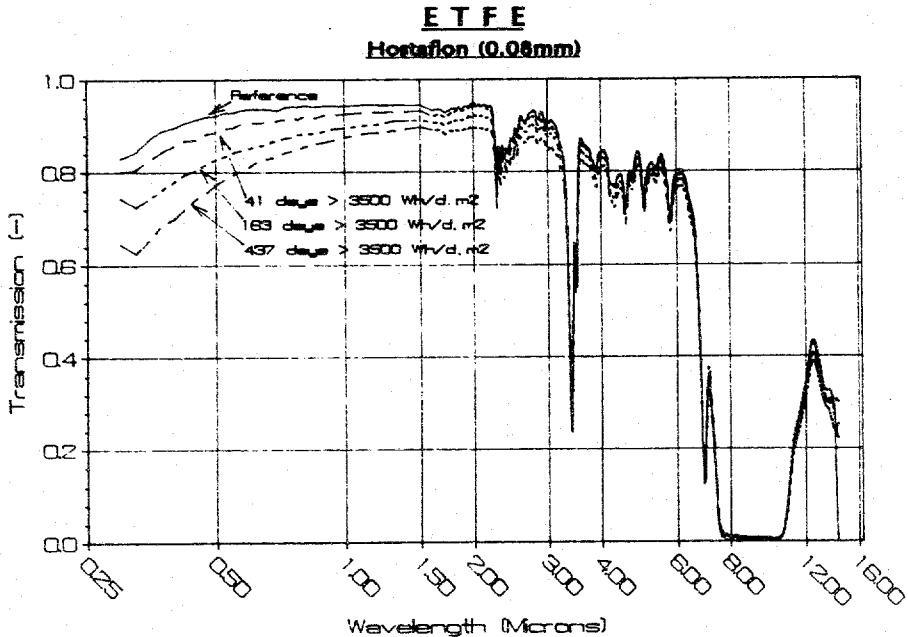
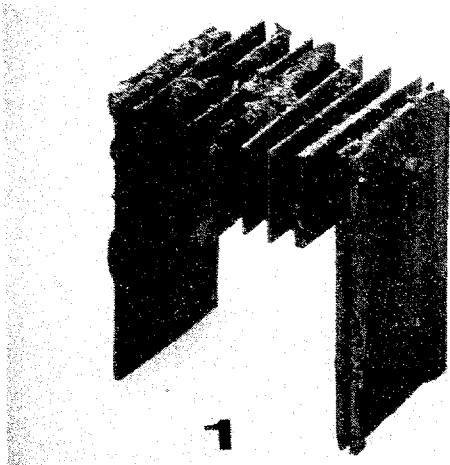


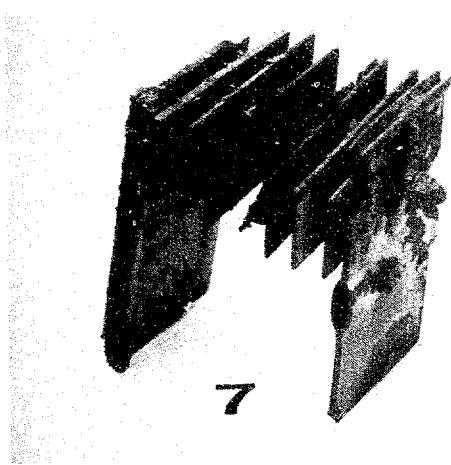
Abb. 3.2 Spektrale, gerichtet-halbräumliche Transmission einer "ETFE"-Folie. Nach der Exponierung ist eine deutliche Reduktion der Transmission feststellbar.

C. Wärmeträgerflüssigkeiten

Chloride sind in allen Trinkwassern in unterschiedlicher Konzentration enthalten. Typische Werte von Seewasser (Zürichsee) liegen um 5 bis max. 10mg/l Chlorid; im Grundwasser sind die Gehalte höher, z.B. bei der EMPA in Dübendorf zwischen min. 25 bis max. 32mg/l. In einem ersten Schritt sollte durch grobe Abstufung der eingestellten Chloride die Grenze des Einflusses im zugemischten Wasser zum inhibierten Glykol untersucht werden. Als Testprodukt wurde ein gutes, durch vorgängige Versuche bekanntes und in der Praxis häufig eingesetztes Produkt gewählt. Die Resultate der Versuche sind verheerend; nach ca. der halben üblichen Testdauer waren auch bei nur 10mg/l Chlorid die Proben (Anticorodal/Aluminium) teilweise total zerfressen. Bereits jetzt steht fest, dass auch geringe Mengen Chloride starke Korrosionsangriffe bewirken. Deshalb die Empfehlung, nur vollentsalztes Wasser für die Beimischung zu inhibiertem Glykol in Solaranlagen zu verwenden.



10mg/l Chlorid



70mg/l Cchlorid

Abb. 3.3 Gut sichtbare Korrosionsangriffe an den Proben nach der Prüfung 10mg/l bzw. 70mg/l Chlorid im zugemischten Wasser (Wasser/inhibiertes Glykol: 60/40Vol.%)

D. Lebensdaueruntersuchungen an Flachkollektoren

Eines der beiden 1987 geprüften Billigprodukte erlitt Totalschaden infolge massiven Korrosionsangriffen am Gehäuse des Kollektors. Diese von aussen nicht sichtbaren Angriffe hätten auch im praktischen Einsatz mit Sicherheit nach wenigen Jahren Betrieb zu Löchern im Gehäuse und damit zu einem Totalschaden geführt. In der Abbildung 34 ist der optische Wirkungsgrad für das teure Schweizer Produkt und das die Prüfung überstandene Billigprodukt aufgetragen.

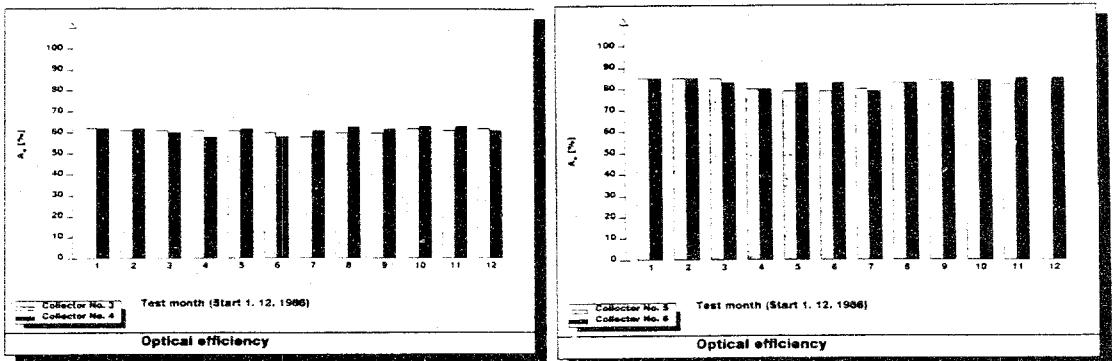


Abb. 3.4 Wirkungsgradverlauf von 2 geprüften Produkten (je 2 Kollektoren), links Fr.180.-/m², rechts Fr.600.-/m². Beide haben den Lebensdauertest überstanden.

PROJET INJECTION DIRECTE

1. Rappel des objectifs visés pour 1988

Nos objectifs, tels que cités dans le rapport d'octobre 1987, étaient les suivants:

- Du 1.1 au 30.6: Etude fine des installations, position exacte des points de mesure, optimisation et pose des chaînes d'acquisition, mise en service et réglage.
- Du 1.7 au 31.12: Début de la campagne de mesure, dépouillement et rapport intermédiaire.

2. Travaux effectués en 1988

Divers contretemps nous ont empêché de réaliser une partie des objectifs cités ci-dessus.

Les premiers retards ont été d'ordre administratif. L'approbation du crédit et le contrôle des soumissions par l'Office des constructions fédérales ont pris nettement plus de temps que prévu, ce qui a retardé le début des travaux jusqu'à la fin du mois d'août.

Les entreprises ensuite ont accumulés les retards dans la réalisation des installations. Les PTT enfin, en rupture de stock, n'ont pas pu nous livrer à temps les modems souhaités, ce qui nous a obligé à recourir à une solution de remplacement.

Actuellement, les trois installations sont terminées et fonctionnent correctement. Les premières mesures sont transmises et stockées.

2.1 Description des trois installations

Quelques modifications ont été apportées aux schémas proposés dans le rapport d'octobre 87. Les schémas mis à jour figurent en page 4 et 5.

-Modifications communes aux trois installations:

Le raccordement de la chaudière a été modifié: une vanne mélangeuse permet d'éviter le passage de l'eau de chauffage à travers la chaudière lorsqu'elle produit l'eau chaude sanitaire, ou lorsque la puissance solaire est suffisante pour le chauffage.

-Installation No 1, "injection directe complète":

Aucune modification particulière n'a été apportée

-Installation No 2, "vrac amélioré":

Nous avons proposé un mode de stockage proche d'un système "en vrac", mais pouvant présenter, à condition que les stratificateurs remplissent correctement leur rôle, un fonctionnement se rapprochant de celui d'un système à injection directe.

En accord avec le mandant, nous avons finalement choisi un mode de stockage très répandu en Suisse, avec échangeur immergé. Une vanne mélangeuse permet cependant à l'eau de chauffage d'éviter le stock, afin de ne pas maintenir constamment ce dernier à une température élevée.

Cependant, le stock et le groupe solaire sont conçus de manière à permettre, durant la campagne de mesure et moyennant des modifications relativement simples, une configuration telle que prévue initialement.

-Installation No 3, "injection directe sans destockage"

Afin de simplifier l'installation, la pompe qui permettait un débit constant à travers l'échangeur a été supprimée.

3 Résultats obtenus en 88

Si, pour les raisons citées précédemment, aucun résultat n'est encore disponible au niveau des performances des installations, nous pouvons déjà en comparer les coûts.

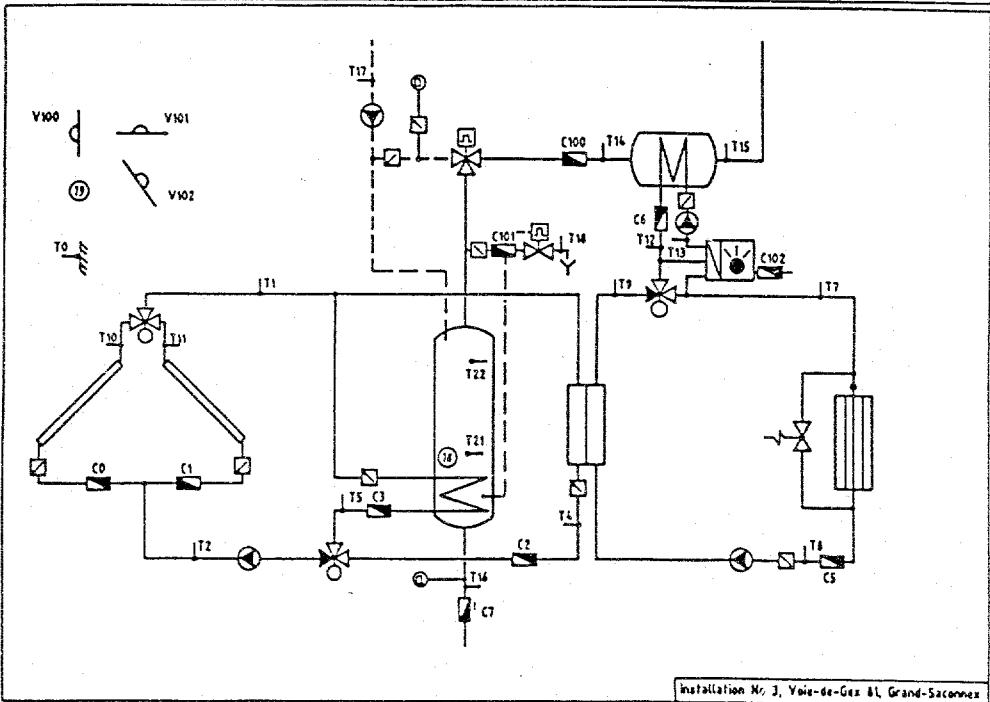
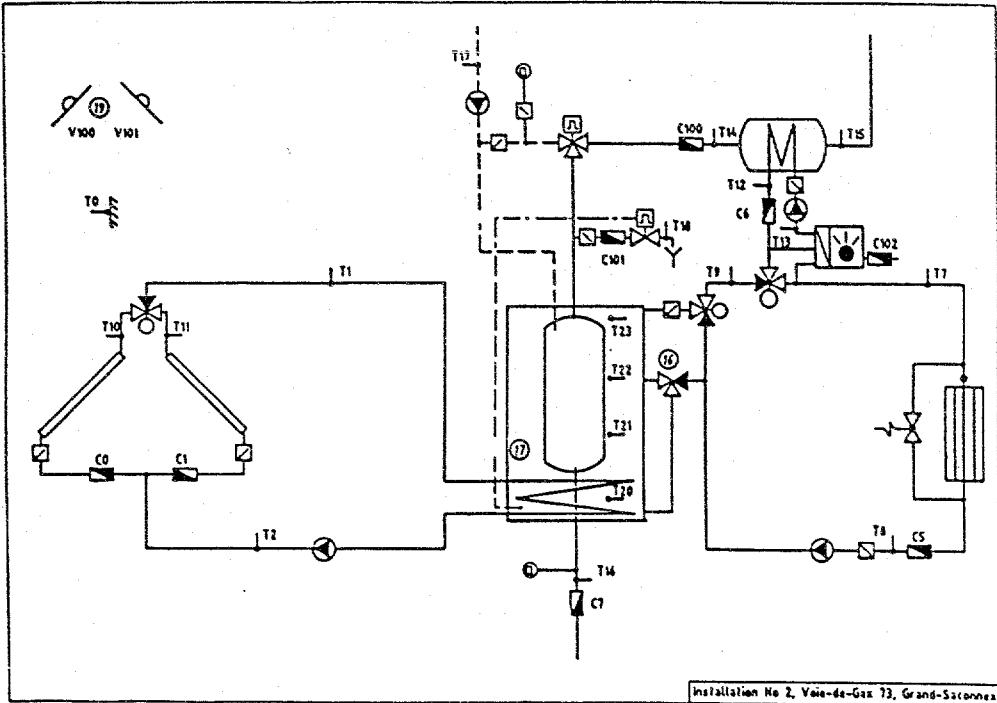
Il peut être utile de rappeler que les trois installations sont, mis à part le mode de stockage, parfaitement identiques. Elles ont été réalisées par les mêmes entreprises, en parallèle, dans des bâtiments identiques.

Le bilan figurant à la page suivante est établi sur la base des soumissions

Une différence de prix apparaît au niveau:

- de la tuyauterie
- de la quantité de liquide caloporteur (échangeurs différents)
- des organes de régulation et de sécurité (nombres de vannes, de circulateurs et de raccords sur les groupes solaires préfabriqués)
- des stocks et chauffe-eau
- du transport et montage (dans les installations 1 et 2, le transport et le montage des stocks est compris dans le prix de ces derniers)
- de l'isolation
- de la complexité des tableaux électriques
- du nombre de raccords électriques (électricien)

5.7



légende:

- 16) Vanne manuelle permettant de modifier le point d'entrée de l'eau de chauffage.
- 17) Stock 1160/340 l avec échangeur interne (serpentin) 1*/36m
- 18) Chauffe-eau solaire 750 l avec échangeur 3,6 m²
- 19) Solarimètres SE/20°, SO/55°, vertical SE, horizontal, SO/55°

SOLARE PROZESSWÄRME**Ziel des Projekts:**

Die aus den Projekten SOLARIN 1 und SOLARCAD gewonnenen Erkenntnisse über Möglichkeiten der Wirkungsgradserhöhung grossflächiger Solaranlagen sind zu realisieren und zu testen. Die Konzeption des Solarkreislaufes ist weiterzuentwickeln. Die Oekonomie der Zwischenspeicherung solarer Wärme ist zu verbessern. Es ist eine neue, effiziente und wirtschaftliche Steuerung zu entwickeln. Die Aenderung der dynamischen Kesselwirkungsgrade und die daraus resultierende reale Oeleinsparung durch die Vorschaltung einer Solaranlage ist zu ermitteln.

Dauer des Projekts: 1988 - 1990

Beitragsempfänger:

HURDES ENERGIECONSULTING, 8245 Feuerthalen

Berichterstatter:

J.V. Hurdes, Dr.Ing.SIA

Adresse:

Bahnhofstrasse 87
8245 Feuerthalen

Telephon:

(053) 29 24 08

1. Anvisierte Zielpunkte für 1988

1.1 Forschungsarbeiten während dem Design

- 1.1.1 Zusammenarbeit mit den Architekten des Fabrikneubaus zwecks einer technisch und optisch einwandfreien Integration von grossflächigen Solaranlagen in industrielle Gebäude
- 1.1.2 Zusammenarbeit mit Oelkessellieferanten zwecks theoretischer Ermittlung von dynamischen Wirkungsgraden und realen Oel-einsparungen durch die Vorschaltung der Solar- vor Oelkesselanlagen
- 1.1.3 Zusammenarbeit mit Kollektorenherstellern zwecks Entwicklung einer für die Gebäudeversicherungen akzeptablen Konzeption von Vakuumkollektoren
- 1.1.4 Analyse der früheren IEA-Projekte mit dem Ziel der Verbesserung von dynamischen Wirkungsgraden in Solarkreisläufen
- 1.1.5 Zusammenarbeit mit Kollektorenlieferanten zwecks Optimierung hydraulischer Verhältnisse in Solaranlagen
- 1.1.6 Entwicklung einer zweckmässigen und wirtschaftlichen Steuerung, die bei allen künftigen, grossflächigen industriellen Solaranlagen eingesetzt werden könnte
- 1.1.7 Verminderung der Wärmeverluste und der Installationskosten von solaren Wärmespeicherungsanlagen

1.2 Zusammenarbeit mit der Universität Genf

- 1.2.1 Voruntersuchungen bez. Anlagengrösse, zu erwartende Leistungen und Speicherungsverluste. Optimierung des Speichervolumens und der Absorberneigung
- 1.2.2 Vorbereitung der Messstellen zur Erfassung der Energieflüsse im Solar- und im Speicherkreislauf, sowie bei der An-koppelung an den Oelkesselkreislauf
- 1.2.3 Vorbereitung der Messstellen zur Untersuchung der Folgen eines Verzichtes auf das 'Tichelmann-System'
- 1.2.4 Vorbereitung der Messstellen zur Erfassung der dynamischen Kesselwirkungsgrade und der realen Oeleinsparungen durch den Einsatz von Solaranlagen

2. Durchgeführte Arbeiten 1988

2.1 Forschungsarbeiten während dem Design

- 2.1.1 Optimierung der Dach- und Absorberneigung bei den Sonnenkollektoren, die als typisch für die schweiz. Industriegebäude (mit Sheddächern) bezeichnet werden könnten. Befestigung der Stützkonstruktion unter die Dachisolation, Abdichtung der Stützsäulen. Auswahl von geeignetem Material für eine reflektierende Dachoberfläche

- 2.1.2 Analyse der Arbeitsweise der eingesetzten Kesselanlage bei Teillastbetrieb. Theoretische Ermittlung der Abgas-, Strahlungs-, Auskühlungs-, Bereitschafts- und Betriebsverluste in einem Betrieb mit- und ohne Vorschaltung der Solaranlage vor den Kessel. Zusammenarbeit mit der Entwicklungszentrale der Firma Hoval in Feldmeilen.
- 2.1.3 Beteiligung am Entwurf einer Neukonstruktion der Kollektorenmodule in bezug auf die Auswechselbarkeit einzelner Vakuumröhren und Integration von Sammelleitungen direkt in die Modulboxen. Zusammenarbeit mit dem Kollektorenlieferanten (Schweizer Solartechnologie in Rafz) und dem Kollektorenhersteller (SOLECO in Bordeaux). Praktische Konstruktionsarbeiten in Rafz und Bordeaux.
- 2.1.4 Analyse aller Parameter, die den dynamischen Wirkungsgrad einer Solaranlage beeinflussen, wie Rohrleitungslänge (Tichelmann) und -durchmesser (Anzahl Kollektoren in Serie), Systemdruck, Endtemperatur usw. mit dem Ziel einer Senkung täglicher Anlaufverluste.
- 2.1.5 Schriftliche Umfrage bei den schweiz. Kollektorenlieferanten über die hydraulische Verhältnisse in ihren Kollektoren zwecks Ausarbeitung von allgemeinen Richtlinien für die Auslegung von Rohrleitungssystemen im Kollektorenfeld (Tichelmann).
- 2.1.6 Analyse der Randbedingungen beim Einsatz von Steuerungen in industriellen Solaranlagen. Vergleiche der auf dem Markt stehenden Steuerungen, die entweder für Solar-, oder für industrielle Anwendungen bestimmt sind. Besuch von Messen und Seminaren (Telemecanique Aarau, 2x Selectron Lyss) über industrielle Automatisierung. Auswahl einer zweckmässigen und preisgünstigen Steuerung, geeignet für alle künftige industrielle Solaranlagen.
- 2.1.7 Analyse des Speichervolumens und der Isolierdicke in bezug auf eine optimale Wirtschaftlichkeit der Wärmespeicherung. Entwurf einer neuen Speicherkonstruktion mit nur einem Speichertank und mit Spezialeinbauten zum Erreichen einer vollständigen Temperaturlevelisierung im Tank.

2.2 Zusammenarbeit mit der Universität Genf

- 2.2.1 Optimierung verschiedener Betriebsparameter mit Hilfe des G3Programmes.
- 2.2.2 Integration von Messarmaturen in den Speichertank und in die Rohrleitungen. Integration von AquaMetro Durchflussmessern.
- 2.2.3 Integration von Messarmaturen und Durchflussmesser in extreme Positionen des Kollektorenfeldes.
- 2.2.4 Vorbereiten der Kessel-Oelleitungen zum Messen des Oeldurchflusses.

3. Erreichte Ergebnisse in 1988

Alle beim Projekt 'Solarin 2' geführten Forschungsarbeiten bestehen aus zwei Teilen : den theoretischen Analysen, Berechnungen und der Auslegung einzelner Systemteile, sowie aus dem Messen und Testen der realisierten Neuentwicklungen. Alle Resultate der Forschungsarbeiten sind deshalb erst nach der Auswertung der Testphase zu erwarten.

Der zeitliche Verlauf der Konstruktion der Solaranlage und der Testeinrichtungen ist mit dem Verlauf der Neubaukonstruktion koordiniert, welche z.Zt. ca. 2-3 Monate in Verzug ist. Einige der für 1988 geplante Arbeiten (z.B. Integration der Messsonden) werden deshalb erst anfangs 1989 durchgeführt. Die Inbetriebsetzung der Solaranlage und der Testeinrichtungen wird vom 1.1.89 auf den Frühjahr 1989 verschoben.

4., 5., 6. Siehe Jahresbericht der Universität Genf

S O L A R I N 2

But du projet:

En collaboration (sous-traitance) avec J. Hurdes, responsable du projet il s'agit de:

optimiser la conception d'un système solaire actif, de prévoir ses performances, de les mesurer et de vérifier ainsi les méthodes de calculs utilisées (programme G³).

Le système étudié concerne une industrie alimentaire à Huttwil, Berne.

Durée du projet: 1988-1990. 2½-3 ans.

Mandataire: Hurdes Energie Consulting, 8245 Feuerthalen

Co-Rapporteur: Prof. O. Guisan CUEPE/GAP

Adresse: 20, rue Ecole de Médecine, 1211 Genève 4

Téléphone: 022 21 93 55

1. Objectifs visés pour 1988

- Optimisation du système en collaboration avec J. Hurdes.
- Identification des grandeurs à mesurer, conception et construction du système de mesures, calibrations des sondes de mesures. Installation des sondes et du système de mesures. Premiers essais et prises de données.

2. Travaux effectués en 1988

- Calculs divers effectués avec le programme G³ afin d'optimiser le choix des capteurs, les inclinaisons (capteurs et absorbeurs), le volume du stock. Compte tenu de l'évolution du projet, ces calculs ont été effectués à plusieurs reprises durant l'année.
- Les prédictions définitives des performances n'ont pas encore été établies. Elles le seront dès que les caractéristiques définitives du système et des capteurs seront connues.
- Nous avons construit un nouveau système de mesures pour ce projet basé sur: PC compatible, ADC 15 bits, langage Turbo Pascal, interfaces et multiplexage pour environ 45 canaux de mesures. Schéma énergétique et schéma de mesures sont définis. La mesure de l'efficacité du brûleur auxiliaire à mazout est également prévue. Les sondes ont été étalonnées et sont en cours d'installation. Compte tenu du retard du projet, les premiers essais auront lieu au début 1989.
- Nous avons effectué des mesures de stagnation à Bordeaux pour les tubes Corning-Cortec retenus pour ce projet et fabriqués par l'usine SOLECO d'Aquitaine.

3. Résultats obtenus en 1988

Les optimisations avec le programme G³ ont conduit à:

- Choix des capteurs; le capteur évacué Corning-Cortec est nettement préférable à tout autre. Inclinaison capteurs: 15° par rapport à plan capteur, inclinaison totale (absorbeur par rapport à l'horizontale): 30°. Surface brute: ~ 400 m². Surface ouverture: ~ 320 m².
- Volume stock: 35 m³ (Optimum entre 20 et 50 m³).
- Prédictions provisoires: Q_c = ~ 1500 MJ/m²-an (surface ouverture) pour T = 102°C en été (chaleur industrielle) et 50°C en hiver (chauffage), cette solution étant meilleure qu'une production à 102°C toute l'année (idée initiale).
- Mesures de stagnation de tubes Cortec à Bordeaux. Malgré des conditions climatiques médiocres, des résultats très encourageants ont pu être dégagés:
 - Les tubes fabriqués par SOLECO d'Aquitaine sont meilleurs que tous ceux que nous avons déjà étudiés (en particulier au projet SOLARCAD).

- Bonne reprise de la technologie Cortec par SOLECO en ce qui concerne les tubes. Les capteurs assemblés n'ont pas encore pu être testés.
- Une question délicate reste ouverte: il semble préférable (mais cela reste à prouver) d'avoir des surfaces sélectives des 2 côtés de l'absorbeur plutôt que sur la seule face avant. Il a été décidé de prendre les 2 types de capteurs et d'effectuer des mesures différenciées sur différentes rangées du champ de capteurs à Huttwil, avec possibilité de varier la surface réfléchissante derrière certaines rangées de capteurs, de façon à bien étudier le problème. Le système de mesures a été complété en conséquence.
- Le projet est légèrement retardé de quelques mois.

4. Contexte international

Néant.

5. Publications

- Mesure de la température de stagnation des tubes évacués Cortec à l'usine SOLECO d'Aquitaine. Rapport interne, sept. 1988.

6. Nouvelles recherches

Les compléments d'études de surfaces sélectives (prévus sous 3) ne devraient pas modifier l'enveloppe budgétaire prévue pour les mesures et leur analyse.

INTÉGRATION D'UN SYSTÈME SOLAIRE À MEYRIN

But du projet:

- . Améliorations et applications du programme G³ pour le calcul et l'optimisation de systèmes solaires actifs.
- . Etude énergétique détaillée de l'immeuble industriel Marcinhès à Meyrin (avec, entre autres, 1000 m² capteurs, 20'000 m³ stockage souterrain, solaire passif, pompe à chaleur).

Durée du projet: 4 ans (1988-1991)

Mandataire: CUEPE/GAP Université de Genève

Rapporteur: Prof. O. Guisan CUEPE/GAP

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

Téléphone: 022 21.93.55

1. Objectifs visés pour 1988

- . Adaptations du programme G³.
- . Immeuble Marcinhès:
 - conception des mesures
 - mise en place système de mesures
 - début prise de données.

2. Travaux effectués en 1988

- . Programme G³:
 - Améliorations de la version anglaise du programme G³ et présentation à un Workshop à Berlin (Internationales Sonnenforum der Deutschen Gesellschaft für Sonnenenergie, 30.08 - 2.09.88).
 - Mise au point de la version allemande du programme G³ et présentation au Workshop de Berne (Programmes solaires au banc d'essai, 7-8.12.88).
 - Rédaction d'un article de fond sur la méthodologie du programme G³ pour publication dans Solar Energy, cf. 5.
- . Immeuble Marcinhès:

Les travaux du bâtiment ayant pris passablement de retard il ne nous a pas été possible d'installer le système de mesures dans sa totalité.

A partir du schéma global de l'installation nous avons déterminé toutes les quantités à mesurer: flux énergétiques, conditions intérieures et extérieures, confort, etc.

L'intégration des appareils de mesures sur les installations techniques a demandé, vu la complexité du bâtiment, une collaboration très lourde (en temps, en discussions, en arrangements, en réunions de chantiers, etc.) avec les divers corps de métiers impliqués:

- chauffagiste pour sondes de température et débit-mètres
- électricien pour les signaux donnant l'état des pompes, vannes, etc.
- plombier pour la partie eau froide et stockage souterrain
- maçonnerie et entreprise pour les forages permettant diverses mesures de température dans le stockage souterrain.

Ces opérations ont nécessité de nombreuses interventions en plus d'un suivi régulier sur place. Actuellement nous attendons la mise en place complète du système de chauffage pour commencer les premières prises de données.

Parallèlement, nous avons construit et assemblé la chaîne de mesures basée sur: PC compatible, ADC 15 bits, langage Turbo Pascal, interfaces et multiplexage pour environ 80 canaux de mesures. Nous avons procédé également à la calibration des sondes de mesures. Pour le stockage souterrain, des mesures seront effectuées séparément et périodiquement dans des forages de 20 m de profondeur, ce qui a impliqué le développement de "cannes" de mesures appropriées.

3. Résultats obtenus en 1988

Développements du programme G³ mentionnés sous 2.

Mesures sur immeuble Marcinhès non encore commencées, dû au retard du bâtiment.

Quelques mesures de stagnation ont été effectuées sur des capteurs en toiture, confirmant les caractéristiques attendues (150°C pour 950 W/m² et 20°C ambiant); des effets importants de rayonnement diffus (liés à la géométrie des capteurs en toiture) ont également été observés.

4. Contexte international

Néant.

5. Publications

- B. Lachal, O. Guisan, A. Mermoud,
G³-Program for the Performance Evaluation of Active Solar Systems.
Contribution au Workshop de Berlin mentionné sous 2.
- O. Guisan, B. Lachal, A. Mermoud,
Universal Daily Input/Output Diagrams for Thermal Solar Collection
Subsystems.
Pour publication dans Solar Energy, ~40 p. avec Tables et Figures.

6. Nouvelles recherches

Compte tenu des retards sérieux du bâtiment, notre projet se trouve retardé d'autant, ce qu'impliquera des prolongations indépendantes de notre volonté.

STOCKAGE SAISONNIER DE CHALEUR

But du projet: Etudes et développement technico-économique 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 1989

Mandataire: SORANE SA

Rapporteur: Pierre JABOYEDOFF

Adresse: SORANE SA, Rationalisation Energétique
Av. St-Paul 1 - 1700 FRIBOURG

Téléphone: 037/22.81.31

OBJECTIFS VISES ET TRAVAUX EFFECTUES

1. Objectifs

Au niveau international :

Participation active à la Tâche VII (Central solar heating plants with seasonal storage) du «Solar heating and cooling programm» de l'Agence Internationale de l'Energie, les buts principaux étant d'échanger des résultats de recherche et de définir des systèmes génériques prometteurs au niveau technico-économique.

Au niveau national :

- Analyse des mesures et simulation des installations de Vaulruz (système solaire avec stockage saisonnier diffusif) et Beausobre (Pompe à chaleur à gaz avec captage terrestre et recharge solaire) dans le but de déterminer les systèmes optimums au point de vue technico-économique.
- Mise au point du programme de prédimensionnement simplifié SLT sur IBMPC, à l'usage des bureaux d'ingénieurs.
- Etudes de faisabilité de systèmes solaires avec stockage saisonnier de chaleur en Suisse.

2. Travaux effectués

Au niveau international :

- Participation aux meetings de la Tâche VII
- Définition d'une typologie de systèmes solaires avec stockage saisonnier génériques
- Evaluation des performances économiques du système de Vaulruz sous différents climats (Helsinki, Zurich, Milano, Madison)
- Evaluation de systèmes avec stockage de chaleur diffusif sous différents climats (effectués par CH, I, NL)
- Etude de coûts spécifiques de pompes à chaleur (moteurs, évaporateurs, condenseurs) dont la puissance se situe entre 300 et 3000 kW thermiques
- Analyse de l'insertion des pompes à chaleur dans un système avec stockage saisonnier, dans le but de dégager une vision de synthèse de cette problématique.
- Rédaction d'un rapport résumé sur l'installation de Vaulruz (anglais).
- Revue critique d'un avant-projet de centrale solaire avec stockage saisonnier aux Etats-Unis.
- Revue critique du programme MINSUN, dans le but de l'améliorer sa documentation, pour pouvoir le rendre utilisable par un public plus large
- Organisation et participation à la séance de revue technique (Lausanne, 16-18 novembre 1988) des papiers soumis pour présentation au troisième workshop sur «Solar assisted heat pumps with ground coupled storage» qui se tiendra à Göteborg en janvier 1989.

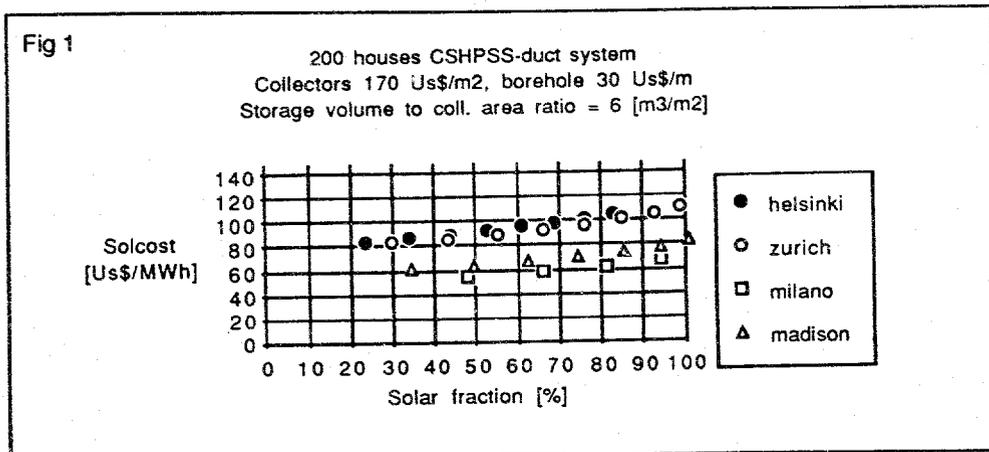
Au niveau national :

- Le suivi, le dépouillement et l'analyse des mesures de l'installation de Vaulruz équipée d'une nouvelle pompe à chaleur ont été effectués, un rapport a été rédigé.
- L'installation de Beausobre a été suivie, et ses mesures analysées.
- Le guide de stockage saisonnier a été édité en français, une traduction en allemand est en préparation.
- Le programme de prédimensionnement SLT a été modifié pour être installé sur un système DOS (IBM-PC ou compatible).
- Des études de faisabilités d'installations solaires avec stockage saisonnier ont été effectuées : L'une concerne le bâtiment à basse énergie Thalihaus à Hitzkirch (LU) qui sera un bâtiment de type bureau + industrie, l'autre concerne un bâtiment de 25000 m³ contenant des bureaux et des industries qui sera situé à Yverdon.
- Le programme MINSUN a été modifié afin de pouvoir inclure des systèmes équipés de pompe à chaleur à gaz.

- Une étude sur la possibilité d'application du stockage de chaleur diffusif en collaboration avec le bureau d'ingénieurs et géologues conseils CSD a été effectuée.
- Le modèle de stockages diffusifs DST a été mis en place dans le programme TRNSYS 12.1 et testé, une simulation détaillée de l'installation de Vulruz, avec ce modèle, est en préparation.

3. Résultats obtenus

- Sur la base du système de Vulruz, évalué quant à ses performances pour quatre sites (Helsinki, Zurich, Milano, Madison), et celle des contributions des autres pays principiants, trois types de systèmes solaires avec stockage saisonnier prometteurs ont été identifiés : 1) capteurs plans haute performance avec stockage en bassin à eau (PIT), 2) capteurs plans haute performance avec stockage diffusif, 3) capteurs plans non vitrés avec stockage en aquifère et pompe à chaleur. Leur évaluation énergétique et économique a été effectuée. Par exemple les coûts spécifiques de l'énergie solaire produite par un système à stock diffusif et pieux forés pour deux cents logements raccordés sont présentés sur la figure 1, pour quatre sites météorologiques. Ces valeurs de coûts représentent les coûts minima en US\$/MWh que l'on peut atteindre si l'on admet un coût de capteurs solaires tel que pratiqué sur le marché suédois d'aujourd'hui, et avec des coûts de forage au niveau de l'Europe centrale (Suisse, Allemagne). La taille minimum à partir de laquelle de tels coûts sont atteignables est de l'ordre de 100 logements.

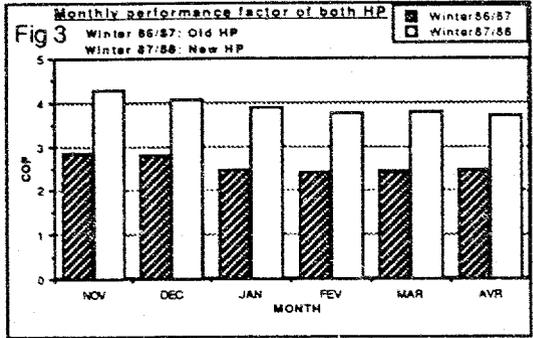
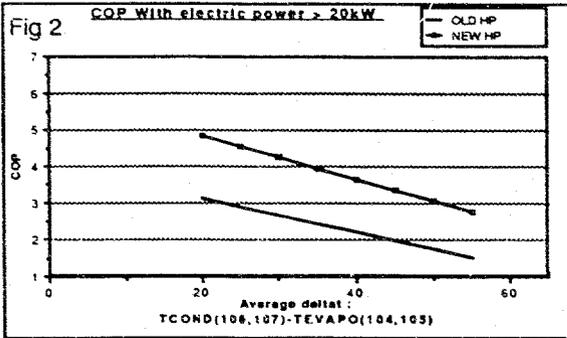


- Le programme SLT de prédimensionnement, traduit et installé sur un ordinateur de type IBM-PC ou compatible est d'utilisation aisée (données mensuelles) et permet de visualiser les flux d'énergie en cours de simulation. Ce programme est destiné au prédimensionnement et à l'analyse paramétrique de système avec stockage saisonnier en cuve à eau, avec source de type solaire (capteur) ou de type rejets de chaleur industrielle

- Dans l'étude de faisabilité de système de production de chaleur alternative avec stockage saisonnier pour un bâtiment mixte bureau-industrie de 25000 m³, deux types d'installation ont été considérés : 1) centrale solaire à capteur plan simple vitrage sélectif avec stockage en cuve à eau dimensionnée pour atteindre une haute fraction solaire, 2) stockage souterrain diffusif (pieux forés) à basse température avec recharge par capteurs plans non vitrés, et production de chaleur par pompe à chaleur à gaz. La première solution n'a pas été retenue par le maître de l'ouvrage en raison des coûts d'investissement élevés, la deuxième sera étudiée plus en détail avant qu'une de décision quant à sa réalisation ne soit prise.

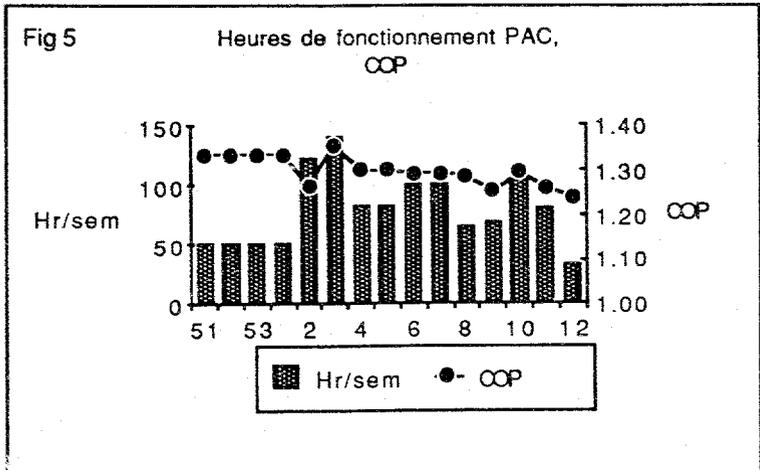
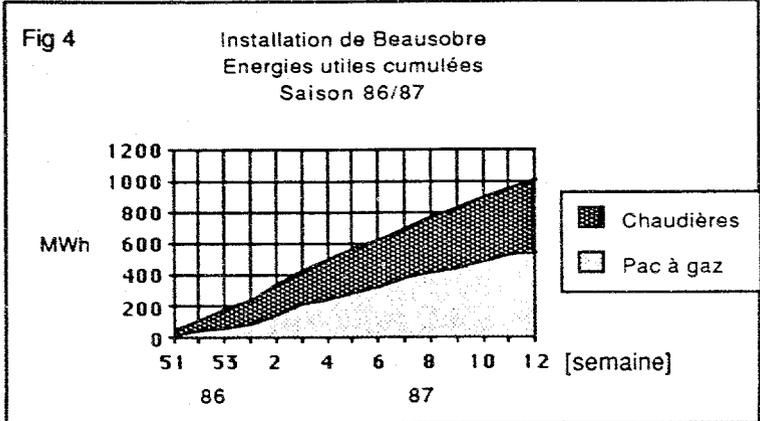
- Dans l'étude de faisabilité et de prédimensionnement d'un système solaire actif avec stockage saisonnier en cuve à eau, effectuée pour le bâtiment « THALIHAUS » à Hitzkirch près de Lucerne, la décision a été prise de chercher à atteindre l'autonomie solaire en ce qui concerne les besoins de chaleur du bâtiment. Le système global incluant le système bâtiment et les installations techniques est inclus dans l'étude du projet en cours.

- L'installation de Vulruz sur laquelle une nouvelle pompe à chaleur a été installée, a présenté un comportement différent des années précédentes. La nouvelle pompe à chaleur a de bien meilleures performances instantanées que l'ancienne (voir figure 2), ce qui s'est répercuté au niveau mensuel (figure 3).



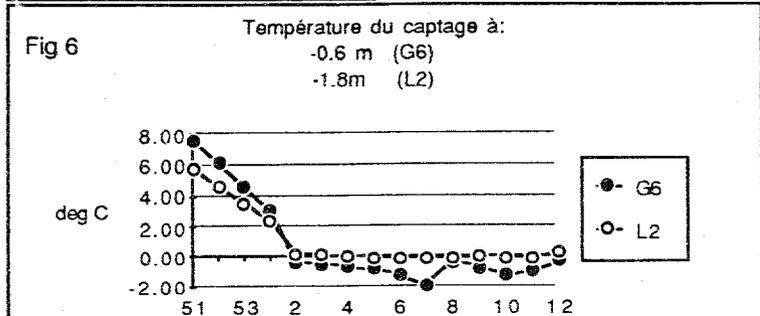
Cette différence s'explique par le fait, que d'une part la capacité d'échange des évaporateurs et condenseurs a été augmentée, et que d'autre part, le rendement exergetique du cycle thermodynamique a augmenté de 40 % environ. Cela a conduit à un changement de la répartition des flux d'énergie de l'installation. La quantité d'énergie électrique consommée a diminué et la contribution du stock a augmenté. Une comparaison détaillée du comportement de l'installation équipée successivement des deux différentes pompes à chaleur est en cours.

- Durant la saison de chauffe 87/88 deux pannes successives du système de réglage ont perturbé le bon fonctionnement de l'installation de Beau-sobre. Quelques mesures de la saison de chauffe 86/87 sont présentées sur les figures 4,5,6.



On constate la faible dépendance du COP de la PAC à gaz vis-à-vis de la température de captage.

- L'étude concernant les possibilités d'application du stockage dans un milieu diffusif conduite par le bureau CSD avec notre collaboration a permis d'identifier au niveau macro-géographique les zo-



nes favorables et défavorables à ce type de stockage. Cette étude a également permis d'obtenir des données additionnelles concernant les coûts de forage en Suisse.

4. Collaboration internationale

Dans l'état actuel des connaissances, les méthodes de prédimensionnement, de dimensionnement et d'analyse sont suffisamment fiables dans la plupart des cas. L'intérêt de la collaboration internationale réside principalement dans des échanges de connaissances technologiques acquises grâce à de nouveaux projets. Les projets nouveaux dont certains sont brièvement présentés ci-après sont pour la plupart des projets d'intérêt, étant donné qu'ils sont construits sur la base d'expériences précédentes.

Nouveaux projets :

Dans les différents pays participant à la tâche VII, un certain nombre de nouveaux projets sont en phase de réalisation ou d'évaluation, certains d'entre eux sont cités ci-après.

Suède :

- Un projet (Kronjörten) avec 400m² de capteurs, et un stockage de 1200 m³ en bassin à eau (pit) avec étanchéité par liner a été construit. Des problèmes d'étanchéité ont déjà été rencontrés. Le liner a été changé. Ce projet est un projet à l'échelle du laboratoire.
- Le projet de Kungälv (environ 120000 m² de capteurs et 400000 m³ de stockage) a une bonne chance d'être réalisé si la faisabilité de 25 autres projets de taille équivalente est démontrée.
- D'autres projets sont en phase d'évaluation ou d'étude.

Danemark

- Le projet de Tuubberupvaenge avec 1500 m² de capteurs et un stock à eau en bassin(pits) de 3500 m³ est en construction.
- Un stock diffusif avec charge solaire simulée est en cours de test.

Allemagne Fédérale

- Un nouveau projet de stock diffusif de 3500 m³ est en construction.
- Des études de faisabilité de grands systèmes à réaliser dans 3 à 4 années sont en cours.

Italie

- Construction d'un petit système avec bassin à eau enterré
- Retrofit d'un projet déjà existant

Suisse

- Etude d'un système solaire (environ 400 m² de capteurs), avec stockage en cuve à eau (500 à 1000 m³) pour un grand bâtiment administratif près de Lucerne, qui sera réalisé.

5. Publications

1) The Vaulruz system under the climates of Helsinki, Zurich, Milano, Madison

Part 1 : Economic performances with its actual size

P.Jaboyedoff, Ch.Störi, SORANE SA

Working document prepared for the February Meeting of the IEA Task VII at Taormina

2) Guide du stockage saisonnier de chaleur

J.C.Hadorn

collaboration: D.Chuard, P.Chuard, P.Jaboyedoff

Série «Planification, énergie et bâtiments»

Documentation SIA-OFEN D028, Mars 1988

3) Stockage souterrain de chaleur en Suisse, Milieu conducteur, Etablissement d'une carte des terrains conductifs

CSD Colombi Schmutz Dorthe SA, Le Mont s/Lausanne, Avril 1988

4) Centre d'entretien de Vaulruz, Note technique : comparaison nouvelle-ancienne pompe à chaleur
Ch.Störi, SORANE SA, Juillet 1988

5) Installation solaire avec stockage saisonnier du Centre d'entretien des autoroutes de Vaulruz, Résultats des mesures 1987, et influence sur le comportement de l'installation d'une nouvelle pompe à chaleur. Bilans mensuels et annuels, comparaison des saisons de chauffe 86/87 et 87/88.
P. Jaboyedoff, Ch.Störi, SORANE SA, Décembre 1988.

6) The Beausobre project : heating of a school complex by a solar assisted gas driven heat pump with a horizontal ground storage.

P.Jaboyedoff, D.Chuard, SORANE SA, December 1988

Paper to be presented at the 1989 workshop on solar assisted heat pumps with ground coupled storage in Göteborg (Sweden), 16 to 18th January 1989

7) The Vaulruz project - Five years of monitoring with two different electrical heat pumps.

P.Jaboyedoff, Ch.Störi, SORANE SA, December 1988

Paper to be presented at the 1989 workshop on solar assisted heat pumps with ground coupled storage in Göteborg (Sweden), 16 to 18th January 1989

6. Futurs travaux de recherche et collaboration internationale

L'opinion générale des participants des différents pays à la Tâche VII, est qu'il est d'intérêt de continuer à collaborer au niveau international. *Le potentiel de contribution à la fourniture d'énergie chaleur à moyenne température, sans émission polluante, par des centrales solaires de chauffage avec stockage de chaleur saisonnier est ressenti comme l'un des plus élevés parmi toutes les applications de l'énergie solaire aujourd'hui.* Il y a pratiquement un consensus général concernant l'urgence de réaliser de nouveaux projets de taille suffisante afin de pouvoir démontrer la faisabilité technologique de tels systèmes à des coûts approchant la rentabilité économique. D'autre part, la diminution des émissions polluantes est également l'un des points auxquels les centrales solaires avec stockage saisonnier peuvent contribuer de manière substantielle. Les domaines de nouvelles recherches avec ou sans collaboration internationale envisagés sont les suivants :

- Stockages diffusifs et bassins à eau à haute température (100 °C)
- Analyse et simulation fine de systèmes
- Développement d'un système expert
- Abaissement des coûts de réalisation (stock, et systèmes)

Les domaines les plus importants sont sans doute la réalisation de nouveaux projets, l'échange d'information entre pays à ce sujet, des tests à échelle réduite concernant les problèmes technologiques évoqués ci-dessus. La réduction des coûts des composants (en particulier pour les stocks) est également un point très important.

P.Jaboyedoff

O F E N

PROJETS DE RECHERCHE ÉNERGÉTIQUE 1988

B E W

ENERGIE - FORSCHUNGS - PROJEKTE 1988

INTÉGRATION DE "SPEOS"

But du projet:

Dans le cadre du projet SPEOS, financé par le NEFF, la Ville de Lausanne, l'EPFL, l'Université de Neuchâtel et l'OFEN, la présente étude a pour objet de mesurer le comportement thermique et chimique de l'installation de stockage saisonnier de chaleur dans l'aquifère ainsi que de quantifier les effets sur la chimie, la faune et la flore de l'environnement direct de l'installation. Ces mesures doivent permettre de juger de l'efficacité ainsi que de l'innocuité du système de stockage proposé dans une utilisation généralisée.

Durée du projet: de début 1986 à fin 1989

Mandataire: EPFL, Groupe de projets en génie urbain
Rapporteur: Dr. B. Saugy
Adresse: 1015 Ecublens
Téléphone: (021) 693 23 05

1) OBJECTIFS 1988

En 1988, il était prévu de procéder aux mesures hydrauliques et thermiques de comportement du stock ainsi qu'au suivi et la mesure des effets sur la chimie et la corrosion de l'installation. Il s'agissait en outre de confirmer les résultats prévus par les modèles et notamment de confirmer la possibilité d'augmenter les températures et les puissances de l'installation à la suite de la décision de stocker la chaleur dans la nappe inférieure du stock.

2) TRAVAUX EFFECTUES EN 1988

Les travaux effectués ont porté sur la décharge du 6ème cycle SPEOS sur les plans hydrauliques, thermiques et chimiques. La figure 1 décrit le profil thermique à la fin du 6ème cycle. Elle montre qu'il reste encore de la chaleur à 42 C dans le stock.

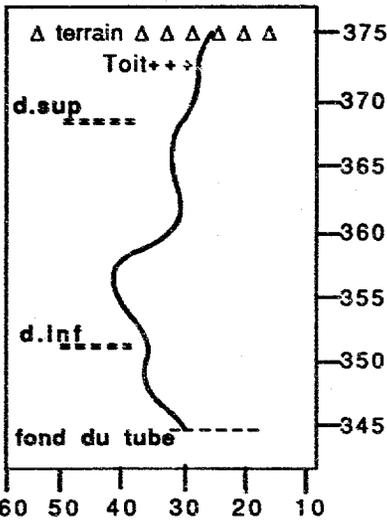


Fig. 1 Profil de température du piézomètre T36 du 6 avril 1988

Puis, au cours des modifications de l'installation pendant l'été, les équipements, le béton du puits et le métal des échelles et des caillebotis ont été analysés pour évaluer la progression de l'oxydation sous l'effet des vapeurs d'eau à Ph abaissé.

En automne, plusieurs dispositifs de détartrage ont été mis en place et suivis pour en déterminer l'efficacité. La figure 2 montre les plaques d'un échangeur Technos, équipé pour la circulation de billes de plastique, ayant pour mission d'enlever le tartre sur les plaques. Les tests ont été effectués dans le cadre de l'annexe VI de AIE sur la chimie des eaux chaudes.



Fig.2 Echangeur à plaques

Au cours de la modification visant à introduire la possibilité de fonctionner en cycle fermé, les travaux de prise de contrôle de l'installation par un ordinateur personnel, installé sur l'automate programmable, se sont poursuivis. La figure 3 illustre le synoptique de l'installation qui permet d'afficher sur un écran l'état des vannes et autres actuateurs ainsi que les températures sur les différentes sections de l'installation.

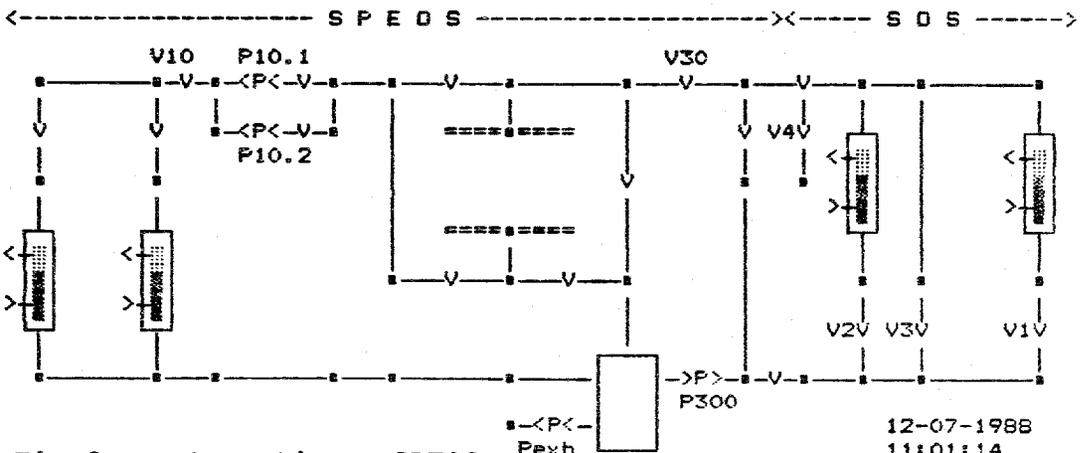


Fig.3 Synoptique SPEOS

En automne, le chargement du 7ème cycle a pu reprendre, mais a été interrompu en novembre à la suite d'une défectuosité de la pompe à acide. Au cours de cette période, le stock a continué à fournir la chaleur aux douches de la salle omnisport avec par exemple des puissances étagées entre 0 et 220 KW, les 8, 9 et 10 novembre 1988 (fig.4).

Notons, qu'au cours de l'injection du 7ème cycle, l'on a observé une remontée d'eau chaude par l'un des piézomètres dont le bouchon d'argile avait cédé à la pression.

3) RESULTATS OBTENUS EN 1988

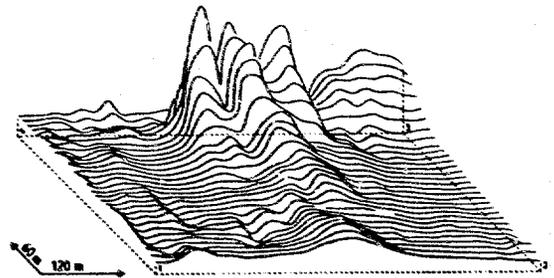
Le suivi hydraulique a confirmé le fonctionnement du dispositif d'injection-extraction sans colmatage chimique ou bactériologique. L'analyse des températures et des températures en surface a confirmé que la modification du mode d'utilisation du stock en stockant l'eau chaude au niveau inférieur avait conduit à une augmentation très sensible des températures, des puissances d'injection et d'extraction, ainsi que des rendements.

La figure 5 décrit les températures à 10 cm sous la surface, le 18 février 1988. On y observe que les températures ne dépassent pas 16 C, même sur les trois pointes observées à proximité des piézomètres. Ces températures sont très inférieures à celles observées lors de l'étape précédente où elles étaient montées jusqu'à plus de 36 C.

Le suivi chimique de l'installation n'a pas révélé d'augmentation de la teneur en chlorure de calcium de l'eau. Par contre, l'analyse des caillebotis a conduit à remplacer ceux-ci par des caillebotis en matériaux synthétiques, résistants aux ambiances corrosives.

Sur le plan du détartrage par les billes, après des premiers résultats très encourageants,

il n'a pas encore été trouvé de solution pour éviter qu'elles ne se bloquent dans les zones à plus faible vitesse de l'échangeur et finissent par obstruer celui-ci.



Mesures de subsurface (-10cm.) du 18 février 1988
Perspective cavalière 120 x 40m de base - 2 et 20m de haut

ISE - Institut d'Hydrologie et d'Énergie
S.P.G.U. Groupe de Projets en Étude Urbaine
N 703.011 19.07.1988/Va.WI

Fig.5 Mesures de subsurface

L'analyse bactériologique et celle de la faune n'ont révélé aucune perturbation mesurable de l'environnement du dispositif.

Les principales conclusions de ce suivi en 1988 sont les suivantes:

- La partie essentielle du stock SPEOS, c'est-à-dire le puits et les deux niveaux de drains, ont fonctionné au cours des 6ème et 7ème cycle sans aucune difficulté, ni colmatage, ni défaillance.
- Le stockage dans la nappe inférieure est une réussite sur le plan des températures, des puissances et des rendements (fig.6).
- Les fuites observées sur le puits d'investigation et sur le piézomètre contrastent avec le fait que le dispositif principal d'injection n'a pas vu la moindre fuite ou désagrément.
- Ces faits tendent à justifier le choix du concept de drains horizontaux

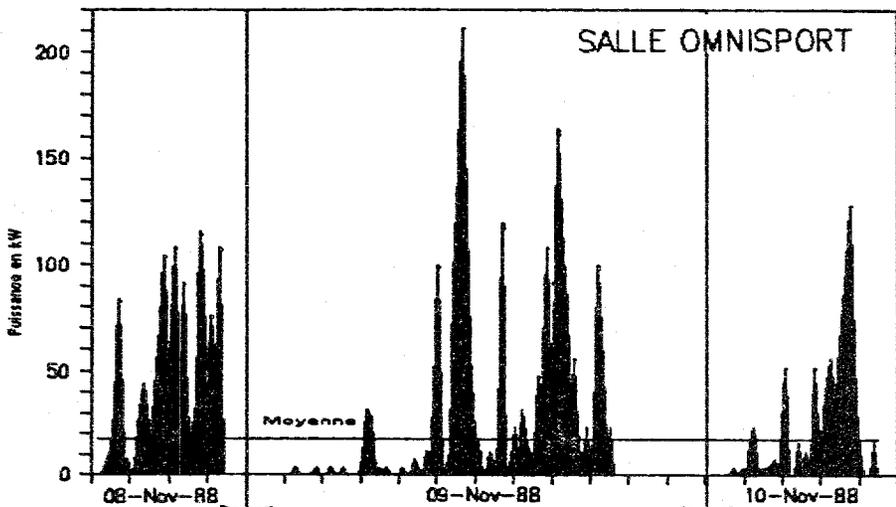


Fig.4 RELEVÉ DE CONSOMMATION D'EAU CHAUDE SANITAIRE
D.P.G.U. 703.400

8.12.1988/Gr

qui avait été critiqué par les partenaires de l'AIE au début du projet.

- Par contre, sur le plan de la chimie et de la faisabilité de l'équipement, il apparaît impératif de réaliser un dispositif de détartrage physique et mécanique. Relevons à ce sujet qu'un échangeur à détartrage mécanique devait initialement être testé au cours de cette deuxième phase, mais que son exécution était renvoyée pour des raisons de limitations de crédit.

4) COLLABORATION INTERNATIONALE

Vu le caractère original et même unique de ce stock saisonnier aux températures de 60 à 80 C en Suisse, la collaboration avec des partenaires étrangers, ayant des applications semblables, est capitale dans l'avance des travaux.

La collaboration a été étroite avec les partenaires hollandais et importante avec les partenaires danois et suédois notamment.

En marge des journées GIGASTOCK, à Paris en novembre 1988, des échanges de vues et visites en France notamment ont permis de comparer les résultats obtenus, les méthodes aptes à lutter contre le colmatage et la corrosion des installations de géothermie.

De plus, l'installation SPEOS a été visitée par de nombreux groupes de spécialistes de tout pays et ces échanges permettent de juger de l'état et de la qualité des recherches effectuées. Ces visites ont notamment fait ressortir le caractère original des résultats obtenus à SPEOS, le stock danois de Hørschholm ayant rencontré des difficultés comme le stock de St. Paul dans le Minnesota.

5) PUBLICATIONS

"Stockage saisonnier de chaleur dans l'aquifère SPEOS. Résultats de 5 ans de fonctionnement."

Dr. B. Saugy, Dr. J.J. Miserez, Dr. B. Mathey. Ecole polytechnique de Lausanne et bureaux associés.
JIGASTOCK, octobre 1988, Versailles, France.

"A seasonal aquifer heat store. SPEOS Results after five years of tests and running."

Dr. B. Saugy, Dr. J.J. Miserez, Dr. B. Mathey.

English translation of the paper presented at JIGASTOCK 88, Versailles, France.

Présentation SPEOS à Helsinki, en octobre 1988, Dr. J.J. Miserez, Dr. B. Mathey

Nombreux rapports internes, soit:

"Etude d'impact du stockage d'eau chaude dans le sol sur les populations d'arthropodes. SPEOS." Second rapport Hiver 1987/88.

Cécile Maddalena, Musée cantonal de zoologie, juin 1988.

- Mesures de températures.
- Automate de régulation
- Evaluation thermique du stock
- Analyse chimique des composants

6) NOUVELLES RECHERCHES

Les difficultés observées dans la chimie et la fiabilité de l'installation avaient conduit à participer à l'Annexe VI AIE sur la chimie des eaux chaudes et il paraît impératif de pouvoir tester des solutions proposées, comme l'échangeur à lit fluidisé, pour réduire les désagréments du traitement chimique.

Par ailleurs, une étude du renforcement de la fiabilité de l'installation est en cours selon diverses voies, l'une utilisant des composants renforcés, l'autre des réserves de pièces et une stratégie de remplacement et la troisième valorisant les redondances du système.

De plus, plusieurs projets sont en cours de préparation

- Adaptation de l'installation et démonstration de sa fiabilité
- Suivi scientifique de l'installation SPEOS dans le cadre du projet CHIMIE AIE
- Projet BIOTHERME, pour l'étude des impacts de la chaleur sur la flore et la faune
- Prospection de sites de stockage saisonnier de chaleur.

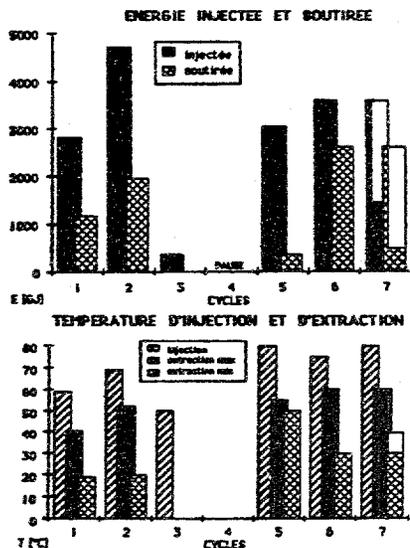


Fig.6 SPEOS BILAN 1982 - 1988

IMPACTS DU STOCKAGE EN AQUIFÈRES**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

Rapporteur:

Dr. J.-J. Miserez

Adresse:

D.-P. Bourquin 55, 2300 La Chaux-de-Fonds

Téléphone:

039/23.34.15 et 27.63.91

1. Objectifs visés pour 1988

Les lignes directrices du projet et la planification des recherches s'inscrivent dans le programme international auquel huit pays membres de l'AIE ont adhéré, à savoir :

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 des 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.

Le début de l'année 1988 devait voir l'achèvement des inventaires relatifs à l'état général des connaissances dans les domaines spécifiques ci-dessus énumérés.

Simultanément et durant toute l'année, devaient s'engager les travaux en laboratoire, la modélisation et l'extension du suivi scientifique de SPEOS, ouvrage de stockage saisonnier en exploitation à Dorigny-Lausanne dès 1982. Ce pilote de 0,5 à 2 MW constitue en effet une des principales références de niveau international.

2. Travaux effectués en 1988

Deux réunions d'experts organisées à l'échelon international ont permis d'avalider les différents inventaires "state of art", tâche initialement assignée à l'année 1987. La difficulté de ce travail de synthèse a en effet prolongé le délai que l'on s'était initialement fixé. La raison principale en est que dans le domaine du stockage de chaleur en nappe aquifère, principalement en matière d'impact chimique et microbiologique, les références directes sont peu nombreuses, nécessitant par conséquent le recours exhaustif à une littérature très générale, multidisciplinaire, dans des domaines non obligatoirement maîtrisés au départ par les contractants au projet. La dispersion géographique des acteurs de cette recherche a aussi retardé le travail rédactionnel.

Ces circonstances n'ont cependant pas retardé le déroulement des travaux effectués dans les divers instituts concernés par le projet. Nous citons les travaux effectués en Suisse :

Modélisation

Groupe de travail constitué par l'EPFL (IHE, Dr. Saugy), le bureau BSI à Lausanne, l'Université de Berne (Institut de Minéralogie, Prof. Engi). Le modèle hydraulique analytique de SPEOS, sur EXCEL (Mac Intosh), ainsi que le modèle hydraulique par éléments finis sur LOTUS (IBM/AT) ont été achevés.

Le modèle thermique, avec champs de températures en système transitoire a été élaboré ; il constitue la première étape du modèle géochimique incorporant transport et diffusion.

Une méthodologie originale développée sur ordinateur HP a permis de coupler des champs uni et bidimensionnels. On simule des concentrations, entropies et températures en système transitoire, en travaillant par excès de densité ou d'entropie.

Dans le domaine d'évaluation des données thermodynamiques nécessaires à l'appréhension correcte des risques de colmatage ou de déstabilisation des sites de stockage, un effort particulier a été accompli en vue de cerner au plus près la réalité. On a tout d'abord comparé les bases de données thermodynamiques courantes des modèles d'équilibre des minéraux vis-à-vis de leurs solutions aqueuses : EQ 3/6, PHREEQE, GEOCALC.

On a repris un certain nombre d'analyses de l'eau de SPEOS, en vue d'appréhender avec le programme de calcul EQ 3 :

- le degré de saturation de tous les minéraux susceptibles d'intervenir dans le site
- l'identification des phases en supersaturation théorique, mais improbables dans la nappe
- la détermination du potentiel pour les fronts de réaction, inclus ceux d'oxydation-réduction
- la fiabilité et la qualité des analyses d'eau effectuées.

Enfin, une évaluation critique et préliminaire du modèle d'équilibre unidimensionnel CHARM élaboré en Hollande a été effectuée, avec pour objectif des modifications ou extensions éventuelles vers une approche géochimique plus proche de la réalité objective.

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.

Dans le domaine très important du contrôle des matériaux utilisés dans l'installation SPEOS, un examen particulièrement approfondi des plaques de l'échangeur a été effectué. En effet, l'emploi d'acide chlorhydrique contre l'incrustation calcaire et d'une manière plus générale, la présence dans les eaux de sulfates, chlorures et bactéries du fer, posent le problème de la résistance des aciers à la corrosion. Des recherches métallographiques et portant sur le concept même du système d'échangeur à plaques ont été menées à chef, avec des résultats à notre avis utiles en de multiples domaines.

Un appui scientifique au contrôle permanent de l'état du puits, notamment lors du renoncement à un système noyé, a également été l'une des missions du groupe.

Indépendamment du suivi de l'évolution de la nappe par l'analyse d'eaux prélevées dans les piézomètres, suivi dont la méthodologie a été améliorée, des essais en laboratoire ont été effectués en vue de substituer une autre substance à l'acide. En particulier, une filière de traitement basique a été étudiée. Parallèlement, des tests sont aussi en cours à SPEOS, en vue de prévenir le colmatage des échangeurs par des moyens mécaniques. On essaye en particulier un système automatique de nettoyage par flux de microbilles.

Pour combler des lacunes évidentes dans la connaissance minéralogique des sables de Dorigny, un nouveau forage a été réalisé près du puits. Une grande attention a aussi été portée à l'étude granulométrique et minéralogique des matières en suspension dans l'eau de la nappe. On suppose en effet que celles-ci jouent un rôle essentiel ou tout au moins précurseur dans les processus de colmatage de la nappe et d'incrustation des échangeurs. Une méthodologie très élaborée par compteur "Coulter" a été développée.

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).

Par des mesures in situ et par des simulations en laboratoire, on a étudié la microflore sous trois aspects :

- modifications sur la population "normale" ou autochtone par l'effet de réchauffement, puis de refroidissement
- introduction éventuelle de bactéries allochtones et d'intérêt hygiénique dans la nappe, par exemple celles d'origine fécale, suite à l'implantation du pilote
- comportement des microorganismes thermophiles lors des cycles de mise en charge et en décharge du pilote.

Pour ces différentes recherches, on a utilisé en laboratoire des sables fraîchement récoltés sur le site par carottage du nouveau forage. On a aussi poursuivi des essais in situ et sur simulateurs de drains, avec l'eau de la nappe. Le suivi du comportement microbiologique de la nappe a aussi été effectué par des prélèvements réguliers dans les piézomètres.

Enfin, une étude spécifique sur la biomasse a également été engagée par la méthode ATP.

Ces travaux sont estimés comme fondamentaux dans l'optique d'une implantation de nouveaux stockages en d'autres lieux.

A noter que pour l'ensemble du projet, l'appui scientifique de l'EAWAG (par Dr. Zobrist) nous est acquis.

3. Résultats obtenus en 1988

La synthèse des résultats obtenus tant en Suisse que par les partenaires étrangers n'a pas encore été effectuée.

Fondamentalement, l'année 1988 n'a pas apporté de réponse définitive quant à la faisabilité à moyen terme de projets tels que SPEOS ou tout autre stockage en nappe aquifère, eu égard à l'impact sur l'environnement. Le suivi scientifique du pilote et les travaux ci-avant décrits semblent pourtant démontrer que les principales difficultés résultant du chimisme et de la microbiologie sont plus ou moins maîtrisés. Aucune perturbation irréversible de la nappe n'a été décelée, la principale difficulté résidant dans la forte sollicitation des matériaux et de l'appareillage du pilote. Dans certaines directions, les résultats de nos recherches dépassent objectivement la seule application dans le domaine du stockage d'énergie. Ainsi, l'étude des microsuspensions dans la nappe constitue un volet fondamental de l'hydrogéochimie. Le comportement des bactéries thermophiles a été examiné avec des méthodes plus ou moins originales. La comparaison de certaines données thermodynamiques en relation avec la dissolution-précipitation des minéraux n'a été entreprise qu'à partir du présent projet. Enfin, la fiabilité parfois problématique des échangeurs à plaque, système d'usage courant, est clairement apparue dans l'étude en cours, avec l'esquisse de solutions quant au choix des nuances d'acier et à la lutte contre l'incrustation par des méthodes non chimiques.

Reste pourtant que la suppression de l'emploi d'acide demeure l'objectif prioritaire pour la suite du projet. Cela paraît la condition sine qua non pour l'avenir du stockage en nappe.

4. Collaboration internationale

Malgré les réunions bi-annuelles des différents experts, la dispersion géographique et les trop multiples aspects touchés par le projet AIE VI constituent à notre avis un important handicap. De notre point de vue et avec le recul de deux ans d'activité, une plus grande efficacité aurait été obtenue en "spécialisant" chaque pays sur un thème particulier du programme.

L'information et le degré de préparation des différents partenaires étaient de plus inégaux au départ, certains d'entre eux ayant une expérience concrète dans le domaine concerné, d'autres n'ayant jamais réalisé de stockage et ne disposant d'aucun pilote en activité.

La même dispersion s'est retrouvée en Suisse et a, dans une certaine mesure, nui à la coordination générale du projet.

Malgré les remarques qui précèdent, la planification du projet dans le temps a été respectée. Tant en Suisse qu'à l'étranger, les principaux travaux de laboratoire ont été sinon achevés, du moins très avancés, en vue d'un rapport de synthèse prévu pour juin 1989.

5. Publications

Principaux rapports internationaux avec contribution de la Suisse concernant l'Annexe VI :

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 :

- Subtask A. Coupled geochemical Transport Model. CHARM 1. Chemical Aquifer Reaction Model with 1 Dimensional Transport, February 88.

5. 13

- Subtask D. Environmental Assessment of the potential Effects of ATES - Systems on Microorganisms in Groundwater, March 88.
- 3rd. Experts Meeting - Summary, Toronto, March 15, 16 and 17th, 88.
- Subtask B (bio)geochemical reactions. 2nd Laboratory Group Meeting - Summary, Toronto March 14th 88.
- Subtask A, Coupled geochemical transport model and Subtask B (Bio)geochemical reactions. 3rd Laboratory Groupe Meeting - Summary Helsinki, October 11th 88 and Combined Subtask A/B Meeting - Summary, Helsinki, October 12th 88 (à notre avis une synthèse fondamentale entre modélisations physique et mathématique sur l'évolution géochimique de systèmes substrat solide - eau de percolation).
- en préparation : 4th Experts Meeting - Summary, Helsinki-Stockholm, October 11, 12, 13, 14 et 15, 88.

Plusieurs rapports, d'intérêt plus local ou sectoriel, ne sont pas cités.

Au plan Suisse, les différents groupes de travail nous ont fourni des rapports intermédiaires durant l'année 1988. Ces documents sont disponibles auprès du coordinateur. En outre, des rapports de délégation aux réunions de Toronto et Helsinki-Stockholm à l'attention de l'OFEN ont été élaborés. Les séances de coordination font aussi l'objet de procès-verbaux détaillés relatant des résultats scientifiques.

Signalons enfin, dans le cadre du projet Annexe III et de SPEOS, mais avec plusieurs aspects chimiques et microbiologiques ayant requis notre appui :

B. Saugy : SPEOS - Deuxième étape cinq ans de Gisothermie, IHE, EPFL et partenaires du projet, mai 1988.

B. Saugy, J.-J. Miserez, B. Mathey. SPEOS. Résultats de 5 ans de fonctionnement. International Conference on applied geothermal Energy and thermal Energy Storage (Jigastock), Paris, octobre 1988.

6. Nouvelles recherches

En principe, la phase II fera l'objet d'une nouvelle demande de crédit. Elle est étroitement liée à la poursuite du projet SPEOS, la mise à disposition du pilote étant requise.

La Chaux-de-Fonds, le 21 décembre 1988

KURZTESTMETHODE FÜR SOLARANLAGEN

Ziel des Projekts:

Die Kurztestmethode hat zum Ziel, aufgrund einer kurzen Messperiode an einer in Betrieb stehenden Sonnenenergieanlage für Warmwasser und Raumheizung auf deren jährlichen Zusatzenergiebedarf zu schliessen. Dazu soll der Test auch Auskunft geben über die Leistungsfähigkeit der wichtigsten Anlageteile, damit bei schlechtem Deckungsgrad die Ursache lokalisiert werden kann. Die Testkosten sollten möglichst klein sein.

Dauer des Projekts: Herbst. 1986 - Frühjahr 1990

Beitragsempfänger: EGGENBERGER BAUPHYSIK AG

Berichterstatter: A. Eggenberger

Adresse: Brunnmattstr. 6, 3401 Burgdorf 1

Telephon: 034/22 87 66

1. Anvisierte Zielpunkte für 1988

Das Projekt KTSA ist in drei Stufen unterteilt (siehe Jahresbericht 1987):

- Messdatenerfassung
- Messdatenverarbeitung
- Anlagesimulation (Hochrechnung auf Jahresbilanz)

Die Projektarbeiten werden in umgekehrter Reihenfolge vorangetrieben.

In der Berichtsperiode 1988 wird die Durchführung des Teilprojektes MESSWERTVERARBEITUNG angestrebt: Es soll die theoretischen Grundlagen für die Messwerterfassung und deren Verarbeitung zu Systemparameter erarbeiten:

- Erarbeiten der notwendigen Anlageparameter
- Messwerte in Parameter umrechnen
- Messtellenkonzept
- Aufwandsabschätzung über gesamte Testprozedur
- Ueberprüfung des aufgrund des Vorberichtes (siehe Lit.) eingeschlagenen Lösungsweges auf dessen Realisierungsmöglichkeit: Wenn nötig soll ein neuer Lösungsansatz formuliert werden.

Das Teilprojekt HOCHRECHNUNG soll 1988 planmässig fortschreiten:

Ausbau der an der HTL Burgdorf entwickelten Simulationsprogramme zur solaren Warmwassererwärmung SIWW für die zusätzliche Erfassung

- der Beheizung des Speichers mit einer Kesselanlage
- der Tagesaufheizung des Speichers mit Fremdenergie
- von Perioden ohne Wärmebezug (Ferienabwesenheit)
- der Wärmeverlust durch eine Warmwasserzirkulation im Gebäude
- und der kombinierten Warmwasseraufbereitung und Raumheizung

Reorganisation der Programmstrukturen zur Ermöglichung einer wahlweisen Verwendung von Messperioden und als Hochrechnungsprogramm im Rahmen des Projektes Kurztestmethode für Sonnenenergieanlagen.

Mit dem Kürzel SIWW werden Simulationsprogramme für solare Warmwasseraufbereitungsanlagen bezeichnet. Mit einem fünften Buchstaben wird eine Spezifizierung des Anlagetyps vorgenommen: 1 = Einspeicheranlage; 2 = Zweispeicheranlage; T = Thermosyphonanlage; H = mit Hausheizung.

2. Durchgeführte Arbeiten

Für das Teilprojekt MESSWERT-VERARBEITUNG wurde der Auftrag ausformuliert und an das Ingenieurbüro Dr. R. Brunner & Partner AG, Ingenieurbüro für integrale Messtechnik, 5400 Baden, vergeben. An konkreten Arbeiten wurden durchgeführt:

- Einarbeitung: Studium der Literatur; Orientierung und Einführung durch die HTL-Burgdorf in die Hochrechnungs-Software; Testläufe mit den Programmen SIWW
- Zusammenstellung und Beurteilung aller Programmparameter

- Vergleichende Betrachtung des Messaufwandes für die Ermittlung der Anlageparameter für unterschiedliche Hochrechnungsmethoden

Die im Berichtsjahr 1988 anvisierten Ziele wurden in diesem Teilprojekt nicht erreicht. Die personellen Möglichkeiten des Auftragnehmers führten durch die Verzögerung in anderen Bundesaufträgen zu Engpässen. Auch hat die verspätete Auftragsvergebung des Teilprojektes zu diesem Engpass beigetragen.

Das Teilprojekt HOCHRECHNUNG schreitet planmässig voran:

Die Programme SIWW1 und SIWW2 zur Warmwassererwärmung durch Anlagen mit einem und mit zwei Speichern wurden so ausgebaut, dass alle oben erwähnten Zielpunkte erreicht werden konnten.

Im Rahmen der Entwicklung eines neuen Programmes SIWWH zur kombinierten Warmwassererwärmung und Raumheizung musste ein neues Speicherschichtmodell entwickelt werden. Dieses konnte bis auf Dokumentation, Handbuch und Benützeroberfläche gemäss Pflichtenheft abgeschlossen und an der SOFAS-Versuchsanlage in Dübendorf erfolgreich validiert werden.

3. Erreichte Ergebnisse

Das Teilprojekt MESSWERT-VERARBEITUNG beruht auf den Simulationsmodellen SIWWx der HTL Burgdorf. Dessen Art der Hochrechnungsmethode der detaillierten Anlage-, Benutzer- und Meteobeschreibung ist typisch für diese Klasse von Simulationsmodellen. In diese gehören auch andere Modelle wie TRNSYS etc. Sie berechnen für viele Zeitpunkte den Anlagebetriebszustand an vielen Orten. Damit sind sie sehr geeignet für eine Vielfalt von theoretischer und angewandter Forschung. Auch können sie nach entsprechender Bilanzierung die monatlichen und jährlichen Energiebilanzen erstellen. Vielleicht schwebt den Entwicklern derartiger Modelle auch nur diese Aufgabenstellung vor. Der Lösungsansatz dieser Aufgabe führt jedoch zu Berechnungsmodellen, die wesentlich mehr können: Darstellung des zeitlichen Verlaufes von Betriebszuständen, z.B. Temperaturverläufe an den verschiedensten Stellen der Anlage.

Diese Modellierungsart ergibt für das Projekt KTSA zwangsläufig eine hohe Anzahl von Messgrössen, um die signifikanten Modellparameter in genügender Genauigkeit zu ermitteln, die obgenannte Simulationsmodelle benötigen. Die hohe Anzahl von Messgrössen führt zu einem hohen apparativen, aber auch hohen zeitlichen Aufwand beim praktischen Durchführen des zukünftigen Test.

Diesem hohen Aufwand steht aber der Vorteil der hochauflösenden Anlagediagnose gegenüber. Dieser Gesichtspunkt hat die Vorprojektgruppe (Lit.) bewogen, auf die obgenannte Klasse von Simulationsmodellen einzutreten.

Die weiteren Arbeiten an diesem Teilprojekt werden aufzeigen, ob der eingeschlagene Weg zum gesteckten Ziel einer praxisgerechten Kurztestmethode führen kann, oder ob andere Simulationsmethoden gesucht werden müssen. Begnügt man sich mit einem geringeren Grad der Anlagediagnose, indem man sich auf eine globale Beurteilung von Untersystemen (Sammelprozess von Sonnenenergie, Speicherung, Verteilung und Nutzung) beschränkt, sind andere Methoden zur Systembeschreibung denkbar. Diese Gruppe von Simulationsmodellen sind in ihrer Aussage auf die Erstellung der Energiebilanz beschränkt. Sie könnten jedoch den Vorteil haben, mit wesentlich geringerem Messaufwand die Testausgabe zu ermöglichen.

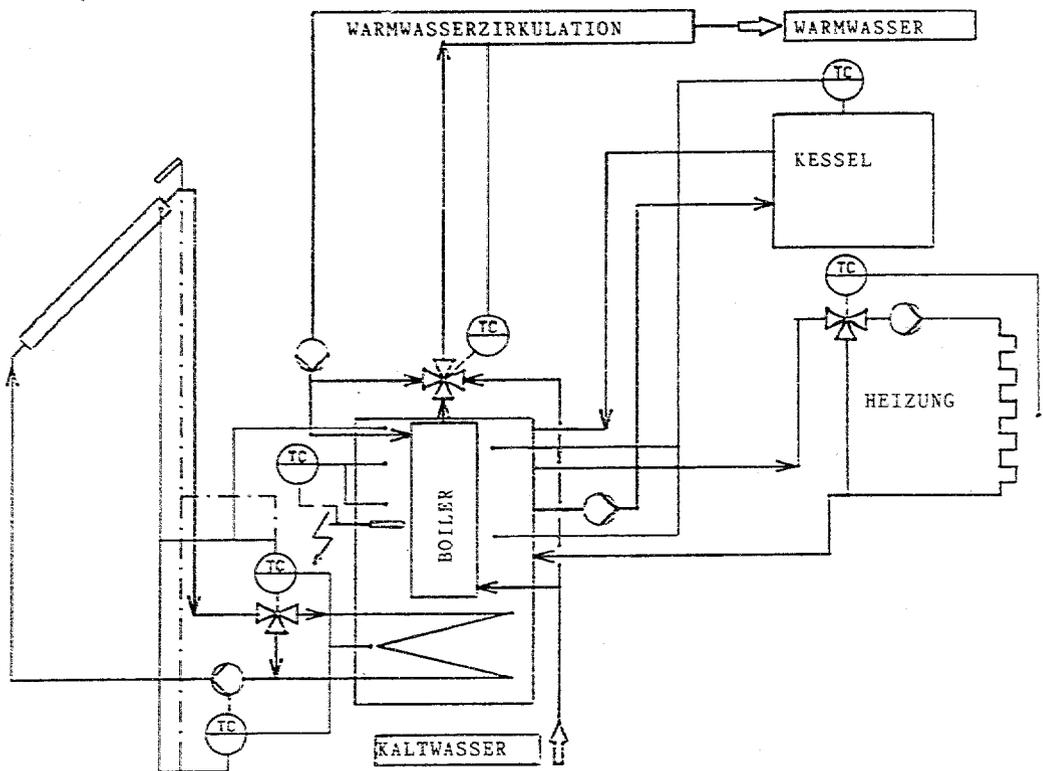
Nach vorliegen der Ergebnisse dieses Teilprojektes wird aufgrund von erarbeiteten Fakten auf den Vorentscheid über das Simulationsmodell eingegangen.

Ueber das Teilprojekt HOCHRECHNUNG kann folgendes berichtet werden:

Die drei Simulationsprogramme SIWW1, SIWW2 und SIWWH liegen (bis auf Dokumentation, Handbuch und komfortabler Benutzeroberfläche) zur Anwendung auf IBMkompatiblen PCs vor.

Die Validierung der Programme SIWW1 und SIWW2 zur ausschliesslichen Warmwassererwärmung war Gegenstand früherer Arbeiten, über die bereits berichtet wurde.

Die Validierung des neuen Programms SIWWH zur kombinierten Warmwasserbereitung und Raumheizung an der SOFAS-Versuchsanlage 6 in Dübendorf ergab ebenfalls eine Uebereinstimmung von Simulations- und Messergebnissen im Rahmen der erreichten Messgenauigkeit. Ein ausführlicher Validierungsbericht ist in Vorbereitung.



Schematische Darstellung der kombinierten Warmwasser- und Heizungsanlage, die im Programm SIWWH modelliert wurde.

4. Das Projekt im internationalen Rahmen

Unser Projekt KTSA war in das IEA Solar-Projekt Task III eingegliedert. Die Testphilosophie ist jedoch komplementär zu derjenigen der IEA: Wir streben Feldtests, die IEA Labortests an. Dieser Unterschied und der zeitliche Rahmen (das IEA-Projekt ist abgeschlossen) ergeben keine direkten Abhängigkeiten mehr.

5. Veröffentlichungen

Noch keine.

6. Neue Forschungsarbeiten

Zur Hochrechnung für beliebige kombinierte Warmwasser-Raumheizungsanlagen fehlt ein Computerprogramm zur Berechnung von Stundenwerten des Heizleistungsbedarfs und der Vor- und Rücklauftemperaturen. Da die Simulationsprogramme ohnehin von Stundenwerten der relevanten Meteorodaten ausgehen, wäre eine einfache Gebäudesimulation sinnvoll. Erste Ansätze in dieser Richtung zeigten vielversprechende Ergebnisse. Sie können aber im Rahmen dieses Projektes leider nicht weiter verfolgt werden.

EGGENBERGER BAUPHYSIK AG


A. Eggenberger

Literatur: Schläpfer, B.; Schneiter, P.: Kurztestmethode für Sonnenenergieanlagen, Schlussbericht über das Vorprojekt Nov. 85 bis Mai 86 (Mai 1986)

PLANUNG & AUSFÜHRUNG VON SOLARANLAGEN

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

Dauer des Projekts: Februar 1984 - März 1989

Beitragsempfänger: SOFAS, vertreten durch Ernst Schweizer AG

Berichterstatter: Dr.P.Schneiter, B.Schläpfer, P.Jaboyedoff (Sorane SA)

Adresse: Ernst Schweizer AG, Metallbau, 8908 Hedingen

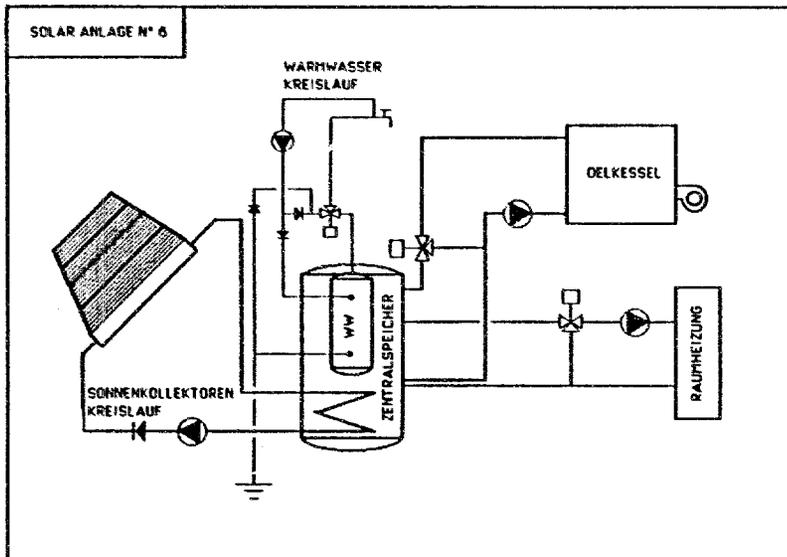
Telephon: 01/763 61 11

1. Anvisierte Ziele 1988

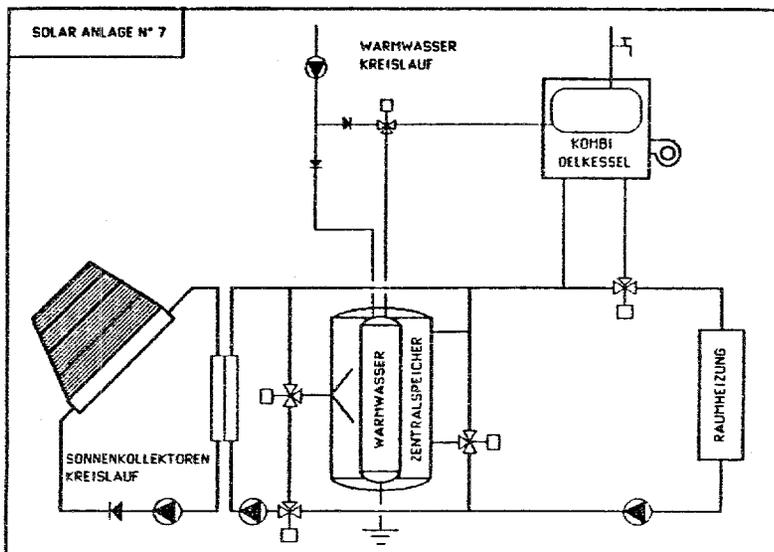
Im Anschluss an die 1985/86 durchgeführte Messkampagne an zwei Sonnenenergieanlagen zur kombinierten Wassererwärmung und Raumheizung in Dübendorf (Anlagen Nr. 6 und 7 des Projekts) war 1988 das Simulationsprogramm TRNSYS auf diese Anlagen anzupassen und mit den Messungen zu validieren. Mit Hilfe des Programms waren im weiteren Parameterstudien durchzuführen und praxisnahe Empfehlungen für die Dimensionierung derartiger Sonnenenergieanlagen zu erarbeiten. Das Projekt sollte Ende Jahr abgeschlossen werden.

2. Durchgeführte Arbeiten

Für die Anlage Nr. 6 wurde das Simulationsprogramm noch erweitert. Der Entwurf des Validierungsberichtes liegt vor. Im weiteren wurden Parameterstudien durchgeführt.



Die Bearbeitung des Simulationsprogrammes der Anlage Nr. 7 ist zurzeit noch im Gang.



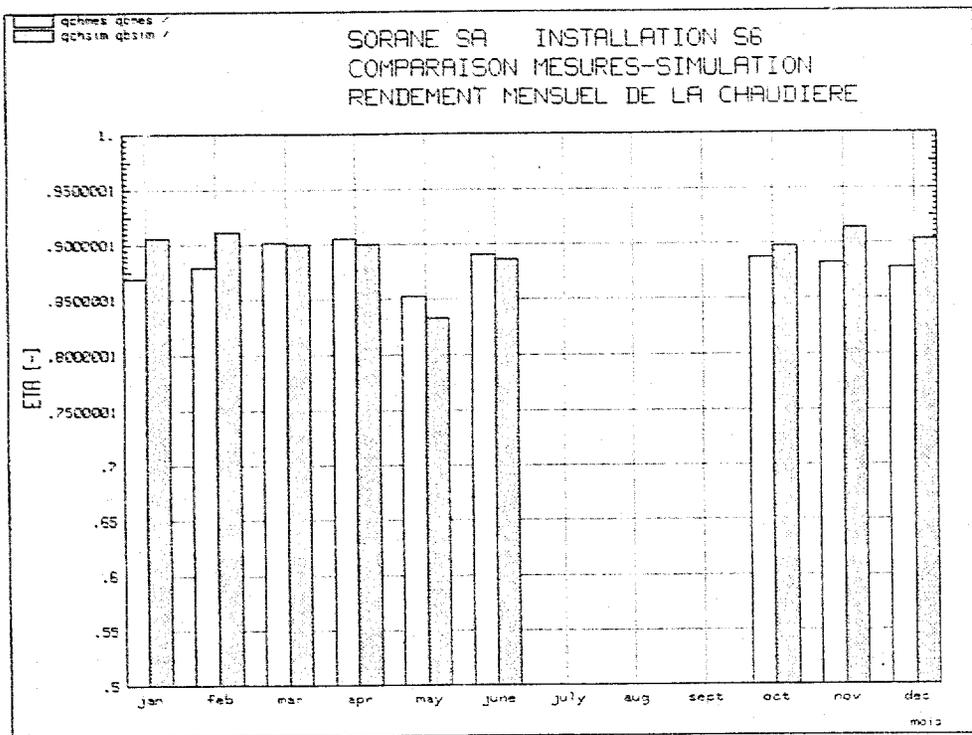
3. Erreichte Ergebnisse

Bericht von P. Jaboyedoff, SORANE SA

Modélisation et analyse paramétrique de l'installation S6

Extension du modèle de l'installation S6

Suite à la modélisation et validation des composants solaires de l'installation, un modèle de chaudière dynamique a été développé. En effet, la chaudière de l'installation S6 n'est pas maintenue à une température constante, et n'est donc pas en régime stationnaire. Lorsque la cuve de stockage est à une température suffisante, la chaudière est déclenchée. Pour tenir compte de son comportement instationnaire, un modèle dynamique a été développé et validé.



Un rapport traitant de la modélisation et validation du programme de simulation a été rédigé [1]. La possibilité de protéger la cuve de stockage contre la surchauffe à l'aide d'eau froide introduite dans la cuve d'eau chaude sanitaire a également été intégrée dans le modèle. Cette méthode de refroidissement est une alternative à celle qui était déjà incorporée dans le modèle précédemment.

Modélisation de l'installation S7

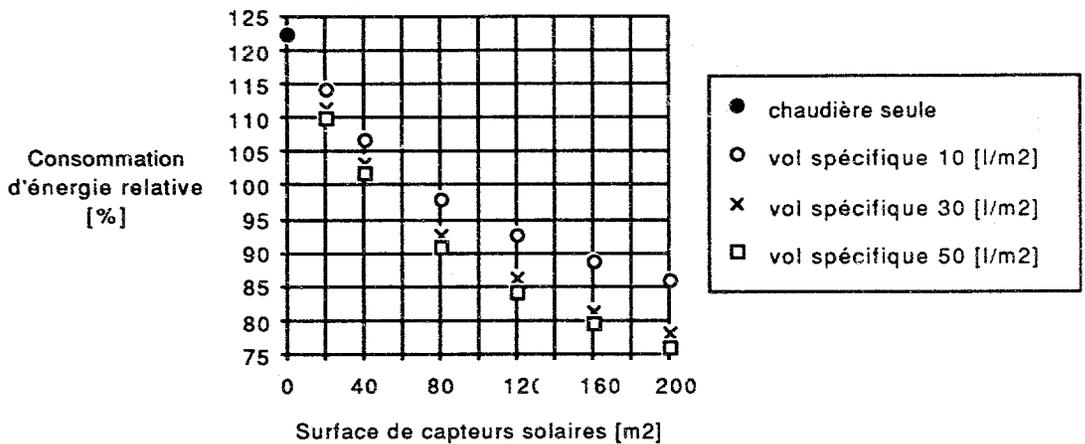
Un modèle de simulation de l'installation S7 a été développé. La partie solaire (boucle solaire, cuve de stockage) a été testée sur des cas de fonctionnement adéquats, et est validée. La partie concernant le couplage entre la demande de chauffage et l'installation solaire (cas de fonctionnement en injection directe) a nécessité le développement d'un module de réglage spécifique. Une première version n'a pas donné entière satisfaction et, une version modifiée est en cours de test. Les seuls problèmes à résoudre sont liés à des problèmes d'instabilité numériques qui sont sur le point d'être résolus.

Analyse paramétrique de l'installation S6

Suite à la validation du modèle de simulation, l'analyse paramétrique de l'installation a été effectuée. Les paramètres qui ont été variés sont les suivants :

Surface de capteurs, volume de la cuve de stockage, qualité d'isolation de la cuve de stockage, taille de l'échangeur de chaleur entre la boucle solaire et la cuve de stockage, demande d'eau chaude sanitaire, pertes par circulation d'eau chaude sanitaire, type de capteurs solaires, inclinaison, azimuth, sites météorologiques (Kloten, Locarno, Davos). Cela a permis de déterminer le taux de couverture solaire ainsi que les économies d'énergie primaire procurée pour différentes configurations.

SORANE SA Installation S6
Kloten Charge de référence (ECS 1000 l/jour,
Cons énergie chauffage 80000 kWh/an)

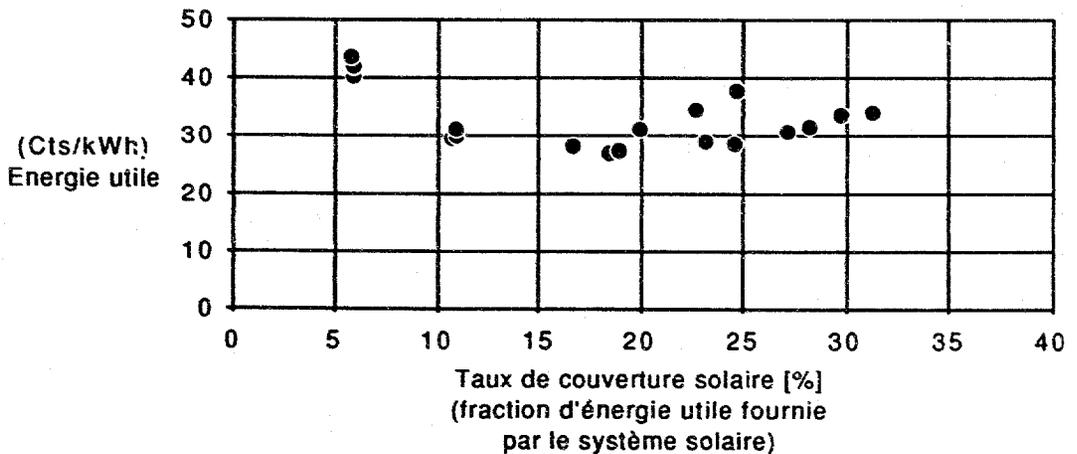


Un exemple pour Kloten est montré ci-après

Une comparaison entre l'installation S6 et les installations de préparation d'eau chaude sanitaire a été effectuée. Les performances de l'installation S6 en ce qui concerne la production d'ECS uniquement est moins performante qu'une installation traditionnelle.

Une analyse économique d'installations complètes a permis de définir des configurations optimales sous certaines conditions de coûts.

SORANE SA Installation S6
 Kloten Charge de référence (ECS 1000 l/jour,
 Cons énergie chauffage 80000 kWh/an)



5. Veröffentlichungen

P. Jaboyedoff

"Elaboration et validations d'un programme de simulation dynamique d'une installation solaire à production combinée d'eau chaude sanitaire et chauffage à cuve de stockage en vrac".

Lausanne, Juni 1988, Entwurf (noch nicht veröffentlicht)

6. Neue Forschungsarbeiten

- Für die Auslegung von Anlagen und die Optimierung einzelner Komponenten (insb. Speicher, z.T. Wärmetauscher) besteht der Bedarf nach benutzerfreundlichen PC-Simulationsprogrammen auch für Heizanlagen.
- Entwicklung einer Methode und Empfehlung einer Infrastruktur für die Bestimmung der "Kollektorkennwerte" insb. von Einbaukollektoren, Vakuum- und Flachkollektoren vor Ort, das heisst in einer Anlage eingebaut und bei realem Betrieb. (Diese Problemstellung tangiert auch das Projekt KTSA, muss dort jedoch nicht zwingend beantwortet werden.
- Verbesserung des Kosten/Nutzen-Verhältnisses von Sonnenkollektoren und Anlagen durch Erprobung neuer Materialien, Kollektorkonstruktionen und Systemkonzepte (insbesondere unter Beachtung der Langzeitbeständigkeit).

PHOEBUS (SUPERSOTEL)**Ziel des Projekts:**

Ziel der Studie ist es, für einen geeigneten Standort eine solarthermische Turmanlage von ca. 30 MW elektrischer Leistung zu konzipieren und so die Grundlage für den Bau dieser Anlage zu schaffen.

Dauer des Projekts: 06.1986 - 12.1987

Beitragsempfänger: MCI/PSI
Berichterstatter: H. W. Fricker
Adresse: Gebr. Sulzer AG
8401 Winterthur
Telephon: 052/81 35 62

1. Anvisierte Zielpunkte für 1988

Nachdem die Phase 1A mit einer umfassenden technischen und wirtschaftlichen Evaluation verschiedener Systeme Ende 1987 abgeschlossen wurde [1], konzentrierten sich die Arbeiten 1988 auf die Standortsuche und die Anpassung von Technik und Finanzierung an den gewählten Standort.

2. Durchgeführte Arbeiten 1988

Mit Hilfe eines speziell entwickelten Bewertungsmaßstabes wurden insgesamt 59 Länder auf ihre Eignung als Standortland für das 30-MWe-Demonstrationskraftwerk untersucht [2]. Die 15 ersten Länder wurden noch eingehender evaluiert, 5 davon durch direkte Kontakte im Land.

Wesentliche Arbeiten wurden auch geleistet mit dem Ziel, eine geeignete Organisationsform der internationalen Phoebus-Gesellschaft für die Arbeiten der Phase 1B zu finden.

Von amerikanischer Seite wurde nochmals ein technisch-wirtschaftlicher Vergleich von Luft und Salzsichelze als Kühlmittel durchgeführt.

3. Erreichte Ergebnisse 1988

Aus den 59 Ländern wurde Jordanien als Wunschland ausgewählt. Das Land bietet eine sehr gute Kombination von Sonnenangebot, Bedarf an neuen Kraftwerken und Kreditwürdigkeit.

Eine wissenschaftliche Analyse der Meteodaten durch das PSI ergab eine sehr hohe Jahresenergie [3].

Die Gründung der Phoebus-Gesellschaft ist erfolgt, die Finanzierung der Arbeiten praktisch gesichert. Das Sotel-Konsortium hat ein Gesuch um Teilfinanzierung an das BEW (bewilligt) und die KWF (pendent) gestellt. Sitz der Gesellschaft ist Stuttgart, die Projektleitung wird durch die Firma Fichtner wahrgenommen.

Die US-Vergleichsstudie hat ergeben, dass der Luftkreislauf auch für 100-MWe-Kraftwerke sehr attraktiv ist [4]. Diese schweizerischen Entwicklungen erhalten dadurch einen hohen Stellenwert.

4. Internationale Aktivitäten

Die erwähnten Arbeiten werden innerhalb des Phoebus-Konsortiums durchgeführt. Daran sind Firmen und Institute aus Deutschland, Spanien, der Schweiz und den USA beteiligt.

Die schweizerischen Beiträge befassten sich vor allem mit der technischen Projektleitung, der Auswertung der Meteodaten, dem Luftkreislauf und allgemeinen organisatorischen Fragen.

Vorteile dieser internationalen Zusammenarbeit bieten sich nebst der Technik vor allem im Bereich Projektfinanzierung, was im nationalen Rahmen, selbst in den USA, vorläufig kaum möglich wäre.

Nachteil ist, dass sehr viele Interessen und Mentalitäten befriedigt werden müssen, wobei die Probleme bis heute noch lösbar waren. Es kann aber nicht ausgeschlossen werden, dass für den Bau eine wesentlich geänderte Organisation nötig sein wird.

5. Veröffentlichungen

- [1] Phoebus - Ein 30-MWe-Demonstrationskraftwerk
H.W. Fricker
VDI-Tagung
SOLARTHERMISCHE KRAFTWERKE
zur Wärme- und Stromerzeugung
29./30.11.1988, Köln
- [2] Standoranalyse für solarthermische Kraftwerke -
Ergebnisse einer empirischen Untersuchung
H.J. Neisen
idem
- [3] P. Hofer - Estimation of the direct normal
radiation at Amman
TM-51-88-06, PSI-Bericht
- [5] Phoebus-Project: Air-nitrate salt receiver
comparison, final report
2.12.88, Bechtel National, San Francisco

6. Neue Forschungsarbeiten

Der atmosphärische Luftkreislauf ist technisch und wirtschaftlich sehr erfolgversprechend. Das wesentlich, noch zu entwickelnde Element ist der Receiver. Eine vielversprechende Möglichkeit ist hier der volumetrische Drahtreceiver, der als eigentlicher Schweizer Beitrag betrachtet werden kann. Die ersten zwei Versuchsreihen mit 3 kW resp. 200 kW sind sehr positiv verlaufen. Was folgen muss, ist ein Versuch im Bereich Megawatt. Ein solcher wurde von uns konzipiert; die Gesamtkosten belaufen sich auf 4 bis 7 Millionen sFr., je nach Ausführung. Mit einer Mehrheitsbeteiligung an diesem Experiment könnten wir unsere technologischen Grundlagen wesentlich erweitern und die Spitze weiterhin behaupten.

SOLAR-GESCHÄFTSHÄUSER

Ziel des Projektes: Die Ziele des Task VIII sind die Verbesserung des Verständnisses über die Wirkung von passiven Sonnensystemen an Wohngebäuden und die Förderung gut konzipierter Anwendungen. In Phase 3 wurden die in Phase 1 und 2 gewonnenen Kenntnisse angewandt und in gebauten Wohnhäusern gemessen und ausgewertet. Eines davon, das Haus in Schüpfen, ist ein Reiheneinfamilienhaus mit integrierten Luftkollektoren, mit einem Latentwärmespeicher gekoppelt. Das andere, das Haus in Wald, ist ein erdgeschütztes Zweifamilienhaus mit einer verglasten Loggia nach Süden.

Dauer des Projektes: Juli 1986 - Juni 1988

Beitragsempfänger: Eidgenössische Materialprüfungs- und Forschungsanstalt (EMPA)

Berichterstatter: S. Robert Hastings
Adresse: EMPA-KWH, CH-8600 Dübendorf
Telephon: (01) 823 47 95

1. Anvisierte Zielpunkte für 1988

a) Messprojekt Schüpfen

Bei diesem Messobjekt handelt es sich um ein 2 «-geschossiges Reiheneinfamilienhaus mit hybrider Sonnenenergienutzung. Das Energiekonzept beinhaltet den Direktgewinn durch Südfenster und ein Luftkollektorsystem mit in den Innenwänden integrierten Latentspeichern. Die Wärmeabgabe an die Räume geschieht passiv, hauptsächlich an die Nordräume. Als Zusatzheizung ist ein Warmluftcheminée mit Luftverteilung im ganzen Haus vorhanden.

Das Ziel für 1988 war der Beschrieb der Schlussfolgerungen aus der Messkampagne in einem Schlussbericht. Er soll folgende Aussagen über das Haus als System beinhalten:

- Wirkungsgrad und Wärmeertrag des Kollektorsystems
- Temperaturverläufe im System
- Ladezustände des Speichers
- den dynamischen Verlauf der Wärmeabgabe
- Energiebilanz des Gebäudes (ink.: Direktgewinn, Kollektorsystems, internen Wärmequellen und Zusatzheizung)
- Anteil der nichtnutzbaren Wärme infolge von Uebererwärmung.

b) Messprojekt Wald

Die Messungen wurden 1987 abgeschlossen. Ein Entwurf des Berichtes wurde 1988 der Programmleitung zur Stellungnahme abgeben. Der Bericht soll Anfang 1989 erhältlich sein.

2. Durchgeführte Arbeiten 1988

a) Messprojekt Schüpfen

Die im Februar 1987 begonnene Datenerfassung wurde 1988 weitergeführt und lief bis zu ihrem Abschluss Mitte Juni 1988 ohne Unterbruch. Zum Jahreswechsel konnten endlich die zu schwachen Ventilatoren (siehe Jahresbericht 87) ersetzt werden, verbunden mit einer Vergrößerung der Fläche der, zum Antrieb dienenden, photovoltaischen Zellen. So konnte noch eine halbe Heizsaison mit den geplanten Luftmengen gemessen werden. Während des Monats März wurde im Haus mittels einer improvisierten elektrischen "Simulation" des Cheminée-Feuers elektrisch geheizt, um den Heizenergieverbrauch während einer gewissen Zeit exakt messen zu können.

Die Messinstallationen wurden nach Abschluss der Messungen mit Ausnahme einzelner, anderswo benötigter Fühler im Gebäude belassen, um die Möglichkeit eines Anschlussprojekts offen zu halten. Mit den Messdaten wurde auf dem Hausrechner der EMPA eine Datenbank erstellt, die eine vielfältige statistische und graphische Auswertung der Daten erlaubt. Einige Auswertungen wurden - zuhanden des Status-Seminars und der IEA - bereits durchgeführt, wobei gewisse Resultate noch einer Revision bedürfen, die Kollektordaten durch korrekte Berücksichtigung der Beschattung des Kollektors.

b) Messprojekt Wald

Im Berichtjahr wurden die Messungen ausgewertet. Die Datenanalyse erfolgte nach folgenden Gesichtspunkten:

- Bewohnbarkeit der verglasten Veranden
- Bewohnbarkeit der Wohn- und Schlafräume
- Pufferwirkung von verglasten Veranden und Erdreich
- Wärmeentzug durch Ventilation aus Veranda und Wärmeeinleitung in die Nordzone des Gebäudes
- Energieverbrauch des Gebäudes, Energiekennzahl und Beheizungskonzept
- Vergleich des Messobjektes Wald mit den Messdaten von Courtelary, Meggen und Hünenberg aus der Messkampagne "Thermische Messungen in Wintergärten von Mehrfamilienhäusern" BEW/NEFF (Juni 1985) von 1983/84
- Vergleich des Messobjektes Wald mit den Energiekennzahlen von acht passiven Sonnenhäusern aus: P. Schlegel, Ch. Filleux: "Passive Sonnenhäuser, Zusammenfassende Auswertung von Messresultaten der Jahre 1979-1983", Dokumentation D011 des SIA/BEW (Jan. 1987)
- Vergleich des Istzustandes in Wald mit den Planungszielen aus A. Binz, A. Gütermann: "Die Optimierung der passiven und hybriden Sonnenenergienutzung an drei Projekten"; BEW/NEFF (Februar 1987).

Die Auswertung floss in zwei Entwürfe des Forschungsberichtes vom 5.7.1988 und 17.9.1988. Beide Entwürfe wurden mit dem Auftraggeber bzw. dessen Vertreter durchgearbeitet.

3. Erreichte Ergebnisse in 1988

a) Messprojekt Schüpfen

Die bis jetzt durchgeführten Auswertungen zeigen, dass

- die zirkulierende Luftmenge nach dem Ersatz der Ventilatoren dem geplanten Wert entspricht.
- das Verhalten der Speicher auch bei der grösseren Luftmenge unbefriedigend ist: die Speicher kommen nach wie vor auch bei mehreren Schönwettertagen nur im obersten Teil zum Schmelzen und erstarren in der nachfolgenden Nacht wieder (Darstellung dazu siehe Jahresbericht 1987).

Die Gründe sind:

- die für die sehr gute Abgabe-Wärmeleitung zu hoch gewählte Schmelztemperatur.
- die Speicherkonstruktion weist zu viele Wärmebrücken auf.

Fig. 1 zeigt als weiteres Beispiel einer Auswertung die monatlichen Werte des Brutto-Heizenergieverbrauchs mit der Aufteilung auf die verschiedenen Beiträge zu dessen Deckung.

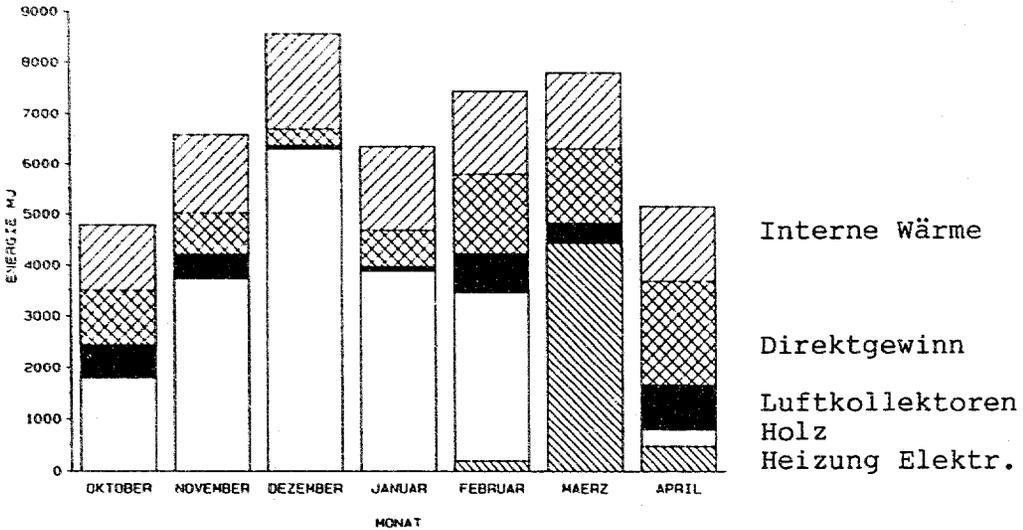


Fig. 1: Monatlicher Brutto-Heizenergieverbrauch mit Deckungsanteilen (Schüpfen)

Aus dem Verhalten des Luftkollektors konnten durch gezielte Auswertung einzelner Tage klärende Erkenntnisse gewonnen werden, indem ein starker Einfluss der Trägheit des Kollektors festgestellt wurde.

b) Messprojekt Wald

In diesem Rahmen kann nicht auf alle Erkenntnisse aus den Messungen eingegangen werden. Wir verweisen auf den Schlussbericht, der in den nächsten Monaten erhältlich sein wird. Hier einige Stichworte:

Die Zweifach-Verglasung der Veranda ergibt eine wesentlich höhere Aufenthaltshäufigkeit, als die der Messobjekte Courterly, Meggen und Hünenberg, welche nur einfachverglast sind.

Der Wärmeentzug aus der Veranda zur Aufheizung der Nordräume ist zu klein, um einen signifikanten Nutzen zu bringen. Dies ist eine Folge der zu kleinen Luftmenge. Geplant waren 1,5 Luftwechsel pro Stunde, in der Ausführung wurden es 2,9. Um wesentliche Energiemengen transportieren zu können, müssten Volumen von 1'000 m³/h umgewälzt werden. Für derartige Luftmengen durch Wohnräume braucht es ein angepasstes Gebäude mit Belüftungskonzept, wenn es nicht zu Komforteinbussen kommen soll.

Das Haussystem bietet in den wichtigsten Räumen des Wohnbereiches während des Winters nicht den üblich zu erwartenden, thermischen Komfort.

- Der Wohnraum mit Zimmerofen ist thermisch bewohnbar. Der Holzofen wird rege benutzt. Er führt oft zu Ueberhitzung. Davon profitieren die Räume im Obergeschoss praktisch nichts.
- Die Wohnräume im Obergeschoss sind in den Wintermonaten kalt. Dies gibt beim thermischen Komfort und der Benutzerfreiheit wesentliche Einschränkungen.
- Der Holzofen nach nordischem Design ist kein angepasstes Heizsystem für Niedrigenergiehäuser. Die Untersuchung zeigt, dass mit dem Energieverbrauch des Holzofens das ganze Haus thermisch bewohnbar gemacht werden könnte, wenn ein angepasstes Heizsystem dafür sorgen würde.
- Die Pufferwirkung des Erdreiches wird überschätzt. Je besser die Wärmedämmung zum Erdreich, desto kleiner der Energieverlust, desto schlechter aber die thermische Kopplung (Pufferwirkung). Je grösser die Wärmedämmung, desto weniger wichtig ist es, welches Klima im Pufferraum herrscht. Die Erdreichtemperaturen (Monatsmittel) liegen im kältesten Monat bei:
 - Fels, ca. 5 m vom Haus und Oberfläche entfernt: 9 °C
 - Am Haus, ca. 5 m unter der Oberfläche: 6 °C
 - Am Haus, ca. 1 m unter Oberfläche: 5 °C

Die Temperaturen an der erdreichseitigen Hauswand werden nicht nur von der Felstemperatur bestimmt, sondern sehr stark vom Energiestrom der Niederschläge (Regen, Schmelzwasser).

4. Stand der Arbeit in der Schweiz verglichen mit dem Ausland

Der Zeitplan der beiden schweizerischen Projekte lag etwa im Rahmen des Grossteils der Projekte anderer beteiligter Länder, wobei im Laufe dieses Jahres durch die verzögerte Auswertung und Berichterstattung bei beiden Projekten ein Rückstand eingetreten ist.

5. Veröffentlichungen

a) Messprojekt Schüpfen

- Messprojekt Schüpfen: Beitrag zum 5 Schweizerischen Satus-Seminar "Energieforschung im Hochbau", Zürich, Sept. 1988
- Schüpfen: Beitrag zum Sammelband IEA Task VIII, Subtask D "Passive Solar Homes: Case Studies".

b) Messprojekt Wald

Im Dezember 1988 überarbeite A. Eggenberger den Bericht fertig. Im Januar 1989 wird die Reinzeichnung und Reinschrift erfolgen. Danach kann der Druck beginnen. Die Schlussfassung Dez. 88 wird die definitive Abfassung. Danach wird nichts wesentliches mehr geändert.

6. Neue Forschungsarbeiten

Die Erfahrung der Messkampagne zeigt klar einige Optimierungsmöglichkeiten auf. Die Möglichkeiten schliesen Aenderungen in der Konstruktion sowie im Betrieb ein. Es ist zu erwarten, dass viel praktische Erfahrung über den Aufbau und die zu erwartende Leistung eines Latentwärmespeicher-, Luftkollektorsystems gewonnen werden kann, wenn das System optimiert und noch während einer Heizsaison gemessen und ausgewertet würde. Folgende Arbeitsschritte werden vorgeschlagen:

- Ersatz der bestehenden Speicher unter Eliminierung der, durch die Messungen erkannten, Schwachpunkte.
- Einbau eines sorgfältig konstruierten und im Labor getesteten Speichersystems.
- Optimierung des Luftkollektors eventuell bessere Ausnutzung durch Warmwasseraufbereitung.
- Weitere Detailverbesserungen am Haus.
- Verifikation des Erfolgs durch eine zweite Messkampagne.

SOLAR-WOHNBAUTEN

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 1988:

- Fallstudien abschliessen: Die Dokumentation mehrerer Beispiele von Gebäuden mit Sonnenenergiesystemen (sehr energiesparend oder originell) abliefern, als schweizerischer Beitrag zu einem internationalen Bericht.
- Messmethoden zusammenfassen: Bericht über den heutigen Stand der Messmethoden (für Gebäude und Systeme), mit Rücksicht auf die Anwendung von Klein-Computern, abschliessen.
- Alle geplanten Messprojekte starten.
- Computermodelle installieren und Beginn erster Parameterstudien; Schwerpunkt: Tageslicht.
- Erste Beiträge für den Teil Tageslicht des Referenzbuchs der Ergebnisse von Task XI verfassen.

2. Durchgeführte Arbeiten 1988:

Neun Fallstudien wurden vom C. Süsstrunk (Architekturbureau Pinna/Schwarzenbach/Süsstrunk, Erlenbach) für das IEA-Dokument (insgesamt 45 Fallstudien aus 11 Länder) inkl. einer ergänzenden Diasammlung an A. Hildon (UK) geliefert.

Ein Bericht über Messmethoden für Gebäude wurde von G.-B. Gay (EPFL-GRES, Lausanne) an die teilnehmenden Länder zur Stellungnahme verteilt und an einer Expert-Sitzung präsentiert. Ein internationaler Workshop, um dieses Wissen zu verbreiten, ist geplant.

Vier schweizerische Messprojekte werden von P. Krüsi (AMENA (Angewandte: Mess- und Energietechnik AG, Schlieren) begleitet und koordiniert. Die vier Projekte sind:

- Bürohaus Haas & Partner in Jona:
Ueber zwei Jahre wird dieses erdbedecktes Bürogebäude, mit Fensterkollektoren und einem Geröllspeicher, gemessen. Während der Heizsaison 1987/88 wurde diese Anlage in rein passivem Betrieb gemessen; 1988/89 wird der volle, aktive und passive Betrieb ausgemessen. Das Messprojekt ist eine Zusammenarbeit von K. Haas (Jona), Th. Baumgartner (Dübendorf) und H. Meyer (Gabathuler AG, Diessenhofen).
- Gewerbe- und Bürohaus METEOLABOR AG in Wetzikon:
Dieses Gebäude ist mit einem nach Süden vorgelagerten Gewächshaus im Erdgeschoss und Luftkollektoren im ersten Stock versehen, aus denen sonnenerwärmte Luft durch die massive Betongeschossdecken geblasen wird. Das Haus wird von April 1988 bis April 1989 im Vollbetrieb (durch die Firma selber) gemessen.

- Stahlrohrlager Kägi & Co. in Winterthur:
Der Besitzer versuchte das Problem des Kondenswasseranfalls (Rost!) im kalten Keller des Lagers dadurch zu lösen, indem die warme Luft an sonnigen Tagen unter dem Dach angesaugt und in den Keller eingeblasen wird. Das führt dazu, dass der Keller das ganze Jahr ein höheres Temperaturniveau hat und die Kondensationsprobleme und Arbeitsabsenzen infolge Erkältungen der Mitarbeiter deutlich abgenommen haben. Um diesen Erfolg zu quantifizieren, wird von Oktober 88 bis Sommer 90 ein Messprogramm von der Firma AMENA AG durchgeführt.
- Grosswintergarten der Universität Neuchâtel:
Dieser dreistöckige Wintergarten beinhaltet eine Cafeteria, die in zwei Zonen aufgeteilt ist, sodass der kältere, äussere Teil im Winter abgetrennt werden kann. Automatische Beschattungseinrichtungen und ein Kaltwasserkanal (Brunnen) sorgen für erträgliches Klima im Sommer. Das Verhalten dieses Wintergartens wird von Jan. bis Juli 89 von der Firma SORANE SA, Lausanne ausgemessen.

Computersimulationen sind in drei Bereiche in Bearbeitung:

- Sensitivitätsstudien für die Messprojekte:
Das Büro Haas wurde von S. Albrecht (EMPA-erg, Dübendorf) mittels SERIRES und das Atrium der Uni. Neuchâtel wurde von D. Chuard, P. Jaboyedoff und Y. Brüger (SORANE SA, Lausanne) durchgerechnet.
- Parameterstudien verschiedener Tageslichtsysteme:
Die Arbeit, an der sich Italien, Norwegen, Belgien und Deutschland beteiligen und von N. Hopkirk (EMPA-erg) geleitet wird, besteht aus Simulationen mit dem Programm DOE2 und verschiedenen speziellen Tageslicht-Programmen.
- Ein Rechenmodell für Fensterkollektoren:
Die Entwicklungsarbeit wurde Ende 1988 von C. Filleux und M. Hänni (Basler und Hofmann, Zürich) begonnen. Unter Berücksichtigung der Erfahrung des Forschungsprojektes "Solar Trap" wird ein neues Simulationsmodul für das Computermodell, TRNSYS entwickelt.

Ein Pilotprojekt ist bestimmt worden: Experten von Task XI haben mitgewirkt bei der Konzipierung eines Neubausprojektes (Büro/Lagerhaus Thali in Hitzkirch). Das Gebäude soll sehr geringe Wärmeverluste dank hochisolierender Fenster und sehr guter Wärmedämmung (zum Teil ev. transparente Wärmedämmung) aufweisen. Die Sonnenenergie deckt den Restheizbedarf mittels direktem Gewinn der Fenster, indirektem Gewinn des Atriums und aktivem Gewinn der Kollektoren mit Saisonspeicherung. Sogar der Strombedarf soll mittels eines Photovoltaiksystems gedeckt werden. Die Koordination für das Energiekonzept läuft unter R. Stulz (INTEP, Zürich). Der Architekt ist U. Bucher (Hitzkirch).

Die in Task XI gewonnene Erfahrung wird in einem internationale Handbuch zusammengefasst. Es ist in fünf Teile gegliedert:

- Tageslicht (N. Hopkirk, CH),
- Atrien (A-G. Hestnes, N),
- Passive-Solar-Heizung (P. Kristenson, DK),
- Sommerliche Wärmeschutz (F. Butera, I)
- Randbedingungen der Sonnenenergienutzung (R. Hastings, CH).

Im Jahr 1988 wurde für den Teil Tageslicht eine Typologie möglicher Konzepte definiert, Beispiele aus verschiedenen Länder dokumentiert und Parameterstudien begonnen.

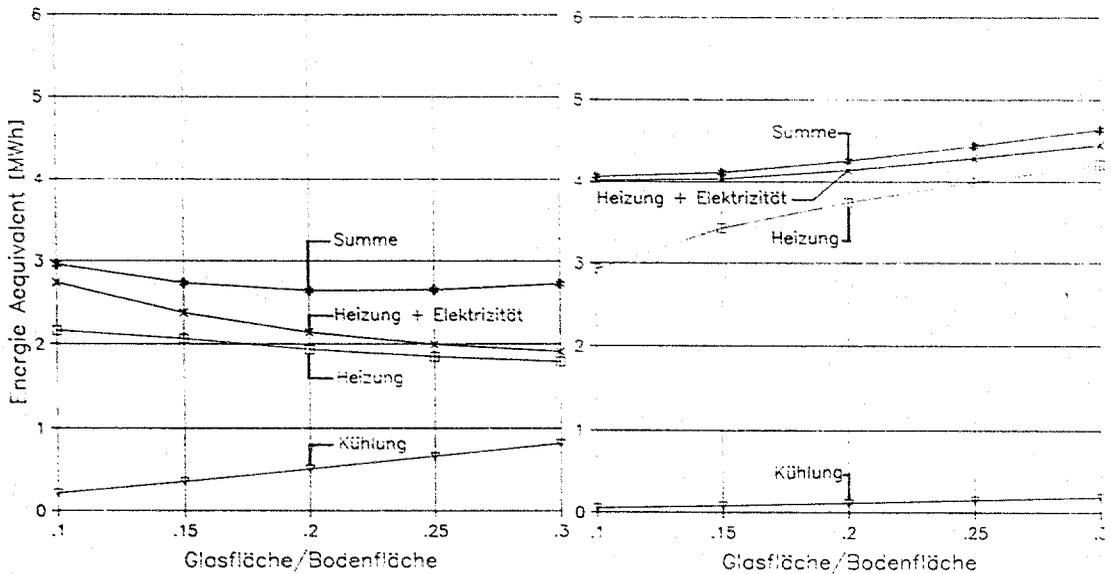
3. Erreichte Ergebnisse:

Ein Beispiel aus der Parameterstudie - Tageslicht, ist die Frage der optimalen Fenstergrösse je nach Nutzungsart, internen Lasten und Orientierung. Mittels dem Programm DOE2 hat N. Hopkirk ein Schulzimmer durchgerechnet. Es wurde für verschiedene Lagen innerhalb eines Gebäudes berechnet: in der oberen Ecke, in der Mitte, und im Erdgeschoss. Je weniger Aussenfläche, desto weniger Wärmeverluste. Das bedeutet, dass der Sonnenenergiegewinn häufiger zur Überheizung führt statt, zur Reduktion des Heizbedarfs.

Für das obere, mittlere Zimmer wurden Fenstergrössen von 10 bis 30 Prozent der Bodenfläche untersucht. Die Annahmen bezüglich des Benutzerzeitplans, erforderlichen Temperaturen, Anzahl Kindern, etc. basieren auf den Ergebnissen des Forschungsprojekts, Schulhaus Gumpenwiese. Weitere Annahmen sind:

K-Fenster = 1.6 W/m K,	= 0.78,	g = 0.67
Minimum Beleuchtungsniveau = 350 lux		
Beleuchtungsleistung = 17.45 W/m	in drei Stufen	
Storen: mit oder ohne		

Für das südorientierte Zimmer (Fig. 1a) gibt es ein schwach ausgeprägtes Optimum (Fensterfläche = 20 Prozent der Bodenfläche) wenn die Energie für Kühlung auch berücksichtigt wird. In Fällen ohne künstliche Kühlung, nur Heizung und Elektrizität (Beleuchtung), ist kein eindeutiges Optimum zu sehen; je mehr Fensterflächen, desto weniger Energie wird gebraucht; wobei die Kurve oberhalb 30 Prozent schon ziemlich flach ist. Die Berechnungen zeigen ein Optimum für Ost- oder West-Orientierungen schon bei 15 Prozent für den klimatisierten Fall, oder 20 Prozent für den Fall ohne Klimatisierung (nicht illustriert). Für nordorientierte Schulräume (Fig. 1b) gibt es kein Optimum, wobei die Kurve unterhalb 15 Prozent sehr flach ist.



Figur 1a: Energiebedarf bezüglich Glas-/Bodenfläche (Süd-orientierte Schulzimmer)

Fig 2a: Energiebedarf bezüglich Glas-/Bodenfläche (Nord-orientierte Schulzimmer)

4. Internationaler Rahmen:

Die Schweiz zählt, mit der internationalen Führung von Task XI, der Leitung der Arbeitsgruppe Tageslicht und einem aufwendigen nationalen Forschungsprogramm, zu einem der aktivsten der hier aufgelisteten zwölf teilnehmenden Länder.

Belgien	Finnland	Oesterreich	Schweiz
Dänemark	Italien	Norwegen	Spanien
EG	Grossbritannien	Schweden	USA

Die Schweiz profitiert von der internationalen Zusammenarbeit in mehreren Bereichen, unter anderem:

- Besseres Verständnis über die energetische Wirkung von Atrien, die aus mehreren detaillierten Messkampagnen gewonnen wurden.
- Ein Jahr Forschungsarbeit von Prof. M. Schiler an der EMPA-KWH (Lohnkosten geteilt mit Universität Süd-Kalifornien).
- Erfahrungsaustausch bei der Anwendung von Modellen wie DOE2, SERIRES, TRNSYS, DAYLIGHT, SUPERLIGHT.
- Einige Pilot-Expertsysteme werden im Rahmen von Task XI durch Dänemark, Italien und Deutschland entwickelt und demonstriert.
- Innovative Lösungen zu Problemen: sommerlicher Wärmeschutz durch Italien, Spanien und Belgien.
- Kreative Anwendungen mehrerer Arten von Solarsystemen bei einer internationalen Auswahl von Gebäudetypen.

Auch gewisse Nachteile einer internationalen Zusammenarbeit sind zu erwähnen. Zum Beispiel wurde ein Programm zur Verbindung von Tageslicht- und Thermischen-Modellen von einem teilnehmenden Land auf anfangs Sommer versprochen; Dies ist aber bis Jahresende nicht angekommen. Solche Verzögerungen behindern die termingemässe Durchführung der schweizerischen Forschungsarbeit.

5. Veröffentlichungen:

Weil die Messkampagnen und Parameterstudien noch in Bearbeitung sind, ist es 1988 noch zu früh um Ergebnisse zu verbreiten. Immerhin wurden an das Messobjekt METEOLABOR, sowie das Fallstudienobjekt Schulhaus Gumpenwiesen, zwei von drei Energiesparpreisen des SIA vergeben. Die Berichte: "Fallbeispiele" (A. Hildon, UK), "Messmethoden" (J.-B. Gay, EPFL-GRES Lausanne) und "Daylighting Design Tools Using PCs" (N. Hopkirk, EMPA-erg) werden ab Frühling 1989 erhältlich sein.

6. Neue Forschungsarbeiten:

Aus zeitlichen Gründen müssen die Parameterstudien Tageslicht auf wenige Anwendungsmöglichkeiten begrenzt werden. Viele Fragen bleiben noch offen, z.B. das Energiesparpotential, Vorteile und Nachteile betreffend Komfort sowie positive und negative Auswirkungen der Haustechnik von Tageslichtsystemen je nach Gebäudetyp und Klima. Die Arbeit in Task XI genügt nur um vielversprechende Richtungen festzulegen, Beurteilungskriterien zu definieren und die Fähigkeiten/Schwierigkeiten der Computermodelle zu beurteilen. Ein sorgfältiger geplanter Ausbau der in Task XIII begonnenen Parameterstudien wäre sehr sinnvoll.

Bei der Suche nach innovativen Gebäudebeispielen als schweizerischer Beitrag an das Dokument Fallstudien, hat der Beauftragte gemerkt, wie schwierig es ist solche Objekte überhaupt zu finden. Die Erstellung einer Datei guter Beispiele wäre sehr hilfreich für Architekten, die am Anfang eines Bauprojektes stehen und nach innovativen Energiekonzepten suchen. Die technischen Möglichkeiten der neuen hybriden Computersysteme (Videosysteme und Kleincomputer) sind sehr vielversprechend.

VAKUUMISOLIERTES LICHELEMENT

Ziel des Projekts: Forschung und Entwicklung eines
hochisolierenden Fensterglases mit
positiver Energiebilanz
K - Wert = 0,3 bis 0,6 W/m² K

Dauer des Projekts: Phase II 1988

Beitragsempfänger: Emil Bächli
Berichterstatter: Emil Bächli
Adresse: Marktgasse 7
Telephon: 056/52 12 33
 056/52 14 74

1. Anvisierte Zielpunkte für 1988

Weiterführung der Versuche und Abklärungen betr. vakuumdichte Glasmetallisierung.

Voruntersuchungen betr. Getter und Infrarot-Beschichtungen.

2. Durchgeführte Arbeiten 1988

Glasmetallisierungsversuche nach Methode A/B und C.
Ueberprüfung der Haftfestigkeit und Vakuumdichtheit.

Studium der Art des Getters und der Getterplacierung.
Verbindungsaufnahme mit der Getterindustrie.

Besprechungen mit Spezialisten betr. Infrarotbeschichtungen
und deren Temperaturbeständigkeit bei der Randverlötung.

3. Erreichte Ergebnisse

Mit der Glasmetallisierungsmethode A wurden weitere Versuche gefahren. Die Prüfung der Haftfestigkeit und Vakuumdichtheit ergab ein immer noch ungenügendes Resultat. Grund dafür scheint die Porosität der Grenzschiicht und die unter der Metallschiicht beschädigte Glasoberfläche zu sein.

Auch mit der Glasmetallisierungsmethode B wurden noch viele Musterscheiben hergestellt. Wenngleich die Haftfestigkeit erreicht werden könnte, ist die Glasmetallverbindung etwas porös, und somit letzten Endes nicht ganz vakuumdicht.

Mit Methode C gelang Ende 1987 ein Durchbruch mit einer im Vakuumofen gelöteten kleinen Musterscheibe, wobei die Haftfestigkeit und Vakuumdichtheit überraschten.

Damit wurde Neuland betreten, da mit dieser Methode C noch nirgends lötbare Metallschichten auf gewöhnliches Fensterglas aufgetragen wurden. Insbesondere waren nirgends Einrichtungen zu

6.3

finden, die es gestattet hätten, nach dem genau gleichen Verfahren grössere Scheibenformate zu metallisieren. Deshalb musste auf ein verwandtes Verfahren ausgewichen werden, für welches nach längerer erfolgloser Sucharbeit in der Schweiz eine Pilot-Anlage im Ausland gefunden werden konnte. Dieses Verfahren gewährleistet ebenfalls eine homogene Glas-Metallverbindung, ohne irgendwelche Beschädigung der Glasoberfläche.

Es stellt sich noch das Problem, welches sich vordem für dieses Verfahren noch nie gestellt hat, nämlich der Aufbringung einer ca. 1 cm breiten, scharfabgegrenzten Metallschicht am Scheibenrand. Einige Verfahrensspezialisten halten dies für Möglich, andere wieder nicht, was mich bewog der Sache auf den Grund zu gehen.

Bei aufwendigen Versuchen im eigenen Labor mit behelfsmässigen Einrichtungen gelang jedenfalls die Aufbringung eines 1 cm breiten Metallrandes mit Methode C auf eine kleine Glasscheibe, ohne Abdeckung der restlichen Glasfläche, sodass Aussicht auf eine wirtschaftliche Herstellung besteht. Interessant wären weitere Versuche in dieser Richtung im eigenen Labor.

Durch unvorhergesehene Umstände und der starken Belegung der Ausländischen Pilot-Anlage für die Metallisierung grosser Scheiben, entstehen leider unangenehme Zeitverzögerungen.

4. Internationale Zusammenarbeit

Keine

5. Veröffentlichungen

Im Jahr 1988 keine

6. Neue Forschungsarbeiten

Bereits im Rapport Dez. 1987 genannt

TRANSPARENTE ISOLATION

Ziel des Projekts:

Es sollen für Schweizer Verhältnisse Grundlagen und Empfehlungen erarbeitet werden für die Anwendung von Transparenter Wärmedämmung (TI) auf den Aussenwänden von Gebäuden. Das sind insbesondere

- . Messung der Materialkennwerte von käuflichen und selber entwickelten TI-Materialien
- . Alterungsprüfungen
- . Optimierung von Wand und TI mittels Gebäudesimulationsprogramm
- . Thermische Messungen (Prüfstand Wand + TI) zur Validierung der Simulation
- . Untersuchung der Beschattung zur Vermeidung von Ueberhitzung im Sommer
- . Bauphysik und Aesthetik

Dauer des Projekts: März 1987 bis Ende 1989

Beitragsempfänger: Ernst Schweizer AG, Fellenbergstr. 279,
8047 Zürich

Berichterstatter: Dr.P.Schneiter/K.Wellinger/B.Schläpfer

Adresse: Ernst Schweizer AG, Metallbau,
8908 Hedingen

Telephon: 01/763 63 01

1. Anvisierte Zielpunkte für 1988

Einbau der gemessenen Materialkennwerte von TI-Materialien in das Gebäudesimulationsprogramm HELIOS.

Konzept, Bau und Betrieb der Prüfstände für thermische Messung und für Materialalterung.

Validierung von HELIOS-TI mittels der thermischen Messungen.

Verbesserung des TI-Materials "Pyramiden-Platte" (P-Platte)

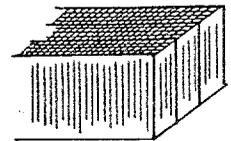
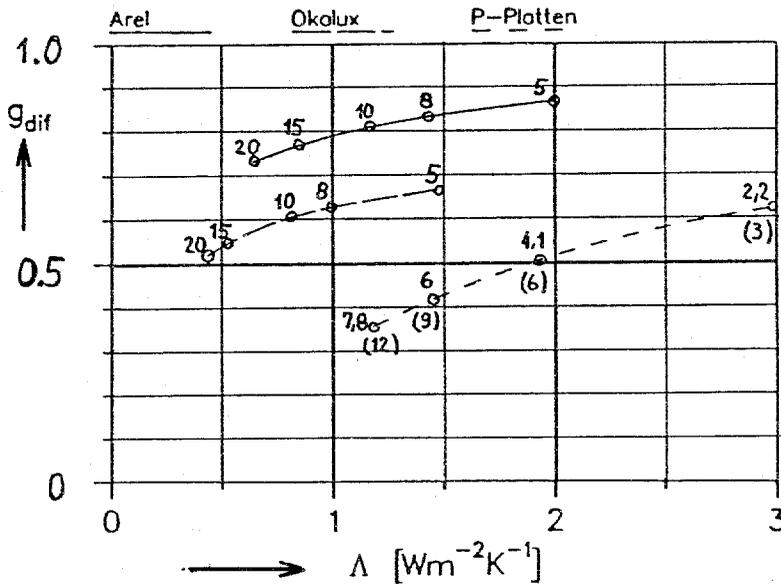
Prototyplösung für die geometrische (sonnenstandsabhängige) Beschattung für den sommerlichen Ueberhitzungsschutz.

2/3. Durchgeführte Arbeiten 1988 und Ergebnisse

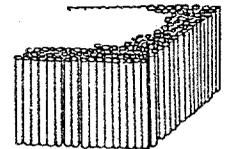
Da das Projekt etwa zur Hälfte von externen Partnern durchgeführt wird, folgt dieses Kapitel den Arbeitsgebieten der Projektpartner.

Das Fraunhofer Institut für Solare Energiesysteme in Freiburg i.Brsg. (ISE) ermittelte für drei verschiedene TI-Materialien (Fig. 1) die Materialkennwerte Transmission bzw. Gesamtenergiedurchlassgrad und Wärmedurchlasskoeffizient (Fig. 2). Daraus wurde eine FORTRAN-Subroutine erstellt für den Einbau ins Gebäudesimulationsprogramm HELIOS.

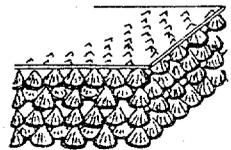
Fig. 1 Untersuchte TI - Materialien



AREL-Wabe



Kapillarplatte



P-Folien-Platte

Fig.2

Gesamtenergiedurchlassgrad g^* in Abhängigkeit vom Wärmedurchlasskoeffizienten Λ für unterschiedliche Materialien vor einer senkrechten Hauswand. Der Aufbau ist: Hauswand ($\epsilon = 0.9$) / 2 cm Luftspalt / TI / eisenhaltiges Glas. Der Wärmedurchlasskoeffizient ist von der Hauswand zur äusseren Glasabdeckung gerechnet.

Zahlenwerte: Dicke der TI ohne Luftspalt

Zahlen in Klammern: Anzahl P-Folien

* g_{dif} ist eine rechnerische Integration der gerichteten Energiedurchlassgrade über alle Raumwinkel (isotrope Strahlung). Er ist eine gute Näherung für den Tagesmittelwert bei realer Sonnenbahn oder realem Diffuslicht.

An der EMPA Dübendorf wurde HELIOS so ergänzt, dass damit Gebäude mit TI berechnet werden können. 1989 wird HELIOS-TI mit den Daten des thermischen Prüfstandes validiert.

Zusammen mit dem Oekozentrum Langenbruck wurde ein vierteiliger Prüfstand für thermische und optische Messungen konzipiert und gebaut (Fig. 3). Als Wand dient ein Sandwich Beton-Glaswolle-Beton, welches in k-Wert, Wärmekapazität und Amplitudendämpfung einer konventionellen Backsteinwand ähnelt, aber dank des homogenen Materials besser für die Messung geeignet ist. Der Raum hinter der Wand ist durch eine thermostatisierte Heizwand nachgebildet. Der Prüfstand enthält zwei solche Wände mit TI (wovon die eine mit Beschattung), ein Feld mit nur TI und eines mit nur Beschattung. Die Messwerte sind so gewählt, dass sie der Eingabe für HELIOS entsprechen, und dass Redundanz entsteht für Kontrollzwecke (z.B. Wärmeflüsse und Temperaturprofil von aussen nach innen).

Ab Dezember 88 laufen die regulären Messungen. Vorgängig wurden die Wandelemente (ohne TI) mit der EMPA-Wärmebox geeicht; zuerst mit konstantem Wärmefluss und dann mit einem Temperatursprung auf der "Raum"-Seite.

Die Alterungstests werden am Interkantonalen Technikum Rapperswil (ITR) durchgeführt. Ursprünglich war geplant, kleine Muster von TI in derselben Art zu bewittern, wie dies seit zwei Jahren mit Kollektor-Abdeckungsmaterialien gemacht wird: als "Deckel" einer innen selektiv schwarzen, unisolierten Blechschachtel. Genauere Untersuchungen der Situation Wand + TI bezüglich Dampfdiffusion und auftretende Temperaturen zeigten aber, dass für eine wirklichkeitstgetreue Alterung diese beiden Faktoren einbezogen werden müssen. Deshalb wurde für die Transparente Isolation ein eigener Prüfstand errichtet mit folgenden Merkmalen (Fig. 4).

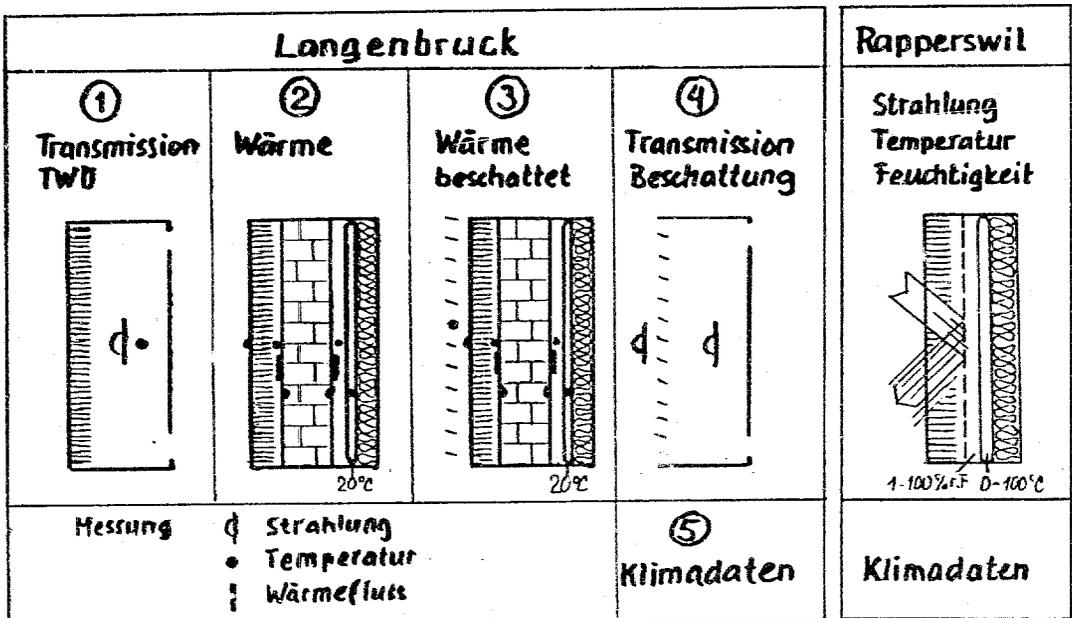


Fig. 3 Prüfstand Oekozentrum Langenbruck

Fig. 4 Prüfstand Interkant. Technikum Rapperswil

- Die Strahlung wird im Innern des Standes reflektiert und so ein zweitesmal durch das TI-Material geschickt
- Ein Radiator (anstelle der Wand) fährt täglich einen sinusförmigen Temperaturverlauf zwischen Umgebungstemperatur und 100°C (auch wenn keine Sonne scheint)
- Eine Befeuchtungseinrichtung liefert einen konstanten Dampfstrom in den Luftraum zwischen Radiator und TI. Dieser wird so reguliert, dass nachts etwas Kondens auftritt, der sich tagsüber in der Regel wieder auflöst.

Es wurden vier Elemente gebaut, wovon zwei mit Befeuchtung. Zwei verschiedene Materialien werden getestet: AREL-Waben aus Polycarbonat und neue OKALUX-Kapillarplatten (mit größeren Kapillaren) aus PTX. Bei jedem Element ist zudem die äussere Abdeckung unterteilt in je eine Hälfte Glas und Plexiglas, um den Einfluss der unterschiedlichen UV-Belastung zu beobachten (Plexiglas ist für UV durchlässig). Reguläre Messungen laufen ab Dezember.

Beschattung: Während in Deutschland für den Ueberhitzungsschutz aktiv gesteuerte Röllos eingesetzt werden, untersucht unser Projekt eine "passive" Variante, welche die hochstehende Sonne ausschliessen soll. Dr. R.W. Peter, Zürich evaluierte Lösungen mit strukturierten Lichtplatten und mit Streckmetallgittern (Fig. 5). Er legte in seiner Publikation /2/ eine mathematische Beschreibung der geometrischen Parameter vor. Da Streckmetall mit der geeigneten Geometrie noch nicht hergestellt werden konnte, werden im Langenbrucker Prüfstand Lamellenstoren als Beschattung eingesetzt. 1989 werden aber bei einem Hersteller die geeigneten Streckmetallwerkzeuge hergestellt, so dass Muster für die Messung bereitstehen werden.

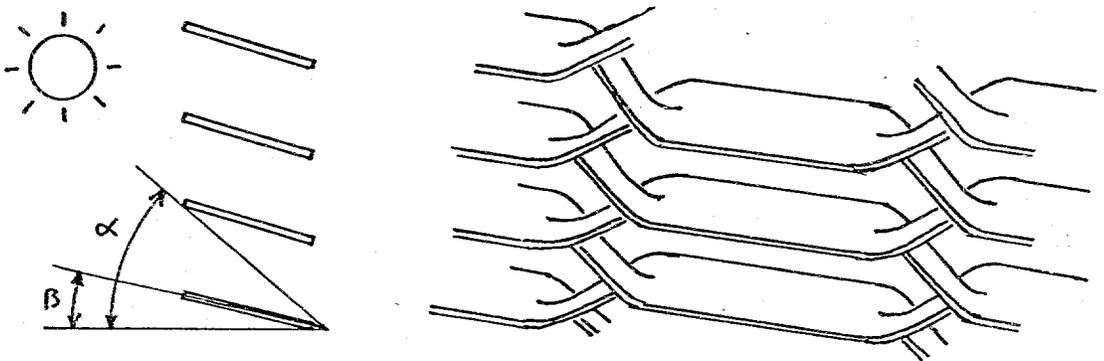


Fig.5

Geometrische Beschattung: allgemeine Form mit charakterisierenden Winkeln.
Ausbildung als Streckmetall (Material nicht reflektierend)

Material-Optimierung: Die von Dr.R.W.Peter in /1/ vorgestellten P-Folien-Platten (siehe auch Fig. 1) erwiesen sich in den ISE-Messungen als zuwenig transparent bei gegebenem k-Wert (Fig. 2). Es wurde nun angestrebt, die gleiche Konvektionsbehinderung zu erreichen mit einer kleineren Anzahl Platten (durchsichtiger!), welche steilere und höhere Pyramiden haben sollten. Gleichzeitig sollte als Material Polycarbonat verwendet werden, welches besser temperatur- und witterungsbeständig ist als Polystrol. Versuche zusammen mit einem Kunststoff-Verarbeiter ergaben aber unerwartete Probleme mit der Tiefziehbarkeit von Polycarbonat. 1989 soll aber eine verbesserte P-Folien-Platte bereitstehen und am ISE ausgemessen werden.

4. Internationaler Rahmen

Das Projekt wird nicht im internat. Rahmen durchgeführt. Der Kontakt mit dem ISE in Freiburg (Brsg.) und der Besuch des 2. Internat. TI-Workshops /1/ sichern jedoch den Kontakt zu den ausländischen Aktivitäten.

5. Publikationen

- /1/ Dr.R.W. Peter: P-Layer insulation (P-Folien-Platte), a new transparent thermal insulation material
Proceedings, 2nd International Workshop on Transparent Insulation, Freiburg 3.1988
- /2/ Dr.R.W. Peter: Beschattungselemente für Transparente Isolation
in: 5. Schweiz. Statusseminar Energieforschung im Hochbau, Zürich 9.1988
- /3/ K. Wellinger, B. Schläpfer: Transparente Wärmedämmung
in: 5. Schweiz. Statusseminar Energieforschung im Hochbau, Zürich 9.1988

6. Neue Forschungsarbeiten

Zurzeit sind noch keine neuen Fragestellungen absehbar. Es ist jedoch zu erwarten, dass nach dem Vorliegen von Betriebserfahrungen aus den Prüfständen und nach der Durchführung von Parametervariationen mit HELIOS sich konkrete neue Fragen herauskristallisieren werden.

O F E N

PROJETS DE RECHERCHE ÉNERGÉTIQUE 1988

B E W

ENERGIE - FORSCHUNGS - PROJEKTE 1988

ALBEDOEINFLUSS AUF PV-ANLAGE IN DEN ALPEN

Ziel des Projekts:

Praxisnahe experimentelle Ermittlung der durch Schnee- und Bodenreflexion hervorgerufenen Mehreinstrahlung in geneigte Flächen. Dazu Einsatz speziell entwickelter neuer Messmethoden. Abschätzung des durch die Mehreinstrahlung resultierenden Elektrizitätsmehrertrages und Bestimmung des Zellen-Anstellwinkels für zeitlich optimale Elektrizitätsproduktion. Messung momentaner und mittlerer Wirkungsgrade der einzelnen Komponenten sowie der Gesamtanlage. Herausarbeiten optimaler Betriebsarten und Beitrag zu Planungs- und Dimensionierungsgrundlagen für PV-Anlagen.

Dauer des Projekts: 1. Juni 1988 bis 30. Juni 1992

Beitragsempfänger: Paul Scherrer Institut (PSI), W. Durisch

Berichterstatter: W. Durisch, M. Brack, W. Bulgheroni, E. Gähwiler

Adresse: 5232 Villigen PSI

Telephon: 056 / 99 26 25

EINLEITUNG

Mitte 1988 haben die Firmen Fabrimex, Bergbahnen Titlis und Alpha Real eine netzgekoppelte Photovoltaik (PV) Anlage gebaut und in Betrieb genommen, Abb. 1. Die dazu verwendeten Solarzellenmodule weisen unter Standardbedingungen eine Spitzenleistung von rund 2.5 kW auf. Die von den Solarzellen gelieferte Energie wird über einen netzgesteuerten Wechselrichter ins Verteilnetz des Elektrizitätswerks Nidwalden (EWN) eingespeist. Die Anlage befindet sich bei der Zwischenstation "Stand" der Bergbahnen Titlis in einer Höhe von 2430 m. Infolge der in dieser Höhenlage lange Zeit vorhandenen geschlossenen Schneedecke eignet sie sich besonders gut zur Untersuchung des noch unbekanntenen Einflusses der Reflexstrahlung auf die Elektrizitätsproduktion. Aufgrund der am PSI über mehrere Jahre erarbeiteten Kompetenz, sowohl bezüglich Betrieb und Vermessung von Solarzellenanlagen /1, 2/, als auch bezüglich solar-kraftwerkspezifischer Meteorologie (siehe z.B. Projekt "Laj Alv" im "Recherche énergétique/Energieforschung 1987 und 1988") lag hier ein entsprechendes wissenschaftliches Messprogramm seitens des PSI auf der Hand. Zur Messung der Reflexstrahlung sind am PSI spezielle Methoden entwickelt worden /3/. Sie gelangen im Projekt "Titlis" erstmals zum Einsatz. Aber auch eigens für PV-Anlagen am PSI gebaute "Energie-Zähler" dürften zu aufschlussreichen Ergebnissen führen.



Abb. 1: 2.5 kW-Solarzellenanlage bei der Zwischenstation "Stand" der Bergbahnen Titlis. Rechts unten sind das Albedometer und das Blendenpyranometer des PSI zu erkennen.

1. Anvisierte Ziele 1988

Zu Beginn des Projekts am 1. Juni 1988 waren für die verbleibende Zeit bis Ende des Jahres folgende Ziele ins Auge gefasst worden:

- Evaluation und Beschaffung der benötigten Messinstrumente und Datenerfassung
- Eichung der Messfühler (Pyranometer am WRC/PMO in Davos)
- Bau eines neu vorgeschlagenen Albedometers sowie ergänzend dazu ein Blendenpyranometer /3/
- Bau von drei speziellen Energiezähler (PSI-Zähler)
- Installation und Inbetriebnahme der gesamten Messhardware inkl. Datenerfassung
- Start der Messkampagne im Dezember 1988

2. Durchgeführte Arbeiten

Die oben aufgeführten Ziele konnten weitgehend erreicht werden.

- Zur Messung der globalen solaren Einstrahlung in die Ebenen der drei Panelreihen und in eine horizontale Ebene (und später vielleicht auch noch in nach Süden ausgerichtete, 60 bzw. 90 Grad angestellte Flächen) wurden Solarimeter von KIPP & ZONEN (CM 10) beschafft. Ebenso für das Albedometer und das Blendenpyranometer. Sämtliche Solarimeter sind am Weltstrahlungszentrum in Davos geeicht worden. Um die Schutzdome der Solarimeter schnee- und eisfrei zu halten, sind sie in belüftete und beheizte Geberkasten der Fa. Meteolabor eingebaut.
- Die Temperatur der Umgebungsluft wird mit einem Pt 100-Widerstandsfühler gemessen. Ebenso jene einer repräsentativen Solarzelle. Dazu ist ein spezieller Folienfühler unmittelbar auf die Rückseite der Solarzelle aufgebracht worden.
- Zur Messung der ausschliesslich vom schneebedeckten (und im Sommer auch vom schneefreiem) Boden auf die Solarzellen reflektierte Solarstrahlung wurde das in Abb. 2 dargestellte Albedometer gebaut. Es ist auch in Abb. 1, rechts unten erkenntlich. Zur Kontrolle der Albedomessung (über die Globalstrahlungsmessung) wurde zusätzlich noch ein sog. Schneeblendenpyranometer konstruiert, Abb. 3. Es misst alle auf die Zellenoberfläche fallende Strahlung, ausgenommen schnee- und bodenreflektierte Strahlung. Auch das Blendenpyranometer ist in Abb. 1, rechts unten erkennbar. Im Falle der Titlis-Anlage empfängt das Blendenpyranometer, wie die Solarzellen, auch etwas diffuse Strahlung von der Gebäudewand, an der die Solarpanel montiert sind. Zur Maximierung der Einstrahlung in das Blendenpyranometer und damit auch zur Steigerung der Elektrizitätsproduktion sollte diese Wand im sichtbaren Bereich des Spektrums möglichst stark diffus in Richtung Solarzellen reflektieren und emittieren (geeigneter weisser Anstrich).

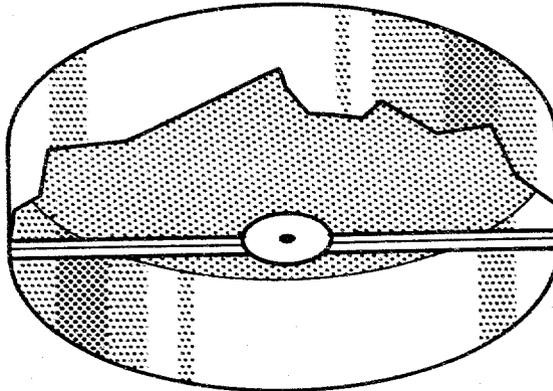


Abb. 2: Albedometer zur Messung der Reflexstrahlung in eine beliebig geneigte Fläche. Das im Zentrum angeordnete Pyranometer ist gegen Himmelsstrahlung abgeschirmt. Es sieht ausschliesslich schneebedeckter (und im Sommer auch schneefreien) Boden. Dazu ist die vordere Hälfte des Zylindermantels dem wirklichen Horizont entsprechend ausgeschnitten.

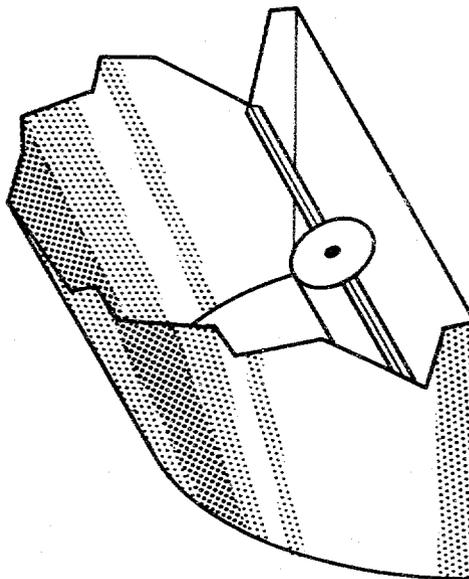


Abb. 3: Schneeblendenpyranometer zur Messung aller auf eine beliebig geneigte Fläche fallenden Strahlung, ausgenommen der schnee- und bodenreflektierten Strahlung. Der vordere gezackte Rand der Blende entspricht dem wirklichen, vom Pyranometer aus gesehenen Horizont.

- Zur Messung der Leistungsfähigkeit der drei Panelreihen, Abb. 1, werden vom PSI gebaute Energiemessgeräte (Spannung, Strom, Leistung, Energie) eingesetzt, Abb. 4. Neben der von den einzelnen Panelreihen produzierten Energie, erlauben sie, zusammen mit den Globalstrahlungsmessungen in die drei Panelreihen, momentane und mittlere Wirkungsgrade zu bestimmen. Zur Ermittlung des Wirkungsgrades der Gesamtanlage werden nach dem Wechselrichter ein modifizierter Elektrizitätszähler und ein Power Analyzer (zur Leistungsmessung) verwendet.
- Die Erfassung und temporäre Zwischenspeicherung der gemessenen Daten erfolgt mittels eines Datenloggers (DT 200) der Fa. Orbatex. Dieser kann entweder mittels eines portablen PC's "geleert", oder über das Telefonnetz und zwei Modems vom PSI aus automatisch "angezapt" werden. Am PSI gehen die Daten dann über einen PC in die VAX 11/780. Aus Gründen der Redundanz erfolgt die Datenerfassung zusätzlich in vier Solarintegratoren von Kipp & Zonen (CC 1221). Diese drucken alle 24 Stunden die Tageseinstrahlungen sowie die Tagesproduktionen der drei Panel-Reihen aus.

Der grösste Teil der oben erwähnten Messhardware konnte bis Ende Dezember 1988 installiert werden.

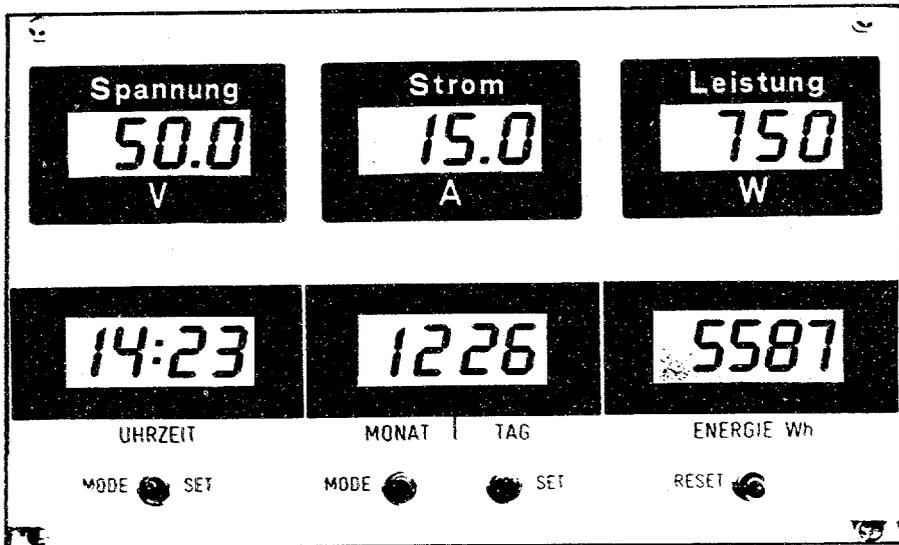


Abb. 4: Digitalanzeigefeld des PSI-Energiezählers

Mit Ausnahme des Datentransfers über das Telefonnetz konnte auch der Messbetrieb, wie geplant, Ende 1988 weitgehend aufgenommen werden. Der Datentransfer über das Telefonnetz war ursprünglich nicht vorgesehen gewesen. Nachdem es sich aber während der Evaluationsphase herausgestellt hat, dass der Telefonanschluss in "Stand" benutzt werden kann, wurde beschlossen, von dieser Möglichkeit Gebrauch zu machen. Dies bringt den grossen Vorteil mit sich, dass die Daten jederzeit ans PSI geholt werden können, damit eine bessere Ueberwachung der Anlage möglich ist, und so bei Störungen schneller eingegriffen werden kann.

3. Erreichte Ergebnisse 1988

Ausser dem erfolgreichen Aufbau der Messanlage sind für 1988 keine weiteren Ergebnisse mitzuteilen.

4. Internationale Zusammenarbeit

Im Hinblick auf eine internationale Einbindung des Projekts Titlis wäre der Anschluss ans "European PV Plant Monitoring" der Commission of the European Community (CEC) in Ispra sinnvoll. Entsprechende Kontakte im Zusammenhang mit der PV-Anlage des PSI im Wallis wurden aufgenommen und könnten in Richtung eines Einbezuges der Titlis-Anlage ausgedehnt werden.

5. Veröffentlichungen

- /1/ W. Durisch, M. Bühlmann, P. Kesselring, R. Morrisod: Betriebserfahrungen und Wirtschaftlichkeit einer PV-Anlage in den Schweizer Alpen. Drittes Nationales Symposium Photovoltaische Solarenergie, 9.-11. März 1988, Staffelstein, BRD.
- /2/ W. Durisch, M. Bühlmann, P. Kesselring, R. Morrisod: Photovoltaik in den Alpen - Betriebserfahrungen und Stromkosten. Bulletin SEV/VSE Nr. 6/1988, Seite 311-317.
- /3/ W. Durisch: Neue Methoden zur Messung der schnee- und bodenreflektierten Solarstrahlung. Interne Technische Mitteilung, TM-51-88-11, Mai 1988.
- /4/ W. Durisch, M. Brack, E. Gähwiler, W. Bulgheroni: Albedo Measurements and Systems Performance of a Grid-Connected Photovoltaic Plant in the Swiss Alps. Abstract. Paper to be submitted to the ISES Solar World Congress 1989 in Kobe, Japan.

6. Neue Forschungsarbeiten

Weiterführende neue Arbeiten könnten darin bestehen, dass die Pyranometer im Albedometer und im Blendenpyranometer durch Solarzellen (Ausschnitt aus Panel) ersetzt werden, die dauernd im optimalen Arbeitspunkt betrieben werden und auf gleicher Temperatur gehalten werden, wie die voll besonnten Zellen. Dadurch liesse sich der Elektrizitätsmehrertrag aus der Reflexstrahlung direkt und wahrscheinlich genauer messen. Allerdings wäre der Aufwand sowohl Hardwaremässig als auch von der Messtechnik her wahrscheinlich grösser.

SOLARKRAFTWERKSSPEZIFISCHE METEODATEN**Ziel des Projekts:**

Erarbeiten spezieller Meteodatenätze, 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 gemessener Meteodatenätze als Input (Disseration B. Hofer).

Dauer des Projekts: 3 Jahre (1.8.1987 bis 1.8.1989)

Beitragsempfänger: Paul Scherrer Institut (PSI), Dr. W. Durisch

Berichterstatter: B. Hofer

Adresse: 5232 Villigen PSI

Telephon: 056 / 99 26 25 oder 99 26 26

EINLEITUNG

Solkraftwerke 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 1988

Die Meßstation LAJ ALV liefert seit April 1986 wertvolle solarkraftwerksspezifische Meteodaten.

Für 1988 bestand, wie schon für 1987, ein wesentliches Ziel darin, den autonomen Messbetrieb so zuverlässig wie möglich zu gestalten. Ein weiteres wichtiges Ziel war, Einstrahlungsdaten mit hoher zeitlicher Auflösung (3 sec.) zu erhalten. Diese "Meteo-Feinmessungen" sollen in allererster Linie der Dynamikuntersuchung und Receiversimulation dienen /3/.

2. Durchgeführte Arbeiten 1988

Im Wesentlichen erfolgte 1988 die Planung und Durchführung der Feinmesskampagne (Juli-September). Dazu wurde im Frühling die entsprechende Hard- und Software evaluiert und beschafft (zusätzlicher Datalogger, Ausbau des PC's in LAJ ALV, bzw. temporärer Einsatz eines Laptop).

Im Hinblick auf den Einsatz von Mehrschichtensolarzellen sollte der spektralen Natur der solaren Einstrahlung mehr Beachtung geschenkt werden. Aus diesem Grund wurde ein Pyranometer soweit modifiziert (Abb. 1), dass es möglich ist, das solare Spektrum in zwei Teilspektren aufzuteilen (/1/, /2/). Das TFS- (thin film-Silicon) Pyranometer war zunächst 3 Monate auf der Mittellandreferenzstation Würenlingen in Betrieb. Beabsichtigt ist aber, es auch in LAJ ALV einzusetzen.

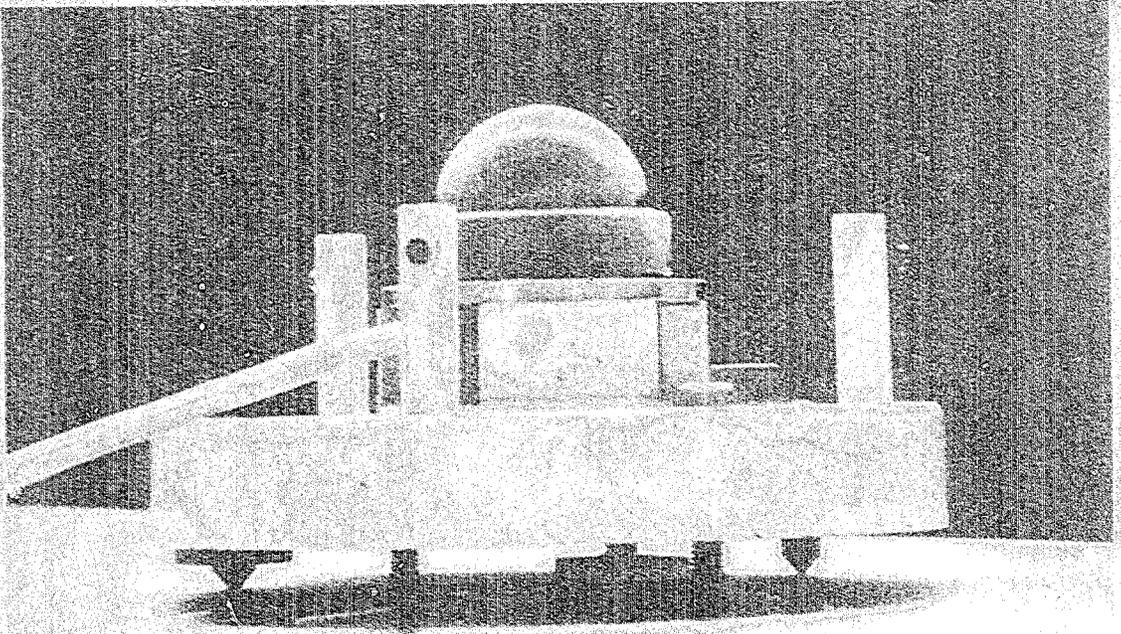


Abb. 1 TFS-Pyranometer

3. Erreichte Ergebnisse

Bisher ausgewertete Messungen von 1987 und 1988 zeigen, dass die beiden Jahre tiefere Jahressummen bei der solaren Einstrahlung aufweisen (werden) als das Jahr 1986. Der Vergleich mit 1986 ist allerdings nur teilweise möglich, da der volle Messbetrieb erst im April 1986 aufgenommen wurde. Trotzdem erharteten Auswertungen der global-horizontalen Einstrahlung von 4 ANETZ-Stationen (Disentis, La Dôle, Interlaken und Zürich-Kloten) für die Periode 1981-1987 die These, dass 1986 punkto Einstrahlung ein durchschnittliches Jahr, 1987 aber ein unterdurchschnittliches Jahr (bezogen auf die siebenjährige Messperiode) war.

Wie 1986 wurden auch im Sommer 1987 und 1988 Tagessummen bis zu 12.5 kWh/m^2 der direkt normalen Einstrahlung festgestellt.

Die höchsten Tagessummen der global-normalen Einstrahlung wurde für alle drei Jahre jeweils im Mai festgestellt (19.5.86: 14.5 kWh/m^2 ; 9.5.87: 14.78 kWh/m^2 ; 22.5.88: 14.35 kWh/m^2). Hier müsste untersucht werden, wieweit die im Mai in LAJ ALV und auf den gegenüberliegenden Berglängen noch vorhandene Schneedecke bzw. deren Reflexion einen Einfluss auf die am Sensor registrierte Einstrahlungsleistung hat.

Maximale Tagessummen GN im Sommer

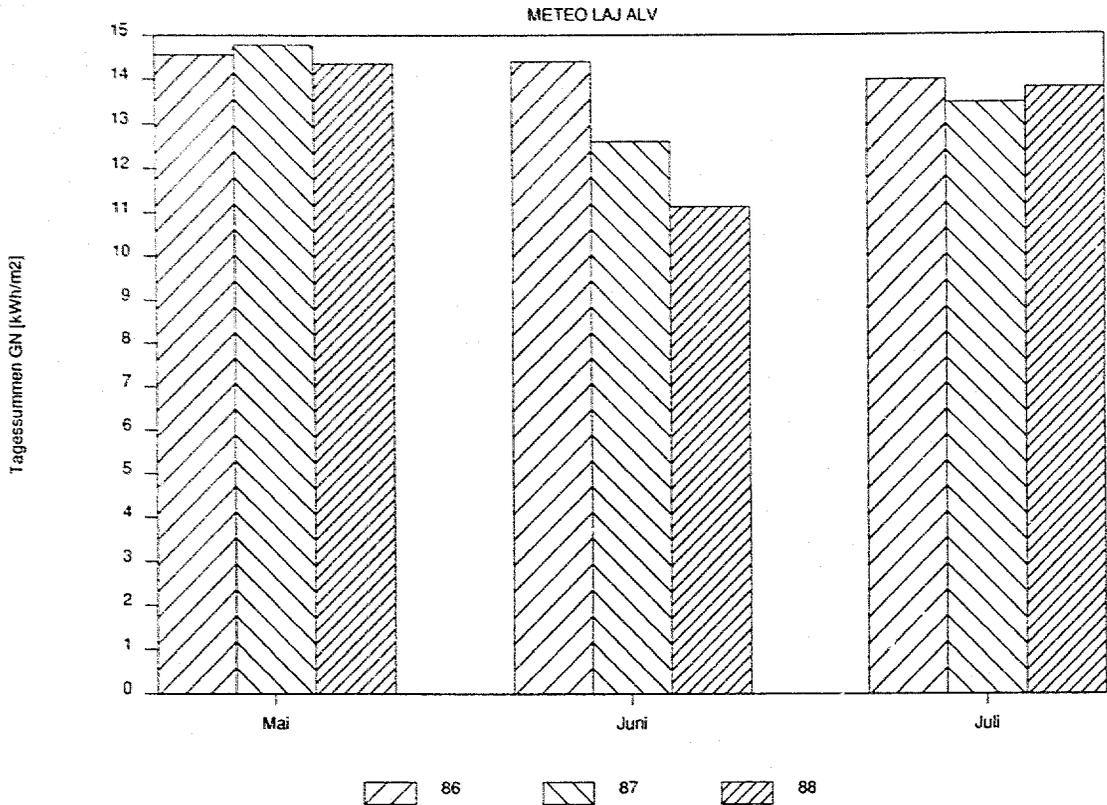


Abb. 2: Jeweils höchste Tagessummen von GN für die Monate, Mai, Juni, Juli der 3 Jahre 1986 bis 1988.

Auf erste Resultate der Teilspektrumsuntersuchung wird in /1/ eingehend eingegangen.

4. Veröffentlichungen

/1/ Hofer, B., Oesterle, U., Ringer, D.

Measurements of two bands of the solar spectrum using a new silicon-coated pyromometer-first results. Euroform New Energies, Saarbrücken, 24-28 October 1988.

/2/ Oesterle, U.

Spektrale Abhängigkeit der Solarzellen, im speziellen der Tandemzellen. Interne Technische Mitteilung, TM 51-88-17 (in Bearbeitung).

/3/ Hofer, B.

Mathematisch-physikalisches Modell für die Simulation eines volumetrischen Drahtreceivers unter veränderlichen Strahlungsbedingungen, Interne Technische Mitteilung TM-51-88-12 (in Bearbeitung).

5. Neue Forschungsarbeiten

Im Hinblick auf hochkonzentrierende Systeme zur Herstellung von "Solar Fuels & Chemicals" werden in Würtenlingen "Sun Shape" -Messungen aufgenommen werden. Diese sind nötig, um den für hochkonzentrierende Systeme zu Verfügung stehenden Energieanteil der direkt-normalen Einstrahlung ermitteln zu können. Eine Ausdehnung dieser Messungen in alpine Regionen ist vorgesehen. Dazu würde sich Laj Alv besonders gut eignen.

Ansätze zur Untersuchung der spektralen Natur der Solarstrahlung für Würtenlingen sind bereits vorhanden /1/, /2/. Es wäre sinnvoll, das oben erwähnte TFS-Pyranometer bzw. ein Spektralphotometer in einem Folgeprojekt in Laj Alv einzusetzen. Die Kenntnis der spektralen Zusammensetzung der solaren Einstrahlung ist besonders wichtig in Hinblick auf den Einsatz neuartiger Solarzellen (z.B. Tandemzellen) aber auch im Zusammenhang mit Solar Fuels & Chemicals.

Die generelle Fragestellung bei den Solarzellen lautet: Wie müssten Solarzellen für den alpinen Einsatz konzipiert sein, um das spektrale Angebot an solarer Einstrahlung wirtschaftlich möglichst optimal zu nutzen? Die Antwort auf diese Frage ist nur möglich, wenn vorgängig das solare Spektrum in situ gemessen werden kann.

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: 1.01.1987 - 31.12.1988

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 FUER 1988

Die von uns im Jahre 1986 eingeführte Methode der "VHF-Glimmentladung", welche die Abscheidung von amorphen Siliziumschichten bei hohen Depositionsraten, bis zu 30 Å/sec erlaubt, stösst z.Zt. weltweit auf immer grösseres Interesse. Es ist uns bekannt, dass mindestens eine amerikanische Firma (Glasstech) und ein japanisches Forschungslabor (Tokyo Institute of Technology) in der Zwischenzeit mit eigenen Arbeiten auf diesem Gebiet begonnen haben.

Im Berichtsjahr ging es uns nun in Neuchâtel nun vor allem um folgende Ziele:

- (1) Unsere systematischen Studien über die VHF-Abscheidung von intrinsischen Schichten weiterzutreiben: Die Charakterisierung solcher Schichten, die bei Raten von 12-30 Å/sec abgeschieden wurden, wurde im Berichtsjahr wie vorgesehen auf weitere Kriterien ausgedehnt, um damit die Materialqualität gründlich beurteilen zu können; ein Akzent wurde dabei (neu) auf die Transporteigenschaften der Löcher und die lichtinduzierten Degradation gesetzt, während die ursprünglich vorgesehenen Tieftemperaturmessungen vorerst zurückgestellt wurden.
- (2) Mit dem systematischen Studium der Interface- und Oberflächenprobleme zu beginnen.
- (3) p- und n-dotierte Schichten guter Qualität herzustellen und auszumessen.
- (4) Mit der Abscheidung von amorphen Siliziumlegierungen zu beginnen: Im Berichtsjahr wurden wie vorgesehen erste Versuche mit Si-C-Legierungen durchgeführt, währenddem die Arbeiten an Si-Ge-Legierungen vorderhand zurückgestellt wurden.
- (5) p-i-n Solarzellen herzustellen und auszumessen bezl. Strom-Spannungskennlinie (I/V) und Spektral-Antwort (Spectral Response).

2. DURCHGEFUEHRTE ARBEITEN 1988

- (a) Abscheidung von intrinsischen VHF-Schichten aus amorphem Silizium bis fast 200 µm Dicke, Charakterisierung einer ausführlichen Serie solcher Schichten mit variablen Dicken zwischen 0,1 und 100 µm mittels Photoleitfähigkeit und "Photothermal Deflection Spectroscopy" (PDS), sowie (in Zusammenarbeit mit dem CNRS Grenoble) mittels Elektronenspinresonanz (ESR); Erarbeiten eines Modells für Interface- und Oberflächen-Regionen anhand dieser Messresultate.
- (b) Weiterführung der Messungen bezl. der lichtinduzierten Degradation an intrinsischen VHF-Schichten.
- (c) Umfangreiche elektronische Charakterisierung von intrinsischen VHF-Schichten, die bei verschiedenen Plasmaanregungsfrequenzen abgeschieden wurden.
- (d) Weiterführung der Studien über n-Dotierungen, Messung der Phosphor-Inkorporation mit SIMS (Secondary Ion Mass Spectroscopy); Studien über p-Dotierungen; Beginn der Arbeiten an amorphen Si-C Legierungen, mit der VHF-Abscheidungsmethode.
- (e) Herstellung erster p-i-n Dioden (Solarzellen) mit der VHF-Methode, bei Abscheidungsraten über 20 Å/sec; sowie Ausmessung mittels I/V-Messplatz und Spectral Response.
- (f) Theoretische Berechnung des Kleinsignal-Transports in amorphem Silizium (vorerst ohne äusseres elektrisches Feld) sowie von Transportvorgängen und Feldverlauf innerhalb einer p-i-n Solarzelle (erste Rechnungen).

3. ERREICHTE ERGEBNISSE

3.1 Ausgangspunkt: Abscheidung von amorphem Silizium im VHF-Plasma

Die Erhöhung der Plasmaanregungsfrequenz f von den konventionellen 13.56 MHz auf den VHF-Bereich (30-150 MHz, vorzugsweise 70-80 MHz) führt zu einer Abscheidungsleistung, welche sich in wesentlichen Eigenschaften anders verhält als die klassische Glimmentladung:

- geringere elektrische Leistungsdichten sind nötig, um das Plasma zu zünden
- die Abscheidungsraten können von ca. 3 Å/sec bis auf 30 Å/sec erhöht werden, ohne nennenswerte Verringerung der Materialqualität; diese Eigenschaft ist für eine kostengünstige Solarzellenherstellung sehr wichtig
- die mit der VHF-Glimmentladung bei $f = 70$ MHz hergestellten Schichten haben offenbar geringere innere mechanische Spannungen, (als die üblichen, bei $f = 13.56$ MHz hergestellten).

Es stellt sich also die Frage: **Warum verhält sich unser VHF-Plasma spürbar anders als das konventionelle 13.56 MHz-Plasma?**

Wir vermuten, dass dies mit der Elektronenenergie-Verteilungsfunktion (=electron energy distribution function $eedf$) im Plasma zu tun hat. Dies ist in Fig. 1 dargestellt: In (a) ist die schematische Darstellung einer Abscheidungskammer zur Veranschaulichung wiedergegeben, in (b) sind die theoretischen, mutmasslichen Verteilungsfunktionen der Elektronenenergien ($eedf$) dargestellt und zwar für ein "Niederfrequenz"-Plasma (z.B. $f = 13.56$ MHz) und für ein "Hochfrequenz"-Plasma (z.B. $f = 80$ MHz).

In Zusammenarbeit mit dem Centre de Recherches sur la Physique des Plasmas (CRPP) in Lausanne soll nun der experimentelle Nachweis für die in Fig. 1 dargestellte Hypothese geliefert werden. Das von Prof. Dr. F Troyon geleitete Forschungszentrum CRPP verfügt über "Diagnostik"-Hilfsmittel für das Studium von Elektronen und Ionen im Plasma, wie Optische Emissionsspektroskopie (OES) und Laser-induzierte Fluoreszenz (LIF), mit welchen dieser Sachverhalt untersucht werden kann.

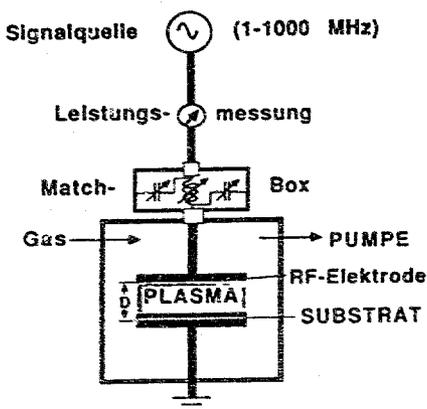


Fig. 1a Schematische Darstellung des VHF Abscheideprozesses für a-Si:H.

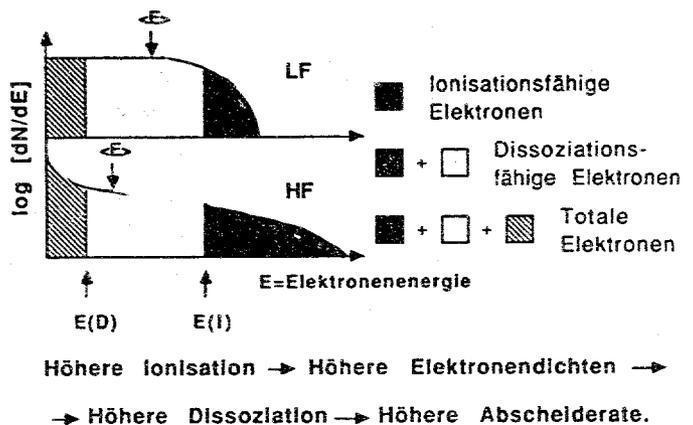


Fig 1b. Gegenüberstellung der Energieverteilung der Elektronen bei LF und HF Plasmen.

3.2 Materialqualität als Funktion der Abscheidungsfrequenz f

Wir haben in den vergangenen Jahren festgestellt, dass die Plasmaanregungsfrequenz f , die während der Abscheidung des amorphen Siliziums benützt wird, die Depositionsrates R ganz entscheidend beeinflusst. Seither ist aber die Frage aktuell, ob sich die Materialeigenschaften in Funktion von f irgendwie auch spürbar ändern. Im Berichtsjahr wurden die dazu zum Einsatz kommende Charakterisierungsmethoden stark ausgedehnt und zwar auf folgende weitere Messungen:

- Messung der Defektdichten mittels ESR (Elektronenspinresonanz)
- Messung des Elektronentransportes (Mobilität, Schubweg) mittels Time of Flight (TOF)
- Messung des Löchertransportes:
 Mobilität, Schubweg im transienten Betrieb mittels TOF
 ambipolare Diffusionslänge im stationären Betrieb mittels Steady-State
 Photoconductive Grating (SSPG) und Steady-State Hecht Plot (SSHP)

Die Arbeiten erfolgten zum Teil in Zusammenarbeit mit der Universität Princeton, N.J., USA, der Universität Marburg, BRD, und dem CNRS Grenoble; die unsererseits beteiligten Mitarbeiter sind N. Wyrsh und E. Sauvain.

Die detaillierten Resultate sind in unseren Publikationen [1,2,3,4,5] festgehalten. Zusammenfassend lässt sich sagen, dass die Qualität der abgeschiedenen Schichten über den ganzen Frequenzbereich fast gleichbleibend gut ist, dass aber bei Frequenzen ungefähr in der Mitte des Bereichs (also bei $f=80-100$ MHz) die Schichten mit den bisher besten Transporteigenschaften hergestellt wurden.

3.3 Lichtinduzierte Degradation

Es ist bekannt, dass alle amorphen Siliziumschichten einen Degradationseffekt (Staebler-Wronski-Effekt) aufweisen: Die Defektdichte im Material steigt während den ersten paar Hundert Stunden Lichteinwirkung um einen Faktor 10 bis 100 an, um nachher einen Sättigungswert zu erreichen. Für den Betrieb von Solarzellen in Energieanwendungen ist deshalb nicht der niedrige Anfangswert der Defektdichte sondern der erhöhte Sättigungswert der Defektdichte im degradierten Zustand von Bedeutung (und damit also der reduzierte Wert des Solarzellen-Wirkungsgrad nach einigen Hundert Stunden Sonneneinwirkung).

In den letzten zwei Jahren hat nun die Firma Glasstech (USA) ein Verfahren entwickelt, um bei der klassischen Plasmaanregungsfrequenz von 13.56 MHz amorphe Siliziumschichten mit Depositionsrates bis zu 20 Å/sec abzuschneiden und zwar indem sie Disilan (Si_2H_6) statt, wie allgemein üblich "Mono"-Silan (also SiH_4) verwenden. Die aus dem teureren Disilan hergestellten Schichten zeigen aber eine wesentlich erhöhte lichtinduzierte Degradation, sind also für Solarzellen und speziell für Energieanwendungen ungeeignet. Es stellte sich also sehr akut die Frage, ob die von uns bei VHF-Frequenzen (70-80 MHz) und bei erhöhten Depositionsrates (20-30 Å/sec), aus Mono-Silan abgeschiedenen Schichten ebenfalls eine erhöhte lichtinduzierte Degradation aufweisen?

Wir können nun glücklicherweise bestätigen, dass dem nicht so ist; vielmehr weisen unsere VHF-Schichten eine relativ geringe lichtinduzierte Degradation auf (siehe [1]). Damit bestätigt sich, dass unsere VHF-Methode im Moment immer noch, die einzige Methode ist, um amorphe Siliziumschichten von Solarzellen-Qualität bei hohen Depositionsrates (über 10 Å/sec) abzuschneiden.

3.4 "Interface"- und Oberflächenschichten

In den letzten Jahren wurde allgemein bekannt, dass Schichten aus amorphem Silizium keineswegs homogen sind; in der Tat weist die auf dem Substrat direkt aufgetragene unterste Grenzschicht ("Interface"-Schicht), sowie die oberste Oberflächenschicht, erhöhte Defektdichten auf. Unsere eigenen Arbeiten (z.B. M. Favre, H. Curtins et al. ICALS, Prag

1987) haben entscheidend zu dieser Erkenntnis beigetragen! Diese Frage ist aber für Solarzellen von grosser praktischer Bedeutung: Solarzellen sind nämlich oft so dünn, dass sie evtl. riskieren, nur aus Interface- und Oberflächenschicht zu bestehen! Es ist also sehr wichtig für den "Design" von guten Solarzellen folgende Fragen zu beantworten:

- wie dick ist die Interface-Schicht und durch was lässt sich diese Dicke beeinflussen?
- wie hoch ist die Defektdichte in der Interfaceschicht (im Anfangszustand und besonders auch im degradierten Zustand)?
- wie wirkt sich die Oberflächenschicht auf die Solarzelle aus?
- wie soll die Solarzelle dimensioniert werden, um die erwähnten Effekte zu berücksichtigen?

Wir haben auf all diese Fragen erst sehr präliminäre und z.T. noch unsichere Antworten [2]; der Fragenkomplex muss aber unbedingt noch weiter untersucht werden!

3.5 p- und n-Dotierungen

Die p- und n-Dotierungen von amorphem Silizium mit der VHF-Methode wurden von unserer Equipe (K. Prasad, Y. Ziegler) im wesentlichen beherrscht; Publikationen sind für 1989 geplant.

3.6 Legierungen

Wir haben mit Si-C Legierungen begonnen. Es zeigt sich, dass im VHF-Plasma bezl. Zusammenwirken von verschiedenen Gasen (Silan, Methan) andere Verhältnisse herrschen, als im konventionellen 13.56-MHz Plasma. Es muss also in diesen Sektor noch sehr viel mehr Arbeit investiert werden.

3.7 p-i-n Solarzellen

a) praktische Resultate

Eine erste Serie von 6 p-i-n Solarzellen wurde dieses Jahr durch R. Tschärner, D. Fischer und Y. Ziegler hergestellt. Struktur und Kenndaten der bisher besten Solarzelle sind in Fig.2 dargestellt: a) Schnitt durch die Zelle, b) I/V-Kennlinie und c) Spektralantwort. Bei angelegter Rückwärtsspannung beobachtet man relativ grosse Unterschiede zur in Fig.2c dargestellten Spektralantwort. Dies ist ein Mass dafür, dass die p/i Interface-Schicht verbesserungsfähig ist. Der erreichte Wirkungsgrad von über 5 % ist durchaus befriedigend, da wir noch keine Si-C Fensterschichten einsetzen konnten. Die i-Schicht der Solarzelle von Fig. 2 wurde bei 17 Å/sec abgeschieden, der Wirkungsgrade wurde durch lichtinduzierte Degradation um 20 % verringert. Im nächsten Jahr müssen unsere Arbeiten auf dem Gebiet der Solarzellen systematisch weitergeführt werden.

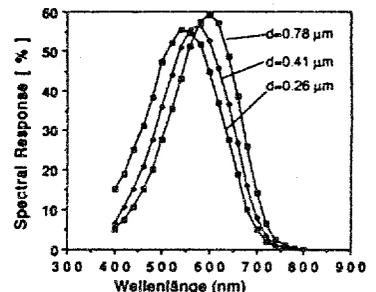
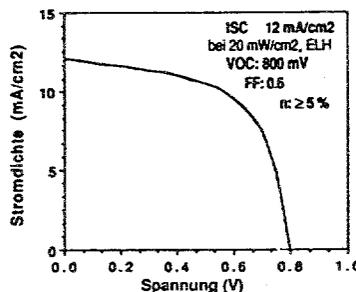
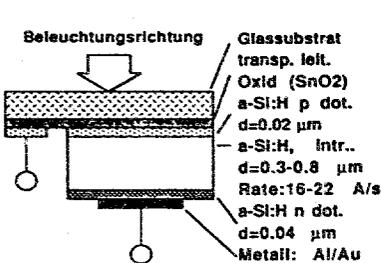


Fig.2a Schematischer Aufbau der p-i-n Solarzellen.

Fig.2b, Strom-Spannungscharakteristik

Fig.2c, Spektralantwort bei unterschiedlicher i-Dicken

b) theoretische Arbeit

Um den Wirkungsgrad von Solarzellen aus amorphem Silizium zu erhöhen, ist es nötig, die physikalischen Verhältnisse innerhalb der p-i-n Solarzelle besser zu verstehen. Einer unserer Mitarbeiter (J. Hubin) hat sich diesem Aspekt gewidmet. Er konnte die charakteristischen Längen, die an Stelle einer Diffusionslänge im amorphen Silizium massgebend sind, identifizieren, jedenfalls für den einfachen Fall, wo kein externes Feld vorhanden ist. Er konnte ebenfalls der Feldverlauf in der i-Schicht einer p-i-n Solarzelle unter vereinfachenden Annahmen berechnen. Es zeigt sich, dass der Charakter der Lösungen stark abhängt: (1) vom Verhältnis zwischen dielektrischer Relaxationslänge und die "Kleinsignal-Lebensdauer", (2) vom Verhältnis der Driftmobilitäten der Löcher und Elektronen. Erstaunlicherweise ist sehr wenig Genaues und Zuverlässiges über diese beiden Verhältnisse im Falle von amorphem Silizium bekannt! Es gibt also hier in den nächsten Jahren ebenfalls noch sehr viel zu tun.

4.Literatur

- [1] H.Curtins, M.Favre, Y. Ziegler, N.Wyrsh and A.V.Shah, *Comparison of Light induced Degradation in Low and High-Rate Deposited VHF-GD a-Si:H: Effect of Film Inhomogeneities*, Mat. Res. Symp. Proc. Vol 118 (1988) 159-166.
- [2] H.Curtins, M.Favre, *Surface and Bulk States Determined by PDS*, by H. Fritzsche, Advances in Amorphous Semiconductors, Vol. I to be published.
- [3] A. Shah, E. Sauvain, N.Wyrsh, H.Curtins, B.Leutz, IMT, University of Neuchâtel, Switzerland
D.S.Shen, V.Chu, S.Wagner, E.E.Dept., Princeton University, N.J., USA
H.Schade, H.W.A. Chao, Chronar Corp., Princeton, N.J., USA
a-Si:H Films Deposited at High Rates in a "VHF" silane Plasma: Potential for Low-Cost Solar Cells, to be published in the Proceedings of the 20 th IEEE Photovoltaic Specialists Conference, Las Vegas, (1988).
- [4] E.Sauvain, J.Hubin, A.V.Shah, *Steady State Transport in Illuminated, Intrinsic a-Si:H: a General Closed Form Solution for the Small-Signal Case*, Conference Record of the International Topical Conference on a-Si:H Devices and Technology Yorktown Heights, NY, (1988).
- [5] A.Shah, N.Wyrsh, K.Prasad, M.Brêchet, R.Tscharner, M.Favre, B.Leutz and H.Curtins, *High-Rate Deposition of Amorphous Silicon by VHF Glow Discharge for Solar Cell Applications*, Proc. of the 8 th EC Photovoltaic Conference, Florence, Vol 1 (1988) 876-880.

3 kW-SOLARWECHSELRICHTER

Ziel des Projekts: Regelung und Steuerung eines Solarwechselrichters im Netzverbund mit minimalem Hardwareaufwand mit folgenden Funktionen:
Netzsynchronisierung
Stromformsteuerung
Maximum-Power-Tacker
Ueberwachungsfunktionen
Kommunikation mit der Aussenwelt

Dauer des Projekts: 1. Januar 1988 - 30. November 1989

Beitragsempfänger: Ingenieurschule Biel

Berichterstatter: Dr. Ing. V. Crastan

Adresse: Ingenieurschule Biel, Postfach 1180, 2500 Biel 1

Telephon: 032 27 32 63 / 111

1. ANVISIERTE ZIELPUNKTE für 1988

Das Projekt "Mikroprozessorsteuerung für netzgekoppelten Wechselrichter" ist in das Projekt "Solcon" eingespannt. Dieses setzt sich zum Ziel, den Prototyp eines netzgekoppelten Solarwechselrichters von 3 kW zu entwickeln, der anschliessend von der beteiligten Industrie marktgerecht produziert werden kann.

Die Projektleitung "Solcon" hat die Firma Alpha Real, Zürich. Die Entwicklungsarbeit wird geleistet von:

- Concept, Biel : Leistungselektronik
- Ingenieurschule Biel: Gesamtkonzept und Steuerungselektronik

Projektbeginn: Januar 1988

Termine: Entwicklung und Bau des Prototyps einschliesslich testen in der Praxis bis Ende Dezember 1988.

Schlussbericht und Dokumentation bis Ende April 1989.

2. DURCHGEFÜHRTE ARBEITEN 1988

2.1 WECHSELRICHTERPRINZIP

Beiliegendes Blockschema (Bild 1) zeigt das Konzept.

2.1.1 Leistungsteil: Die Solarzellenleistung wird über einen mit 50 kHz getakteten Push-Push-Durchflusswandler und einen 50 Hz-Umklapper ins Netz gespeist.

Die FET's des Push-Push-Wandlers werden mit einem modulierten PWM-Signal so angesteuert, dass am Ausgang möglichst netzsynchrone sinusförmige Halbwellen entstehen. Der nachfolgende Umklapper klappt jede zweite Halbwellen um und erzeugt eine netzsynchrone 50-Hz Wechselspannung.

2.1.2 Steuerteil: Der mit einem Mikroprozessor bestückte Steuerteil erfüllt verschiedene Funktionen:

- a) MPT (Maximum Power Tracking) durch Amplitudenregelung des modulierten PWM-Signals. Messgrösse ist I_{out} .
- b) Netzsynchronisierung durch Phasenregelung des Umklappersignals. Als Sollwert dient der Nulldurchgang der Spannung U_{out} .
- c) Stromform-Steuerung durch Eprom-Tabelle des PWM-Generators und Phasensteuerung des modulierten PWM-Signals in Abhängigkeit von I_{out} .
- d) Ueberwachungsfunktionen: Ein- und Ausschaltkriterien (Steuergrössen: U_{in} , U_{out} , I_{out}), Temperaturüberwachung.
- e) Steuerung der Kommunikation mit der Aussenwelt (PC) über eine RS232C-Schnittstelle

2.2 HARDWARE DES STEUERTEILS

2.2.1 A/D-Wandler und Multiplexer

A/D-Wandler mit integrierendem Messverfahren. Man verwendet Messwertgleichrichter und temperaturstabile Präzisionsspannungsreferenz. Gemessene Signale: Netzstrom, Netzspannung, Solarzellenspannung.

2.2.2 PWM-Generator

Zur Generation der pulsbreitenmodulierten Signale ist eine voll digitale Schaltung entwickelt worden mit einer inneren Oszillatorfrequenz von 26.2144 Mhz. Die Frequenz der generierten PWM-Signale beträgt 102.4 kHz, die Amplituden-Auflösung entspricht 256 Schritten. Die zeitliche Quantisierung der Sinushalbwellen entspricht ebenfalls 256 Schritten.

2.2.3 Zero-Cross-Detektor (ZCD)

Eine Schaltung mit folgenden Eigenschaften wurde entwickelt:

- liefert digitales Signal (1 = Netzsp.+ , 0 = Netzsp.-)
- galvanische Trennung (mittels induktiven Uebertrager und Differenzverstärker)
- störicher
- keine Phasenverschiebung
- saubere und schnelle Flanken

2.3 SOFTWARE

Die Datenstrukturen werden durch beiliegendes Mascot-Diagramm beschrieben (Bild 2). Jeder Kreis stellt eine eigenständige Teilaufgabe dar (task).

Im folgenden werden die wichtigsten Tasks näher beschrieben:

STANDBY: Uebernimmt die gesamte Betriebsüberwachung. So stellt er z.B. die Anlage ab, wenn die Kühlkörpertemperatur zu hoch ist, wenn über die serielle Schnittstelle das Kommando "stop" eingegeben wird oder wenn die Netzspannung den Toleranzbereich über- oder unterschreitet. Er koppelt die Anlage mit dem Netz, wenn die Solarzellenspannung die dazu nötige Grösse erreicht.

MEASURE: Dem A/D-Task übergeordneter Task, der vollständig von der Hardware getrennt läuft. MEASURE bestimmt den Rhythmus und die Reihenfolge, mit dem/der die Kanäle umgeschaltet und gemessen werden.

A/D: Leitet in einem von MEASURE vorgegebenen Rhythmus die Konversion der Messsignale ein, steuert den weiteren Ablauf der Konversion und speichert das Resultat. Er schaltet den Multiplexer auf Anweisung von MEASURE sequentiell um, zur Bedienung der vier Messkanäle.

MPT: Sorgt dafür, dass die Solarzellen im MPP (maximum power point) arbeiten. Der einem Anfangs-PWM-Wert entsprechende Strom wird gemessen (Referenzpunkt). Dieser Stromwert wird anschliessend mit zwei weiteren Stromwerten verglichen, die gegenüber dem Referenzpunkt einem höheren und einem tieferen PWM-Wert entsprechen. Ist einer dieser zwei Stromwerte höher als der Referenzwert, so wird er zum neuen Referenzwert. Sind beide Werte kleiner, ist der Punkt maximaler Leistung erreicht.

PLL: Bildet eine interne Frequenz, die der Netzfrequenz ständig nachgeführt wird. Um jeden positiven Nulldurchgang (Zero-Cross-Detektor) wird ein Messfenster geöffnet, das die Frequenzabweichung feststellt. Die Nachführung erfolgt über einen Dämpfungsalgorithmus (Näheres im Schlussbericht). Der PLL-Task liefert die Umklappersignale und das Phasensignal für die EPROM-Tabelle. Dieses ist nicht netzsynchron, sondern einige 10 Mikrosekunden stromabhängig vorverschoben, da es die Phasenverschiebung des Leistungsteils kompensieren muss.

INTERCOM: Steuert die Kommunikation mit der Aussenwelt (PC): beantwortet Anfragen über den Betriebszustand, übermittelt Messwerte, gibt Kommandos weiter und schaltet von automatischem auf manuellen Betrieb um.

RS232INTERFACE: Bedient den Empfang- und Sendepuffer der seriellen Schnittstelle.

ERROR: Schaltet die Anlage sofort ab wenn der Netzstrom einen einstellbaren max. Wert überschreitet.

3. ERREICHTE ERGEBNISSE IN 1988

3.1 Leistungselektronik

Die Leistungselektronik ist als stabiler Versuchsaufbau vorhanden und arbeitet wunschgemäss. Die Kurzschlussicherheit ist ausgezeichnet. Wirtschaftliche Verbesserungen dürften durch Optimierung noch möglich sein.

3.2 Steuerelektronik

a) Hardware: Alle Hardwareteile sind fertiggestellt und arbeiten einwandfrei.

b) Software: Die wichtigsten Tasks sind realisiert und funktionstüchtig: STANDBY, A/D, PLL, MPTOUT
Der MPT-Task ist implementiert und befindet sich in der Testphase. Ebenso der RS232-Task.
Der INTERCOM-Task befindet sich in der Implementierungsphase und der ERROR-Task in der Programmierungsphase.

c) Erwähnenswerte Probleme bei der Realisierung
(Siehe dazu Zwischenbericht Oktober 1988)

3.3 Ziel erreicht

Ueberwachungsfunktionen und Netzsynchronisierung arbeiten korrekt. Die Stromform bei Widerstandslast ist ausgezeichnet. Bei Netzbetrieb konnte die Stromform durch Korrektur der EPROM-Tabelle und durch optimale Phasensteuerung wesentlich verbessert werden, wie theoretisch auf Grund von Simulationsergebnissen vorausgesagt (nähere Erläuterungen im Schlussbericht). Dazu sei bemerkt, dass bei hohem Oberwellengehalt der Spannung Oberwellen im Strom sogar erwünscht sind, da damit die Spannung verbessert wird. Der bisherige Versuchsaufbau bestätigt im wesentlichen die theoretischen Erwartungen. Insbesondere hat sich gezeigt, dass das gewählte Konzept der gestellten Aufgabe gerecht wird und nicht abgeändert werden musste.

Der Versuchsprototyp konnte im Monat November in Mönchsaldorf(ZH) auf eine 6 kW-Solarzellenanlage (4 parallelgeschaltete Arco M55-Zweige) während ca. 5 h im Felde mit Erfolg getestet werden. Es sind keine Störungen aufgetreten. Die Leistung erreichte (saison- und wetterbedingt) im Optimum 2.5 kW. Die Oszillogramme der gemessenen Stromform bei Netzkopplung, bei Speisung mit Simulationsgerät und im Felde. zeigen insbesondere die deutlich bessere Stromform des entwickelten Prototyps gegenüber dem amerikanischen Wechselrichter SI 3000. Dazu ist zu bemerken, dass durch Optimierung der Eprom-Tabelle die Stromform weiter verbessert werden kann, was aber einen nicht budgetierten Mehraufwand bedeutet.

Auf Grund der positiven Ergebnissen ist die Industrie (Concept + Hardmeier) daran, den Layout für die Nullserie des Wechselrichters "Solcon" zu entwerfen.

Der Abschluss der Detail-Projektarbeiten (im Rahmen des BEW-Projekts), einschliesslich Dokumentation, ist für Ende Februar vorgesehen.

4. INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT: keine

5. VEROEFFENTLICHUNGEN: keine

6. NEUE FORSCHUNGSARBEITEN

Das erfolgreich entwickelte und getestete Konzept sollte für eine höhere Leistung (20 kW und mehr) und den dreiphasigen Betrieb weiterentwickelt werden. Auch die dazugehörige Leistungselektronik muss dazu bereitgestellt werden. Ein entsprechender Antrag der Ingenieurschule Biel(+Concept) und des EW-Biel (Eigentümer der Pilotanlage) liegt bei der KWF vor. Die Kontinuität der an der Ingenieurschule Biel geleisteten Entwicklungsarbeit und die damit zusammenhängende Erhaltung und Weiterentwicklung des erarbeiteten Know-how's wird bei Annahme gesichert.

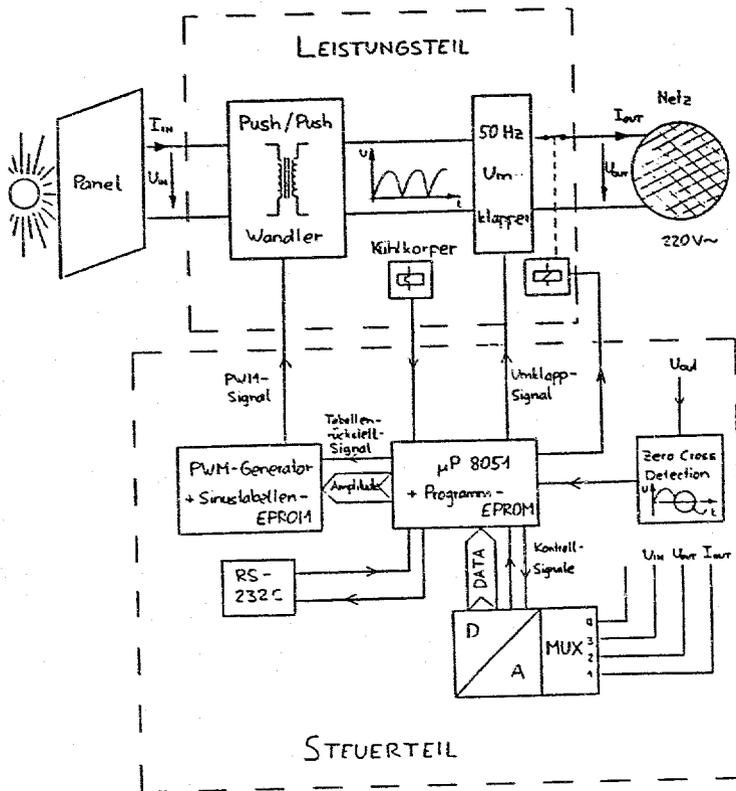


BILD 1

Gesamtstruktur SOLICON (Masrot)

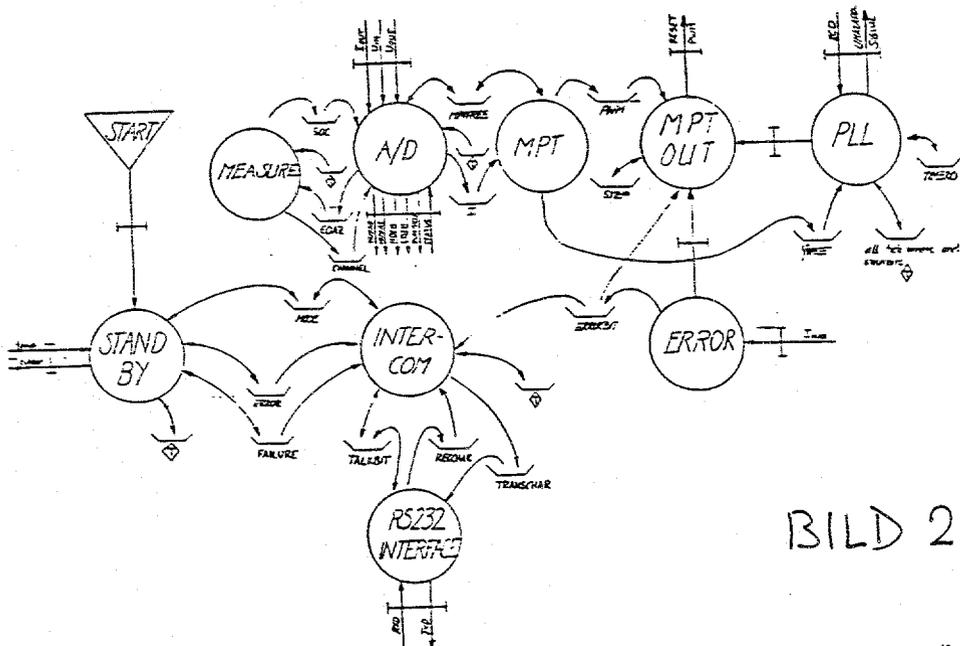


BILD 2

4 kW - IMPIANTO FV A MODULI AMORFI

But du projet: Il progetto di ricerca ha come obiettivo lo studio del comportamento di un impianto a moduli amorfi (a-Si).
In un impianto da 4 kW viene studiata in condizioni reali l'evoluzione del rendimento dei moduli amorfi in funzione della temperatura, dell'irraggiamento e del loro invecchiamento.

Durée du projet: gennaio 1988 - dicembre 1988

Mandataire: Dipartimento dell'ambiente, CH-6500 Bellinzona

Rapporteur: M.Camani, P.Ceppi, D.Chianese

Adresse: Dipartimento dell'ambiente, Sezione energia,
Bellinzona

Téléphone: 092/24.37.51

1) OBIETTIVI PREVISTI PER IL 1988

- a) Realizzazione di un impianto a moduli al silicio amorfo (a-Si)
- b) Studio del comportamento a breve termine dei moduli a-Si.
- c) Studio dei cicli di degrado e di rigenerazione dei moduli a-Si.
- d) Studio del comportamento dei moduli a-Si a medio e lungo termine.
- e) Produzione energetica di un impianto a moduli al silicio amorfo.
- f) Comportamento di un convertitore DC-AC di una nuova generazione.

2) LAVORI EFFETTUATI NEL 1988

Per raggiungere gli obiettivi prefissati abbiamo operato su due fronti:

- a) progettazione, realizzazione e misure di un impianto a moduli amorfi di 4 kW, con immissione dell'energia prodotta nella rete di distribuzione e
- b) progettazione e realizzazione di uno stand di prova sperimentale e relativa strumentazione per misure sistematiche su moduli amorfi scelti.

2.1) Impianto da 4 kW con moduli amorfi.

L'impianto fotovoltaico amorfo è stato costruito con lo scopo di analizzare il comportamento di diversi prodotti in condizioni di lavoro reali. Per questo motivo si sono collegati in parallelo i moduli di tre fabbricanti in modo da fornire energia ad un unico ondatore statico. L'ondatore aggiusta il proprio punto di lavoro in base alla misura della tensione a vuoto di un modulo di riferimento. I parametri del circuito di regolazione dell'ondatore sono stati scelti in modo da ottenere la potenza massima di tutto l'impianto.

L'impianto realizzato ha la stessa struttura di quello monocristallino descritto in [2].

L'energia prodotta viene misurata ed immessa nella rete pubblica di distribuzione (220 V / 50 Hz).

Dati caratteristici dell'impianto

- Potenza nominale totale	:	3940 W
- Quantità di moduli, produttore e tipo	:	96, ARCO SOLAR, G4000 48, CHRONAR, CSB.13.E 22, SOLAREX, SA20
- Serie di moduli	:	14
- Moduli per ogni serie	:	12
- Tensione di lavoro	:	195 V
- Inclinazione	:	30°-55°, variabile

Le strutture portanti, realizzate su specifica, permettono di fissare i moduli a due inclinazioni diverse, 30° e 55°, e sono

progettate per resistere con un vento a 130 km/h. Tutti i cavi (di potenza e di misura) sono provvisti di limitatori di tensione contro gli effetti dei fulmini. Vengono misurate in continuazione le correnti di ogni serie di moduli, la tensione dell'impianto, la corrente continua totale, l'energia in corrente continua ed alternata ed i parametri meteorologici.

L'impianto è stato messo in funzione il 3 maggio 1988.

2.2) Misure sistematiche su moduli campione.

Prima dell'istallazione si è provveduto a misurare le caratteristiche di 14 moduli di ogni tipo in condizioni standard.

Le misure sono state effettuate nei laboratori ESTI (European Solar Test Installation) del Centro Comune di Ricerca (CCR) della comunità europea ad Ispra.

Secondo un programma di misura concordato con il CCR-ESTI i 14 moduli verranno rimisurati periodicamente dopo essere stati usati nel modo seguente:

- a) 3 moduli integrati nel generatore da 4 kW.
- b) 2 moduli non esposti al sole (riferimento)
 - 1 modulo in corto circuito.
 - 1 modulo a vuoto
 - 7 moduli sotto carico al punto di massima potenza (MPP), esposti a diverse quantità d'irraggiamento (10, 20, 30, 40, 50, 60, 70 kWh).

I moduli menzionati al punto a) sono esposti dal 3 maggio 1988 e verranno rimisurati prossimamente.

Per le misure sui moduli del punto b) è stato sviluppato un circuito elettronico di carico e di regolazione per il funzionamento al punto di massima potenza di ogni modulo.

Le misure cominceranno prossimamente.

3) RISULTATI OTTENUTI NEL 1988

3.1) Misure.

Le misure delle caratteristiche dei moduli, effettuate in condizioni standard in laboratorio prima della loro messa in funzione, hanno confermato i dati dei produttori.

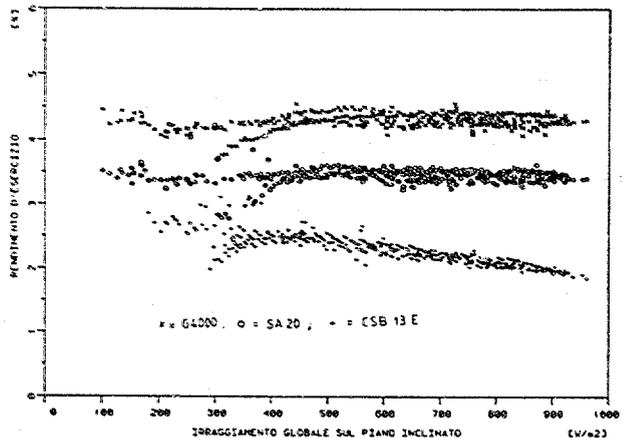
Modulo	Rendimento dato [%]	Rendimento misurato (*) [%]
ARCO G4000	5.69	5.88
SOLAREX SA20	4.77	4.70
CHRONAR CSB.13.E	4.17	4.37

(*) Media dei valori misurati su 14 moduli.

L'impianto da 4 kW non è adatto per misurare con precisione il rendimento dei moduli in esercizio, essendo collegati moduli diversi allo stesso ondulatore (v. 2.1).

Il rapporto fra i valori misurati della potenza erogata da ogni tipo di modulo e l'irraggiamento istantaneo sulla superficie del generatore viene denominato "rendimento d'esercizio" ed è rappresentato in figura 1.

Figura 1:
Rendimento
d'esercizio.



La relazione fra i rendimenti dei tre tipi di modulo trovata a condizioni standard è verificata qualitativamente.

La potenza erogata dai moduli CHRONAR nelle condizioni di lavoro date varia in modo non proporzionale all'irraggiamento, mentre per i moduli ARCO e SOLAREX la relazione è approssimativamente lineare.

Il lavoro di analisi sistematica sul gruppo di 11 moduli campione (v. 2.2) permetterà di stabilire il vero rendimento dei moduli e il loro comportamento in funzione di irraggiamento, temperatura ed invecchiamento.

3.2) Esperienze d'esercizio.

La ditta ARCO raccomanda l'uso di un massimo di 4 moduli in serie. Per più moduli, al momento della progettazione del nostro impianto, la ditta non era in grado di dare indicazioni precise, ma indicava che non avrebbero dovuto esserci problemi particolari. Nell'impianto TISO, su accordo dei fornitori, sono collegati 12 moduli in serie.

Un modulo ARCO ha cessato di fornire energia un mese dopo l'installazione. Altri due moduli hanno mostrato difetti di isolamento elettrico fra silicio e telaio ($R_{iso} < 10 \text{ k}\Omega$ in un caso) causando la circolazione di correnti di terra e costringendo all'arresto dell'impianto.

I tre moduli difettosi verranno sostituiti dal fornitore.

I moduli SOLAREX non hanno dato problemi d'esercizio.

I moduli CHRONAR hanno mostrato difetti gravi sia elettrici che meccanici.

Difetti di isolamento elettrico hanno costretto all'arresto frequente dell'impianto e delle relative misure.

Le scatole dei contatti si sono staccate dai moduli. Il vetro di alcuni moduli si è fessurato in vicinanza degli angoli.

Il silicio di alcuni moduli mostra dei forellini.

In seguito ai difetti riscontrati sui moduli dell'impianto TISO la ditta produttrice ha modificato le proprie procedure di controllo e si è dichiarata disposta a sostituire tutti i moduli con un nuovo prodotto.

3.3) Convertitore DC/AC.

Il convertitore statico DC/AC utilizzato nell'impianto è un prodotto ABACUS Controls Inc. (USA). L'apparecchio non ha dato alcun problema.

Caratteristiche del convertitore:

- Prodotto : ABACUS Controls Inc. (USA)
- Modello : 743C-3-200M1
- Gamma di tensione : 160...250 V_{DC}
- Potenza nominale : 4 kW
- Tensione d'uscita : 220 V_{AC}, 50 Hz (monofase)
- Maximum Power Tracking : sì, con modulo pilota.
- Funzionamento su un carico locale : possibile

La figura 2 mostra il rendimento del convertitore in funzione della percentuale della potenza nominale.

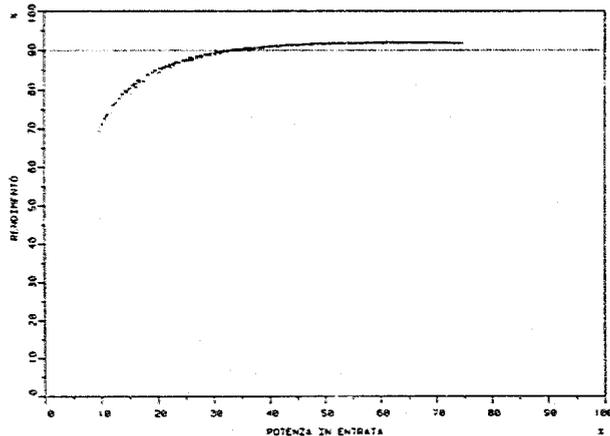


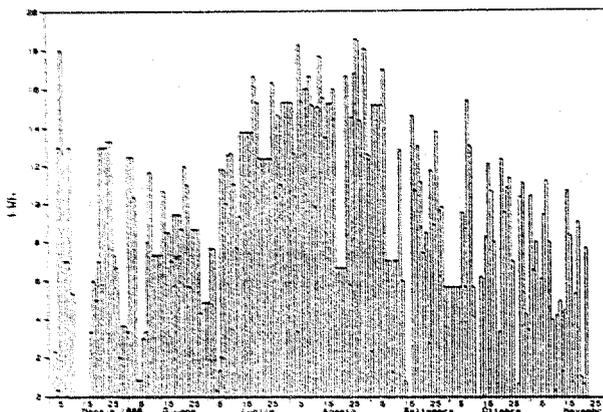
Figura 2:
Rendimento del
convertitore.

3.4) Produzione di energia.

A causa delle difficoltà di cui si è parlato al punto 3.2) la produzione di energia è stata discontinua.

In figura 3 è presentata la produzione giornaliera effettiva registrata da maggio a novembre con l'impianto montato con l'inclinazione fissa di 55°.

Figura 3: Produzione giornaliera d'energia.



4) COLLABORAZIONI INTERNAZIONALI

Il progetto TISO collabora con gli specialisti della comunità europea al centro comune di ricerca di Ispra. Con gli stessi è stato definito un programma sperimentale di misure sistematiche su un campione di moduli amorfi (v. 2.2). Un collaboratore del progetto TISO è membro del EWG/PPM (European Working Group on Photovoltaic Plant Monitoring) e collabora alla definizione dei procedimenti di misura e dei parametri da registrare nei progetti della comunità.

5) PUBBLICAZIONI

M.Camani e al.: TISO:4 kW Amorphous Silicon, Utility Interconnected Power Plant; 8th EC Photovoltaic Solar Energy Conference, Florence, May 1988.

6) CAMPI DI RICERCA

L'affidabilità e la resistenza alle condizioni di lavoro reali dei nuovi componenti fotovoltaici amorfi devono venir provate in impianti pratici che mettano in evidenza pregi e limiti dello stato attuale della tecnica.

Le caratteristiche fisiche dei materiali usati e la loro variazione nel tempo richiedono analisi dettagliate su componenti campione sia in laboratorio che all'aperto.

Le procedure di test concordate con i laboratori ESTI della comunità europea sono un tentativo in questa direzione.

Sono necessari ulteriori sforzi per mettere a punto una metodologia precisa di test e per sviluppare le attrezzature necessarie allo scopo.

7) BIBLIOGRAFIA

- [1] M.Camani e al.: TISO:4 kW Amorphous Silicon, Utility Interconnected Power Plant; 8th EC Photovoltaic Solar Energy Conference, Florence, May 1988.
- [2] M.Camani e al.: Die netzgekoppelte photovoltaische Anlage TISO 15, Bulletin SEV/VSE, Nr.6/1986.

BETRIEBSAUSWERTUNG NETZGEBUNDENER PV-ANLAGEN**Ziel des Projekts:**

Das Projekt hat zum Ziel, die bisherigen Berechnungen über die Energieerträge aus Solarzellenanlagen mittels gemessener Werte an verschiedenen Solarzellenanlagen in verschiedenen klimatischen Gebieten der Schweiz zu vergleichen. Damit wird es möglich sein, die Prognosen über zukünftige Potentialbeiträge aus Solarzellenanlagen auf fundierten Messergebnissen abzustützen.

Gleichzeitig neben diesen reinen Energie-Betragsmessungen werden die Korelationen privater Verbraucher und Erzeuger miteinander verglichen. Damit kann auch eine Aussage über die Korelation zwischen Verbrauch und Erzeugung am Ort gemacht werden, was eine Aussage über die Wertigkeit der erzeugten photovoltaischen Energie zulässt.

Dauer des Projekts: 5. Juli 1988 bis 28. Februar 1991

Beitragsempfänger: Alpha Real AG

Berichterstatter: M.G. Real

Adresse: Feldeggstrasse 89, 8008 Zürich

Telefon: 01/251 54 51

1. Anvisierte Zielpunkte für 1988

Es war vorgesehen, bis Ende 1988 folgende Projekt-Etappenziele zu erreichen:

- Die Definition des Projektprogrammes, inkl. der schriftlichen Zusicherungen der verschiedenen Photovoltaik-Anlagen-Besitzer.
- Evaluation der entsprechenden Datenerfassungs-Systeme, Zusammenstellung der Hard- und Software
- Aufbau des Messdatenerfassungs-Systems, Tests im Labor, Zusammenspiel aller Messketten und -kanäle.
- Installation von fünf Messsystemen in fünf verschiedenen, bestehenden Photovoltaik-Anlagen in verschiedenen klimatischen Gebieten der Schweiz.
- Erste Auswertung über die ersten Versuchsmess-Monate und Ueberprüfung der Mess-ergebnisse.

2. Durchgeführte Arbeiten 1988

Die unter 1. anvisierten Zielpunkte für 1988 wurden aufgrund eines Terminplanes vorgegeben, welcher vorsah, dass anfangs Mai 1988 mit den Projektarbeiten begonnen werden konnte. Gegenüber dem ursprünglich vorgesehenen Zeitplan verschiebt sich das gesamte Programm um drei Monate, da der Auftrag erst im Juli erteilt wurde.

Die Evaluation der Messdaten-Erfassungssysteme erwies sich als zeitraubender als erwartet. Es war geplant, dass die vor Ort installierten Messdatensysteme mittels Telefonleitung ihre Daten an einen Computer am Sitz der Alpha Real AG übertragen sollten. Solche Uebertragungen mittels einem Telefon-Link sind bei Rechnern und PC's bekannt. Leider haben einfache Datenlogger bisher über keine serielle Schnittstellen verfügt, welche einen solchen Modembetrieb zulassen würden.

Das nach eingehender Evaluation ausgewählte Messdaten-Erfassungssystem gestattet die Möglichkeit des Datentransfers mittels Telefon-Link. Da in der Schweiz bisher noch keine solche Anlagen realisiert wurde, ergaben sich erhebliche Anpassungsschwierigkeiten bei der Anwendung der mitgelieferten Software-Pakete. Erschwerend wirkte sich auch aus, dass das Messdaten-Erfassungssystem nicht von einem zentralen Rechner aufgerufen werden konnte, sondern selber nach Mitternacht die Kommunikation herstellen und den Datentransfer bewerkstelligen muss. Dies war notwendig, da die verschiedenen Photovoltaik-Anlagen in privaten Häusern mit nur einer Telefonleitung installiert sind. Um unnötige Immissionen und Telefonanrufe beim Besitzer zu vermeiden, war es deshalb notwendig, dass die Anlage selber die Kommunikation mit dem Hauptrechner herstellen muss.

Die erste erfolgreiche Kommunikation des Messdaten-Erfassungssystems mit dem Zentralrechner erfolgte in einem internen Telefonnetz im Monat Oktober. Aufgrund der positiven Messresultate konnten in der Folge drei Häuser mit Messdaten-Erfassungssystemen installiert werden.

Um die Logistikprobleme der ersten Versuchsanlagen möglichst klein zu halten wurden jene Häuser ausgewählt, welche sich möglichst nahe am Sitz der Alpha Real AG in Zürich befinden. Es waren dies folgende Anlagen:

- 5.0 kW Anlage in Mönchaltorf
- 2.5 kW Anlage in Hinteregg
- 7.5 kW Anlage in Basel.

Noch ausstehend ist die Instrumentation der beiden folgenden Anlagen:

- 2.0 kW Anlage in Locarno
- 1.5 kW Anlage in Davos.

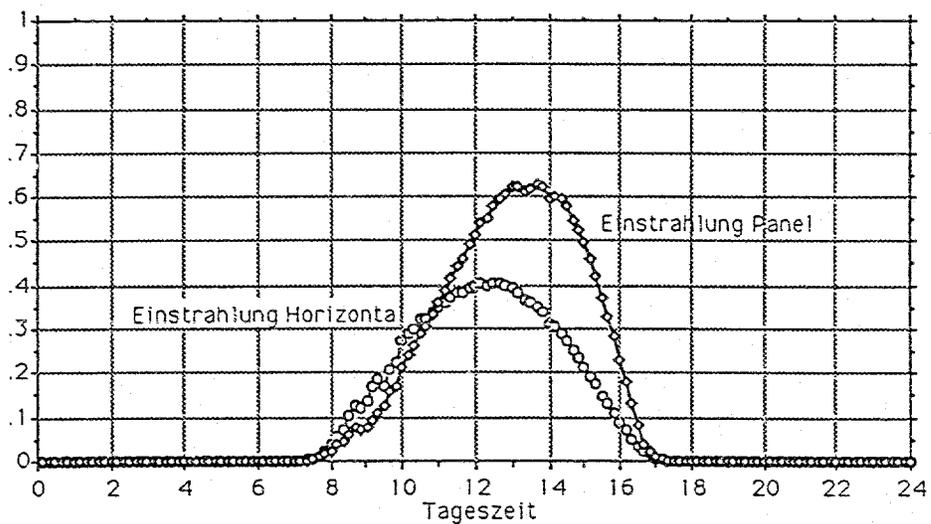
Es war ursprünglich vorgesehen, eine Solarzellenanlage im Welschland auszumessen. Trotz intensiver Rückfragen bei den verschiedenen Stellen und privaten Firmen, welche im Gebiet der Solarenergie-Technik tätig sind, konnten keine netzverbundenen Anlagen im Welschland eruiert werden. Sollte ein solches Projekt in nächster Zeit realisiert werden, wäre es sinnvoll, dieses ebenfalls in das bestehende Messprogramm aufzunehmen und mit einer Messdaten-Erfassungsanlage auszurüsten.

3. Erreichte Ergebnisse in 1988

Es zeigte sich, dass das gewählte Konzept der Datenerfassung und insbesondere auch die Vorstellung der Datenkommunikation mittels Telefonleitung sich als richtig erwiesen hat. Die oben aufgeführten Terminverschiebungen aufgrund einer dreimonatigen Verspätung der Auftragserteilung und einer zusätzlichen dreimonatigen Verschiebung aufgrund technischer nicht vorhersehbarer Schwierigkeiten hat dazu geführt, dass nicht alle Anlagen wie vorgesehen instrumentiert werden konnten. Die bisher registrierten Ergebnisse konnten aus Zeitmangel noch nicht endgültig ausgewertet werden, da die Entwicklung der Auswerte-Software erst nach erfolgreicher Installation der Messdaten-Erfassungssysteme vorgenommen werden kann. Erste Handauswertungen wurden jedoch durchgeführt, um die Funktionsfähigkeit des Messdaten-Erfassungssystems und des Datentransfers zu verifizieren. Die beigelegten Kurven zeigen die Auswertung eines Tages von der 5 kW Solarzellenanlage in Mönchaltorf.

Vergleich Sonneneinstrahlungsrichtungen

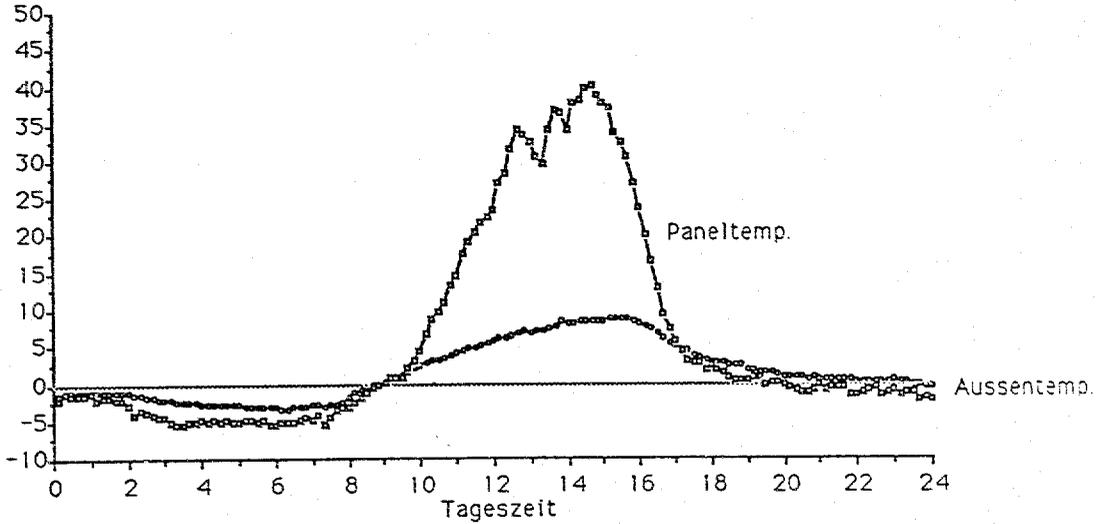
Einstrahlung in kW/m²



Tag 310 5. Nov. 88

Temperaturverlaufe

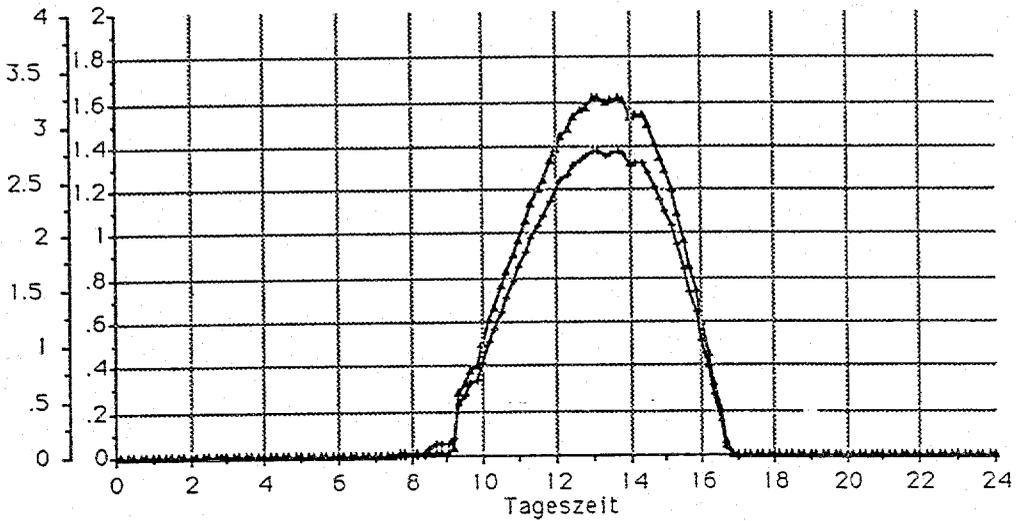
Temperatur



Tag 310 5. Nov. 88

DC - AC Leistungen

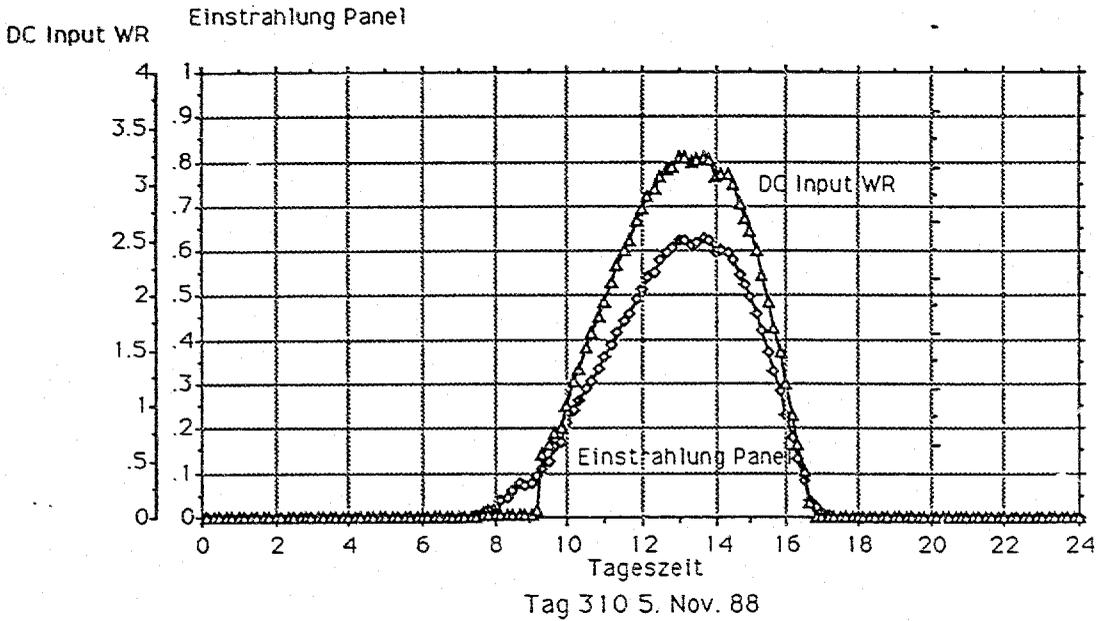
Leistung AC2 Leistung DC



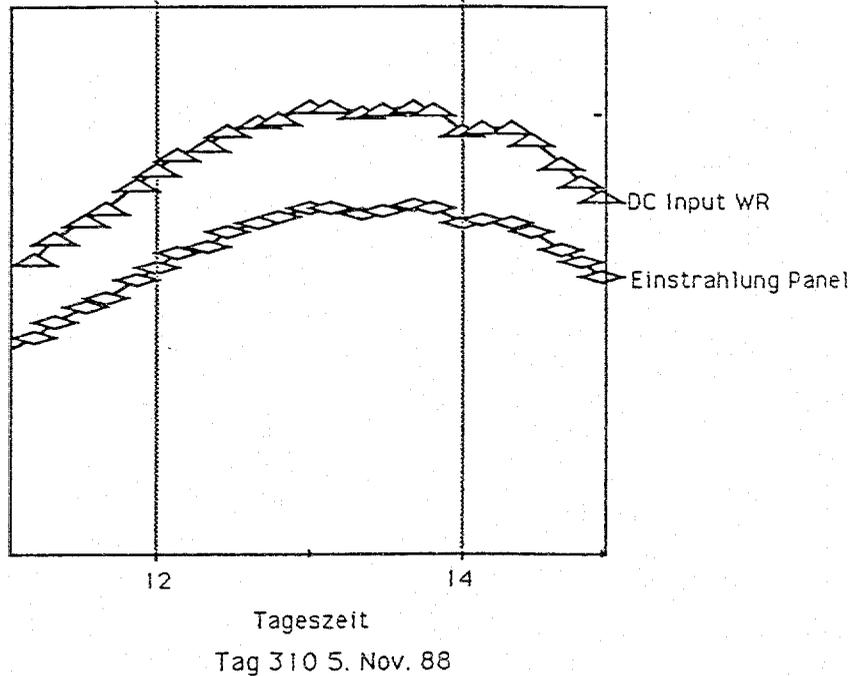
Tag 310 5. Nov. 88

Leistung AC2

Vergleich Einstrahlung mit DC Leistungsproduktion



Ausschnitt von 11 bis 15 Uhr



PV-POTENTIAL IM VERKEHRSNETZ

Ziel des Projektes:

Erarbeitung einer Projektstudie, die das Potential und die Möglichkeiten zur Benützung der Landressourcen im schweizerischen Schienen- und Autobahnnetz zum Bau von Photovoltaiknetzverbundanlagen auch in Kombination mit Schallschutzmassnahmen aufzeigt.

Dauer des Projektes: Februar 1987 bis Dezember 1989

Beitragsempfänger: TNC Consulting, Unternehmens- & Energieberatung
Berichterstatter: Thomas Nordmann, Geschäftsführer TNC
Adresse: Alexanderstrasse 18, 7000 Chur
Telefon: 081-22 07 53 Fax: 081 22 61 30

1. Anvisierte Zielpunkte für 1988

Die Machbarkeitsstudie soll das Potential und die Realisierbarkeit von grösseren PV-Netzverbundanlagen unter Nutzung der vorhandenen Landressourcen entlang dem schweizerischen Nationalstrassen- und dem Schienennetz aufzeigen. Die Studie wurde 1988 abgeschlossen (exkl. Messkampagne).

2. Durchgeführte Arbeiten 1988

Unter anderem wurden folgende Teilgebiete bearbeitet:

- Ein schweizerischer Flächenkataster des Autobahn- und Schienennetzes wurde erstellt und nach den besonderen Bedürfnissen der Photovoltaiknutzung qualitativ und quantitativ ausgewertet.
- In der Feldmesskampagne wurden insgesamt fünf automatische PV-Messstationen in einem repräsentativen Nord/Süd-Alpenquerschnitt von Chur bis in die Magadinoebene aufgebaut und seit Januar 1988 betrieben. Dabei wurden wichtige Fragestellungen messtechnisch überprüft:
 - die Voraussagegenauigkeit des Standort-Evaluationsverfahren und dessen Validierung;
 - Vergleiche der Resultate der Computersimulation mit den Resultaten der Feldmesskampagne im Winter 88 und den Strahlungsmessdaten der Schweizerischen Meteorologischen Anstalt SMA;
 - der Einfluss der Panelverschmutzung auf die elektrische Leistung der PV-Panels;
 - der Einfluss der Panelverschmutzung auf die Lebenserwartung der Anlagen,
 - das elektrische und thermische Betriebsverhalten von 4 möglichen Panelfabrikaten aus USA, BRD und Japan;
- Ein **Immissionsmessprogramm** zur messtechnischen Ueberprüfung der speziellen Verhältnisse entlang von Verkehrsnetzen wird in Zusammenarbeit mit der EMPA Dübendorf durchgeführt. Dieses Programm wird in Kombination mit dem NABEL Messprogramm ausgewertet und dauert noch an.
- In der **PV-Teilstudie** wurden die spezifischen technischen Aspekte für 100 kW PV Kraftwerkanlagen entlang von Nationalstrassen und dem Schienennetz untersucht.

3. Erreichte Ergebnisse in 1988

Die Projektstudie kommt zum Schluss, dass in der Schweiz entlang den Autobahnen (zum Teil auf den Lärmschutzwänden) und auf den zukünftigen Lärmschutz-

einrichtungen der Eisenbahn alleine nur im Alpenraum bereits kurzfristig Photovoltaik-Anlagen zur Erzeugung von Solarelektrizität mit einer elektrischen Leistung von rund 45 MW und einer Jahresproduktion von 65'000 MWh (davon mind. 36% im Winterhalbjahr) errichtet werden könnten. Das technische und das theoretische Potential sind noch wesentlich grösser. (Vergl. Tab.1) Durch die Integration von Photovoltaikanlagen in das Verkehrsnetz kann die Problematik des hohen Landnutzungsfaktors von PV Anlagen überwunden werden. Das technische Know how zur Erstellung solcher Anlagen ist in der Schweiz vorhanden. Aesthetische Probleme, Blendwirkung und Verschmutzung der Solarzellen stellen keine ernsthaften Hindernisse für die Realisierung dar. Bei der Materialwahl der Panelrahmenkonstruktion müssen besondere Anforderungen erfüllt werden. Die Kosten für die so erzeugten und ins allgemeine Stromnetz eingespeiseten Kilowattstunden liegen heute (1988) bei ca. Fr. 1.40. Aufgrund der voraussehbaren technischen Weiterentwicklung können diese bis zum Jahr 2000 unter 50 Rp. pro Kilowattstunde gesenkt werden.

Tabelle Nr.1 Gesamtpotential PV Anlagen im schweizerischen Verkehrsnetz

	Quadrant ")	a Theoretisches Potential **)			b Technisches Potential ***) = 50% von a, incl. N/S Strecken			c. Heutiges Potential ****) = 6% von a, nur O/W & gute Standorte		
		[km]	[m ²]	[MWp]	[km]	[m ²]	[MWp]	[km]	[m ²]	[MWp]
Schienennetz	A*)	737	3'832'400	517	368.5	1'916'200	259	44.2	229'944	31
	B*)	369	1'918'800	259	184.5	959'400	130	22.1	115'128	16
	C*)	485	2'522'000	340	242.5	1'261'000	170	29.1	151'320	20
	D*)	1'425	7'410'000	1'000	712.5	3'705'000	500	85.5	444'600	60
Σ Schienennetz	A...D	3'016	15'683'200	2'117	1508	7'841'600	1'059	181.0	940'992	127
Nationalstrassen	A*)	330	1'716'000	232	165	858'000	116	19.8	102'960	14
	B*)	158	821'600	111	79	410'800	55	9.5	49'296	7
	C*)	158	821'600	111	79	410'800	55	9.5	49'296	7
	D*)	621	3'229'200	436	310.5	1'614'600	218	37.3	193'752	26
Σ Nationalstrassen	A...D	1'267	6'588'400	889	633.5	3'294'200	445	76.0	395'304	53
Total [MWp]	A*)			749			375			45
	B*)			370			185			22
	C*)			451			226			27
	D*)			1'436			718			86
Σ Total [MWp]	A...D			3'007			1'503			180
Jahresproduktion [MWh/a]	A*)			1'086'099			543'050			65'166
	B*)			536'433			268'217			32'186
	C*)			451'386			225'693			27'083
	D*)			1'436'292			718'146			86'178
Σ Jahresproduktion [MWh/a]	A...D			3'510'211			1'755'105			210'613
In % von Strom-Verbrauch 1987 =		43'591'000	MWh/a	8.1%			4.0%			0.5%

Legenden:

- * Aufteilung der Schweiz in 4 Nutzungsquadranten A-D vergl. CREDA Bericht 1987
- ** Multiplizierung aller technischen Möglichkeiten, ohne Berücksichtigung der heutigen technischen Grenzen und ästhetischen Einschränkungen.
- *** Standorte in ost/west und nord/süd orientierten Strassenverläufen, wo die Realisierung nach Erarbeitung des entsprechenden Know hows denkbar ist.
- **** Optimale Standorte mit ost/west orientierten Strassenverläufen, wo die Realisierung ohne weitere Erarbeitung von technischem Know how möglich ist.

Integration in bestehende Bauwerke, insbesondere Lärmschutzwände

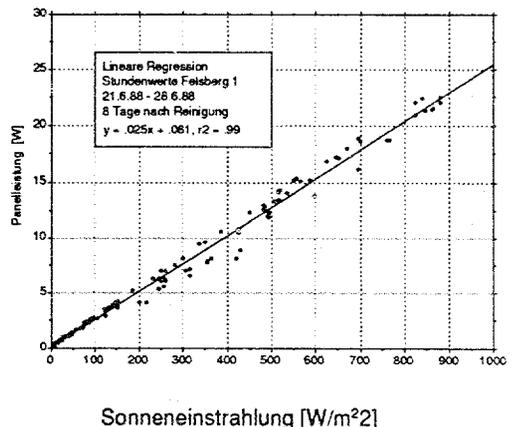
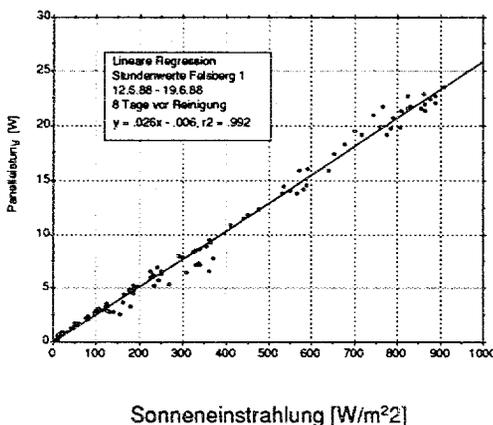
• Es entsteht keine ästhetische Belästigung, wenn bestehende Schallschutzwände mit Photovoltaik-Installationen ergänzt werden. Die Integration von PV-Panels auf bestehenden oder neuen Schallschutzwänden konnte in der Praxis demonstriert werden. Auf der Höhe Felsberg wurde eine bestehende Schallschutzwand der N13 mit Photopaneln ergänzt und im Rahmen der Feldmesskampagne versuchsweise in Betrieb genommen. Mit Hilfe von Fotomontagen kann der Eindruck solcher Gesamtbauwerke optisch gezeigt werden.

Panelverschmutzung entlang der Autobahnen

• Der optisch gut sichtbare Staubschlag auf den entlang der Autobahn in Betrieb genommenen Photopaneln verursachte keine relevante Beeinträchtigung der elektrischen Zellenleistung. Eine Veränderung des Wirkungsgrades der Zellen konnte im Rahmen der Messgenauigkeit ($\pm 5\%$) nicht nachgewiesen werden. Analoge Erkenntnisse liegen bereits seit über 10 Jahren für die thermischen Solarkollektoren vor, Fig. 1 + 2.

• Der Reinigungseffekt durch Regen und Schnee ergibt eine ausreichende Selbstreinigung der Panelkonstruktionen. Zwar wäre technisch eine periodische mechanische Reinigung von Solarpanels entlang den Autobahnen, ähnlich der Reinigung von Signaleinrichtungen und Beleuchtungskörpern, durch die vorhandenen Unterhaltsdienste denkbar.

Figur 1 und 2: Auswertebispiel Messung der Panelleistung für je 8 Tage in Abhängigkeit der Globalstrahlung vor und nach Reinigung nach 6 Wochen Verschmutzung (Die lineare Regressionen der Messdaten zeigt keinen Unterschied!)



Beeinträchtigung der Photopaneln durch Immissionen

• Der massive Einsatz von Streusalz für die Schwarzräumung der Autobahnen im Winter stellt das grösste Gefährdungspotential der PV-Paneln und der Aufständerrung dar. Unter gewissen Bedingungen können dadurch normale Panelkonstruktionen geschädigt werden. Laboruntersuchungen der EMPA Dübendorf zeigen hier an normalen PV-Rahmenkonstruktionen Schwachstellen.

• Prüfnormen für erhöhte Anforderungen an die Materialwahl und Fertigung von PV Paneln bestehen in den USA bei der «US Cost Guard» für den maritimen PV Einsatz z.B. in Leuchtbojen. Die Erfüllung der entsprechenden verschärften Norm für die Rahmenkonstruktion der PV Panel scheint erforderlich.

Standortevaluation

• Das für die Untersuchung entwickelte Standortevaluationsverfahren kann die an einem bestimmten Ort zu erwartende Stromproduktion mit einer Genauigkeit von $\pm 15\%$ für ein mittleres meteorologisches Jahr voraussagen.

Wirtschaftlichkeit

Eine Parameterstudie zeigt eine sehr grosse Bandbreite zu erwartender Stromgestehungskosten (vergleiche Tabelle 2).

Tabelle 2: Parameterstudie Stromgestehungskosten für PV-Bauprogramm 1988 bis 2000

Nr.	Anlage	Bau						Finanzierung				Betrieb				
		PV-Panel Inverter		Uebriges		Total	Kapitalkosten	Abschreibung	Annuitätzine	Annuität	Unterhaltkosten	Total Jahreskosten	Produktion		Gestehungs-Preis	
		[Fr/W]	[Fr/W]	[Fr/kW]	[% Total]	[Fr/100kW]	[%]	[a]	[%a]	[Fr/a]	[Fr/a]	[Fr/a]	[kWh/a]	[kWh/a]	[Fr/kWh]	
1	-heute- 88	12,00	3,00	10,000	40%	2,500,000	125%	5,0%	25	7,10%	177,381	20,000	197,381	1,400	140,000	1,41
2	Fels 89	10,00	3,00	7,000	35%	2,000,000	100%	5,0%	25	7,10%	141,905	20,000	161,905	1,400	140,000	1,16
3	Fels 89-	9,00	3,00	6,462	35%	1,846,154	92%	3,0%	30	5,10%	94,189	20,000	114,189	1,400	140,000	0,82
4	Ti SBB 90	8,00	2,50	5,654	35%	1,615,385	81%	5,0%	25	7,10%	114,616	15,000	129,616	1,500	150,000	0,86
5	Ti SBB 90-	7,00	2,50	5,115	35%	1,461,538	73%	3,0%	30	5,10%	74,567	15,000	89,567	1,500	150,000	0,60
6	3. Anlage 92	5,00	2,00	3,769	35%	1,078,923	43%	5,0%	25	7,10%	76,410	10,000	86,410	1,450	145,000	0,60
7	3. Anlage 92-	4,50	2,00	3,500	35%	1,000,000	40%	3,0%	30	5,10%	51,019	10,000	61,019	1,450	145,000	0,42
8	4. Anlage 94	4,00	1,50	2,962	35%	846,154	34%	5,0%	25	7,10%	60,037	7,500	67,537	1,450	145,000	0,47
9	4. Anlage 94-	3,50	1,50	2,692	35%	769,231	31%	3,0%	30	5,10%	39,245	7,500	46,745	1,450	145,000	0,32
10	Stand2000	3,00	1,00	2,154	35%	615,385	25%	5,0%	25	7,10%	43,663	5,000	48,663	1,500	150,000	0,32
11	Stand2000-	2,00	1,00	1,615	35%	461,538	18%	3,0%	30	5,10%	23,547	5,000	28,547	1,500	150,000	0,19

Legenden:

- 1 = Kostenparameter, wenn 1988 gebaut würde
- 2 = Kostenparameter für den Bau der 1. PV-Anlage, N13 Graubünden 1989
- 3 = Kostenparameter für den Bau der 1. PV-Anlage 1989, mit einer Abschreibungszeit von 30 Jahren und niedrigeren Kapitalkosten von 3%
- 4 = Kostenparameter für die 2. 100 kW Anlage, SBB im Tessin 1990
- 5 = Kostenparameter für den Bau der 2. PV-Anlage 1990, mit einer Abschreibungszeit von 30 Jahren und niedrigeren Kapitalkosten von 3%

- 6 = Kostenparameter für den Bau der 3. PV-Anlage 1992
- 7 = Kostenparameter für den Bau der 3. PV-Anlage 1992, mit einer Abschreibungszeit von 30 Jahren und niedrigeren Kapitalkosten von 3%
- 8 = Kostenparameter für die 4. 100 kW Anlage 1994
- 9 = Kostenparameter für den Bau der 4. PV-Anlage 1994, mit einer Abschreibungszeit von 30 Jahren und niedrigeren Kapitalkosten von 3%
- 10 = Zielwerte für die Wirtschaftlichkeit von PV Netzverbundanlagen ab dem Jahr 2000
- 11 = Zielwerte für die Wirtschaftlichkeit von PV Netzverbundanlagen ab dem Jahr 2000, mit einer Abschreibungszeit von 30 Jahren und niedrigeren Kapitalkosten von 3%

Diskussion der Kombination Netzverbundanlagen und Verkehrsnetz; Wirtschaftlichkeit und Rationalisierungspotential

Photovoltaik-Installationen im Verkehrsnetz haben ein grösseres Rationalisierungspotential zur Senkung der Bau- und Betriebskosten. Dies aus folgenden Gründen:

- Es handelt sich um gleichartige Bauwerke, die den Einsatz von normierten Montage- Befestigungs- und Integrationselementen begünstigen.
- Die Bauwerke sind verkehrstechnisch erschlossen. Die Installation und der Unterhalt der PV-Panels, auf Schallschutzwänden, kann direkt von entsprechenden Fahrzeugen aus erfolgen.
- Für die Planung und den Bau solcher Anlagen bestehen eingespielte Teams von Ingenieurgruppen und Behörden, die heut für den Bau und Unterhalt des Strassennetzes zuständig sind.
- Das benötigte Land befindet sich im Besitz des Bundes und der Kantone und kann somit «ohne Kostenfolge» ein zweites Mal genutzt werden.
- Für den Betrieb und den technischen Unterhalt dieser Anlagen steht rund um die Uhr ein gut ausgerüsteter Unterhaltsdienst zur Verfügung.
- Die engmaschige Erschliessung des Stromnetzes entlang der Verkehrsträger erlaubt kurze Ueber- und Zuleitungsinstallationen an das bestehende Netz.

5. Veröffentlichungen

- 6. internationales Sonnenforum vom 30.8. - 2.9.88 in Berlin.
- Zusammenfassender Schlussbericht an das BEW vom September 88.

6. Neue Forschungsgebiete

Projektgemäss soll zur Kostenreduktion nach der Realisierung der ersten 100 kW Anlage im Abstand von 2 Jahren 3 mal eine weitere Anlage gebaut werden.

O F E N

PROJETS DE RECHERCHE ÉNERGÉTIQUE 1988

B E W

ENERGIE - FORSCHUNGS - PROJEKTE 1988

PRÉDICTIONS ÉNERGÉTIQUES

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 1989

Mandataire : Le Laboratoire d'électromécanique LEME, EPFL

Rapporteur : J-Pierre LUDWIG

Adresse : EI/Ecublens 1015 LAUSANNE 021 693'26'95

Téléphone :

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 1988

Pour le comité de rédaction, l'objectif 1988 était l'avancement d'une partie du manuel (table des matières, têtes de chapitres, ainsi que l'étude de différents problèmes (corrélations entre site, simulation numérique, coût financier, ...).

Le Laboratoire d'Electromécanique, membre du comité de rédaction, s'était fixé comme objectifs pour l'année 1988 :

- mesures sur sites de différentes installations éoliennes
- traitement des données du système d'acquisition de mesures
- simulation statique
- simulation dynamique
- simulation dynamique transitoire
- comparaison calcul-mesure
- extension à d'autres systèmes décentralisés de production d'énergie
- mesure de grandeurs transitoires d'une installation éolienne

2. Travaux effectués en 1988

- 4 installations éoliennes ont été mesurées à l'aide d'un système d'acquisition de données. Ces installations sont :

- Langenbruck
- Martigny
- Chasseral
- Hallau

Les grandeurs suivantes ont été mesurées et enregistrées :

- tension - courant - puissance - fréquence - vitesse du vent - direction

Une moyenne de toutes ces grandeurs est effectuée toutes les 10 secondes et ensuite mémorisée.

- Les données provenant du système d'acquisition ont été mises sous forme de fichiers, pour être appliquées et comparées aux programmes de simulation.

- Le développement de programmes de simulation statique, dynamique et transitoire pour tous les types d'éoliennes s'est poursuivi.

- Des mesures d'un autre système de production d'énergie électrique couplé à une éolienne ont été effectuées à Martigny (moteur thermique fonctionnant au biogaz).

- Un logiciel simulant l'installation complète de Martigny en îlot est en développement

- Une éolienne de 1.6 kW est en cours de réalisation. Son montage simple permettra en outre d'estimer le potentiel éolien d'un site d'une façon beaucoup plus précise.

3. Résultats obtenus

- Mesures à Martigny

mars 1988

(énergie négative =
démarrage de l'éolienne)

Registre %an	V.vent .m/s	P.élect. .kW	E.élect. %	E elect.c. kWh
6.23	0.	0.00	0.0	0.
14.18	1.	-1.00	-0.9	-105.
10.46	2.	0.00	0.0	-105.
8.56	3.	0.00	0.0	-105.
9.12	4.	0.00	0.0	-105.
8.80	5.	6.00	3.4	288.
10.06	6.	19.00	12.3	1709.
9.81	7.	17.00	10.7	2950.
6.97	8.	33.00	14.8	4661.
7.01	9.	45.00	20.3	7008.
5.60	10.	62.00	22.4	9592.
1.70	11.	69.00	7.6	10466.
0.81	12.	89.00	4.6	11000.
0.43	13.	121.00	3.3	11383.
0.16	14.	140.00	1.4	11546.
0.09	15.	0.00	0.0	11546.
0.02	16.	0.00	0.0	11546.

Total des heures mesurées : 747. (8.5 %)
 Puissance moyenne théorique : 119. W/m²
 Puissance moyenne électrique : 15.52 kW
 Vitesse moyenne du vent (0 m/s) : 5.3 m/s
 Vitesse moyenne du vent : 5.7 m/s
 Coefficient d'utilisation : 9.7 %

Les différences entre les mesures et la simulation
sont expliqués par :

- les vitesses de vent correspondant aux états de marche de l'éolienne sont encore en phase de réglage
- dans le programme de simulation le rendement de l'éolienne en fonction du chiffre de vitesse est identique pour toutes les vitesses de vent, contrairement à la réalité (p.4)

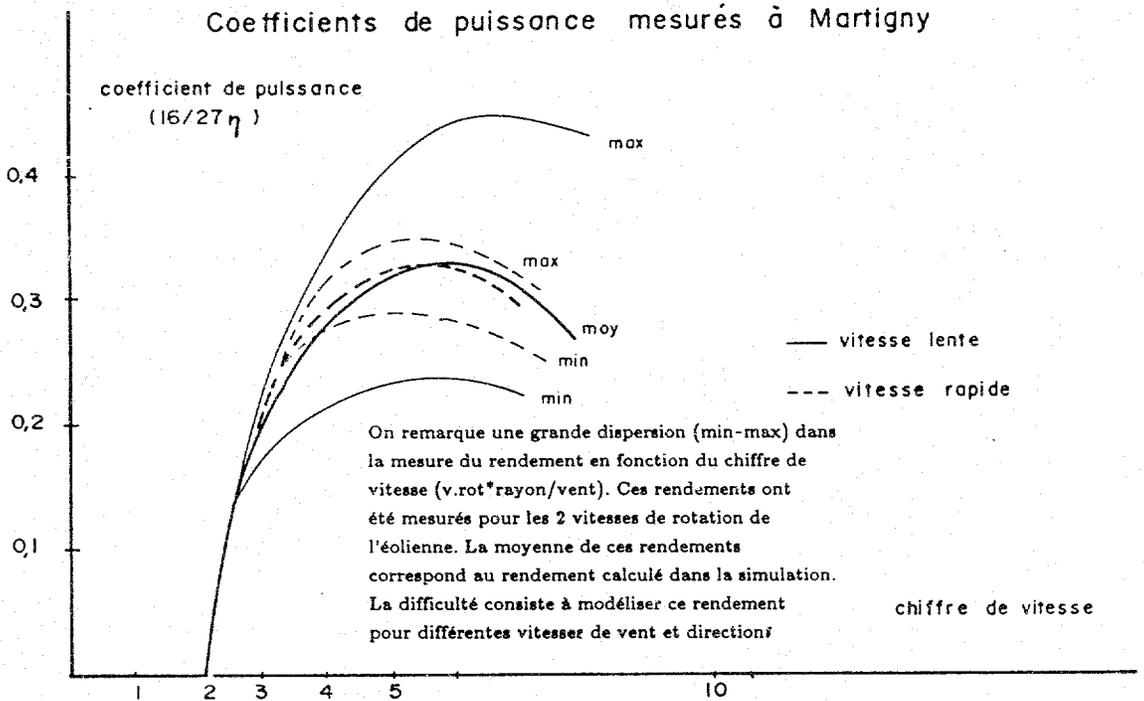
- Simulation statique

le vent a été mesuré
au mois de mars 1988

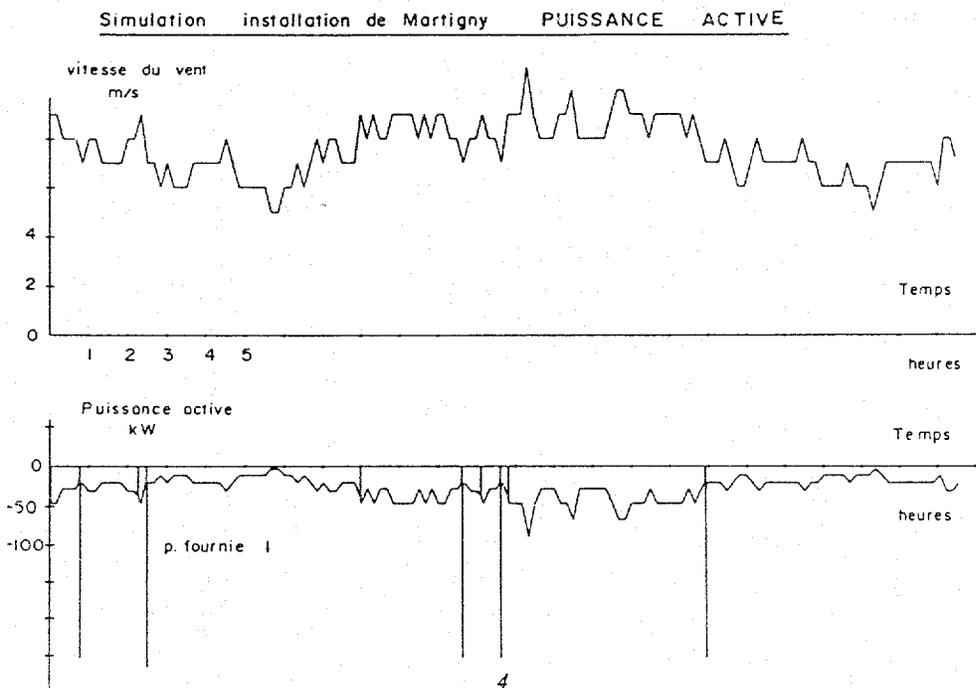
Registre %mois	V.vent .m/s	P.élect. .kW	E.élect. %	E elect.c. kWh
6.20	0.	0.00	0.0	0.
14.12	1.	0.00	0.0	0.
10.41	2.	0.00	0.0	0.
8.51	3.	0.00	0.0	0.
9.07	4.	5.26	2.5	355.
8.75	5.	9.72	4.4	988.
10.54	6.	16.21	8.8	2261.
9.75	7.	25.18	12.7	4090.
6.93	8.	37.04	13.3	6001.
6.97	9.	52.26	18.8	8714.
5.57	10.	71.31	20.5	11670.
1.69	11.	94.65	8.2	12858.
0.80	12.	122.80	5.1	13592.
0.43	13.	156.26	3.5	14090.
0.16	14.	168.00	1.4	14291.
0.08	15.	168.00	0.7	14391.
0.02	16.	168.00	0.2	14417.

Total des heures mesurées : 747. (8.5 %)
 Puissance moyenne théorique : 119. W/m²
 Puissance moyenne électrique : 19.30 kW
 Vitesse moyenne du vent (0 m/s) : 5.3 m/s
 Vitesse moyenne du vent : 5.7 m/s
 Coefficient d'utilisation : 12.1 %

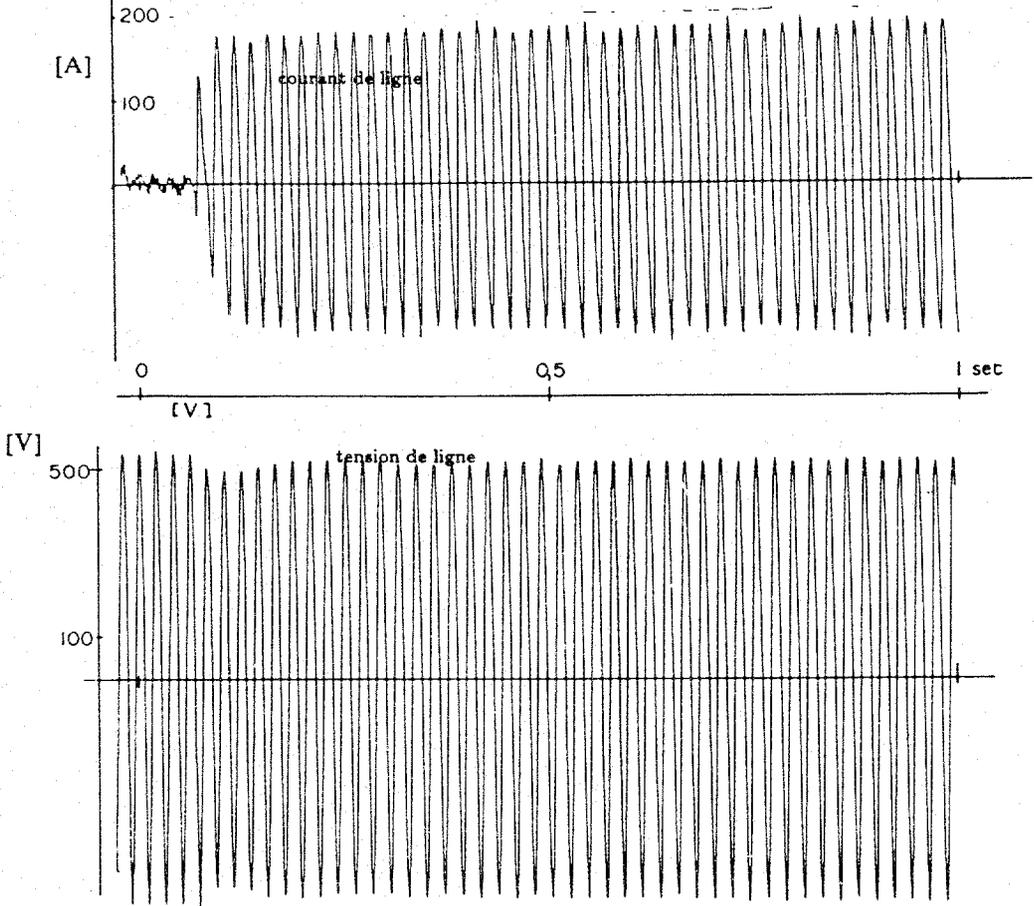
- Détermination par mesures du rendement d'une éolienne



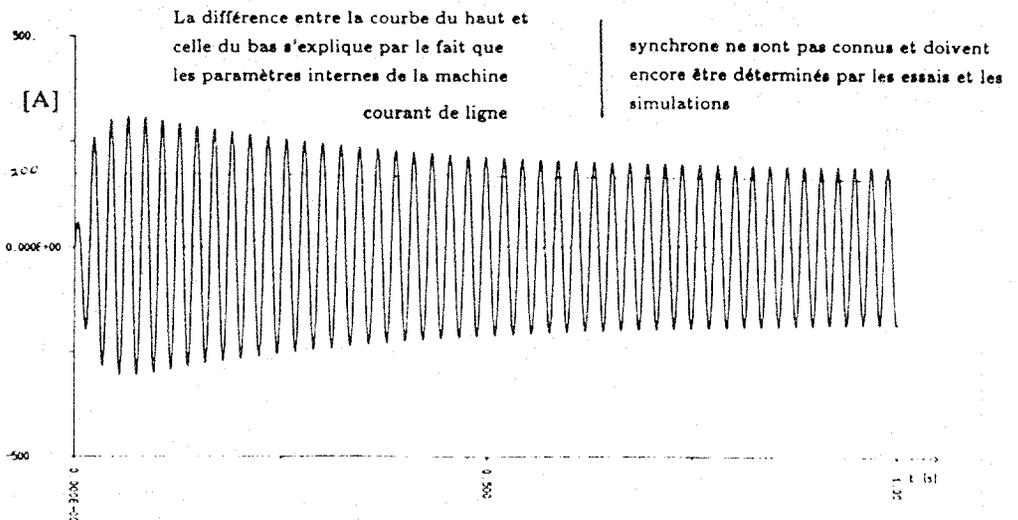
- Simulation dynamique d'une installation éolienne



- Mesures dynamiques et transitoires d'une installation éolienne-biogaz



- Simulation dynamique et transitoire d'une installation éolienne-biogaz



- Commentaires

- page 3 comparaison entre une simulation statique et des mesures sur le site. Le calcul donne une énergie supérieure, ceci est dû à la modélisation de l'éolienne (rendement voir p.4)
- page 4 rendement de l'éolienne de Martigny mesurée pendant un mois. Cette figure met en évidence l'aspect non laminaire du vent
- page 4 simulation dynamique de l'installation de Martigny. (vent, puissance active)
- page 5 mesures dynamiques et transitoires du système 'biogaz' de Martigny. Démarrage en ilot de l'éolienne.
- page 5 simulation dynamique et transitoire du système 'biogaz' de Martigny. Démarrage en ilot de l'éolienne.

4. Projets dans le cadre d'une collaboration internationale

Les programmes de simulation sont et seront confrontés aux mesures effectuées sur différents sites et installations.

Ainsi, après cette validation ils pourront être utilisés pour l'estimation énergétique d'autres sites.

La validation est faite de façon très critique, puisque c'est à la fois les régimes statiques, dynamiques et transitoires qui sont étudiés.

5. Publications

- Simulation dynamique et transitoire d'une éolienne - machine asynchrone-réseau
Rapport interne J. El-Hayek 1988
- Etude du comportement transitoire de l'installation éolienne de Martigny
Projet de semestre P. Affolter / J. El-Hayek
- Dimensionnement d'une éolienne de 1.6 kW
Projet de semestre D. Risoud / J.P. Ludwig
- Etude du comportement en ilot d'un système éolien-biogaz
Diplôme de fin d'étude P. Affolter / J. El-Hayek / J.P. Ludwig déc.1988
- Etude du comportement et du réglage d'une installation éolienne de 1.6 kW
Diplôme de fin d'étude D. Risoud / J.P. Ludwig déc.1988

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.
- Essais et réalisation de petites installations éoliennes facilement implantables.
- Etude et réalisation d'un système d'acquisition de données pour petites installations.
- Elaboration d'un logiciel de gestion de production et de consommation pour réseaux séparés.
- Comportement dynamique et transitoire de systèmes autonomes de production d'énergie électrique.

Prof. M. Jufér

J.P. Ludwig

J. El Hayek

MODELLIERUNG VON STANDORTEN FÜR WINDANLAGEN

Ziel des Projekts: Aufarbeitung von 2 Teilbereichen zum geplanten
Windenergiehandbuch Schweiz:

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: voraussichtlich
bis Ende 1989

Beitragsempfänger: METEOTEST
Berichterstatter: Dr. S.Kunz
Adresse: Fabrikstrasse 29 a, 3012 Bern
Telephon: 031 23 74 17

1. Zielsetzung

- Auswertung der Windverhältnisse an 10 ausgewählten Referenzstationen des automatischen Netzes der Schweizerischen Meteorologischen Anstalt (ANETZ / SMA).
- Auswertung der 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 und den nordwestlichen Voralpen.

2. Durchgeführte Arbeiten

Im geplanten Windenergiehandbuch Schweiz wird eine Auswahl von 10 Wetterstationen der Schweiz detailliert in Bezug auf ihre Windverhältnisse beschrieben. Diese Referenzstationen wurden definitiv bestimmt und die Messdaten dazu aufgearbeitet. Es wurden erste Resultate einer standardisierten Standortbeschreibung erarbeitet.

Im Raume Martigny ist während eines Jahres in einem dichten Netz von 5 Stationen der Wind gemessen worden (Roten 1988). Anhand dieser Messungen konnte geprüft werden, ob mit einem einfachen statistischen Verfahren die mittleren Windverhältnisse eines Ortes mit kurzfristigen Messungen lokal extrapolierbar sind.

Eine weitere Untersuchung zur Voraussage der Windverhältnisse erfolgte mit Stationen der SMA im westlichen Jura (La Dôle, Chasseral) und in den nordwestlichen Voralpen (Moléson, Napf). Zusammen mit den Daten aerologischer Sondierungen (Payerne) wurde die Kopplung der Windverhältnisse analysiert und in Hinblick auf regionale Extrapolationsmöglichkeit beschrieben.

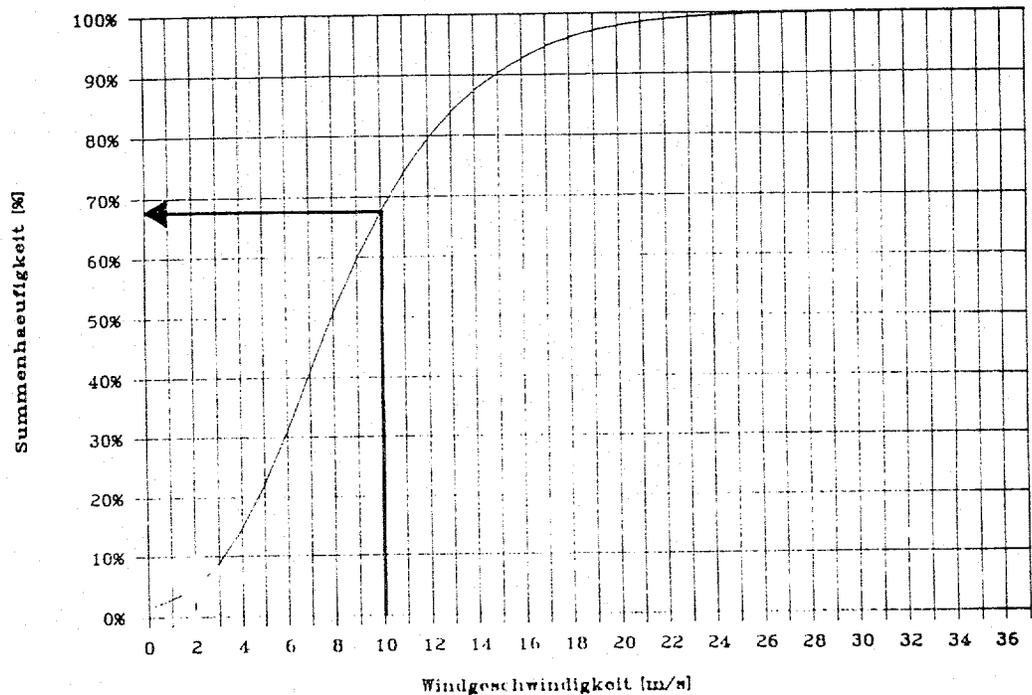
3. Ergebnisse

3.1. Auswertungen von Referenzstationen

Die Auswertungen der Daten an den Referenzstationen sollen dem Anwender in knapper und übersichtlicher Form die wichtigsten Informationen präsentieren. Anhand zweier Grafiken zur Gipfelstation La Dôle im Jura (beste gemessene Windverhältnisse in der Schweiz) sei dies illustriert.

Figur 1 zeigt eine einfache Häufigkeitsauswertung der Windgeschwindigkeit, aus welcher sich die mittlere Jahresleistung einer Windenergieanlage berechnen lässt.

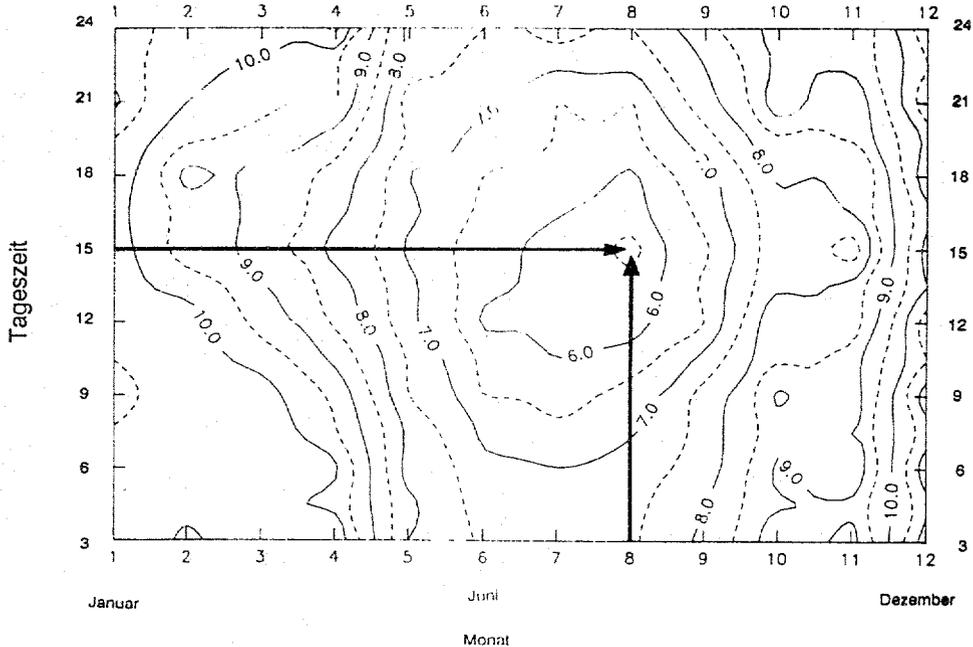
Figur 1: Summenhäufigkeitsverteilung der Windgeschwindigkeit (Stundenmittel) auf dem Juragipfel La Dôle (1670m.ü.M; 1981-1985).
Lesebeispiel: 68% der Stundenmittel der Windgeschwindigkeit liegen unter 10m/s, 32% darüber



Figur 2 gibt Auskunft über die zeitliche Verfügbarkeit der Windenergie.

Figur 2: Mittlere stündliche Windgeschwindigkeit je Monat auf dem Juragipfel La Dôle (1670m.ü.M; 1981–1985).

Lesebeispiel: Im August-Nachmittag liegt die mittlere Windgeschwindigkeit bei 5.5m/s. Diesem Minimum stehen im Winter mittlere Stundenwerte von über 10m/s gegenüber. (NB. dieser Faktor 1:2 bedeutet energetisch ca. einen Faktor 1:5!)



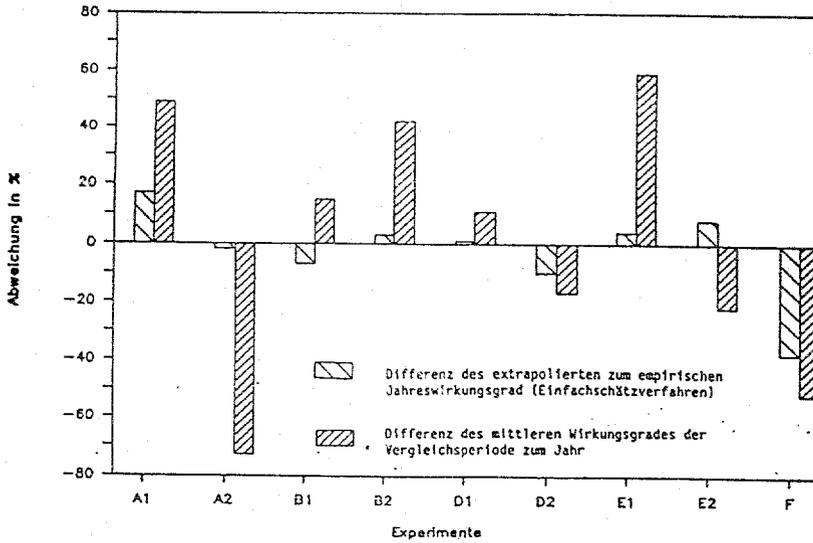
3.2. Extrapolationen im lokalen Bereich

In neuen "Experimenten" wurde getestet, inwiefern die langfristigen Windverhältnisse (Jahre) aus einer kurzfristigen Messung (Monate) unter Zuhilfenahme einer benachbarten Referenzstation (max. 2km Distanz) geschätzt werden können. Figur 2 ist eine Resultateübersicht zu diesen Extrapolations-Experimenten. Die Windverhältnisse sind dabei direkt im Anlagewirkungsgrade umgesetzt. Die Experimente zeigen generell gute Ergebnisse mit Extrapolationsfehlern, welche generell nicht über $\pm 10\%$ liegen (Experiment F ist als Ausreisser zu betrachten).

8.2

Figur 3: Neun Extrapolationen langfristiger mittlerer Anlagewirkungsgrade im lokalen Bereich (Raum Martigny). Die Ordinate zeigt die Abweichung vom langjährigen mittleren Wirkungsgrad.

Interpretationshilfe: Die weit schraffierten Balken zeigen die Güte der Extrapolation; die eng schraffierten Balken die durch die Extrapolation zu "erklärenden" Differenzen. Die Differenz zwischen den beiden Balken je Experiment zeigt, dass die Extrapolation eine entscheidende Verbesserung zur Abschätzung der mittleren Wirkungsgrade bringt.

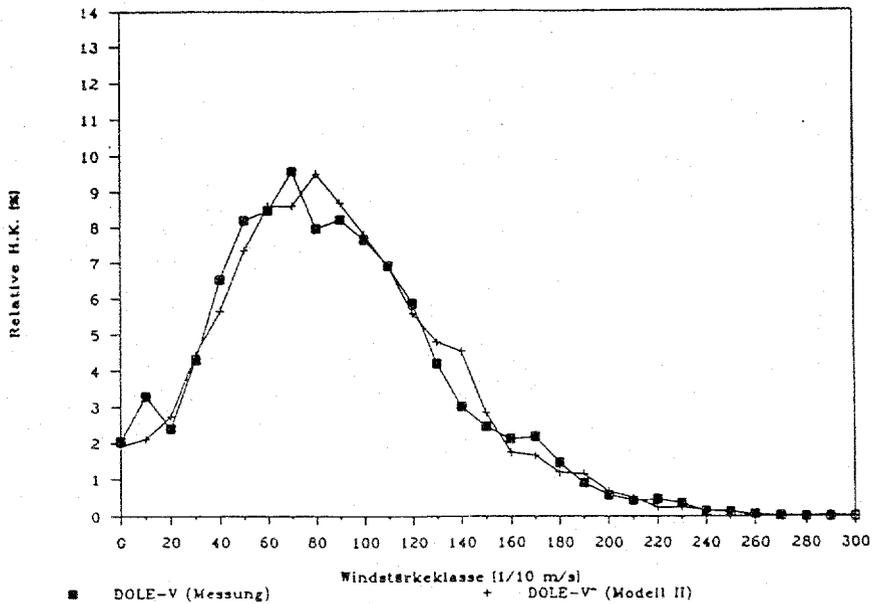


3.3. Extrapolationen im regionalen Bereich

In Zusammenhang mit der Uni Bern (PFEIFFER 1988) wurden Datenanalysen um Möglichkeiten der statistischen Extrapolation anhand der Stationen Chasseral und La Dôle untersucht.

Ein Modell zur Erzeugung von Stundenwerten mittels multipler Regression ergab dabei gute Resultate.

Figur 4: Häufigkeitsverteilung der Windgeschwindigkeit auf La Dôle (Stichprobe aus den Jahren 1981 – 1985). Vergleich zwischen Messung (■) und Modell (+).



4. Internationale Kontakte

Durch Projekt IEA VIII A.

5. Publikationen (keine)

TYPOLOGIE DES SITES PROPICES

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

Adresse : Institut de Géographie de Fribourg
Férolles

1700 FRIBOURG

Téléphone : 037 / 82 63 11

1 / OBJECTIFS VISES POUR 1988

Les objectifs visés pour 1988 comportaient deux aspects, le premier étant de poursuivre la réalisation des dossiers concernant chacune des stations retenues, en apportant à notre exemple esquissé en fin d'année 1987 les améliorations suggérées par nos partenaires, le deuxième visant la mise au point de notre contribution à l'ouvrage de vulgarisation devant accompagner l'ensemble des travaux.

2 / TRAVAUX EFFECTUES EN 1988

A. Au cours de cette année 1988, nous avons poursuivi la mise au point de l'ouvrage de base présentant les différentes stations du réseau ANETZ que nous avons retenues comme sites de références.

Pour chacune, nous avons établi un modèle numérique de terrain (MNT) permettant de décrire sa situation topographique. L'étendue des zones numérisées couvre en principe 3 km sur 3 km. Des expérimentations préalables ont montré qu'il était préférable de constituer un MNT régulier directement à partir de la carte plutôt que d'utiliser une technique d'interpolation qui tend à lisser de façon trop prononcée les accidents topographiques locaux. La maille originale de chacune des grilles est de 100 m ; elle est réduite à 50 m par interpolation pour certaines représentations en perspective.

B. L'aspect topographique de la fiche signalétique de chacune des stations est abordé par

1. Un texte descriptif d'une à deux pages accompagné d'une série de schémas présentant une vue synthétique panoramique s'étendant jusqu'aux limites de trois cercles concentriques dont les rayons s'étendent en gros sur 100, 1000 et 2000 mètres. Une photographie panoramique prise à partir du point de mesure apporte un complément visuel aux commentaires et aux descriptions topographiques. La rugosité à grande échelle et les turbulences locales qu'elle peut engendrer est quant à elle présentée au moyen d'un plan d'implantation de la station.
2. Une série de documents cartographiques enrichissent en outre la présentation de la topographie locale et environnante, soit
 - Une section de la carte topographique au 1:25000 couvrant la zone du modèle numérique de terrain.
 - Une carte en isoligne des altitudes, ainsi que quatre représentations en perspective sous des angles mettant en évidence les grandes caractéristiques du relief.

- Quatre vues en profils, prises sous les mêmes angles que les représentations en perspectives, permettent en outre de voir comment le site apparaît à l'observateur qui le voit à partir d'un point extérieur.

C. La fiche technique signalétique de chaque station pour laquelle nous devons encore dessiner les roses des vents sera jointe à ce dossier pour constituer le document de base permettant la reconnaissance des sites éoliens propices.

Au cours de cette année, nous avons également mis au point le plan de notre contribution en ce qui concerne le "manuel grand public". Il comportera une carte synthétique des sites en relation avec les grands espaces naturels du pays. Un tableau récapitulatif permettra aux intéressés de repérer les différents types de sites possibles aussi bien au plan spatial que qualitatif.

Le contenu et la trame de notre texte ont également été établis ; nous y apporterons la dernière main dès que le feu vert nous sera donné.

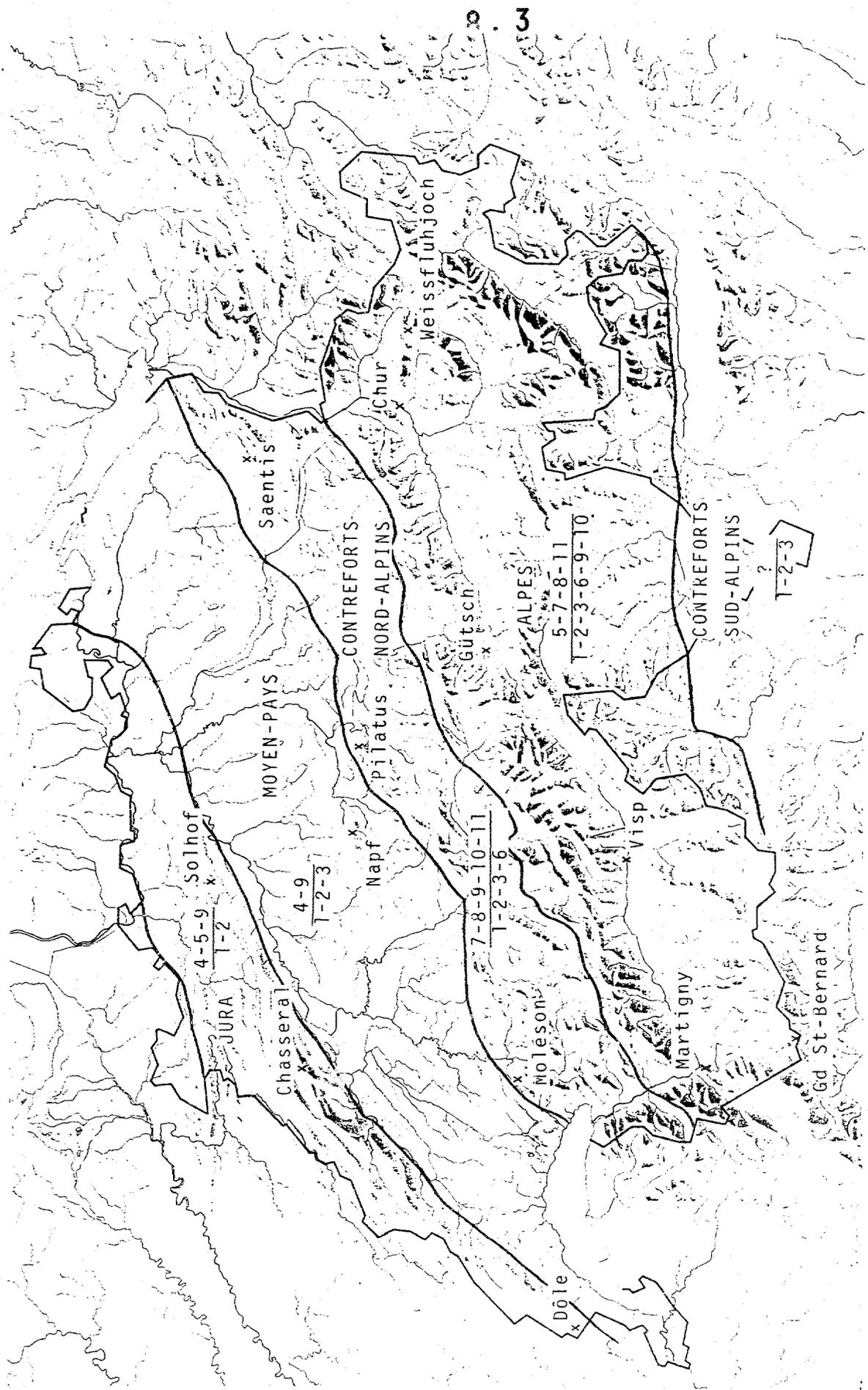
3 / RESULTATS OBTENUS EN 1988

Les travaux qui nous ont été confiés approchent de leur terme, nous attendons les dernières critiques de nos partenaires pour les remettre à notre mandant.

ESSAI DE TABLEAU SYNTHETIQUE POUR TERRAIN DEGAGE

REGIONS	Grandes vallées longitudinales sans forêts	Grandes vallées transversales		Sites de cols					Chaîne crête ou dôme		
		Etroites	Larges	I de 1000m à 1400m	II de 1400m à 1600m	III et IV jusqu'à 1700m à 2200m	5 de 1700m à 2200m	6 jusqu'à 1700m	7 de 1700m à 2200m	8 au-dessus de 2200m	9 jusqu'à 1700m
I	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
I Jura	*	0	-	*(*)	**	-	-	-	***	-	-
II Moyen-Pays	0	0	0	*(*)	-	-	-	-	*(*)	-	-
III Contreforts nord-alpins	0	*	*	-	-	*	***	***	**	***	***
IV Alpes	*	*	*(*)	-	-	*	**	***	*	*	**
V Contreforts sud-alpins	0	*	*	-	-	?	?	?	?	?	?

	Jura et M. Pays	Alpes et contreforts nord et sud
-	De 1000 à 1400 m = cols	Au-dessus de 1700 m = cols
0	dans la zone forestière	dans la zone forestière
*	Au-dessus de 1400 m = cols	De 1700 à 2200 m = cols
**	au-dessus de la zone forestière	au-dessus de la zone forestière
***		Au-dessus de 2200 m = au-dessus
?		des grands cols alpins



JURA

Solhof

4-5-9
1-2

MOYEN-PAYS

Chasseral

4-9
1-2-3

Napf

Pilatus

CONTREFORTS
NORD-ALPINS

7-8-9-10-11
1-2-3-6

Moleson

Günsch

ALPES

5-7-8-11
1-2-3-6-9-10

Visp

Martigny

CONTREFORTS

SUD-ALPINS

1-2-3

Gd St-Bernard

Saentis

Chur

Weissfluhjoch

Dôle

KRITERIEN ZUR STANDORTEVALUATION

Ziel des Projekts: Publikation eines Handbuches: "Standorte für Windkraftanlagen in der Schweiz". Messtechnische Erfassung des dynamischen Verhaltens von vier Windenergiekonvertern (WEK) Erarbeiten von Kriterien und Messverfahren zur Standortevaluation.

Koordination der Projektgruppe "Sites éoliens suisse" im Zusammenhang mit dem IEA-Projekt "WECS R+D, Annex 8".

Mitarbeit an der Redaktion des Handbuches "Standorte für Windkraftanlagen in der Schweiz"

Dauer des Projekts: Ende 1989

Beitragsempfänger: Zentrum für Angepasste Technologie und Sozialökologie, Langenbruck

Berichterstatter: Robert Horbaty

Adresse: Schwengistr.12, 4438 Langenbruck

Telephon: 062/60 14 61

1. Zielsetzung für 1988

- Messdatenerfassung an diversen Windenergiekonvertern (WEK) in der Schweiz als Grundlage für Computermodelle zur Standortevaluation und Energieertragsberechnungen.
- Messkampagnen an möglichen Standorten für WEK mit Dataloggern.
- Mitverfasser am Handbuch des BEW: "Standorte für Windkraftanlagen in der Schweiz".

2. Durchgeführte Arbeiten 1988

2.1. Datenerfassung an WEK

In Zusammenarbeit mit der EPFL-Lausanne wurden 3 WEK-Installationen messtechnisch erfasst:

- 18-kW Horizontalachs-WEK "Aeolus 11", netzgekoppelt, mit Blattregulierung, auf dem Soolhof, BL-Jura, 1000 m.ü.M., Hersteller Firma. Aerodyn BRD.
- 5-kW Horizontalachs-WEK "Windwatt", Inselanlage, auf dem Chasseral, BE-Jura, 1600 m.ü.M, Hersteller Fa. Panensa, Corcelles, Schweiz.
- 10-kW Horizontalachs-WEK "WVG-120", Inselanlage mit Batteriespeicherung, bei Oberhalau, Kant.Schaffhausen, 620 m.ü.M., Hersteller Firma. Elwind, Winterthur.

2.2. Standort-Evaluation

Auf dem Passwang (SO-Jura, 1100m.ü.M.) wurde mit einem Datalogger Windmessungen durchgeführt. Dieser erfasst nebst der Windrichtung und der Windgeschwindigkeit auch die Turbulenzen des Windes. Parallel dazu werden in dieser Region an weiteren 7 Standorten mit einfachen Windklassieren Messungen durchgeführt.

2.3. Handbuch

Aufgrund der Diskussionen innerhalb der Arbeitsgruppe der IEA (WECS Annex 8) wurden die Kapitel "Wirtschaftliche Faktoren" und "Andere Faktoren" des Handbuches "Standorte für Windkraftanlagen in der Schweiz" verfasst.

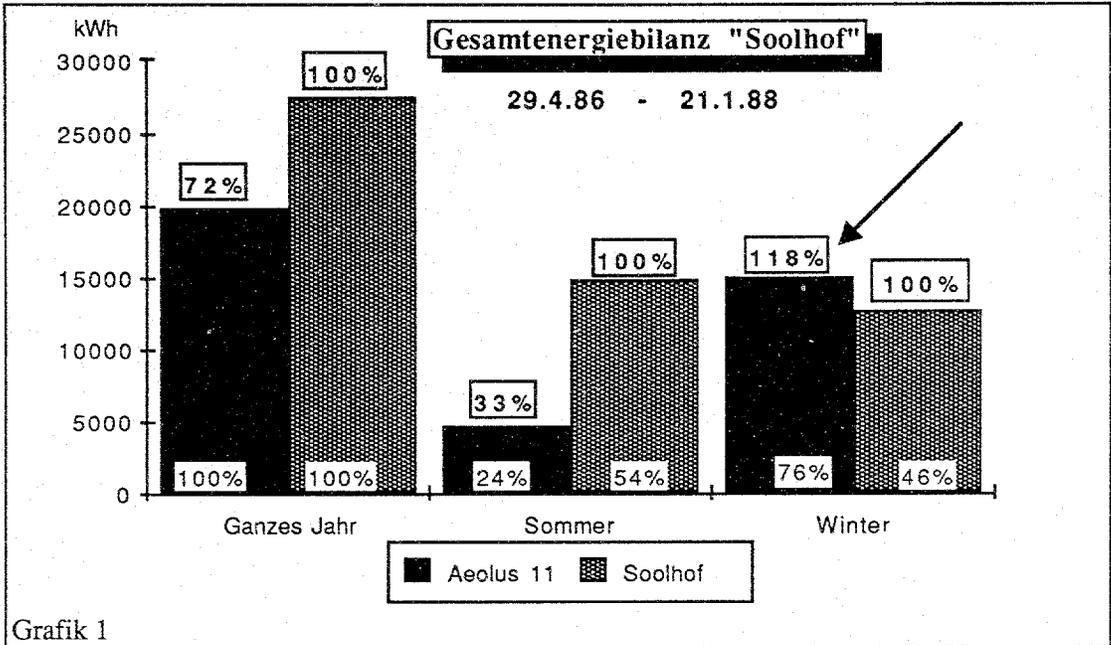
3. Ergebnisse

3.1. Datenerfassungen an WEK

3.1.1. Auswertungen der Messungen "Sool"

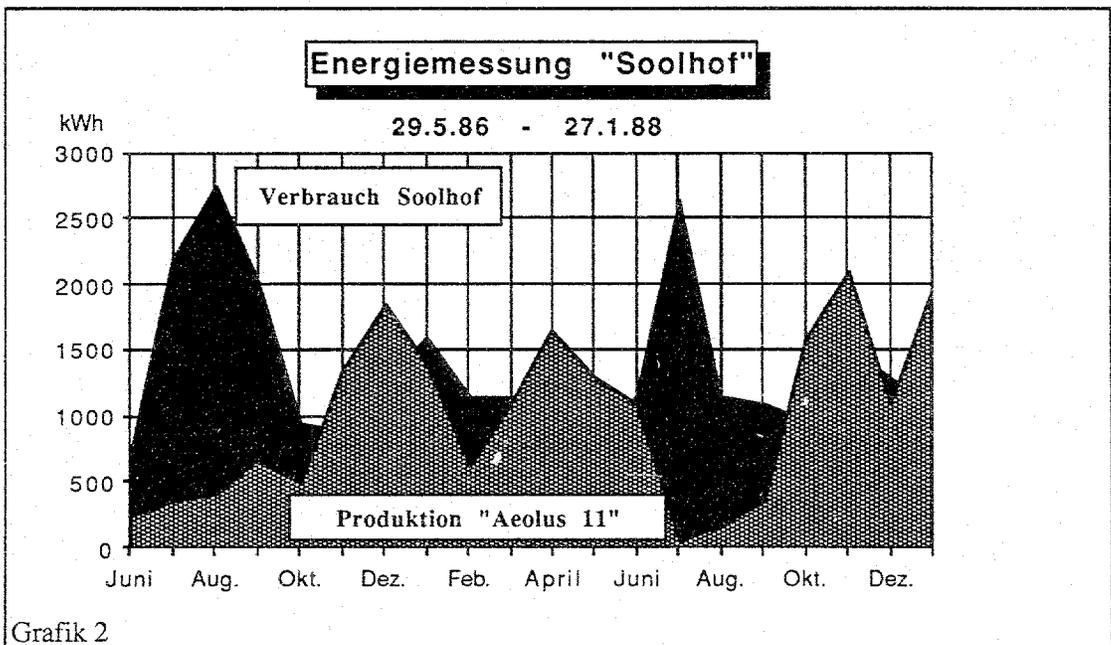
Bis Ende Januar 88 konnten die Messungen an der "Aeolus 11" auf dem Sool fortgesetzt werden. Wegen eines Getriebeschadens musste danach die Anlage demontiert und ersetzt werden. Da auch mit der Ersatzanlage einige Schwierigkeiten auftraten (Elektronik, Lager am Generator), konnten bis heute keine relevanten Daten mehr erfasst werden.

Grafik 1 zeigt die Gesamtenergiebilanz der Installation auf dem Soolhof (18-kW Horizontalachs-WEK) in der Zeit vom 29.4.86 bis 21.1.88. Ueber die gesamte Messperiode hat die Windkraftanlage 72% der Energiemenge generiert, welche vom Hof verbraucht wurde. Im Sommer waren es nur 33% (Heubelüftung!), im Winter jedoch 118%.



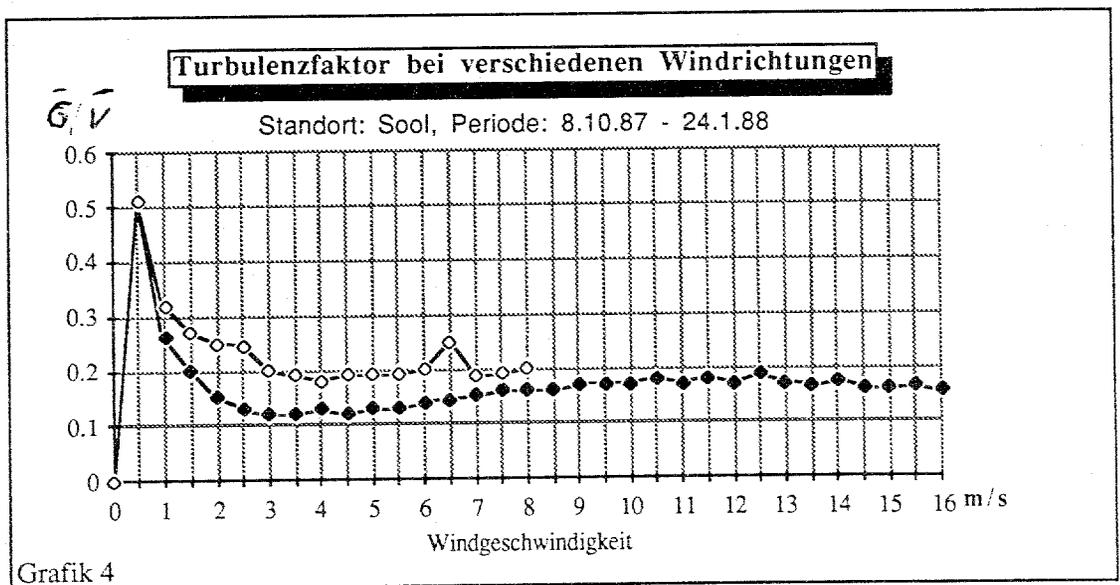
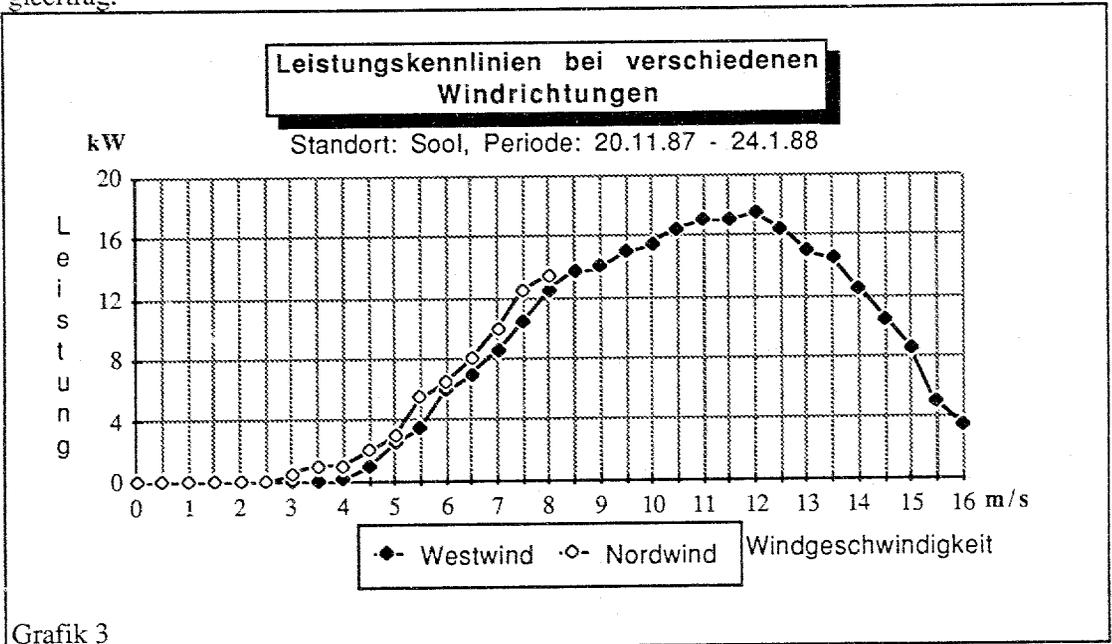
Grafik 1

Dies unterstreicht auch Grafik 2. Zu bemerken ist, dass diese Gesamtenergiebilanzen Effektiv-Werte sind, d.h. sowohl der Eigenverbrauch der Anlage als auch Stillstandzeiten aufgrund von Pannen sind mitberücksichtigt.



Grafik 2

Um die These, dass Leistungskennlinien von WEK von den am Standort herrschenden Turbulenzen beeinflusst werden, zu verifizieren, wurden die 10 min. Mittelwerte der Messperiode vom 20.11.87 - 21.1.88 aufgrund der Windrichtung ausgewertet. Grafik 3 stellt die Werte für die Windrichtung WEST (flache Krete, kurzes Gras) und NORD (Tal, 100 m entfernt hohe Bäume) dar. Das Absinken der Kurve nach 12 m/s ist durch das frühzeitige Abstellen des WEK bei Böenspitzen verursacht und da während der Messperiode nie Nordwinde mit einem 10-min. Mittelwert über 8 m/s auftraten ist eine Aussage nur bis zu dieser Windgeschwindigkeit möglich. Es ist anzunehmen, dass Nordwinde aufgrund der Bodenrauigkeit turbulenter sind als Westwinde. Ueberraschenderweise erbringen aber die Nordwinde einen besseren Energieertrag.



Ein Auswertung des Turbulenzfaktors $\overline{\sigma}/\overline{v}$ der 10 min. Mittelwerte dieser Messungen zeigt Grafik 4. Es bestätigt sich, dass die Nordwinde, aufgrund der Topographie, um einiges turbulenter sind. Die Befürchtung, dass turbulente Winde den Wirkungsgrad eines WEK jedoch negativ beeinflussen hat sich nicht bestätigt!

Erklärung:

Netzgekoppelte Anlagen, wie die Anlage auf dem Sool haben eine konstante Drehzahl. D.h. der optimale aerodynamische Wirkungsgrad ist nur in einem sehr kleinen Bereich der Windgeschwindigkeiten gewährleistet (Aeolus 11 = 5.5 - 8 m/s) Eine Böe bei kleinen Windgeschwindigkeiten bewirkt somit eine Verbesserung des Wirkungsgrades; eine Böe im starken Wind verschlechtert ihn.

Langfristige Messungen müssen diese Tatsache noch bestätigen.

3.1.2. Weitere Messungen

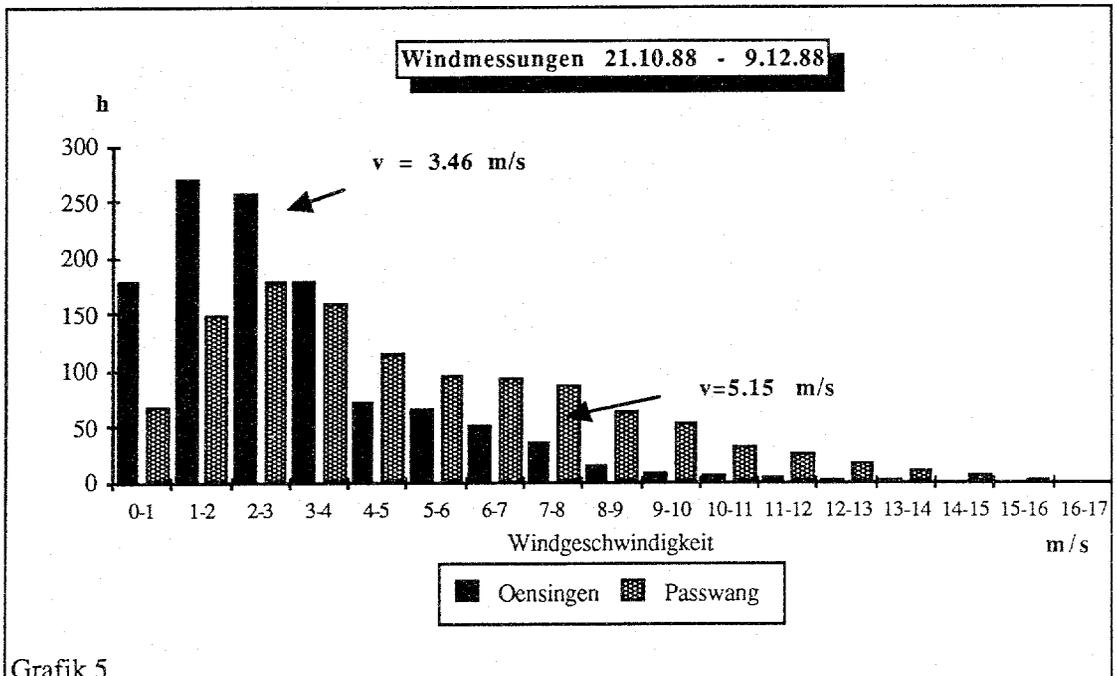
Ziel der Messkampagnen an den weiteren WEK-Installationen war, reale Daten der Windverhältnisse und den entsprechenden Energieertrag zu erfassen. Diese Daten dienen der EPFL-Lausanne, um mit Computermodellen

- den zukünftigen Energieertrag einer Installation berechnen zu können, und
- die Regelparmeter der entsprechenden WEK zu optimieren.

Da die 10 kW-Anlage der Force Motrice Neuchateloise im Binntal nicht mehr im Betrieb ist, musste auf die 5kW-Anlage auf dem Chasseral ausgewichen werden. Dieser WEK lädt die Batterien einer Notstromversorgung der PTT.

Das Ausmessen von Inselanlagen, d.h. Installationen ohne Netzanschluss, bereitet bei den gewünschten Anforderungen an die Messdaten einige Probleme. Die unterbrechungsfreie Stromversorgung für Wattmeter und Messcomputer benötigen relativ viel Energie. Da die entsprechende Infrastruktur bei der Installation am Mont Racine nicht vorhanden war, musste auf das Ausmessen dieser Anlage verzichtet werden. Zum heutigen Zeitpunkt ist die Messanlage bei der 10kW-Elwind-Anlage in Oberhallau im Betrieb.

3.2. Standortevaluation



In Zusammenarbeit mit der Ingenieurschule Biel erfassen wir Winddaten an zukünftigen Standorten von WEK. Wegen der Unzuverlässigkeit des eingesetzten Gerätes (Geringe Autonomie, Defekte durch Klimaeinflüsse) liegen bis heute noch keine, aufbereiteten Daten vor. Als sehr viel zuverlässiger haben sich einfache Windklassierer, welche mit elektromechanischen Zählern die Anzahl Stunde/Windklasse zählen, erwiesen. Das Oekozentrum Langenbruck hat 7 Geräte in der Region im Einsatz. Ausser der Vereisung des Anemometers sind keinerlei Probleme aufgetaucht - mit dem Nachteil, dass weder über die Turbulenzen noch über die Richtung des Windes Informationen gesammelt werden können. Grafik 5 stellt die Resultate zweier Messstandorte (Passwang und Oensingen dar).

4. Koordination mit IEA-Projekt (WECS Annex 8)

Nebst dem sehr aufschlussreichen Erfahrungsaustausch im Bezug zur Publikation unseres Handbuches konnte durch die Teilnahme an der Sitzung der IEA wesentliche Erkenntnisse betreffs Turbulenzen gewonnen werden. Die Erkenntnisse aus der Partizipation am Wind/Diesel-Workshop sind für die Schweiz - mit ihrem sehr gut ausgebauten Stromnetz - nicht direkt nutzbar. Für international tätige Firmen der Maschinenindustrie könnte die dezentrale Stromversorgung mittels kombinierten Wind/Diesel-Anlagen ein interessantes Geschäft werden (rund 1,7 Mia. Menschen sind heute ohne Strom, ca. 10 Mio. Dieselgeneratoren sind im Einsatz, wovon ca. 5% an guten Windstandorten!)

5. Publikationen

Mit Ausnahme von internen Berichten wurden keine Publikationen verfasst.

6. Neue Forschungsarbeiten.

Innerhalb der IEA-Arbeitsgruppe wird immer wieder das grosse Manko an relevanten Lastdaten für dezentrale Stromproduktionsanlagen festgestellt. Sowohl für Auslegung von netzgekoppelten - wie von Inselanlagen ist die Kenntnis der genauen Verbrauchsstruktur (Leistung, Zeitpunkt etc.) von grosser Bedeutung. Kann doch durch die optimierte Dimensionierung der ganzen Installation viel Geld gespart werden. Entsprechende Untersuchungen könnten deshalb eine wichtige Lücke schliessen.

R.Horbaty

COGÉNÉRATION VENT-BIOGAZ EN ÎLOT

But du projet :

Le projet consiste à assurer l'autonomie énergétique de la station d'épuration (électricité et chaleur) à partir d'une éolienne Darrieus couplée à un moteur à biogaz. L'éolienne entraîne un alternateur asynchrone de 160 kW alors que le moteur fait tourner un alternateur synchrone de 110 kW. Ce système devra fonctionner de manière automatique et alimentera la STEP (consommateur), en îlot (déconnecté du réseau électrique). Le plus important problème à résoudre consiste à mettre au point un système fiable de régulation.

Durée du projet : du 1 mai 1988 au 30 avril 1989

Mandataire: Centre de Recherche et d'Enseignement en Energie et
Rapporteur: Techniques Municipales., CREM.
Adresse: Patrick PRALONG
Rue des Morasses 5, Case Postale 48, 1920 Martigny.
Téléphone: 026/2 64 06.

Objectifs :

Les objectifs visés avant la fin de l'année sont :

- Fonctionnement de l'éolienne et du moteur biogaz en parallèle avec le réseau électrique.
- Mesures des caractéristiques du bloc moteur-générateur de l'éolienne.
- Mesures des caractéristiques de l'alternateur du moteur biogaz.
- Ajustement du régulateur de la charge de ballast (résistance).
- Installation des senseurs électriques et du système informatique d'acquisition des données.
- Acquisition des données pour l'évaluation des vitesses de vent et de la production possible.
- Mise au point d'une stratégie de gestion.
- Préparation d'un programme de contrôle de l'éolienne pour un fonctionnement en îlot.

Le groupe de travail de ce projet est le suivant :

CREM	Patrick Pralong Yves Ducki
LEME / EPFL	Prof. Marcel Jufer Jean-Pierre Ludwig
ALPHA REAL AG	Markus Real Stepan Kessler Ernest Anderegg
SI Martigny	Jean-Marc Revaz Bruno Facchin

Travaux effectués :

A la fin de l'année 1987, la situation était la suivante :

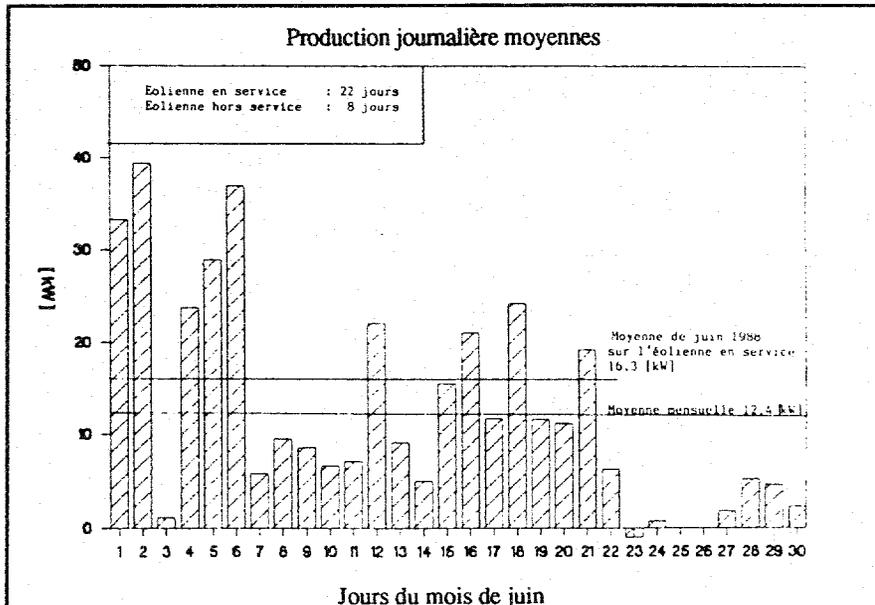
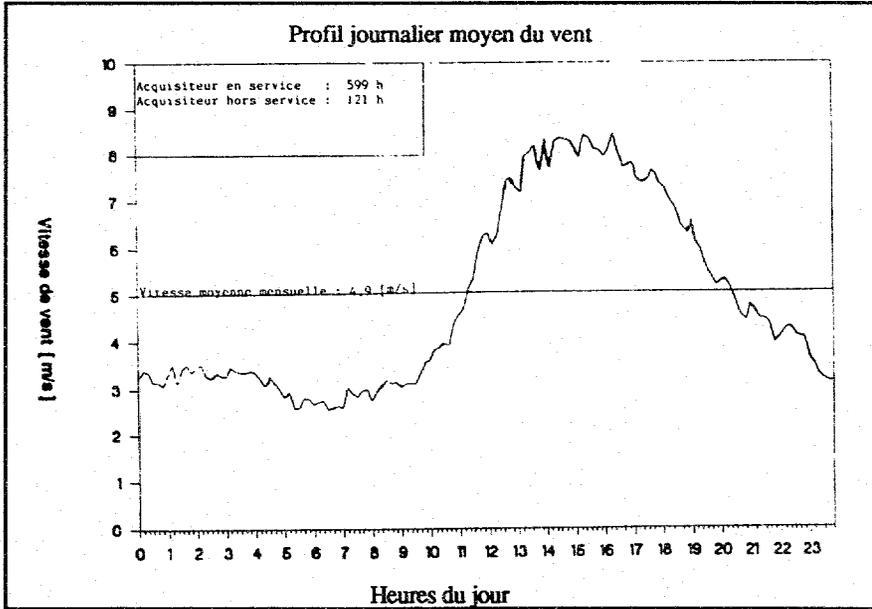
- l'éolienne fonctionnait couplée sur le réseau électrique depuis 6 mois avec en moyenne 2 à 3 pannes par jour.
- le système d'acquisition de données de l'éolienne donnait satisfaction.
- la génératrice du moteur à biogaz était hors service, à la suite d'une panne lors des premiers essais de fonctionnement à la fin décembre 1987 (raccordement au réseau sans contrôle de la mise en parallèle suite à une erreur de câblage)

Les principaux travaux effectués en 1988 sont les suivants :

- amélioration des senseurs et du programme de contrôle de l'éolienne qui fonctionne depuis février 1988 avec satisfaction.
- démontage complet de l'éolienne (mai 1988), contrôle des parties mécaniques et modification du palier inférieur.
- construction d'une gaine pour la génératrice de l'éolienne afin d'empêcher l'aspiration de poussières et d'humidité.
- remplacement de la génératrice du moteur à biogaz et mise en service du groupe biogaz en octobre 1988.
- mesures ponctuelles sur le fonctionnement de l'éolienne et du moteur biogaz.
- installation de tous les senseurs électriques, thermiques et hydrauliques pour la saisie des données du système éolien-biogaz.
- suivi des deux installations et traitement des données de mesures.

Résultats obtenus.

3.1 Bilans journaliers et mensuels des vitesses de vent et des productions.
Exemple juin 1988

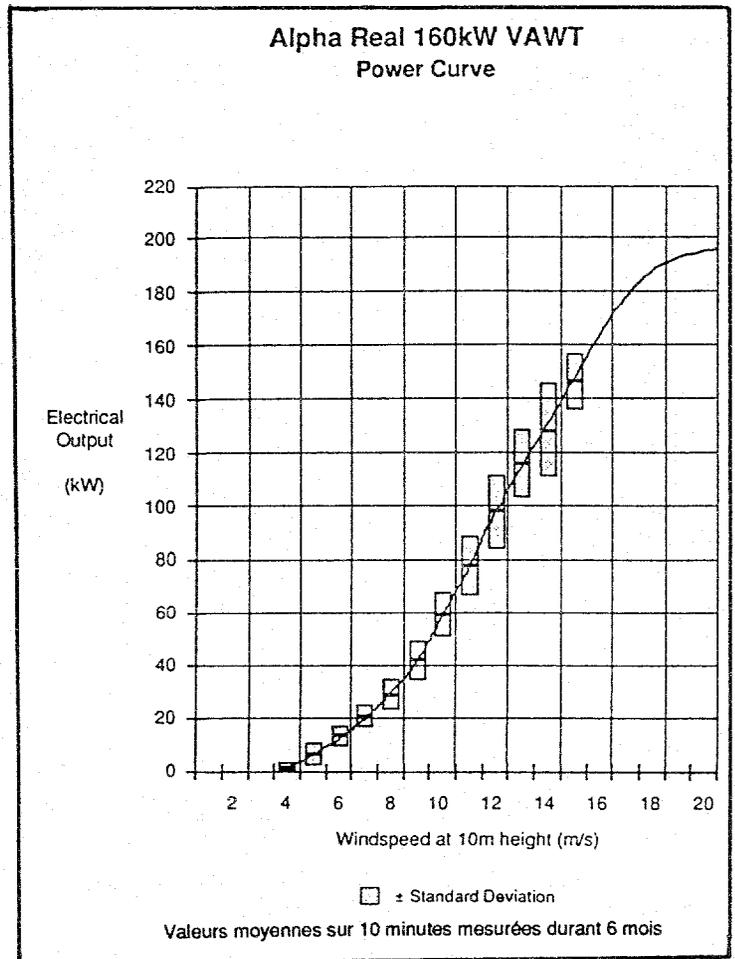


3.2 Constatations générales intéressantes

- Vent thermique d'été, débute en fin de matinée, et dure en moyenne 10 heures
- Vitesse maximale de vent moyenne sur 24 heures de 12[m/s]
- Baisse des vents pendant l'hiver. (Il y a du vent pendant cette saison seulement lorsque des précipitations surviennent).
- Production moyenne de début février à fin juin 11kW c'est à dire les 20 % de la consommation électrique de la STEP.

3.2. Résultat des mesures des caractéristiques du système éolien

Afin de mieux définir les divers paramètres du système de contrôle de l'éolienne pour le fonctionnement en îlot, diverses mesures spécifiques ont été effectuées. La courbe de droite représente la puissance mesurée de la génératrice de l'éolienne.



3.3. Résultat des mesures des caractéristiques du système biogaz

Le LEME a identifié un phénomène d'oscillation de 0.3 Hertz sur l'alternateur asynchrone de l'éolienne. Il a obtenu les caractéristiques du système moteur biogaz-alternateur permettant la régulation de la charge ballast.

Les paramètres du régulateur du moteur à biogaz ont été testés lors des opérations suivantes :

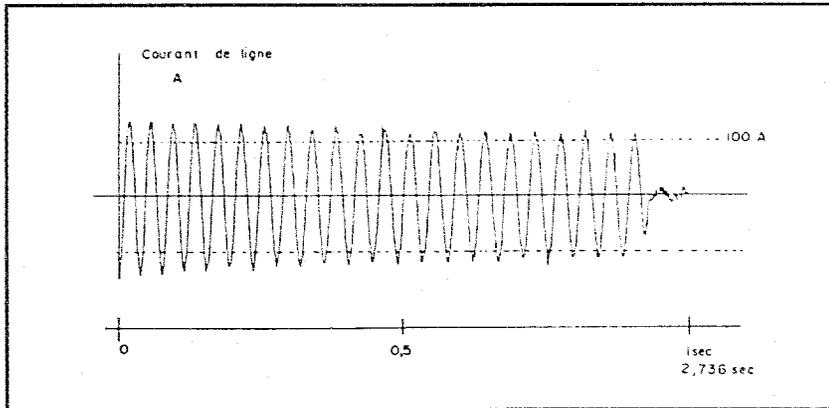
- Démarrage du moteur sur une charge résistive de 45, 55 et 75 kW.
- Déclenchement en fonctionnement de la charge de 60 kW.
- Saut de la charge résistive de 20 à 30 kW (sans régulateur).
- Démarrage de l'éolienne par la génératrice du moteur à biogaz.

Grandeurs mesurées :

- Tensions et courants aux bornes de l'alternateur synchrone du moteur à biogaz.
- Débit de biogaz.
- Fréquence électrique.

- Courant de l'excitatrice.

L'enclenchement sur une charge de 75 kW met en évidence la puissance limite du moteur à biogaz. Lors de l'enclenchement, la puissance absorbée par la charge est trop importante, les valeurs de consigne ne peuvent être atteintes, le système se désamorce. La puissance maximale que peut délivrer le moteur thermique dépend du pouvoir calorifique du biogaz et est sujette à de fortes variations. Lors des essais, la puissance électrique maximale était de 75 kW.



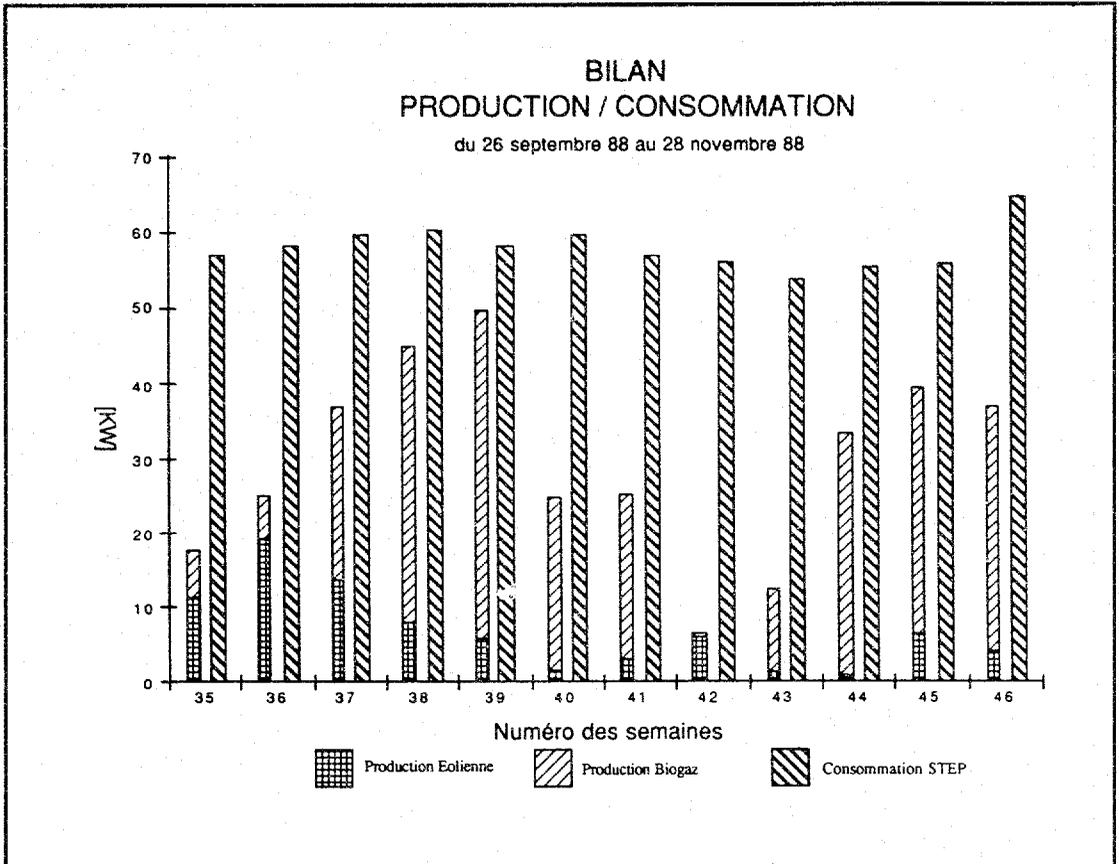
Désamorçage du système biogaz après l'enclenchement d'une charge de 75 kW

3.4. Bilan des productions par rapport aux consommations :

Le graphique de la page suivante représente les productions d'électricité (moyennes hebdomadaires) de l'éolienne et du moteur à biogaz couplés individuellement sur le réseau électrique, et la consommation électrique de la STEP.

Remarques :

- Le moteur biogaz est stoppé le samedi soir car le week-end il y a une chute nette de la production de biogaz.
- Un problème de contenance en méthane dans le biogaz apparaît à la suite des éliminations des déchets de poires. Une gestion des camions les transportants devra être envisagée.
- Pendant les semaines 42 et 43, le moteur biogaz a été révisé; contrôle des soupapes, vidange, etc...
- Une diminution de la production de l'éolienne apparaît pendant ce début d'hiver.
- La consommation de mazout de la STEP est quasiment nulle.



BIOGASPRODUCTION AUS FESTMIST

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

Da die Technik der Festmistvergärung in den 50-iger Jahren beim Batch-System stehengeblieben war, haben wir in einem früheren Projekt drei neue Verfahren zur kontinuierlichen Vergärung untersucht und beschrieben.

Auf Grund der Resultate haben wir uns zum Ziel gesetzt, eine Demo-Anlage im Pilotmassstab zu errichten und betreiben, in welcher der Mist ohne Trennung in eine feste und eine flüssige Phase im Durchfluss vergärt werden kann.

Dauer des Projekts: 1. Januar 1988 bis 31.12.1990

Beitragsempfänger: INFOSOLAR c/o Eidg. Forschungsanstalt für Betriebswirtschaft und Landtechnik

Berichterstatter: Dr. A. Wellinger

Adresse: 8356 Tänikon

Telephon: 052 47'38'22

1. Anvisierte Zielpunkte für 1988

1.1 Hauptziel

Aufgrund von Resultaten des Ende 1987 abgeschlossenen Projektes zur Festmistvergärung im Labormasstab sollte eine Demonstrationsanlage im Pilotmasstab (7 m³) entwickelt und gebaut werden, in welcher der ganze Mist (flüssige und feste Phase) vergärt werden kann. Per Ende 1988 sollte die Anlage die ersten verfahrenstechnischen Tests bestanden haben, so dass im Winter die vorzusehenden Änderungen angebracht werden können.

Das vorgesehene Konzept basiert auf der Maulwurfsentmistung, einem System zum Transport von Festmist. Dieser wird mittels einem hydraulisch angetriebenen Kolben kompaktiert und durch ein 300 mm Stahlrohr befördert. Mit dieser - bereits in der Praxis im Einsatz stehenden Einrichtung - wird der Fermenter von oben beschickt. Nach dem Durchlaufen des Gärprozesses erfolgt der Austrag des Mistes unten im Fermenter mittels einer Förderschnecke. Die untere Abdichtung wird durch eine mit abgetrennter Gülle befüllte Wanne vorgesehen, aus welcher gleichzeitig die flüssige Phase über einen Wärmetauscher rezirkuliert wird, um den Mist im Fermenter zu beheizen und zu befeuchten. Der Austrag wird so gestaltet, dass der Mist entwässert wird und am Schluss einen TS-Gehalt von mindestens 14%, so dass er mit dem Mistzetter aufs Feld ausgebracht werden kann.

1.2. Nebenziele

Im Labor sollten andere Verfahren zur Festmistvergärung weiterentwickelt und namentlich die Gärkanalanlage, in der die feste Phase des Mistes durch die flüssige Phase transportiert wird, im Pilotmasstab (500 l) weiter verfolgt werden.

2. Durchgeführte Arbeiten 1988

2.1. Demonstrationsanlage

In der Phase Januar/Februar konnte die Demo-Anlage nach umfangreichen Kontakten und Umfragen bei Leuten, welche sich vorgängig schon mit Feststoffen und im besonderen Mist verfahrenstechnisch beschäftigt hatten, im Detail geplant werden.

Das Grundkonzept der Beschickung und der Entnahme des Mistes, sowie der Flüssigkeitsrezirkulation zum Aufheizen des Fermenters wurde dabei nicht verändert. Dagegen gab es umfangreiche Abänderung in der Mist- und Flüssigkeitsführung innerhalb und ausserhalb des Fermenters. So wurde zusätzlich ein Kratzboden eingeplant, die Flüssigkeitsabtrennung im Fermenter erweitert und ergänzt und die Nachgrube als zusätzlicher Separationsbehälter ausgebaut (Abb.1). Diese Änderungen führten natürlich zu massiven Kostenerhöhungen.

Im Februar konnte die Anlage definitiv in Auftrag gegeben werden. Das war gleichzeitig der Beginn unseres Leidensweges mit dem Konstrukteur, dessen

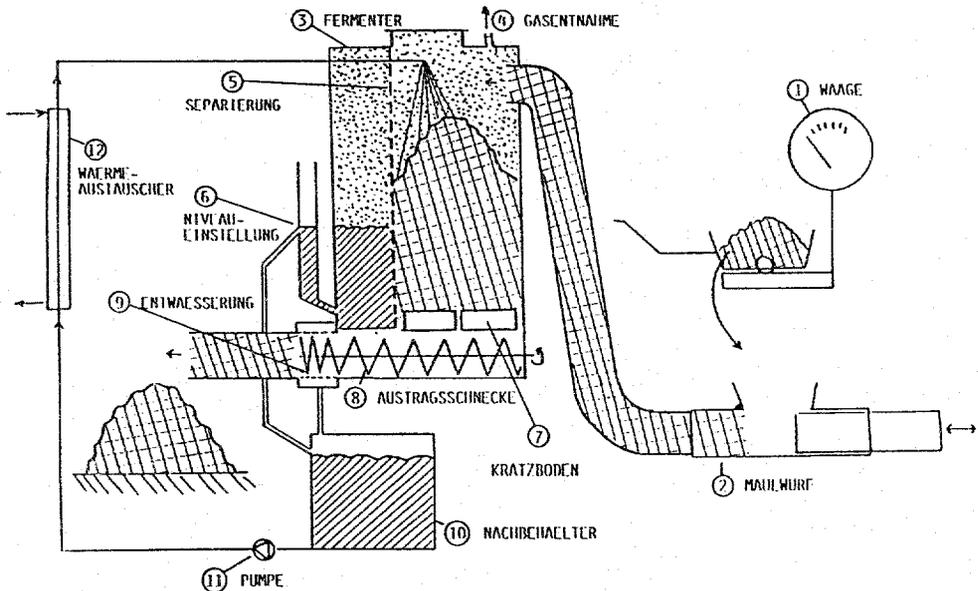


Abb.1 Schema der Demo-Anlage zur Vergärung von Festmist

anfänglicher Enthusiasmus bald einmal entschwand. Als erstes erwies er sich als unfähig, uns eine massstabgetreue Zeichnung abzuliefern. Als zweites erklärte er uns bald einmal, dass er eine Vorgrube gemäss Offerte nicht erstellen könne. Als drittes schliesslich erwies sich das vereinbarte Lieferdatum von Anfang Juni als Illusion. Die Anlage wurde erst Mitte August aufgerichtet, zu einem Zeitpunkt, während welchem alle anderen Handwerker in den Ferien weilten. Da unsere ganze Zeitplanung völlig durcheinander geraten war, konnte mit der ersten Mistbeschickung erst Ende Oktober begonnen werden.

Zwischenzeitlich arbeiteten wir an der Entwicklung einer Vorgrube, welche gemäss Pflichtenheft die aus dem Stall eingebrachte Gülle in den Maulwurf dosieren sollte, gleichzeitig aber, bei Mistmangel, Stroh und Gülle so intensiv zu durchmischen hatte, dass ein "echter" Mist daraus entsteht. Während wir nach intensivem Studium aller in der Industrie verfügbarer Mischer bald einmal eine mögliche Mechanik mit verschiedenen Schnecken gefunden hatten, erwies sich der nachfolgende Austrag des feuchten Langstrohs als schier unlösbares Problem. In Form von Betonmischern und Förderbändern hatten wir dann endlich eine Lösung gefunden, welche sich auch in Praxisversuchen bewährten. Leider hätte für die nötige Mistmenge ein Anfangsvolumen (trockenes Stroh hat eine sehr geringe Dichte) von ca. 5 m³ bereit gestellt werden müssen. Ein Betonmischer dieser Grösse (auch Occasion) überstieg aber den gegebenen finanziellen Rahmen bei weitem. Zudem stand uns dieser Platz bei der Anlage gar nicht zur Verfügung. Auf eine Vormischung wurde deshalb verzichtet.

2.2. Gärkanal

Der Gärkanal zeigte in Vorversuchen während des letzten Projektes sehr gute Resultate. Vom Betrieb her konnte er jedoch nicht ganz befriedigen. Insbe-

sondere war der Totraum (d.h. der aerobe Teil der Anlage) von 185 Litern bei einem Gesamtvolumen von 530 Litern viel zu gross. Folgende Abänderungen wurden vorgenommen (vgl. Abb.2):

- der Kanaleingang wurde verschlossen und eine Gasentnahme eingebaut (1). Das Gärvolumen konnte damit von 345 auf 440 Liter erhöht werden.
- vom Gasentnahmestutzen in der Kanalmitte zum Kanalausgang wurden Stahlbänder gezogen, die das Aufschwimmen der Mistkörbe verhindern (7).
- ein am Ende des Kanals eingebauter Siphon hält das Gülleniveau konstant (6). Zusätzlich wurde ein Entnahmehahn eingebaut (5).

Anschliessend wurden die Versuche wieder aufgenommen bei einer Gärtemperatur von 30°C und einer hydraulischen Verweilzeit (HRT) von 23.5 Tagen.

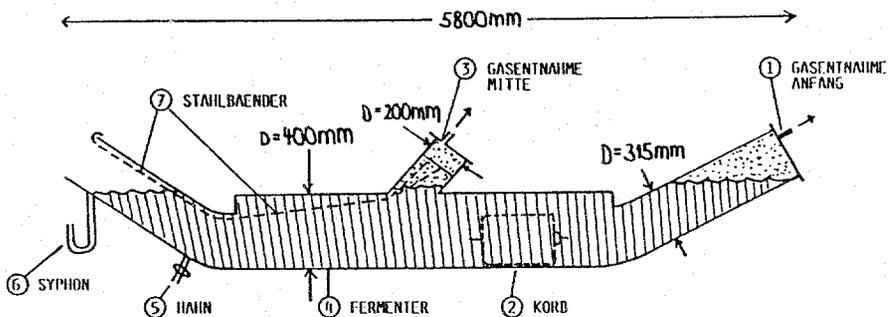


Abb.2 Schema des Gärkanals

2.3. Anaerobfilter

Die Auslaugung von Festmist mittels Flüssigkeitsrezirkulation und einer Vergärung in einem zwischengeschalteten Anaerobfilter haben wir während des letzten Projektes untersucht und sind zum Schluss gekommen, dass sich auf Grund der schlechten Gasausbeute eine Weiterverfolgung dieser Technik nicht lohnt.

Am 5th Anaerobic Digestion Seminar in Bologna vom Mai 1988 haben wir in Diskussionen mit spanischen Kollegen von vergleichbaren Versuchen mit sehr guten Resultaten erfahren. Etwas verunsichert durch diese Diskrepanz der Ergebnisse haben wir diesen Sommer noch einmal einen Vergleichsversuch zwischen reiner Batch-Vergärung des ganzen Mistes und der Auslaugung des Festmistes mit nachfolgender Vergärung der Flüssigkeit in einem Filter durchgeführt. Die Extraktion des Festmistes erfolgte parallel unter aeroben und anaeroben Bedingungen. Sowohl Extraktion wie Vergärung erfolgten bei 30°C.

Es wurde aerob und anaerob je 75kg Mist mit 90 Litern ausgegorener Gülle aus vorangegangenen Filterversuchen angesetzt. Die Batchvergärung wurde mit einem Viertelansatz (18 kg Mist) durchgeführt und bei der Auswertung aufgerechnet.

3. Erreichte Ergebnisse in 1988

3.1. Demonstrationsanlage

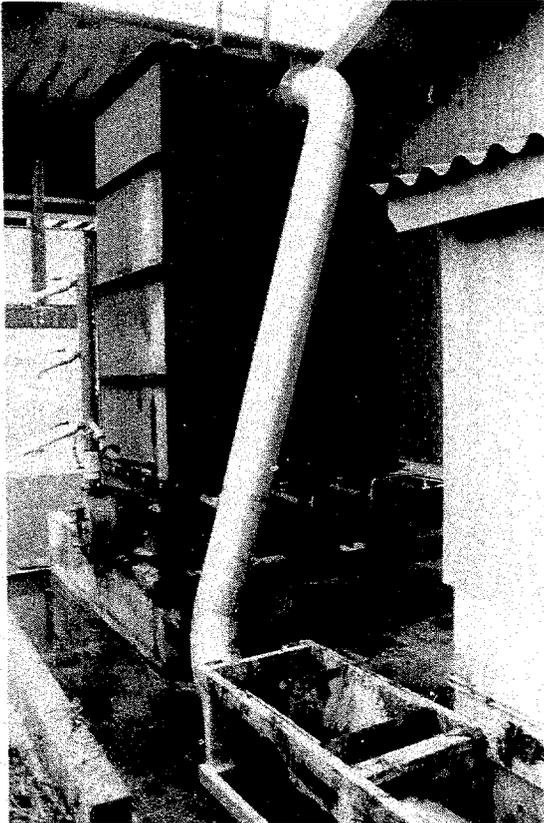


Abb.3 Demo-Anlage beim Funktionstest

Als Vorversuch wurde die Mechanik des Ein- und Austrages an unserer Anlage mit langstrohaltigem Mist aus dem Tretmiststall untersucht.

Die Beschickung des Fermenters mit dem Maulwurfsystem funktionierte bei verschiedenen Trockensubstanzgehalten des Mistes gut. Der trichterförmige Einlass ist jedoch recht empfindlich auf die Geschwindigkeit des Misteintrages. Wird sie zu hoch, stellt sich sofort Brückenbildung ein. Bei der Auslegung der automatischen Zuführung wird auf diesen Punkt speziell zu achten sein.

Seriöse Probleme bot jedoch der Austrag des Mistes aus dem Fermenter (Abb.3). Wird der Trockensubstanzgehalt des Gärgutes auf den - gemäss Vorversuchen - optimalen TS-Gehalt von 12% eingestellt, so erfolgt eine Phasentrennung und der Festteil schwimmt trotz getroffenen Gegenmassnahmen auf, so dass eine Austragung mit der Schnecke verunmöglicht wird. Wählt man den TS-Gehalt etwas zu hoch, so kann der Mist nicht mehr ausgetragen werden, weil der Widerstand im Separationsrohr zu gross wird.

Der TS-Gehalt wird also weniger nach biologischen, als vielmehr nach verfahrenstechnischen Gesichtspunkten zu wählen sein. Aber auch bei optimalem TS-Gehalt ergaben sich Probleme durch Brückenbildung. Während des Winters müssen deshalb verschiedene Schikanen eingebaut werden.

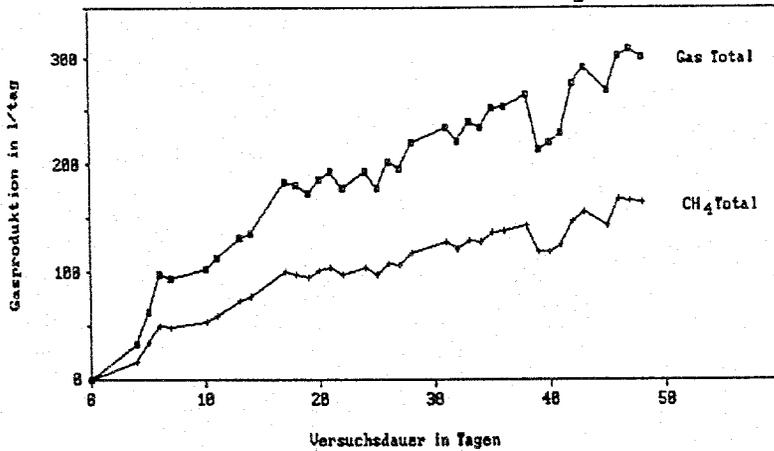
3.2. Gärkanal

Die Anlage fasst insgesamt 12 Körbe von rund 10 Litern Inhalt, dabei sind neu 10 davon in der anaeroben Zone. Bei einer Gärtemperatur von 30°C und einer HRT von 23.5 Tagen wurde eine Gasproduktion von 300 L pro Tag erreicht. Dabei war der Methangehalt mit 54% aber relativ tief (Abb.4).

Erstaunlicherweise sind die spezifischen Methanproduktionen der beiden Gasentnahmestellen mit 0.35l Methan pro Liter Reaktor und Tag gleich gross. Einzig, dass im ersten Viertel des Gärvolumens die Produktion weniger regelmässig ist, was auf den Lufteintrag während des Einbringens der Körbe zu-

Abb.4

Gärkanal HRT 23.3 Tage



rückzuführen sein dürfte. Während der Gärung wurde im Mittel 33% der organischen Substanz abgebaut. Es wurde eine Gasausbeute von 300 l/kg OS add. erreicht, was vergleichbar ist mit den Ausbeuten bei Batchvergärung von Tretmist (280 l/kg OS nach 30 Tagen). Beim Batchversuch war der CH₄-Gehalt mit durchschnittlich 58% tendenziell höher.

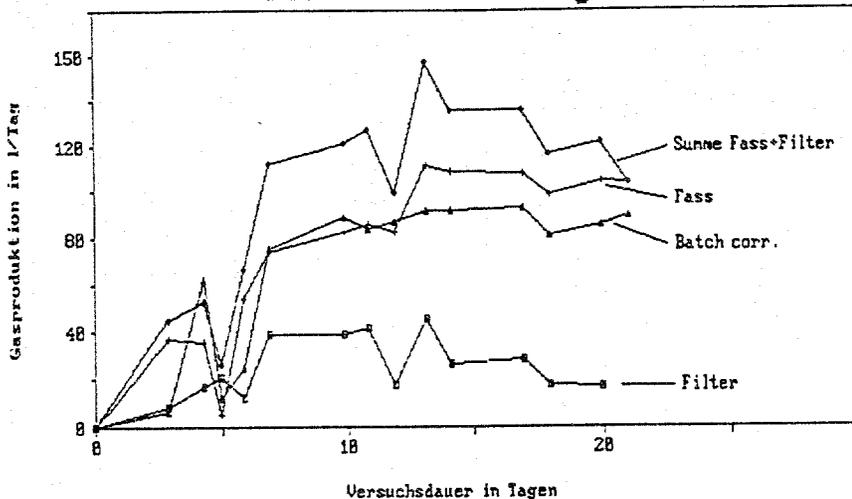
3.2. Anaerobfilter

Die neu angesetzten Versuche bestätigten vollständig die früheren Ergebnisse:

- Die anaerobe und die aerobe Extraktion bringen vergleichbare Werte.
- Die Gasausbeute pro g CSB ist praktisch gleich bei beide Extraktionsverfahren.
- Die Vergärung des Extraktes in einem Anaerobfilter ist für die landwirtschaftliche Praxis nicht von Bedeutung, da die Gasausbeute zu klein ist (Abb.5).
- Die Summe der Gasproduktion während der anaeroben Extraktion und im Filter ist grösser, als die Vergärung im Batchansatz allein (Abb.5), die Differenz ist jedoch zu klein, als dass dieser doppelte Ansatz in der Praxis relevant wäre.

Abb.5

Filter HRT 2.5 Tage



VERGÄRUNG FESTER ABFALLSTOFFE

Ziel des Projekts: Abklärung der technischen und ökonomischen Machbarkeit der anaeroben Vergärung von separat gesammeltem organischen Kehricht in Kombination mit organischen Industrieabfällen. Abschätzung des Potentials an erneuerbarer Energie in Form von Biogas und von substituierten Erden unter verschiedenen Szenarien. Erarbeiten von Entscheidungshilfen im Bereich der Abfallbewirtschaftung.

Dauer des Projekts: 6.88 - 12.89

Beitragsempfänger: Arbeitsgemeinschaft ARBI/PROBAG

Berichterstatter: Dr.W.Edelmann

Adresse: ARBI, CH-8933 Maschwanden

Telephon: 01/767'18'19 (ARBI) und 01/44'17'08 (PROBAG)

ANAEROBE VERGÄRUNG VON SEPARAT GESAMMELTEN, FESTEN
ORGANISCHEN ABFALLSTOFFEN

1. Ziele des Projekts:

Das neue Abfall-Leitbild der Schweiz sieht die getrennte Einsammlung der organischen Küchen- und Gartenabfälle vor, um so einerseits die Kehrrechtverbrennungsanlagen zu entlasten und andererseits die organischen Stoffe wieder dem Boden zurückzuführen. Neben den organischen Haushaltabfällen fallen in der Schweiz grosse Mengen von industriellen organischen Abfällen an, deren Beseitigung zum Teil nicht unproblematisch ist. Die Durchschnittskosten für die Kompostierung von festen organischen Abfällen dürften heute inkl. Kapitalkosten Fr.100.-pro Tonne erreicht haben.

Ziel des hier beschriebenen Forschungsprojekts ist, die technische und ökonomische Machbarkeit der anaeroben Vergärung von separat gesammeltem organischen Kehrrecht in Kombination mit organischen Industrieabfällen abzuklären.

Das Projekt dauert vom Mai 1988 bis Ende 1989 und ist in folgende Teilprojekte unterteilt:

1. Zusammenfassen des heutigen Wissenstandes über die Technologie der Vergärung fester organischer Abfälle
2. Bestimmung des heute und zukünftig bestehenden Potentials von organischen Abfällen
3. Bestimmen des Biogaspotentials und der Verfahrensparameter für die Vergärung einzelner spezieller Abfälle und Abfallgemische im Labor
4. Evaluation der optimalen technischen Lösungen für verschiedene Entsorgungs-Szenarien unterschiedlicher Priorität
5. Abschätzung der Wirtschaftlichkeit und Vergleich des anaeroben Abbaus mit der heute praktizierten Entsorgung (Verbrennung, Kompostierung, Deponie)

6. Ausarbeiten von Empfehlungen für interessierte Gemeinden und Verbände

Gemäss Terminplan waren für 1988 vor allem Arbeiten in den beiden ersten und auch im dritten Schwerpunkt vorgesehen.

2. Durchgeführte Arbeiten 1988:

Über die Technologie zur Vergärung fester organischer Abfälle besteht bereits ein relativ umfangreiches Wissen. Als erstes galt es daher, die bestehende Dokumentation zu ergänzen und die Literatur auszuwerten. Daneben wurden Kontakte mit den europäischen Forschergruppen und Firmen, welche an einschlägigen Projekten arbeiten, ausgebaut. Durch Besuche der in Betrieb stehenden Versuchs- und Praxisanlagen wurden weitere Eindrücke über den Stand der Technik gewonnen.

Zur Bestimmung des Potentials an organischem Kehrrichtanteil wurde - nach Auswertung der sehr stark streuenden Literaturangaben - mit eigenen Kehrrichtsortierungen begonnen. Untersucht wird Kehrricht von Zürich und Horgen (gemischte Abfuhr), sowie von Schaffhausen (getrennte Einsammlung), um die Menge, die Zusammensetzung und die Bandbreite der Schwankungen des organischen Anteils zu bestimmen.

Um das Potential an organischen Industrieabfällen abschätzen zu können, wurde in Zusammenarbeit mit dem Bundesamt für Statistik ein repräsentativer Querschnitt durch die einschlägigen schweizerischen Industriebetriebe gebildet. Mit Fragebogen wurden diese Betriebe zur Abfallsituation befragt. Insgesamt wurden 978 Fragebogen, verteilt auf 18 Wirtschaftszweige, versandt. Innerhalb der Wirtschaftszweige wurden Gruppen unterschiedlicher Betriebsgrössen gebildet. Grossbetriebe der einschlägigen Zweige wurden praktisch vollständig angeschrieben. Der Rückfluss der Fragebogen war unterschiedlich gut: Total wurden 143 Fragebogen zurückgesandt, wobei zwischen den Wirtschaftszweigen deutliche Unterschiede zu verzeichnen waren

(Schwankungen zwischen Zweig "Gemüseverarbeitung" 48% und Zweig "Kaffee-/Teeverarbeitung" 3% Rückfluss). Nach erfolgter Auswertung der eingegangenen Fragebogen werden zur Zeit in Kontakt mit den verschiedenen Verbänden der einzelnen Industrien und Gewerbe noch vorhandene Informationslücken geschlossen.

Eine Literaturlauswertung hat gezeigt, dass zur Vergärung von verschiedenen Industrieabfällen bereits recht umfassende Daten vorhanden sind. (Milchverarbeitende Industrie, Brennereien, Kartoffelverarbeitung, Papierindustrie, Oelgewinnung, etc.). Umfangreiche Laboruntersuchungen traten daher in den vergangenen Monaten zurück zugunsten von Literaturarbeiten. Momentan werden in Laborfermentern Versuche angefahren zu Substraten, welche in Kampagnebetrieben anfallen.

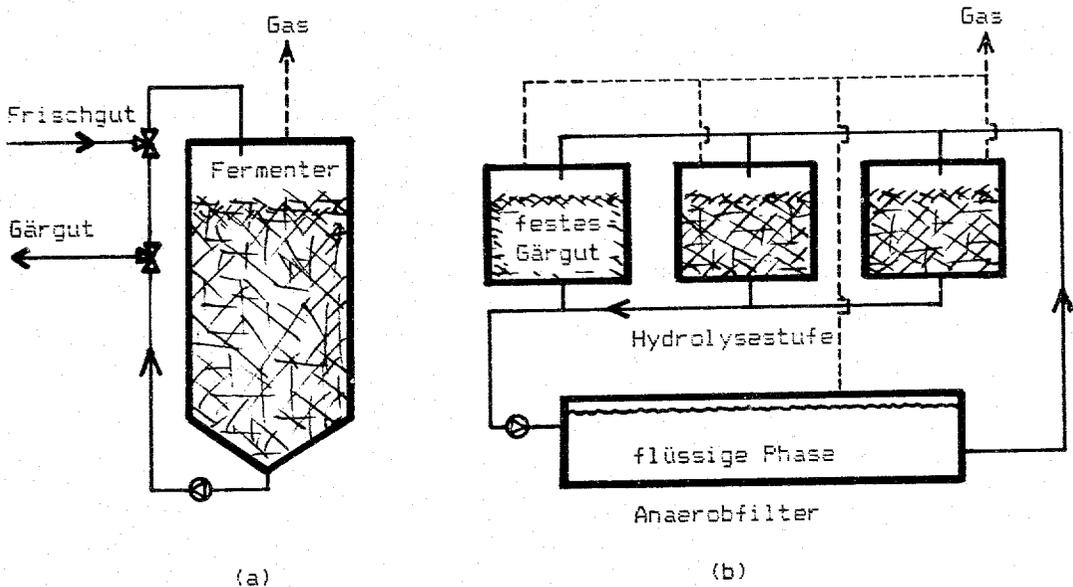
3. Erreichte Ergebnisse und unvorhergesehene Vorkommnisse:

In Anbetracht der kurzen Projektdauer von rund sieben Monaten sind zur Zeit noch keine Resultate vorhanden, welche publikationsreif sind: Im Bereich der Verfahrenstechnik sind zusätzlich eigene Versuche nötig (vergl. unten) und bei der Potentialbestimmung von Kehrrecht sind Wiederholungen der Untersuchungen erforderlich.

Der Vergleich der verschiedenen Technologien zur Vergärung fester Abfälle hat gezeigt, dass neben der konventionellen, "nassen" Vergärung zwei grundsätzlich verschiedene Verfahren zur Diskussion stehen, welche nicht denselben Entwicklungsstand aufweisen: (vergl. Fig.1)

- Der Einstufenprozess, in welchem organisches Material mit hohem Trockensubstanzgehalt in einem speziell dafür konzipierten Fermenter vergoren wird, ist relativ weit entwickelt; mesophil und thermophil betriebene Grossanlagen sind in Belgien und Frankreich in Betrieb.
- Im Zweistufenprozess werden in einer Hydrolyse- und Versauerungsstufe organische Substanzen in Lösung gebracht, welche

anschliessend in einer Hochleistungsanlage methanisiert werden. Dieser Prozess ist bis zum Pilotmassstab entwickelt. Erste Resultate lassen darauf schliessen, dass im Zweistufenprozess deutlich kürzere Abbauzeiten erreicht werden können. Allerdings scheinen die gewählten verfahrenstechnischen Ansätze bei der Hydrolyse nicht problemlos auf Grossanlagen übertragbar zu sein.



FIGUR 1: Schematische Gegenüberstellung des ein- und des zweistufigen Prozesses: (a) Einstufenprozess mit kontinuierlicher Umwälzung des Gärguts (ca. 35% TS) und mit (semi-)kontinuierlicher Zugabe bzw. Entnahme von Frischgut bzw. Gärgut. (b) Zweistufenprozess mit Hydrolysestufen (hier Batchbetrieb) und Zirkulation der flüssigen Phase über eine Methanisierungsstufe. Die Hydrolysestufen werden zeitlich gestaffelt mit Substrat beschickt.

Um zusätzliche Informationen für den Vergleich der beiden Verfahren zu erhalten, wird momentan bei einer privaten Entsorgungsfirma eine kleine zweistufige Versuchsanlage mit einer Methanisierungsstufe von einem Kubikmeter Gärvolumen errichtet. Es sollen drei verschiedene Hydrolysemethoden in Fermentern von rund hundert Litern Inhalt miteinander verglichen werden. Die Hydrolysestufen werden im Batchbetrieb gefahren, da der Batchbetrieb bei grossem täglichem Anfall an festen Abfallstoffen auch bei Grossanlagen gegenüber einer

kontinuierlichen Beschickung vorteilhafter erscheint. Für die Methanisierung der bei der Hydrolyse ausgewaschenen Stoffe wird ein von der ARBI kürzlich entwickelter pulsierender, dynamischer Anaerobfilter eingesetzt

Ursprünglich war vorgesehen, durch einen langjährigen Mitarbeiter der ARBI im Bereich dieser Fragestellung eine ETH-Diplomarbeit an der EAWAG durchzuführen. Leider stellten sich diesem Unterfangen unüberwindliche Hindernisse in den Weg, sodass die vorgesehene verfahrenstechnische Fragestellung jetzt durch einen neu eingestellten Mitarbeiter ausserhalb der Hochschule bearbeitet werden muss.

4. Veröffentlichungen:

Edelmann W.: Fermentierung von festen und flüssigen Abfallstoffen mit Biogasgewinnung, in: Arbeitskreis für die Nutzbarmachung von Siedlungsabfällen (ANS), 40. Info Bregenz, Bad Kreuznach, 1988.

5. Zukünftige Forschungsarbeiten:

Falls sich die unter Pt.3 erwähnten Untersuchungen zum Zweistufenprozess als erfolgversprechend zeigen, scheint es sinnvoll zu sein, diesen Weg weiter zu verfolgen. Allenfalls könnte sich der Bau einer grösseren Versuchsanlage aufdrängen, da infolge von Kompaktierungsprozessen der Scale-Up von Verfahren mit festen Substraten deutlich problematischer ist als derjenige von flüssigen Medien.

DÜNNE SCHICHTEN FÜR FUSIONREAKTOREN

Ziel des Projekts:

Dieses Projekt soll dazu dienen, die momentan verwendeten Beschichtungen und Materialien in Fusionsreaktoren (z.B. a-C:H, B/C) zu charakterisieren und einen Beitrag zum Verständnis der Plasma-Wand Wechselwirkung zu liefern. Daneben sollen neue Schichten mit niedriger Kernladungszahl hergestellt und charakterisiert werden. Es sollen die Oberflächeneigenschaften (Absorptionsverhalten, Erosion) der relevanten Materialien bezüglich verschiedener Moleküle und Ionen (H_2O , CO, CO_2 , H_2) untersucht werden.

Dauer des Projekts: 1. Sept. 1988 - 31. August 1991

Beitragsempfänger: PD Dr. Peter Oelhafen

Berichtersteller: dito

Adresse: Institut für Physik, Klingelbergstrasse 82, 4056 Basel

Telephon: 061 44 20 40

1. Anvisierte Zielpunkte für 1988

Für das erste Jahr des im September 1988 angelaufenen Projektes wurden folgende Ziele anvisiert:

- Ausbau der Infrastruktur, einrichten einer Anlage zur Herstellung von Schichten
- Charakterisierung von B/C Schichten
- Untersuchung von Oberflächeneigenschaften von a-C:H und Wasserstoff-implantiertem Graphit

2. Durchgeführte Arbeiten 1988

2.1 Ausbau der Infrastruktur

Die Durchführung des vorliegenden Projekts basiert neben den *analytischen Untersuchungsmethoden* vor allem auf der *Präparation* der Materialien. Auf der Seite der bereits vorhandenen Analytik ist praktisch keine Erweiterung notwendig. Dagegen erfordert die Präparation den Aufbau einer Apparatur zur Herstellung von dünnen Schichten. Diese soll eine *in-situ* Charakterisierung (d.h. eine Charakterisierung der Schichten unmittelbar nach der Herstellung ohne Luftexposition) der präparierten Materialien mit Elektronenspektroskopie ermöglichen. Nach eingehenden Abklärungen wurde ein Konzept für eine Depositionsapparatur entworfen, welches die Herstellung dünner Schichten mit plasmaunterstützten Methoden erlaubt. Insbesondere sollen damit Schichten mit PECVD ('plasma enhanced chemical vapor deposition'), durch Sputtern und reaktives Sputtern sowie direkter Ionenstrahldeposition abgeschieden werden. Für das vorliegende Projekt ist vor allem die PECVD Methode von Bedeutung, währenddem die Abscheidung durch Sputtern in einem anderen Projekt ('selektive Schichten in der Hochtemperatursolartechnologie') angewendet werden soll. Die soeben bestellte Depositionsapparatur soll im April 1989 installiert werden.

2.2. Charakterisierung von B/C Schichten

Die am Anorganisch-Chemischen Institut (ACI) der Universität Zürich in Zusammenarbeit mit dem Paul Scherrer Institut entwickelten B/C Beschichtungen [1] wurden zu Beginn des Jahres 1988 erfolgreich am TEXTOR angewendet.

Obschon einige für die Anwendung wichtige Eigenschaften dieser Schichten bereits untersucht wurden, ist das Material als solches bezüglich seiner atomarer und chemischer Struktur noch ungenügend charakterisiert. Um diese Informationslücken zu schliessen, haben wir begonnen, B/C Schichten, die am ACI hergestellt worden waren, mit Elektronenspektroskopie zu charakterisieren. Damit soll vor allem über die chemische Struktur des Materials Information gewonnen werden. Experimente zur Untersuchung der atomaren Struktur wie z.B. Transmissions-elektronenmikroskopie und Röntgenbeugung sind ebenfalls vorgesehen. Die vorläufigen Ergebnisse der Elektronenspektroskopie (insbesondere der Röntgenphotoelektronenspektroskopie) zeigen deutlich die Problematik der nicht in-situ durchgeführten Messungen an diesen Schichten auf. Da diese Untersuchungsmethode extrem oberflächenempfindlich ist, können die Messungen durch Kontaminationen, die an den Luft-exponierten Proben adsorbiert werden können, empfindlich gestört werden. Die sonst übliche Reinigung der Proben durch Ionenätzen ist in diesem Fall wenig sinnvoll, da die chemische Struktur der Schicht durch Beschuss mit Edelgasionen verändert werden kann. Deshalb sind längerfristig in-situ Untersuchungen unumgänglich.

Als vorläufige Ergebnisse können folgende Aussagen gemacht werden:

- a) die Proben zeigen eine relativ starke Oberflächenkontamination, was aus den hohen Sauerstoff- und Kohlenstoff-Intensitäten geschlossen werden kann.
- b) die Sauerstoff-Kontamination im Probeninnern (ermittelt durch Ionenätzen der Oberfläche) ist niedrig (Grössenordnung um 1 at%).
- c) mit und ohne bias-Spannung abgeschiedene Schichten zeigen grosse Unterschiede in der Zusammensetzung.
- d) eine durch Ionenätzen gereinigte Probe zeigt eine Kohlenstoff C1s Bindungsenergie, die auf karbidisch gebundenen Kohlenstoff hindeutet. Allerdings ist die Linienbreite sehr gross, was eindeutig zeigt, dass es sich nicht um ein einphasiges System handelt, sondern Kohlenstoff in verschiedenen chemischen Bindungen enthält. Die Bor B1s Bindungsenergie derselben Probe ist verglichen mit Literaturdaten sehr hoch und ähnlich wie die C1s Linie stark verbreitert. Diese vorläufigen Messungen zeigen, dass ein relativ geringer Anteil des Materials in karbidischer Form vorliegt.

2.3 Untersuchungen von implantiertem Graphit

Graphit stellt ein wichtiges Konstruktionsmaterial für Fusionsreaktoren dar. Die physikalischen

Eigenschaften dieses Materials sind deshalb von Interesse. In diesem Zusammenhang haben wir die Eigenschaften von *Wasserstoff- und Edelgasionen-implantiertem Graphit* untersucht. Diese Experimente wurden von V. Philips und E. Vietzke (KFA Jülich) vorgeschlagen. Diese haben in früheren Experimenten gezeigt, dass die chemische Eigenschaften von H-implantiertem Graphit und den a-C:H Schichten ähnlich sind [2]. Durch in-situ Ionenimplantation im keV Bereich und anschließender Charakterisierung haben wir zusammengefasst folgende Resultate erhalten:

- a) Graphit wird durch Wasserstoffimplantation, durch H-Ionen im keV Bereich, tatsächlich in eine Material umgewandelt, das mit der sehr empfindlichen Ultraviolett-Photoelektronenspektroskopie (UPS) und Röntgen-Photoelektronenspektroskopie (XPS) von a-C:H kaum zu unterscheiden ist. Die UPS Valenzbandspektren in Fig. 1 zeigen die Transformation vom halbmetallischen Graphit in die isolierende a-C:H ähnliche Phase. Zum Vergleich ist in Fig. 2 das entsprechende Valenzbandspektrum einer in-situ hergestellten a-C:H Schicht (Methan-Ionenstrahldeposition) wiedergegeben.

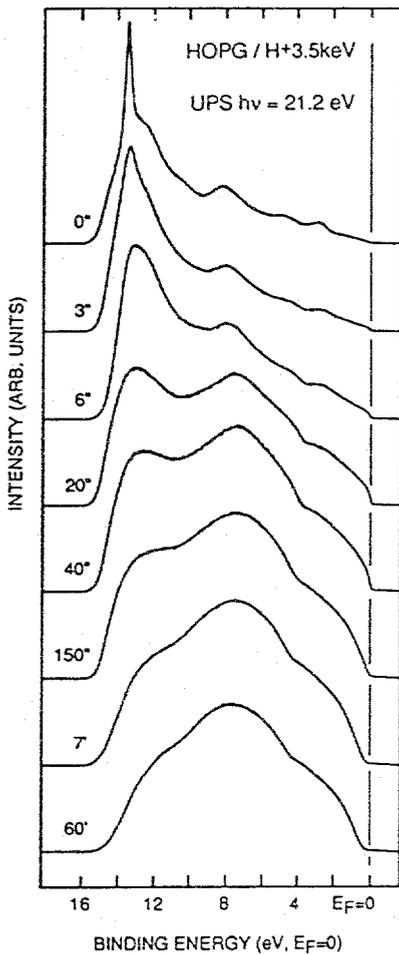


Fig. 1

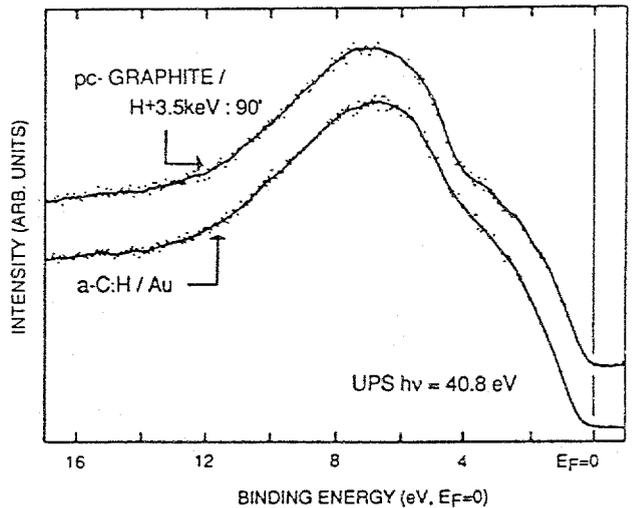


Fig. 2

- b) Die Transformation zur isolierenden Phase erfolgt über eine metallische Phase, was aus der Existenz einer Fermikante in den Spektren mit den Implantationszeiten $t = 3 - 40$ sec entnommen werden kann und durch Leitfähigkeitsmessungen belegt wurde.
- c) Durch Implantation mit Edelgasen konnten wir zeigen, dass die Bildung der metallischen Phase kein wasserstoffspezifisches Phänomen ist, sondern auch in Graphit, implantiert mit Edelgasen bei kleinen Bestrahlungsdosen, vorhanden ist. Dies deutet darauf hin, dass es sich um einen Effekt handelt, der durch eine kritische Störung des Graphitgitters hervorgerufen wird.
- d) Die Implantation durch Edelgasen erzeugt eine Bläschenbildung an der Graphitoberfläche. Diese konnte dagegen in H-implantierten Proben nicht beobachtet werden. Nach Literaturangaben erreicht die H-Implantation bei etwa 40 at% eine Sättigung [3].
- e) Die Messungen der Kohlenstoff C1s Bindungsenergie des Graphits in Abhängigkeit der Implantationsdosis ist in Fig. 3 dargestellt und stimmt mit den von Gotoh et al. [4] publizierten Werten überein. Allerdings ist aus unseren Messungen klar herausgekommen, dass die in der Literatur gegebene Interpretation des Verlaufs der C1s Bindungsenergie falsch ist. Die Existenz des Minimums der Kurve in Fig. 3 ist nicht auf eine chemische Verschiebung zurückzuführen, sondern muss vielmehr mit der Verschiebung der Fermienergie, hervorgerufen durch die Bildung der vorher nicht bekannten metallischen Phase, erklärt werden.

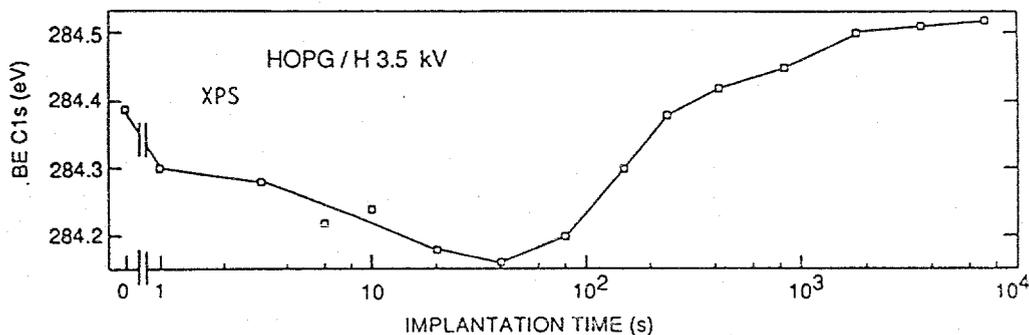


Fig. 3

Die vorliegenden Messungen liefern einen Beitrag zum Verständnis der chemischen und physikalischen Eigenschaften von implantiertem Graphit. Entsprechende Publikationen werden gegenwärtig bearbeitet.

Bibliographie

- [1] 'Development of plasma CVD and feasibility study of boron carbide in-situ coatings for tokamaks', S. Vepřek, S. Rambert, M. Heintze, F. Mattenberger, M. Jurčik-Rajman, W. Portmann, D. Ringer and U. Stiefel, *J. Nucl. Mat.*, in press
- [2] 'Surface modification due to hydrogen-graphite interaction', E. Vietzke and V. Philips, *Nucl. Instr. and Meth. B23*, 449 (1987)
- [3] 'Subsurface molecule formation in hydrogen-implanted graphite', W. Möller and B. M. U. Scherzer, *Appl. Phys. Lett.* **50**(26), 1870 (1987)
- [4] 'C1s binding-energy shift of pyrolytic graphite bombarded by keV-Deuterium ions', Y. Gotoh and O. Okada, *J. Nucl. Sci. Technol.* **21**(3), 205 (1984)

O F E N

PROJETS DE RECHERCHE ÉNERGÉTIQUE 1988

B E W

ENERGIE - FORSCHUNGS - PROJEKTE 1988

TEXTOR

Ziel des Projekts: Untersuchung der Plasma-Wand-Wechselwirkung und der Wanderosion im Hinblick auf die Bildung von Plasmapverunreinigungen die das Erreichen der Zündbedingungen in einem Fusionsreaktor behindern würden. Entwicklung und Testen von in-situ abgeschiedenen Schutzschichten aus Borcarbid und Durchführung von in-situ Beschichtungen im Textor und in anderen Tokamaks.

Dauer des Projektes: Gesamt: 1.10.1985 - 31.12.1988
Berichtsperiode: 1.1.1988 - 1.12.1988

Beitragsempfänger: Anorganisch-chemisches Institut der
Universität Zürich

Berichtserstatter: PD Dr. S. Veprek

Adresse: Winterthurerstrasse 190, 8057 Zürich

Telephon: 01 - 257 46 51 direkt
01 - 257 46 10 Sekretariat

1. Anvisierte Zielpunkte für 1988:

Der Schwerpunkt lag bei der Vorbereitung und Durchführung von in-situ Abscheidung im TFXTOR. Zu diesem Zweck mussten mehrere spezifische Untersuchungen über die Eigenschaften der B/C-Schichten im Hinblick auf ihre Anwendung im TEXTOR sowie über die Abscheidung in dem TEXTOR-Simulator am PSI (EIR) durchgeführt werden. Wegen den bevorstehenden Experimenten im TEXTOR wurde die Arbeit der ganzen Gruppe auf dieses Ziel konzentriert.

Darüberhinaus wurde es angestrebt die Untersuchungen von Wasserstoffrecycling an reinen Metalloberflächen (verschiedene relevante Stähle und reine Metalle) abzuschliessen, damit in der nachfolgenden Phase das Wasserstoffrecycling an in-situ dargestellten B/C-Schichten in Angriff genommen werden könnte.

2. Durchgeführte Arbeiten 1988:

Die im Jahre 1988 durchgeführten Arbeiten können in drei Hauptgruppen aufgeteilt werden:

a) Untersuchungen verschiedener physikalischer und chemischer Eigenschaften von B/C-Schichten im Hinblick auf deren Anwendung im TEXTOR. Dies beinhaltete u.A. die Erweiterung von früheren Untersuchungen über die Stabilität der Schichten im Wasserstoffplasma gegen thermischen Schocks und gegen Oxidation unter spezifischen Bedingungen im TEXTOR. Besondere Aufmerksamkeit musste der Wechselwirkung zwischen dem halbleitenden Borcarbid und verschiedenen Isolator-Materialien, die im TEXTOR eingesetzt sind, gewidmet werden.

b) Grossflächige in-situ Beschichtungsexperimente im TEXTOR-Simulator am PSI (EIR) Würenlingen. Hierbei haben wir uns insbesondere auf die ingenieurmässige Entwicklung der optimalen Beschichtungsbedingungen, die eine ausreichende Gleichmässigkeit der Abscheidungsgeschwindigkeit über die ganze Liner-

Segment-Fläche gewährleisten, konzentriert. Als zweites Problem stand dabei die Untersuchung der Abhängigkeit der Stöchiometrie des Deposits von der Zusammensetzung der Gasphase sowie vom Substrat bias unter ähnlichen Abscheidungsbedingungen wie im TEXTOR.

c) Abschluss der Untersuchungen über das Wasserstoffrecycling an reinen Metalloberflächen und Vorbereitung der Experimente am Borcarbid. In diesem Zusammenhang wurden auch die Trapping-Eigenschaften von Bor und Borcarbid für die Reduktion der Restgasverunreinigungen im Plasma untersucht.

3. Erreichte Ergebnisse in 1988:

Als das wichtigste Ergebnis darf man die erfolgreiche Durchführung der **in-situ Beschichtung im TEXTOR** und die daraus resultierende wesentliche Verbesserung der Betriebsparameter des Tokamaks bezeichnen. Für die Einzelheiten sei auf die beiliegende gemeinsame Veröffentlichung mit dem TEXTOR-Team verwiesen (vgl. [1]). Erwähnenswert ist insbesondere die starke Abnahme der sauerstoffhaltigen Verunreinigungen, die auf die Trapping-Eigenschaften von Bor-Beschichtungen zurückzuführen ist. Die Verbesserung der Betriebseigenschaften von TEXTOR (z.B. die kritische Dichte) sind die Folge davon. Mit beschichtetem TEXTOR ist es auch das erstmalig gelungen während der ICR-Heizung (2 MW, 3 sec) eine konstante Plasmadichte ohne einen nennenswerten Anstieg zu erreichen. Die zusätzliche Plasmaheizung konnte damit eindeutig demonstriert werden.

Im Laufe der Vorbereitung der in-situ Beschichtungsexperimente wurden mehrere **Untersuchungen der Borcarbideigenschaften im Hinblick auf die Anwendung der B/C-Schutzschichten im TEXTOR** durchgeführt. Diese sind insbesondere in der Veröffentlichung [2] zusammengefasst. Aus Platzgründen kann hier auf die Einzelresultate nicht eingegangen werden. Es sei jedoch erwähnt, dass diese Resultate für die Akzeptanz unserer Beschichtungen durch das TEXTOR-Team wesentlich waren. Dies gilt auch für die

grossflächigen Bechichtungsexperimente im TEXTOR-Simulator am PSI (EIR) Würenlingen, die in Zusammenarbeit mit unseren Kollegen Ringer und Stiefel durchgeführt werden konnten (vgl. [2]).

Die Untersuchungen von **Wasserstoffrecycling an reinen Metalloberflächen** haben gezeigt, dass die von anderen Autoren vorgeschlagenen mechanistischen Modelle das Phänomen nicht richtig beschreiben (vgl. [3]). Dies betrifft insbesondere den Mechanismus der Wasserstoffdesorption, die durch das Ionenbombardement der Oberfläche bestimmt ist. Die thermische Desorption, die in der Bilanzgleichung durch einen kinetischen Term zweiter Ordnung bezüglich der Konzentration des getrappten Wasserstoffs beschrieben ist, dominiert nur nach dem Abschalten der Entladung. Demzufolge kann das Wasserstoffrecycling in den Tokamak-Plasmen nicht durch einen solchen Term beschrieben werden. Eine detaillierte Analyse der Messresultate hat es erlaubt zwischen dem "mobilen" und dem "getrappten" Wasserstoff zu unterscheiden sowie die entsprechenden Bindungsenergien zu bestimmen (für Einzelheiten vgl [3]).

Die meisten Modelle von Wasserstoffrecycling beschreiben den Wasserstofftransport im Metall als eine gewöhnliche Bulkdiffusion. Unsere Untersuchungen der Strahlungsschäden und deren Tiefenverteilung haben gezeigt, dass dies für die relevanten oberflächennahen Schichten wegen der dort durch das Wasserstoffplasma erzeugten hohen Konzentration von Defekten nicht korrekt ist. (Die Evaluation der Resultate ist z. Zt. noch im Gange, für vorläufige Daten vgl. [3].)

Die oben erwähnte starke Abnahme der Plasmaverunreinigungen im "boronisierten" TEXTOR ist zum Teil auf die im Vergleich mit Kohlenstoff wesentlich niedrigere Erosionsrate im Wasserstoffplasma (vgl. Abb. 8 in [2]), zum Teil auf die **Trapping-Eigenschaften von Bor** zurückzuführen. Im Unterschied zum Kohlenstoff, dessen Oxide gasförmig sind, bildet Bor ein chemisch sehr stabiles festes Oxid. Demzufolge werden die an den Metallwänden adsorbierten sauerstoffhaltigen Verbindungen

durch die B/C-Beschichtung chemisch gebunden und können nicht in das Plasma gelangen. Die in unserer Apparatur für Recycling durchgeführten systematischen Untersuchungen haben gezeigt, dass in einer sehr sauberen UHV-Apparatur die Borbeschichtung zu einer starken Abnahme von sauerstoffhaltigen Verbindungen führt (mehr als eine Grössenordnung für H_2O und CO_2 und etwa Faktor 2-4 für CO).

4. Fortschritt unserer Arbeiten verglichen mit denen des gesamten internationalen Projektes:

Unsere Arbeiten wurden termingerecht durchgeführt, sodass die in-situ Beschichtungsversuche im TEXTOR viel früher als ursprünglich geplant (März anstatt Herbst 1988) stattfinden konnten. Verglichen mit anderen Tokamak-Teams hat dadurch das TEXTOR Programm einen Vorsprung erreicht.

5. Veröffentlichungen:

- [1] J.Winter, et al:
Boronization in TEXTOR.
Proc. 8th Int. Conf. on Plasma Surface Interactions in Controlled Fusion Devices, Jülich, May 1988; J. Nucl. Mater., im Druck
- [2] S.Veprek, S.Rambert, M.Heintze, F.Mattenberger, M.Jurcik-Rajman, W.Portmann, D.Ringer and U.Stiefel:
Development of Plasma CVD and Feasibility Study of Boron Carbide In-Situ Coatings for Tokamaks.
Proc. 8th Int. Conf. on Plasma Surface Interactions in Controlled Fusion Devices, Jülich, May 1988; J. Nucl. Mater., im Druck
- [3] S.Veprek, F.Mattenberger, M.Heintze, M.Wiggins, M.Kitajima and K.Yamashita:
Kinetic and Structural Aspects of Trapping and Recycling of Hydrogen on Metallic Surfaces Exposed to Low Pressure Hydrogen Plasma
J. Vac. Sci. Technol. Jan./Feb. 1989, im Druck

6. Hinweise auf neue Forschungsarbeiten:

Die neu sich abzeichnenden Forschungsgebiete wurden in unserer kürzlich eingereichten Offerte für einen Forschungsautrag zusammengefasst.

S. Veprek

STOCKAGE PHOTOCHIMIQUE

But du projet:

Le projet se situe dans le domaine de la conversion de l'énergie solaire par voie photochimique. Les buts visés concernent d'une part le développement de systèmes catalytiques effectuant la photodissociation de l'eau en hydrogène et oxygène. D'autre part, nous développons des piles photo-électrochimiques produisant de l'énergie électrique à partir de la lumière visible. Ces travaux se basent sur la découverte récente de couches semi-conductrices sensibilisées par des chromophores dont le rendement de conversion de lumière en courant est très élevé.

Durée du projet:

1er février 1986 au 31 décembre 1988

Mandataire:

Institut de chimie physique II, EPF-Lausanne

Rapporteur:

Prof. Dr. M. Grätzel

Adresse:

ICP II, Ecole Polytechnique Fédérale, Ecublens, 1015 Lausanne

Téléphone:

(021) 693'31'12

1. OBJECTIFS VISES POUR 1988

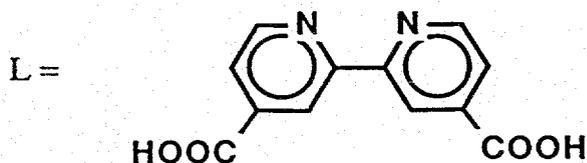
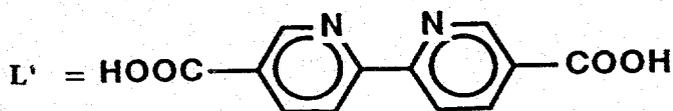
1.1. Photolyse de l'eau. Un problème primordial auquel se heurte tout système visant la décomposition de l'eau par voie photolytique ou électrochimique est la catalyse de l'évolution d'oxygène. Les catalyseurs actuellement disponibles sont instables ou donnent lieu à des pertes de surtensions trop élevées. Pour cette raison, il nous a paru important de concentrer nos efforts sur l'investigation d'un catalyseur moléculaire découvert dans notre laboratoire en 1987 et dont les propriétés s'avéraient particulièrement prometteuses. Il s'agit d'un complexe dimer du ruthénium, à savoir le $L_2(H_2O)Ru-O-Ru(H_2O)L_2$, où L désigne le ligand 2,2'-bipyridyldicarboxylate. Pour l'année 1988, nous nous sommes fixé le but de développer des voies de synthèse convenables pour plusieurs isomères de ce complexe, de caractériser leurs propriétés et de déterminer leur activité catalytique.

1.2. Développement de piles photo-électrochimiques pour la conversion de l'énergie solaire en électricité ou énergie chimique. Nous avons découvert un nouveau type de pile photo-électrochimique basé sur la sensibilisation de couches très rugueuses d'oxydes semi-conducteurs. En utilisant le RuL_3 (L = 2,2'-bipyridyl-4,4'-dicarboxylate) comme chromophore adsorbé à la surface du dioxyde de titane, un rendement monochromatique (480 nm) du photo-courant d'environ 70% a été obtenu. Le but visé pour 1988 a été d'étendre les études sur d'autres chromophores ayant un bon recouvrement avec l'émission spectrale du soleil. D'autre part, des études cinétiques du processus d'injection d'électron à partir du sensibilisateur excité dans la bande de conduction du TiO_2 ont été prévues. Celles-ci devraient permettre de déceler le mécanisme de la séparation de charge induite par la lumière à l'interface semi-conducteur/électrolyte afin d'optimiser les conditions d'opération de la pile.

2. TRAVAUX EFFECTUES EN 1988

2.1. Photolyse de l'eau. Synthèse de deux complexes dimères de ruthénium, le $L(H_2O)Ru-O-Ru(H_2O)L$ et le $L'(H_2O)Ru-O-Ru(H_2O)L'$, intervenant en tant que catalyseurs moléculaires dans l'évolution d'oxygène à partir de l'eau. Les deux ligands L et L' sont des isomères ne se distinguant que par la position des groupes carboxylates (voir structures ci-dessous). Caractérisation de leurs propriétés par mesures spectroscopiques (UV/visible, infrarouge et Raman) et électrochimiques (voltammétrie cyclique). Comparaison de leur activité catalytique et de leur stabilité. Photogénération d'oxygène en solution aqueuse en présence du catalyseur et d'un chromophore absorbant la lumière visible.

Structures:



2.2. Piles photo-électrochimiques. Synthèse et caractérisation d'un nouveau sensibilisateur, le *cis*-diaqua Ru(II)L_2 , qui se prête bien à la complexation de la surface du TiO_2 . Test des couches de TiO_2 dérivatisées avec ce complexe dans une pile régénératrice utilisant le couple rédox iodure/iode comme relais pour le transport de charge dans l'électrolyte. Mesure du rendement du photocourant en fonction de la longueur d'onde de la lumière incidente ("spectre d'action" de la photo-anode). Détermination de la caractéristique de la pile, à savoir son potentiel en circuit ouvert, le courant en court-circuit et le facteur de remplissage.

Examen de plusieurs sensibilisateurs disponibles sur le marché. La coumarine 343 (Kodak), montrant le meilleur rendement, est retenue pour des investigations plus détaillées. Des couches rugueuses de TiO_2 sont pour la première fois déposées sur un verre conducteur. Les propriétés optiques du film sont étudiées en fonction de son épaisseur en présence et absence du sensibilisateur. La comparaison entre l'absorption de la lumière par la couche recouverte par la coumarine et le photo-courant produit sous irradiation par la lumière monochromatique permet de déterminer le rendement quantique de l'injection d'électrons.

Mise au point d'un système de spectroscopie de réflexion résolue dans le temps qui est utilisé conjointement avec un laser pulsé comme source d'excitation. Un schéma de la partie optique de l'appareillage est donné ci-dessous. Ce système permet de suivre dans le domaine de la nanoseconde les changements optiques provenant de l'injection d'électron à partir du sensibilisateur excité dans la bande de conduction du semi-conducteur. Ainsi, pour la première fois, nous sommes en mesure de suivre directement le cours des réactions de transfert de charges associées avec le processus de sensibilisation sur des électrodes.

3. RESULTATS OBTENUS EN 1988

3.1. Photolyse de l'eau. Les deux complexes du ruthénium synthétisés dans notre laboratoire se sont avérés étant des catalyseurs très actifs pour l'évolution d'oxygène à partir de l'eau. A titre d'exemple, nous montrons dans la Figure 1 le voltammogramme cyclique d'une solution du $L_2(H_2O)Ru-O-Ru(H_2O)L_2$ dans l'eau contenant l'acide trifluorométhylsulfonique. La montée de la vague catalytique vers IV est bien discernable. Ceci implique qu'en présence de ce complexe, l'oxydation de l'eau peut s'effectuer avec une perte de surtension d'environ 0.2V seulement. Ce comportement est supérieur à l'activité de tout autre catalyseur moléculaire connu actuellement. L'introduction de groupes carboxylates dans les ligands influe favorablement sur les propriétés structurales et électroniques du complexe, rendant son intervention dans l'oxydation de l'eau particulièrement efficace.

L'étude du complexe $L_2(H_2O)Ru-O-Ru(H_2O)L_2$ a montré que le déplacement des groupes carboxylates des positions 5,5' en positions 4,4' des ligands bipyridyles change considérablement ses propriétés spectrales et rédox. En solution acide, ce deuxième catalyseur est moins stable que son isomère. Nous avons constaté une dégradation partielle du complexe après une centaine de "turnover". Cependant, la stabilité s'accroît en augmentant le pH de la solution. En milieu neutre, le $L(H_2O)Ru-O-Ru(H_2O)L$ montre une activité supérieure à celle de $L'(H_2O)Ru-O-Ru(H_2O)L'$ et, en même temps, une bonne stabilité.

3.2. Piles photo-électrochimiques. Le nouveau sensibilisateur cis-diaqua $Ru(II)L_2$ ($L = 2,2'$ -bipyridyl-4,4'-dicarboxylate) s'adsorbe facilement à la surface d'oxydes semi-conducteurs en formant des liaisons directes avec les ions d'oxygène du solide. La complexation de la surface du TiO_2 produit un composé particulièrement stable. Malgré une durée de vie très courte de l'état excité ($< 10^{-10}$ s), l'injection de charge est très efficace, le rendement du photo-courant dépassant 60%. La réponse spectrale d'une électrode dérivatisée par ce complexe, présentée dans la Figure 2, est très large dans le visible, montrant un bon recouvrement avec l'émission solaire.

Les mesures de la caractéristique de la pile régénératrice basée sur ce chromophore ont donné des facteurs de remplissage entre 65% et 75%. Il s'agit de valeurs très élevées, étant donné que le TiO_2 utilisé est polycristallin. Ce résultat montre que les pertes provenant de la recombinaison de porteurs de charge sont minimales dans le cas de ces couches sensibilisées. L'excellente stabilité du cis-diaqua $Ru(II)L_2$ le rend particulièrement attractif pour l'application pratique. Il serait néanmoins souhaitable d'augmenter encore le potentiel à circuit ouvert des piles, qui est de 0.5V comparé avec 0.9V que l'on obtient avec le RuL_3 comme sensibilisateur. Cette différence s'explique par le potentiel rédox peu élevé du cis-diaqua $Ru(II)L_2$ dans l'eau. La modification chimique du ligand ou l'utilisation de solvants non-aqueux sont deux possibilités que nous explorons actuellement pour améliorer encore le rendement global du dispositif.

Les résultats obtenus avec la coumarine 343 comme sensibilisateur sont particulièrement intéressants. Les rendements du photo-courant aux longueurs d'ondes proches du maximum spectral du sensibilisateur dépassent 80%. Ce sont les rendements les plus élevés obtenus jusqu'à présent. Une étude détaillée de ce système utilisant la spectroscopie de réflexion résolue dans le temps est en cours. Des résultats préliminaires montrent que l'injection d'électrons à partir de la coumarine excitée à l'état singulet dans la bande de conduction se fait avec un rendement quantique proche de 100% et que ce processus se produit en moins d'une nanoseconde. Par contre, la réaction inverse, c.à.d. la recombinaison de l'électron avec le cation du sensibilisateur, est beaucoup plus lente, demandant plusieurs microsecondes. Ces données expliquent le comportement exceptionnel de ce chromophore.

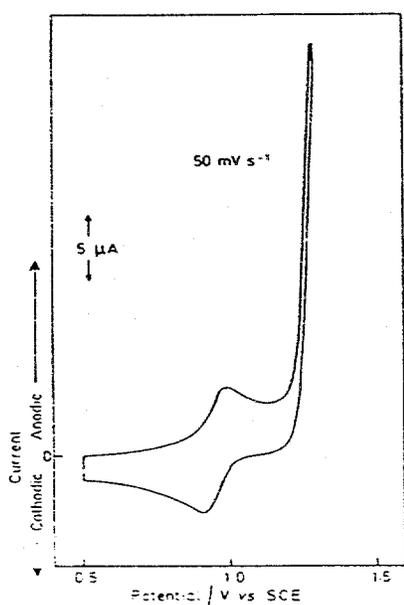


Fig. 1

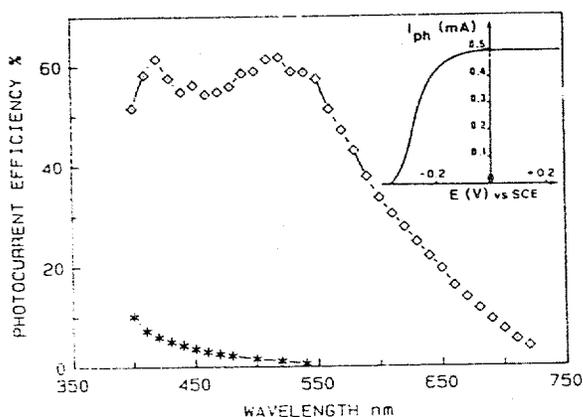


Fig. 2

4. COLLABORATION INTERNATIONALE

Elle concerne le développement des catalyseurs moléculaires pour la production de l'oxygène à partir de l'eau qui se fait de concert avec l'Institut de Recherche sur l'Energie Solaire (SERI) aux Etats-Unis.

5. PUBLICATIONS

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. **110**, 1216-1220, 1988.

P. Liska, N. Vlachopoulos, M.K. Nazeeruddin, P. Com e and M. Grätzel
 "cis-Diaquabis (2,2'-bipyridyl-4,4'-dicarboxylate)-ruthenium(II) Sensitizes Wide Band Gap Oxide Semiconductors Very Efficiently over a Broad Spectral Range in the Visible"
 J.Am.Chem. Soc. **110**, 3686-3687, 1988.

N. Vlachopoulos, P. Liska, A.J. McEvoy and M. Grätzel
 "Efficient Sensitization of TiO₂ Electrodes Using Transition Metal Charge Transfer Complexes"
 Proc. Biennial Cong. Int'l Sol.Energy Soc., Hamburg, RFA; in *Advances in Solar Energy Technology*, vol.3, p. 3003, Pergamon Press, Oxford, England (1988).

J.G. Highfield and M. Grätzel
 "Discovery of Reversible Photochromism in Titanium Dioxide Using Photo-acoustic Spectroscopy. Implications for the Investigation of Light-Induced Charge-Separation and Surface Redox Processes in Titanium Dioxide"
 J. Phys.Chem. **92**, 464-467, 1988.

M. Grätzel
 "Artificial Photosynthesis; Very Efficient Visible Light Energy Harvesting and Conversion by Spectral Sensitization of Fractal Oxide Semiconductor Films"
 Proc., IPS-7 Conference, Chicago, Ill., USA, August 1988.

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 optimiser 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 TiO₂ dopé par Al ainsi qu'aux perovskites (SrTiO₃) dont le niveau de Fermi est plus négatif que celui du TiO₂. 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 a été soumise à l'Office Fédéral de l'énergie.

KORROSIONSSCHUTZ VON PHOTOELEKTRODEN

Ziel des Projekts:

Es soll versucht werden, das grösste Problem der Photoelektrolyse, nämlich die Korrosion der Halbleiterelektroden unter Belichtung durch neue Methoden anzugehen. Diese bestehen aus der Abscheidung eines stabilen durchsichtigen Oxids auf den Halbleiter oder/und einer geeigneten katalytischen Modifizierung der Oberfläche. Die zweite Methode kann sowohl auf flächenhafte Elektroden als auch auf Halbleiter-Pulver angewendet werden. Als Halbleiter werden ausschliesslich solche hoher Absorption verwendet, die sich in der Form dünner Schichten verwenden lassen.

Dauer des Projekts: 2 Jahre

Beitragsempfänger: Lab. für Festkörperphysik
Berichterstatter: Dr. H. von Känel
Adresse: ETH - Hönggerberg, 8093 Zürich
Telephon: 01/ 377 22 58

1. Anvisierte Zielpunkte für 1988

Das Ziel dieses Projekts fusst auf den Erfahrungen der letzten Jahre sowohl unserer als auch anderer Forschungsgruppen. Das eigentliche Problem bei der Photoelektrolyse besteht darin, ein stabiles System zu finden, das gleichzeitig hohe Ausbeuten liefert. Grundsätzlich stehen zur Lösung dieses Problems zwei Wege offen:

- Sensibilisierung eines stabilen Halbleiters grosser Bandlücke (inhärent kleine Ausbeute)
- Stabilisierung eines Halbleiters kleiner Bandlücke (hohe mögliche Ausbeute aber inhärent instabil).

In diesem Projekt wird ausschliesslich versucht, Halbleiter kleiner Bandlücke (d.h. hoher potentieller Effizienz bei gleichzeitig grossem Korrosionsproblem) zu stabilisieren und zwar durch

- a) Veränderung der katalytischen Aktivität der Oberfläche, d.h. Erhöhung der Kinetik erwünschter Reaktionen gegenüber den unerwünschten. Im Falle von Halbleiter-Pulvern in Kombination mit einer geeigneten Auslegung der photoelektrochemischen Zelle
- b) Beschichtung der Halbleiter durch ein stabiles transparentes Oxid
- c) eine Kombination beider Methoden.

Als Halbleitermaterialien werden die früher untersuchten Phosphide ZnP_2 und ZnSnP_2 verwendet. Sie besitzen eine direkte optische Bandlücke zwischen 1.5 und 1.7 eV und eignen sich damit zur Herstellung dünner Schichten. Für jegliche ernsthafte Absicht zur Anwendung der Photoelektrolyse ist dies eine unabdingbare Voraussetzung. Die einzige sinnvolle Alternative könnten Pulversysteme darstellen, deren Stabilisierung durch Methode a) ebenfalls zum Ziel dieses Projekts gehört.

2. Durchgeführte Arbeiten

2.1. Halbleiter-Elektroden

Die neu gebaute Sputterapparatur wurde in Betrieb genommen und die Kinderkrankheiten beseitigt. Als erste Oxidschicht wurde In_2O_3 gewählt, hergestellt durch reaktive Kathodenzerstäubung von Indium in einem Sauerstoff-Plasma.

Mit diesen leitenden Oxidschichten wurden Schottky-Dioden auf p-leitendem $\beta\text{-ZnP}_2$ realisiert und die Barrierenhöhe mittels I-V und C-V-Messungen bestimmt, ebenso der Photoresponse (Photostrom-Spektrum, I-V-Kurve unter Belichtung).

Die ersten (elektro)chemischen Untersuchungen umfassten

- Haftfähigkeit der Schichten in wässrigen Elektrolyten
- chemische Stabilität in Funktion des pH
- Strom-Spannungs-Kennlinie mit und ohne Beleuchtung bei verschiedenen pH's und ihre Stabilität als Funktion der Zeit.

Die Lage des Flachbandpotentials des sehr stabilen Chalkopyrit-Halbleiters p- ZnSnP_2 konnte durch Elektroreflexion bestimmt werden. Sie ist mit $V_{fb} = 0.7 V_{sce}$ bei pH 0 günstiger (positiver) als für unbeschichtetes ZnP_2 .

2.2. Technische Entwicklung für die Arbeiten an Pulversystemen

Es ist eine photoelektrochemische Messapparatur aufgebaut worden, um die Zersetzung von Wasser über unbeweglichen (nichtsuspendierten) Halbleiterpulvern zu studieren. Natürlich können bei Bedarf auch Suspensionen charakterisiert werden. Die Reduktions- und Oxidationsreaktionen laufen räumlich voneinander getrennt in einer dreiteiligen, vakuumfesten Pyrexzelle ab. Die produzierten H_2 und O_2 Mengen werden gaschromatographisch bestimmt. Durch Vergleich mit der zugehörigen geflossenen Ladung (zeitintegrierter Photostrom) ergibt sich über das Faraday'sche Gesetz sofort eine Aussage über die Photostabilität der Pulver. Opfersubstanzen werden keine benötigt. Die Donor- bzw. Akzeptorfunktion wird von einer potentiostatisch kontrollierten Kollektorelektrode übernommen, auf welcher das Pulver liegt. Sie besteht aus einer mit Elektrolyt vollgesogenen Glasfritte, welche dank eines dünnen, noch porösen Ueberzugs aus Titanmetall auch elektronisch leitet, womit ein permanenter elektronischer Kontakt mit den unbeweglichen, an der Grenzfläche Gas-Flüssigkeit liegenden Pulverkörnern gewährleistet ist. Wir erwarten, dass dadurch die Photokorrosion zusätzlich unterdrückt wird und der Umwandlungswirkungsgrad zunimmt.

3. Erreichte Ergebnisse

3.1. Halbleiter-Elektroden

Aus zeitlichen Gründen - Bau und Austesten der Zerstäubungsapparatur dauerten einige Monate länger als vorgesehen - wurde die vorgesehene Herstellung der Halbleiterelektrode selbst durch reaktive Kathodenzerstäubung auf das nächste Projektjahr verschoben. Das Prinzip der angestrebten Stabilisierung kann auch an Einkristallelektroden demonstriert werden.

Die Idee, die Photokorrosion instabiler Halbleiterelektroden meist kleiner Bandlücke (optimal - 1.5 eV) durch Abscheiden einer dünnen Schicht eines stabilen Oxids zu verhindern, ist an und für sich nicht neu. In den meisten Fällen wurde jedoch verkannt, dass sich damit das Funktionsprinzip einer Photoelektrode ändert. Eine leitende Oxidschicht erlaubt nämlich eine örtliche Entkoppelung der Lichtumwandlung und der elektrochemischen Prozesse: Das System besteht aus einer Schottky-Diode in Serie zum Oxid/Elektrolyt-Kontakt. Daraus ergeben sich zwei Bereiche, die unabhängig voneinander optimiert werden können:

- Schottky-Diode (typisches Festkörperproblem)
- katalytische Aktivität der Oxidoberfläche, etc. (Elektrochemische Seite).

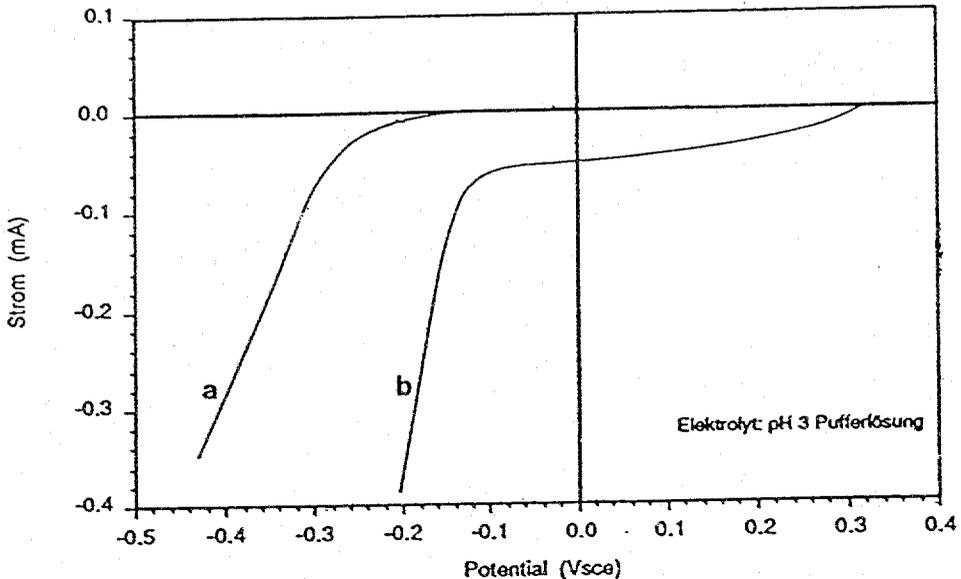
Kurz zusammengefasst wurden mit Hilfe der neuen Sputtermaschine folgende Ergebnisse erzielt:

- reproduzierbar sehr gut leitende In_2O_3 -Schichten: $\rho \sim 10^{-3} \Omega cm$
- Schottky-Dioden auf p-leitendem $\beta-ZnP_2$ mit einer reproduzierbaren Barrierenhöhe von $\phi_b = 0.65 \pm 0.03$ eV bestimmt durch I-V- und C-V Messungen.

Der Diodenidealitätsfaktor n liegt aber stets in der Gegend von 2. Die I-V-Kurve wird durch den hohen Seriewiderstand stark modifiziert, der hauptsächlich vom dünnen (3000 Å) Oxid stammt, trotz dessen (für Oxide!) hohen Leitfähigkeit. Am

Elektrolyt-Kontakt hingegen ist der Seriewiderstand des Oxids kein Problem (senkrechter Transport).

Entscheidend für die geplante Anwendung ist natürlich die Haftung des Oxids in wässriger Lösung. Sie ist ausgezeichnet im gesamten Bereich in dem In_2O_3 chemisch stabil ist (- pH 2 - pH 14).



Figur 1

Der entscheidende Hinweis, dass die angestrebte Stabilisierung wirklich funktioniert, ist in Fig. 1 enthalten. Sie zeigt den kathodischen Photostrom an einer stationären Elektrode als Funktion des Potentials (Sweep-Geschw. 7mV/sec). Kurve a) zeigt den Onset des Photostroms an einer unbeschichteten ZnP_2 -Elektrode. Bei Beschichtung mit In_2O_3 allein ergibt sich keine grosse Verbesserung, d.h. der Stromfluss beginnt bei einem ähnlich negativen Potential. Wird hingegen die Oxidoberfläche mit Platin belegt (durch Sputtern einer im Mittel 40 Å dicken Schicht) so ergibt sich ein viel positiverer Onset (Kurve b).

Erwähnenswert ist, dass im Falle der Kurve b

- 1) der Photostrom für $V > -0.1 V_{sce}$ diffusionslimitiert ist, wahrscheinlich also von der Reduktion von H_3O^+ zu Wasserstoff herrührt (der Beweis ist noch zu erbringen)
- 2) der Photostrom im Potentialbereich $> -0.1 V_{sce}$ an einer rotierenden Scheibenelektrode zeitlich konstant ist (über einige Std., der Langzeittest fehlt noch). Insbesondere ist zu bemerken, dass in diesem Potentialbereich das Oxid nicht reduziert wird.

Im Vergleich zur unbeschichteten Elektrode ist also eine wesentliche Verbesserung zu beobachten. Sie könnte noch viel grösser ausfallen, falls es gelingt:

- die Schottky-Barriere zu erhöhen und die Qualität der Diode zu verbessern
- die Pt-Abscheidung zu optimieren.

Der Stabilisierungseffekt sollte ausserdem auch an n-ZnP₂ untersucht werden, das noch viel stärker photokorrodiert als das p-leitende Material. Wegen Schwierigkeiten mit der n-Dotierung konnte dieses Problem noch nicht angegangen werden.

Versuche leitende SnO₂-Schichten herzustellen sind im Gang (um das System elektrochemisch möglichst einfach zu halten, wurde bisher auf die bekannten In-Sn-Oxidmischungen verzichtet).

3.2. Platinierung von α -ZnP₂ und ZnSnP₂-Pulvern

Die Proben wurden durch Zermörsern und Sieben (40 μ m Gitter) von α -ZnP₂ und ZnSnP₂-Einkristallen hergestellt. Die spezifischen Oberflächen wurden durch Adsorption von N₂ nach der BET-Methode bestimmt und sind relativ klein (0.4 – 0.8 m²/g), was einem mittleren Korndurchmesser von 2 – 4 μ m entspricht. Das Mikroskop zeigte, dass die Körner in Form und Grösse äusserst inhomogen sind (< 0.2 μ m – ca. 50 μ m). Da der Pt-Gehalt jeweils nur für eine bestimmte Korngrösse optimal gewählt werden kann, wird es notwendig sein, die Pulver zu homogenisieren.

Beide Materialien konnten mit der Methode der Thermodeposition (Imprägnation mit H₂PtCl₆ und Reduktion unter H₂ bei 200 – 400 °C) erfolgreich platinieren werden. Der Pt-Gehalt wurde mit Plasma-Atomemissionsanalyse bestimmt und entsprach im Falle von α -ZnP₂ auf 10% genau dem Sollwert. Die Morphologie der Anlagerungen ist leider unbekannt. Wegen der Grobkörnigkeit der Pulver konnten bisher keine brauchbaren TEM-Aufnahmen erhalten werden.

4. IEA

Seit Belgien aus Task VI der IEA ausgetreten ist sind die Kontakte zu den anderen Gruppen unterbrochen.

5. Veröffentlichungen

Photoelectrochemistry at (Semi) Insulating Electrodes,
O.E. Hüsler and H. von Känel,
J. Electrochem Soc., 135, (1988) 2214

Flatband measurement at the CdSiAs₂/aqueous electrolyte interface,
T. Cotting, H. von Känel, G. Leicht, F. Lévy,
Helv. Phys. Acta 61, 140, (1988)

Photoelectrochemical investigation of solar cell materials,
T. Cotting, E. Müller, H. von Känel, R. Hauger, G. Leicht, F. Lévy,
Chimia 42, 85, (1988)

Photoelectrochemistry of p-type CdSiAs₂ and ZnSnP₂ Single Crystal Electrodes,
T. Cotting, E. Müller, H. von Känel,
39th Meeting of the ISE, Glasgow, Scotland, (1988), 205

Photoelectrochemical investigation of CdSiAs₂,
T. Cotting, H. von Känel, G. Leicht, F. Lévy,
to be publ. in J. Electrochem. Soc.

6. Neue Forschungsarbeiten

Falls es wie erhofft gelingt, durch reaktive Kathodenzerstäubung dünne Schichten von ZnP_2 oder ZnSnP_2 mit Halbleiterqualität für die Photoelektrolyse herzustellen, so würde sich möglicherweise eine Anwendung auch in der Photovoltaik lohnen.

SOLAR-INTENSITÄTSVERTEILUNG IN KONZENTRATOREN

Ziel des Projekts:

Die Nutzung der Solarstrahlung bei hohen Temperaturen, z.B. zur Erzeugung chemischer Energieträger oder energieintensiver chemischer Stoffe bedingt eine Strahlungskonzentration durch meist paraboloidförmiger Spiegel. Der erreichbaren Konzentration sind allerdings Grenzen gesetzt, da die Sonne nicht eine Punktquelle darstellt, sondern wegen des scheinbaren Sonnendurchmessers von 0.53° und der Streuung der Strahlung in der Atmosphäre eine zweidimensionale Winkelverteilung aufweist. Je nach Spiegelgeometrie (Konzentrationsfaktor) geht die bei grösseren Winkeln einfallende Strahlung verloren. Das vorliegende Projekt hat zum Ziel, unter Verwendung eines Bildverarbeitungssystems die Winkelverteilung der Sonnenstrahlung über längere Zeit zu erfassen und das monatliche Potential der konzentrierbaren Strahlung im Mittelland und in den Alpen abzuschätzen.

Dauer des Projektes: vom 1. September 1988 bis zum 31. August 1991

Beitragsempfänger: Paul Scherrer Institut (PSI), Dr. W. Durisch

Berichtersteller: Dr. J. Keller

Adresse: 5232 Villigen PSI

Telephon: 056 / 99 21 11

1 ANVISIERTE ZIELPUNKTE FUER 1988

Hauptziel für die drei verbliebenen Monate des Berichtsjahres ist die Suche und die Anstellung eines am Projekt interessierten Wissenschafters. Sodann sollen bereits Vorabklärungen über ein geeignetes Bildverarbeitungssystem für die direkte Sonnenbeobachtung getroffen werden. Dieses System soll sich auch für die Messung der Intensitätsverteilung im Brennraum des am PSI aufzustellenden Parabolkonzentrators der Gruppe für Rüstungsdienste (GRD) einsetzen lassen.

2 DURCHGEFUEHRTE ARBEITEN 1988

Als neuer Mitarbeiter konnte Herr Dr. Markus Schubnell, Physiker, Universität Bern gewonnen werden. Er tritt seine Stelle am 16. Januar 1989 an.

In einer ersten Auswahl wurden mehrere Mess-Systeme für eine zusammengestellt. Derartige Systeme müssen in der Lage sein, mit einer Kamera Bilder aufzunehmen und als Intensitätsmatrizen abzuspeichern. Die Darstellung erfolgt entweder als Graustufenbild oder als zweidimensionale Intensitätsverteilung. Fig. 1 zeigt eine denkbare Intensitätsverteilung des Sonnenbildes.

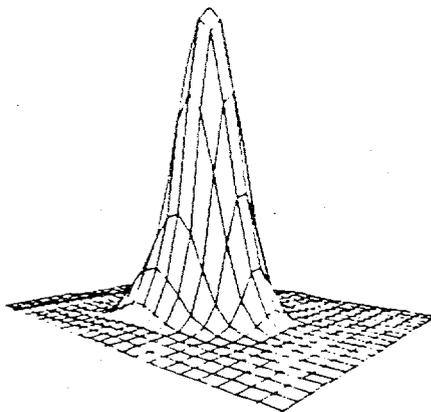


Fig. 1:

Beispiel einer zweidimensionalen Intensitätsverteilung des Sonnenbildes

Im Prinzip bieten sich als Mess-Systeme folgende Produkte an:

1. Flux Analyzing System (FAS), vor ca 10 Jahren am EIR für Heliostatenversuche entwickelt.
2. System HERMES, entwickelt an der Deutschen Versuchsanstalt für Luft und Raumfahrt (DFVLR) für Strahlungsflussmessungen in Almeria und am Parabolkonzentrator in Lampoldshausen / Stuttgart.
3. Im Handel erhältliche moderne Bildverarbeitungssysteme auf der Basis eines PC-, Q- oder VME-Bus.

Im weiteren befindet sich im Centre Suisse d'Electronique et de Microtechnique SA (CSEM) ein stabiler Sonnentracker in Entwicklung.

3 ERREICHTE ERGEBNISSE

Eine Prüfung der oben erwähnten bildverarbeitenden Systeme anhand eines Pflichtenheftes zeigte, dass unsere Anforderungen mit der Anschaffung eines serienmässigen Industrieproduktes am besten erfüllt werden können. Das FAS ist nach 10 Jahren veraltet und nur mit grossem Aufwand wieder für Strahlungsmessungen in Betrieb zu nehmen. Das Hermes System wurde ebenfalls speziell für Messungen an Konzentratoren gebaut, allerdings nur in einem einzigen Exemplar. Moderne Bildverarbeitungssysteme sind äusserst leistungsfähig (bis 50 Bilder/s zu 512^2 Bildpunkten mit 256 Graustufen). Für die von uns geforderte DEC - Umgebung (im Hinblick auf eine Kombination mit der Datenerfassung/Prozesssteuerung der vorgesehenen Experimente mit dem GRD - Konzentrador) kann bis jetzt lediglich eine Firma eine interessante Lösung anbieten.

4 INTERNATIONALER RAHMEN

Die vorliegenden Arbeiten lassen sich in das IEA Projekt "Small Solar Power Systems (SSPS)" einbetten. Eine vergleichbare Untersuchung wurde unseres Wissens aber noch nicht durchgeführt.

5 VEROEFFENTLICHUNGEN

keine

6 NEUE FORSCHUNGSARBEITEN

Infolge der kurzen vergangenen Projektdauer können noch keine weiteren Arbeiten vorgeschlagen werden.

SOLARREAKTOREN FÜR PULVERFÖRMIGE STOFFE

Ziel des Projekts:

Im Hinblick auf die Einkoppelung konzentrierter Solarstrahlung in einen thermochemischen Prozess ist es zweckmässig, einen pulverförmigen Feststoff in einen sogenannten Solarreaktor zu injizieren, wobei ein Gas (z.B. Luft) als Trägermedium Verwendung findet. Das Ziel des vorliegenden Projektes ist die Entwicklung derartiger Solarreaktoren. Einerseits soll ein feststehender Reaktor für den Betrieb im Brennraum des am PSI aufzustellenden und zusammen mit dem Heliostaten zu betreibenden Parabolkonzentrator der Gruppe für Rüstungsdienste (GRD) entwickelt werden. Andererseits ist eine Zusammenarbeit mit der Fa.Bühler AG in Uzwil angelaufen, die den Bau eines gegen den Strahleintritt fensterlosen Pulverreaktors zum Ziel hat. Als Modellreaktion ist vorerst die Kalzinierung ($\text{CaCO}_3 \rightarrow \text{CaO} + \text{CO}_2$) vorgesehen. Später sollen Untersuchungen an andern Reaktionen folgen.

Dauer des Projektes: vom 1.Dezember 1988 bis zum 30.November 1991

Beitragsempfänger: Paul Scherrer Institut (PSI), Dr.W.Durisch

Berichterstatter: Dr.J.Keller

Adresse: 5232 Villigen PSI

Telephon: 056 / 99 21 11

1 ANVISIERTE ZIELPUNKTE FUER 1988

Zur Bereitstellung von konzentrierter Solarstrahlung ist der 5.7 m² Parabolkonzentrator der Gruppe für Rüstungsdienste (GRD) ans PSI zu verlegen und mit dem Aufbau der erforderlichen Infrastruktur (Laborgarage, Laborcontainer, Heliostatensteuerung zur Strahlungsführung, etc.) zu beginnen. Für den im Hinblick auf solarchemische Experimente mit diesem fixen Konzentrator vorgesehenen Pulverreaktor sind mögliche Varianten zu entwerfen.

Für den zusammen mit der Industrie zu entwickelnden halbtechnischen Pulverreaktor ohne Fenster ist vorerst eine Machbarkeitsstudie durchzuführen. Es ist geplant, diesen Reaktor im Brennraum eines noch zu beschaffenden grösseren Parabolkonzentrators zu betreiben. Bei positivem Ausgang dieser Machbarkeitsstudie ist die Entwicklung eines Prototypen für "kalte" Vorversuche in die Wege zu leiten.

2 DURCHGEFUEHRTE ARBEITEN 1988

Mit der zur GRD gehörenden Fachabteilung "AC - Laboratorium Spiez" wurde ein Vertrag abgeschlossen, aufgrund dessen das PSI den 5.7 m² Konzentrator leihweise übernehmen kann. Es ist vorgesehen, diesen Spiegel in fixer Position zu betreiben, wobei der bereits vorhandene 50 m² Heliostat die Sonnenstrahlung vorfokussiert. Auf diese Weise ist eine Strahlungsleistung im Brennraum von mindestens 10 - 20 kW zu erwarten. Im Berichtsjahr erfolgte die Erstellung der Laborgarage für den GRD - Spiegel. Im weiteren wurde der Heliostat neu justiert und einige Hardwaremodifikationen der Nachführungssteuerung ausgeführt.

Im Rahmen der am PSI durchzuführenden Reaktorentwicklung arbeitete sich ein Mitarbeiter in die Problematik der Zweistoffströmungen ein, woraus u.a. ein erster Vorschlag für einen Reaktor resultierte /1/.

Für einen gemeinsam mit der Industrie zu entwickelnden Reaktor, der im Brennraum des McDonnell Douglas Konzentrators betrieben werden soll, ist eine Zusammenarbeit mit der Firma Gebr. Bühler AG in Uzwil angelaufen. Diese Firma entwickelt und fabriziert Förder- und Lagereinrichtungen sowie ganze verfahrenstechnische Anlagen für pulverförmige und körnige Güter. Als ersten Auftrag erarbeitete die Firma Bühler AG aufgrund eines Pflichtenheftes /2/ eine Studie /3/, die die Machbarkeit eines Pulverreaktors für Kalzinierung ($\text{CaCO}_3 \rightarrow \text{CaO} + \text{CO}_2$) inklusive der dazugehörigen Förder- und Dosiereinrichtungen abklären soll.

Um einen Ueberblick über die bei Solarreaktoren wichtige Korngrößenverteilung sowie über die chemische Zusammensetzung gängiger CaCO_3 - Pulver zu gewinnen, wurden an zehn verschiedenen Proben entsprechende Untersuchungen durchgeführt /4/.

3 ERREICHTE ERGEBNISSE

Infolge der kurzen Projektdauer lassen sich erst wenig Ergebnisse vorweisen. Die Infrastrukturarbeiten zur Erzeugung hochkonzentrierter Strahlung unter Beizug des Heliostaten laufen soweit planmässig, sodass der GRD - Spiegel zu Beginn des Jahres 1989 ans PSI transferiert werden kann.

In der Machbarkeitsstudie der Fa. Bühler /3/ wurde die von einer Hochtemperatur - Solaranlage zu erfüllende Funktion in verschiedene Teilfunktionen (Strahlungsabsorption / chemischer Prozess, Dosieren, Trennen etc.) unterteilt. Quintessenz der Studie ist, dass gegenwärtig noch keine Schwierigkeiten aufgetaucht sind, die eine erfolgreiche Entwicklung des

scher Prozess, Dosieren, Trennen etc.) unterteilt. Quintessenz der Studie ist, dass gegenwärtig noch keine Schwierigkeiten aufgetaucht sind, die eine erfolgreiche Entwicklung des solaren Pulverreaktors für Kalzinierung ($\text{CaCO}_3 \rightarrow \text{CaO} + \text{CO}_2$) prinzipiell verunmöglichen würden. In Fig. 1 sind als Beispiele zwei denkbare Reaktorvarianten für den Einsatz im Brennraum eines der Sonne nachgeführten Parabolkonzentrators aufgeführt.

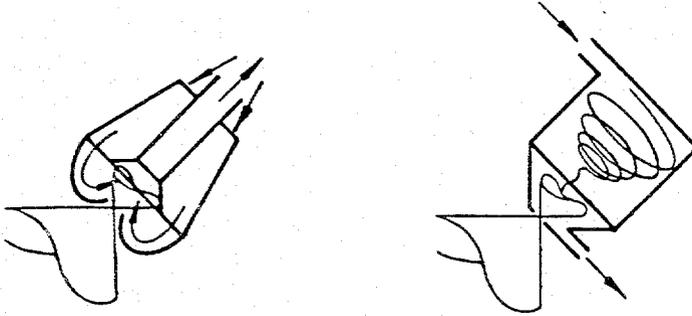


Fig. 1:

Zwei denkbare Reaktorvarianten für den Einsatz im Brennraum eines der Sonne nachgeführten Parabolkonzentrators. Der Konus stellt die vom Konzentrador reflektierte Strahlung dar.

Die Messung der Korngrößenverteilung der 10 CaCO_3 -Proben zeigt, dass der Medianwert (50% - Wert) des Partikeldurchmessers bei reinem Kalkpulver (Ca - Gehalt 40%) je nach Probe zwischen 1.5 und etwa 11 μm liegt. Der grösste Streubereich der Korngrösse liegt zwischen 2 und 52 μm , der kleinste zwischen 0.7 und 3 μm .

4 INTERNATIONALER RAHMEN

Die vorliegenden Arbeiten lassen sich in das IEA Projekt "Small Solar Power Systems (SSPS)" einbetten. Kontakte bestehen insbesondere zu der Deutschen Versuchsanstalt für Luft und Raumfahrt (DFVLR), zu SANDIA sowie zum Lawrence Berkeley Laboratory (LBL). Es ist vorgesehen, 1989 einen unserer Mitarbeiter für ca. 6 Monate ans LBL zu delegieren.

5 VERÖFFENTLICHUNGEN

- /1/ A.Imhof, "Der Zyklonkalzinator. Ein Konzeptvorschlag für einen Solarreaktor". PSI-TM-51-88-22. 23. November 1988
- /2/ J.Keller, "Pulverreaktor für solarchemische Experimente". PSI-TM-51-88-19. 12. Juli 1988
- /3/ C.Marugg, R.Zimmermann, "PULSAR. Eine Machbarkeitsstudie für einen Pulverreaktor für solarchemische Untersuchungen". Gebr. Bühler AG, Uzwil. 10. August 1988
- /4/ A.Ray, "Hochtemperatur-Solarchemie. Korngrösse und chemische Analyse ausgewählter CaCO_3 -Proben". PSI-TM-51-88-25. 31. Oktober 1988

6 NEUE FORSCHUNGSARBEITEN

METHANOL-LUFT-BRENNSTOFFZELLE

Ziel des Projekts: Es sollen die Grundlagen für die Realisierung einer mobilen, alkalischen Methanol/Luft-Brennstoffzelle mit vorgelagertem Reforming des Methanols erhoben werden. Das dabei anfallende, für den alkalischen Elektrolyten schädliche Kohlendioxid soll mittels einer Pd/Ag-Membran abgetrennt werden, welche gleichzeitig als Anode dient. Die primären Hauptziele des Projekts sind einerseits die Entwicklung einer trägergestützten Pd/Ag-Membran zur entscheidenden Reduzierung des Edelmetallbedarfs und andererseits die Entwicklung von optimalen Katalysatoren auf Basis organischer Halbleiter zur Herabsetzung der kathodischen Sauerstoff-Überspannung. Ausserdem sollen Möglichkeiten zur optimalen Herstellung von Sauerstoff-Kathoden geprüft werden.

Dauer des Projekts: 1.10.86 bis 31.3.89

Beitragsempfänger: Prof. W. Richarz
Berichterstatter: Dipl. Chem. Th. Allmendinger
Adresse: Technisch-Chemisches Laboratorium
ETH-Zentrum 8092 Zürich
Telephon: 01'256 30 91

1. Anvisierte Zielpunkte für 1988

Im letzten Jahr war ein Verfahren zur elektrochemischen Entzinkung von Messingfolien gefunden und patentiert worden. Es erlaubt die Herstellung einer trägergestützten Pd/Ag-Membran, indem eine Messingfolie zuerst einseitig galvanisch mit einer Pd/Ag-Schicht versehen wird und anschliessend anderseitig selektiv entzinkt wird, sodass ein poröser Kupferträger zurückbleibt. In diesem Jahr ging es nun darum, sowohl die Entzinkung als auch die Pd/Ag-Abscheidung zu optimieren. Bei der Entzinkung sollte die zur Zeit der Patentanmeldung noch ausserordentlich lange Versuchsdauer von 12 Stunden reduziert, das Ende der Versuchsdauer messtechnisch besser erfasst sowie die Poren- bzw. Kristallitgrösse in Abhängigkeit von verschiedenen Versuchsparametern studiert werden. Bei der Pd/Ag-Abscheidung sollte ein Elektrolyt gefunden werden, welcher unter Einhaltung geeigneter Versuchsbedingungen die Abscheidung einer glatten, porenfreien Pd/Ag-Schicht definierter Zusammensetzung erlaubt.

In einem zweiten Arbeitsbereich ging es darum, verschiedene erfolgversprechende Strukturideen von (Poly-)Phthalocyaninen synthetisch zu realisieren und dann Tendenzen hinsichtlich ihrer katalytischen Wirksamkeit bei der Sauerstoffreduktion zu erkennen. Insbesondere galt es, sich in der Fülle des bereits publizierten Materials zurechtzufinden, Erfahrungen in präparativer Hinsicht zu sammeln und eine Spur zu finden, welche über den Stand des Wissens hinauszuführen verspricht.

Im dritten Arbeitsbereich sollte mit den Untersuchungen über das Methanol-Reforming: $\text{CH}_3\text{OH} + \text{H}_2\text{O} = 3 \text{H}_2 + \text{CO}_2$ begonnen werden mit dem Ziel, das Katalysatorbett in Kombination mit der Brennstoffzellen-Anode optimal zu dimensionieren, seine Stabilität zu studieren und verschiedene mögliche Störfaktoren wie Temperaturschwankungen oder Verunreinigungen im Edukt-Gemisch zu untersuchen.

2. Durchgeführte Arbeiten 1988

Zur Optimierung der elektrochemischen Entzinkung von Messingfolien wurden ausgiebige Versuche durchgeführt. Dabei wurde der Elektrolyt (insbesondere die Chloridkonzentration), die Temperatur und die Pulsform bzw. -länge variiert. Die Steuerung des Potentiostaten und die Datenerfassung erfolgte per Computer, von verschiedenen porösen Kupferfolien wurden REM-Aufnahmen gemacht. Mehrere Folien wurden unter Variation der Bedingungen gesintert.

Dann wurde die galvanische Pd/Ag-Abscheidung einerseits polarographisch und andererseits an Messingfolien untersucht, wobei auch die Abscheidung der einzelnen Metalle für sich studiert wurde. Variiert wurden Komplexbildner, pH, Metallkonzentration, Temperatur und Abscheidepotential.

Hinsichtlich Synthesen von Phthalocyaninen wurden parallel zwei Linien verfolgt, wobei die bei der einen Linie gewonnenen Erkenntnisse oft auch der andern Linie zugute kamen:

Erstens Synthese von linearen Di- bzw. Poly-Phthalocyaninen mit der Möglichkeit, alternierend zwei verschiedene Metalle einzubauen (vgl. 1)).

Zweitens Synthese von neuartigen Phthalocyanin-Derivaten, welche als Sauerstoff-Katalysatoren interessant erscheinen. Dabei wurden hauptsächlich sog. exo-Metallo-Phthalocyanine anvisiert, welche nebst einem zentralen Metallion auch noch peripher angeordnete, durch zusätzliche funktionelle (Amino- oder Hydroxyl-) Gruppen fixierte Metallionen enthalten.

Schliesslich wurde eine Apparatur zum Testen von Katalysatoren für das Methanol-Reforming fertiggestellt und in Betrieb genommen. Hierbei waren Dichtungsprobleme, messtechnische Probleme und Probleme hinsichtlich regelmässiger Zuführung des gasförmigen Methanol/Wasser-Gemisches zu lösen.

3. Erreichte Ergebnisse in 1988

3.1. Elektrochemische Entzinkung von Messingfolien

Die Arbeiten zu diesem Thema konnten im Berichtsjahr einstweilen abgeschlossen werden. Die Resultate wurden in einem internen Bericht 2)) detailliert festgehalten. Hier das Wichtigste in Kürze:

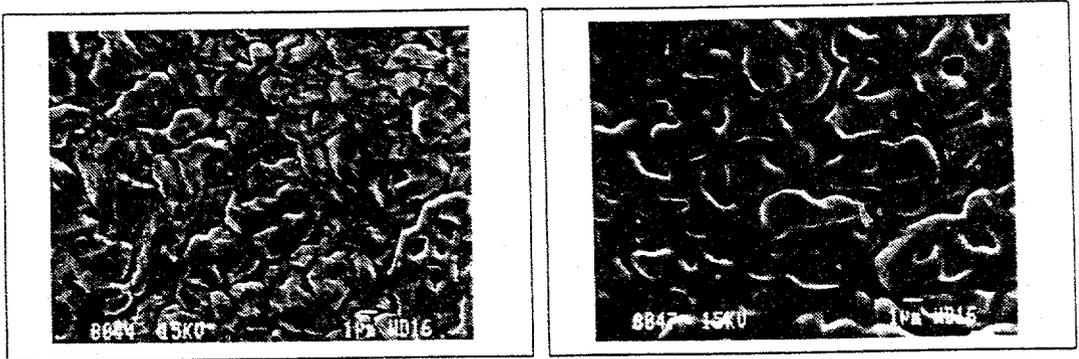
Als geeignet für die Behandlung von Messing-Folien ($\text{Cu}_{63}\text{Zn}_{37}$) erwiesen sich nur saure Elektrolyten wie Schwefelsäure oder Sulfaminsäure, welche etwas Chloridionen enthielten, während die Versuche in den entsprechenden reinen (verdünnten) Säuren sowie in alkalischen Elektrolyten wie Kalilauge oder Kaliumborat erfolglos verliefen.

Die Versuche bei zyklisch variierendem Potential ergaben in 1 M Schwefelsäure mit steigender Chloridkonzentration eine Verkürzung der zur Vollentzinkung nötigen Versuchsdauer. Parallel dazu nahm die Kristallitgrösse ab. Die optimale Chloridkonzentration liegt bei 0.004 bis 0.01 M.

Als Spannungspulse werden vorzugsweise Rechteckpulse mit einer Pulsdauer von etwa 0.3 s angelegt, wobei der anodische Zeitanteil etwa 2/3 der Pulsdauer, also 0.2 s, und der kathodische entsprechend 1/3, also 0.1 s, betragen sollte. Das anodische Potential wird am besten bei ca. 0 mV gegenüber einer mit KCl gesättigten Kalomel-Elektrode angesetzt, das kathodische bei ca. -200 mV.

Die Temperatur bewirkt eine starke Verkürzung der Versuchsdauer im Bereich von 25 °C bis 50 °C. Bei höheren Temperaturen ist der Einfluss minim. Somit ergibt sich eine optimale Arbeitstemperatur von 50 °C. Die Rührung des Elektrolyten hat nur einen geringen Einfluss auf die Versuchsdauer.

Das Ende der Versuchsdauer kann entweder gravimetrisch (Endpunkt: Gewichtskonstanz), durch Registrierung des anodischen und kathodischen Stromverlaufes auf einem Schreiber (Endpunkt: anodischer Strom gleich gross wie kathodischer), durch die zeitliche Integration aller Ströme mittels eines schnellen Coulometers (Endpunkt: Stromintegral bleibt konstant) oder durch eine Strommittelwertbildung (Endpunkt: Mittelwert wird Null) bestimmt werden. Unter den erwähnten Bedingungen kann eine mit Aetzlösung vorbehandelte, ca. 80 μm dicke, 2.5 x 1.0 cm grosse Messingfolie in 2.5 Stunden (bei 0.01 M HCl / 1 M H₂SO₄) bzw. in 5 Stunden (bei 0.004 M HCl / 1 M H₂SO₄) vollständig entzinkt werden. Untenstehend sind als Beispiel die REM-Aufnahmen einer nach den letztgenannten Bedingungen entzinkten Messingfolie vor (links) und nach einer Sinterung (rechts: 3 min bei 650 °C gesintert) abgebildet. Die Sinterung stabilisiert die Folien beträchtlich, ohne dass dabei die Gasdurchlässigkeit verlorenght. Die Porenzahl und -grösse nimmt aber stark ab.



3.2. Galvanische Pd/Ag-Abscheidung

Die Arbeiten über dieses Thema sind zur Zeit noch nicht abgeschlossen, wenn auch neuerdings recht gute Resultate erzielt werden konnten.

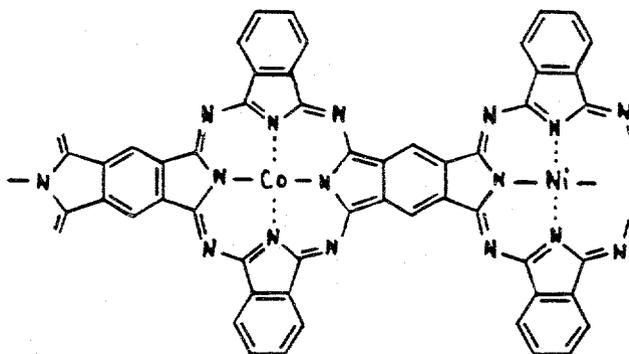
Grundsätzlich ist bei einer Legierungsabscheidung durch Wahl geeigneter Komplexbildner anzustreben, dass die Abscheidung der Komponenten beim selben Potential erfolgen kann. Das Potential ist bei einer galvanischen Metallabscheidung indes nicht nur thermodynamisch bestimmt (nämlich durch die freie Metallkonzentration im Elektrolyten), sondern auch kinetisch, indem sich diese Konzentration infolge der Abscheidung lokal in der Masse verringert, wie der Komplex freie Metallionen nachliefern kann. Damit wird das Abscheidpotential negativiert, was bei Edelmetallen insofern ein Problem sein kann, als Wasserstoffentwicklung eintreten und damit eine glatte Metallabscheidung beeinträchtigen kann. Ausserdem können Edelmetalle wie Palladium die (elektrochemische) Zersetzung des Elektrolyten katalysieren, was ebenfalls unerwünschte Nebenwirkungen mit sich bringen kann.

Die Kenntnis solcher Zusammenhänge genügt allerdings nicht, um ein optimales Metallbad zu rezeptieren, besonders wenn es darum geht, eine glatte, porenfreie Abscheidung zu erzielen. Die meisten Bäder enthalten Komponenten (z.B. sog. Glanzbildner), deren Wirkungsweise man in den seltensten Fällen versteht. Es bleibt einem deshalb normalerweise nicht erspart, in mühseligen Serienversuchen die in Frage kommenden Parameter zu variieren.

In unserem Fall liessen sich nach Durchprobieren verschiedener Komplexbildner die besten Ergebnisse erzielen, indem der geeignetste bekannte Elektrolyt auf Glycin/Glycinat- bzw. Ammoniak-Basis zusätzlich modifiziert wurde. Ueber die Ergebnisse wird nach Abschluss der Arbeiten noch detailliert berichtet. Erst dann wird die Herstellung und Erprobung der vorgesehenen trägergestützten Pd/Ag-Membranen möglich sein.

3.3. Synthesen von Polyphthalocyaninen

Methoden zur Herstellung von Polyphthalocyaninen des Typs



sind an sich bekannt. Allerdings waren bei den publizierten Arbeiten die Ausbeuten relativ gering, insbesondere konnte das Metallverhältnis bei bimetallicchen Polyphthalocyaninen nicht auf 1:1 eingestellt werden.

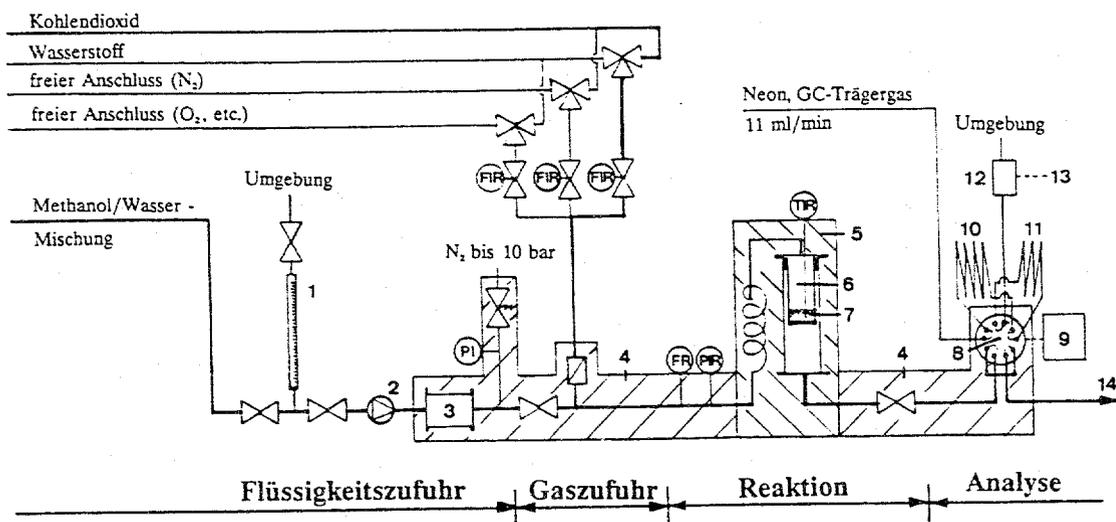
Unsere Versuche führten zu zwei neuartigen Herstellungsmethoden und zur Entdeckung, dass die Natriumsalze von Phthalocyaninen wie von Polyphthalocyaninen relativ gut in Dimethylsulfoxid löslich sind. Die gefundene Löslichkeit von Na-Polyphthalocyaninen eröffnet interessante synthetische Möglichkeiten, indem z.B. verschiedene Uebergangsmetallionen unter Ausfällung eingebaut werden können und indem solche Fällungen in den Poren von Sinterelektroden vorgenommen werden können.

Die Versuche zur Optimierung dieser Verfahren und zur Synthese von hinreichend charakterisierten Di-Phthalocyaninen sind zur Zeit noch im Gange, sodass über die Resultate erst später berichtet werden kann. Dasselbe trifft auch auf die Synthesen von exo-Metallo-Phthalocyaninen zu.

3.4. Methanol-Reforming

Mit dem unten schematisierten Durchflussreaktor konnten die vorgesehenen Versuchsserien begonnen werden. Vorversuche mit verschiedenen Phthalocyaninen verliefen negativ. Die Optimierung des Katalysatorbettes bzw. der Reaktionsbedingungen soll deshalb auf konventionelle Katalysatoren (Kupferbasis) ausgerichtet werden.

Die Versuche wurden einstweilen in Abwesenheit einer - einstweilen ja noch nicht verfügbaren - Pd/Ag-Membran durchgeführt, wobei die im realen Fall zu erwartenden Veränderungen in der Gaszusammensetzung entlang des Katalysatorbettes durch künstliche CO₂-Zudosierung simuliert wurden (sog. Differentialreaktor). Später können im selben Reaktor auch Versuche in Gegenwart einer Pd/Ag-Membran bzw. einer entsprechenden Brennstoffzellen-Anode durchgeführt werden.



1 Mikrobürette (1ml), 2 Dosierpumpe, 3 Verdampfer (Druckgefäß), 4 Rohrheizung, 5 Reaktorofen, 6 Reaktor, 7 Katalysator auf Glasfritte, 8 10-Port Sample Valve, 9 Schaltuhr, 10 GC-Kolonne 5Å (2m x 1/8", 164°C), 11 GC-Kolonne Poropak Q (2m x 1/8", 154°C), 12 Wärmeleitfähigkeitsdetektor, 13 Integrator, 14 Gasentsorgung

Symbole und Abkürzungen:

⊗ Hahn/Ventil, ⊕ Sicherheitsventil, ⊖ Rückschlagventil, ⊗ Dreiwegventil
 PI Druckmessung mit Anzeige, PIR wie PI zus. Aufzeichnung, TIR Temperaturmessung mit Anzeige und Aufzeichnung, FR Durchflussmessung mit Aufzeichnung, FIC Durchflussregler

4. Veröffentlichungen und Berichte

- 1) T. Allmendinger, P. Hasler, W. Richarz, *Chimia* **42** (1988), 187-98
- 2) P. Hasler, "Elektrochemische Entzinkung von Messing (Cu₆₃Zn₃₇)", Interner Bericht vom Aug. 1988 (ETH-Zürich / TCL / Richarz)

SOLARE-WASSERSTOFFPRODUKTION

Ziel des Projektes: Das Ziel des Projektes besteht darin, ein in Technologie und Anwendung optimiertes Demoprojekt für die dezentrale Anwendung von solarem Wasserstoff auszuarbeiten. Die Speicherung von photovoltaisch erzeugter Solarenergie in Wasserstoff wird weltweit untersucht. Vor allem in Deutschland werden auf gross technologischem Massstabe die Probleme zur Erzeugung von Wasserstoff in sonnenreichen Wüstengebieten und den damit verbundenen Transportproblemen in die nördlichen europäischen Staaten analysiert.

Das Projekt hat zum Ziel, neben dieser grosstechnischen Nutzung des solaren Wasserstoffes die Machbarkeit eines dezentralen Einsatzes von solarem Wasserstoff zu untersuchen. Dazu soll ein Demoprojekt ausgearbeitet werden, welches mit bestehenden und bereits ausgereiften Komponenten eine Pilotanlage in der Schweiz realisieren lässt.

Dauer des Projekts: 15. Juni 1988 bis 28. April 1989

Beitragsempfänger: Alpha Real AG
Berichterstatter: M.G. Real
Adresse: Feldeggstrasse 89, 8008 Zürich
Telefon: 01/251 54 51

1. Anvisierte Zielpunkte für 1988

Es war vorgesehen, bis Ende 1988 folgende Projekt-Etappenziele zu erreichen:

- a) Untersuchung der heute zur Verfügung stehenden Methoden und Technologien zur Erzeugung und Speicherung von Wasserstoff im 1 kW- bis 10 kW-Leistungsbereich.
- b) Recherche über kommerziell erhältliche Brennstoffzellen für die Umwandlung des solaren Wasserstoffes in Strom und Wärme.
- c) Entwurf für ein Demoprojekt, bestehend aus Solarzellen-Anlagen, DC/DC-Steller, Elektrolyseur, Hydrid-Wasserstoffspeicher, Brennstoffzellen und entsprechendem Verbraucher für Wärme und elektrische Energie.
- d) Speichervarianten-Untersuchung: Da während den Projektarbeiten kein wirtschaftlich günstiger und sicherheitstechnisch zuverlässiger Wasserstoffspeicher für die saisonale Energiespeicherung für ein Demoprojekt evaluiert werden konnte, wurden in Ergänzung zu den ursprünglichen Projektzielen des reinen Wasserstoffkonzeptes weitere Varianten zur Speicherung von solar erzeugtem Wasserstoff in chemischen Energie-Zwischenträgern untersucht. Dabei ergab sich, dass die Methode der Hydrierung von CO_2 mit solar erzeugtem Wasserstoff zu Methanol vielversprechende Vorteile aufweist.
- e) Zusammenstellen eines neuen Konzeptes, welches die Speicherung des solar erzeugten Wasserstoffes in Methanol ermöglicht.

2. Durchgeführte Arbeiten 1988

Während den Projektarbeiten bis Ende 1988

- wurden die verschiedenen Systemkomponenten für Elektrolyseur, Wasserstoffspeicherung und Brennstoffzellen evaluiert und auf ihre Eignung und Einsatzmöglichkeit in dezentralen Anlagen untersucht.
- wurde eine Systemkonfiguration für ein dezentrales solares Wasserstoff-Demoprojekt skizziert.
- wurde die Problematik von Wasserstoff-Saisonspeicher analysiert. In diesem Zusammenhang stand auch die Teilnahme an einem Workshop an der Universität Stuttgart über "Metal Hydrides for Hydrogen Storage" vom 31.8.1987 bis 2.1.1988.
- wurde die Testanlage des solaren Wasserstoff-Demoprojektes der DFVLR in Stuttgart besichtigt, wo vorallem die Erzeugung von solarem Wasserstoff Vordergrund steht.
- wurde an einem Workshop über Brennstoffzellen in Bern teilgenommen, organisiert vom BEW vom 28.4.1988.
- wurden Voruntersuchungen und Projektskizzen für eine alternative Wasserstoffspeicherung mit Hilfe eines chemischen Zwischenträgers Methanol durchgeführt, um eine kostengünstigere saisonale Speicherung zu finden und die systemtechnischen Sicherheitsanforderungen besser zu erfüllen.

Die in Ziffer 1 definierten Projektziele konnten noch nicht vollumfänglich erreicht werden und der Abgabetermin des Schlussberichts wurde im Einverständnis mit dem Projektbegleiter auf Ende April 1989 verschoben. Die Verzögerung der Fertigstellung des Schlussberichtes ergab sich aus den folgenden zwei Gründen:

- a) Das Zusammentragen der Daten über die System-Hauptkomponenten Elektrolyseur, Wasserstoffspeicher und Brennstoffzelle nahm wegen der zum Teil trägen Reaktion der fast alle im Ausland tätigen Hersteller mehr Zeit in Anspruch als erwartet. Die Recherche konnte erst Ende 1988 abgeschlossen werden.
- b) Die sicherheitstechnisch unbefriedigende Lösung der saisonalen Wasserstoffspeicherung in meist durch nicht genügend qualifiziertes Personal gewarteten, dezentralen Anlagen führte dazu, das ursprüngliche Konzept einer reinen, solaren Wasserstoffwirtschaft für dezentralen Einsatz neu zu überprüfen. Im Interesse des Projektes wurde daher der Projektrahmen insofern erweitert, als eine erfolgsversprechende Alternative zur reinen Wasserstoffspeicherung noch mit untersucht wird.

3. Erreichte Ergebnisse im Jahre 1988

Die bisher realisierten solaren Wasserstoffprojekte konnten weltweit erfasst und analysiert werden. Untersucht wurden Möglichkeiten der reinen H_2 -Speicherung in Metall-Hydriden und in Form von chemischen Zwischenträgern. Vielversprechend erweist sich die Form der Speicherung von H_2 in Methanol.

Es zeigt sich auch, dass die rein solare Wasserstoff-Bewirtschaftung einen schlechten System-Wirkungsgrad für eine saisonale Speicherung aufweist und damit die ohnehin hohen Systemkosten mit einer schlechten Rentabilität belasten. Eine ähnliche Abschätzung für die Speicherung mit Methanol-Zwischenspeichern wurde noch nicht durchgeführt, es wurde jedoch bereits ein schematischer Energie- und Stoff-Flusskreislauf skizziert.

PHOTOCHEMISCHE SPEICHERUNG : MESSTECHNIKEN

Ziel des Projekts: Grundlagenforschung zur Wasserspaltung, zur Kohlendioxid-Reduktion und zur Stickstoff-Fixierung mit Sonnenlicht sowie zur photoelektrochemischen Stromerzeugung.

Dauer des Projekts: 1. Juli 1988 bis 31. Mai 1993

Beitragsempfänger: Prof. Gion Calzaferri

Berichterstatter: Prof. Gion Calzaferri

Adresse: Institut für anorganische und physikalische Chemie,
Universität Bern, Freiestrasse 3, CH-3000 Bern 9

Telephon: 031 65 42 36/26

1. Anvisierte Zielpunkte für 1988:

Die erste Phase, des auf 5 Jahre geplanten Forschungsprojektes, sollte vor allem dem Aufbau noch fehlender oder nur mangelhaft vorhandener Arbeitstechniken und der Verfeinerung des Forschungskonzepts dienen. Im weiteren sollten einige Vorversuche experimenteller und theoretischer Art angestellt werden.

2. Durchgeführte Arbeiten 1988:

Am 17. November konnte eine Doktorarbeit mit dem Titel

IR-SPEKTROSKOPISCHE UNTERSUCHUNGEN AN METALLBELADENEN ZEOLITHEN

abgeschlossen werden. Im Rahmen dieser Arbeit ist eine Experimentiertechnik aufgebaut und ausgetestet worden, die für unsere weitere Forschung sehr wichtig sein wird. Es sollen damit Metall-CO₂ und Metall-H Zwischenprodukte auf Zeolithen charakterisiert werden. Ergänzend dazu sind Vorbereitungen zu Infrarot Messungen mit Hilfe von diffuser Reflexion getroffen worden. Als weitere Infrarot Spektroskopie Methode ist die ATR (Attenuated Total Internal Reflection) Technik weiter ausgebaut und auf unsere Problemstellungen angepasst worden. Diese Methode erlaubt es, Oberflächenmodifikationen von Halbleitern spektroskopisch 'in situ' zu verfolgen.

Es sind eine Reihe von Versuchen angestellt oder vorbereitet worden, mit Hilfe von deren Ergebnissen wir versuchen werden, erstmals einen vollständigen Cyclus, CO₂ Reduktion zu CO + 1/2O₂ ohne Zuhilfenahme von Elektroden, zu bewerkstelligen.

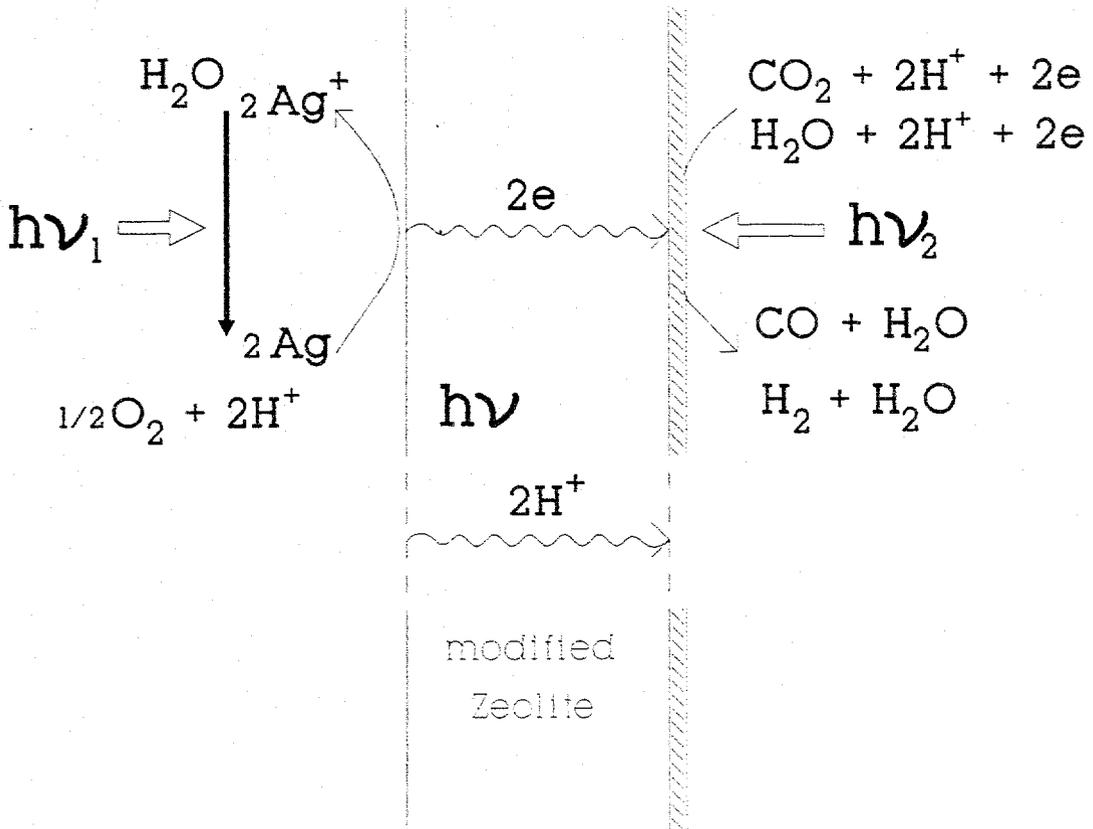
Versuche mit Silberhalogenid-Elektroden haben unsere Kenntnisse dieser interessanten photoelektrochemischen Systemen ergänzt.

Die theoretischen Hilfsmittel zur quantenmechanische Beschreibung von Photoredoxsystemen sind etwas verfeinert worden.

Wir haben Vorbereitungen zum Aufbau einer Messeinrichtung für 'zeitaufgelöste diffuse Reflexion' an Zeolithen und anderen für uns interessanten pulverförmigen Stoffen getroffen.

3. Erreichte Ergebnisse:

G. Calzaferri hat an der '3rd International Summer School on Solar Energy 88', Kaprun, 10. 8. 1988, einen Vorschlag gemacht, wie durch Serieschaltung von 3 Si-Mikrosolarzellen Wasserelektrolyse bewerkstelligt werden kann. Der gleiche Vorschlag wurde dann an dem IEA-Workshop 'long-Range R&D Opportunities for Renewable Energy', 6-9. September 1988, Charmey, gemacht (siehe IEA Report, in Vorbereitung). Der Vorteil einer solchen Anordnung gegenüber konventioneller Elektrolyse ist, dass die Verkabelung der Zellen wegfällt, was eine sehr grosse Einsparung an Leitermaterial zur Folge hat. Weil die Photoelektrolyse bei kleinen Stromdichten erfolgt, ist der durch Überspannung verursachte Verlust verhältnismässig klein. Der Vorschlag entspringt einem Versuch, der 1987 von G. Calzaferri und W. Spahni (CHIMIA 41 (1987) 200) angestellt worden ist.



Vollständiges Redoxsystem zur Photolyse von Wasser und zur Reduktion von Kohlendioxid. Die Elektronen fließen durch den modifizierten Zeolith und die Protonen durch eine ionendurchlässige Membran.

Experimente zur Reduktion von CO_2 zu CO sind erfolgreich verlaufen, so dass wir uns dem Problem der Kopplung des reduktiven mit dem oxidativen Teilschritt zuwenden können, wie in der voranstehenden Figur skizziert.

Die unter 2. erwähnten Vorbereitungsarbeiten sind planmässig verlaufen, so dass die Arbeitstechniken in wenigen Monaten zur Verfügung stehen werden.

4. Internationale Zusammenarbeit:

Wir pflegen regen Kontakt mit ausländischen Forschungsgruppen.

5. Veröffentlichungen:

ENERGY CONVERSION IN SOLAR FUELS AND CHEMICALS; G. Calzaferri, ESA 1989, in press.

UMWANDLUNG UND SPEICHERUNG VON SONNENENERGIE (2. Teil), Vorlesungsunterlagen 1988, G. Calzaferri.

INFRARED TRANSMISSION SPECTROSCOPY OF SILVER ZEOLITE A; J. Baumann, R. Beer, G. Calzaferri and B. Waldeck, J. of Physical Chemistry, March 1989.

MOLECULAR GEOMETRIES AND THE EHMO METHOD; G. Calzaferri, L. Forss and I. Kamber, J. of Physical Chemistry, 1989 in press.

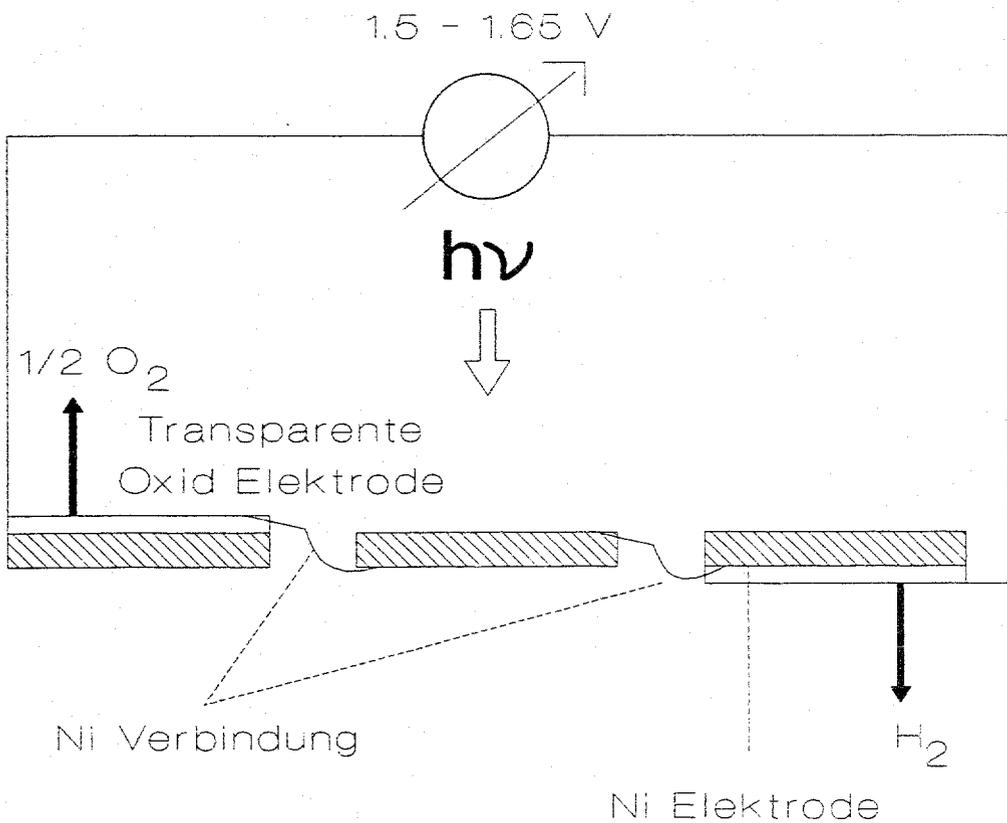
IR-SPEKTROSKOPISCHE UNTERSUCHUNGEN AN METALLBELADENEN ZEOLITHEN; Dissertation, R. Beer, 17. 11. 1988.

6. Neue Forschungsarbeiten:

Neu aufgenommen in unser Forschungsprojekt wurde die unter 3. skizzierte Photolyse von Wasser mit Hilfe von in Serie geschalteten Mikroelektroden.

Die Arbeiten können mit den zur Verfügung stehenden Mitteln durchgeführt werden. Es wird zu diesem Thema Zusammenarbeit mit anderen Gruppen angestrebt. Insbesondere soll versucht werden, ob sich die von Dr. Grüniger (ETH Zürich) elektrochemisch hergestellten Si Folien zum Aufbau des unten skizzierten Systems eignen.

PHOTOLYSE VON WASSER mit Hilfe in Serie geschalteter Mikroelektroden



Bern, 31. Januar 1989

G. Calzafeni

O F E N

PROJETS DE RECHERCHE ÉNERGÉTIQUE 1988

B E W

ENERGIE - FORSCHUNGS - PROJEKTE 1988

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 économètres installés dans une partie des bâtiments. Le résultats des mesures, les économies faites chaque semaine, les conseils et recommandations déduits des mesures ou proposés par les usagers sont diffusés par les médias locaux (radio et TV locales et d'autres) pour stimuler les réactions de solidarité communale.

Durée du projet: du 30 juillet 1987 au 30 juin 1990. Phase I jusqu'à fin 1988

Mandataire: Centre de Recherche et d'Enseignement en Energie et
Rapporteur: Techniques Municipales., CREM.
Adresse: Patrick PRALONG
Rue des Morasses 5, Case Postale 48, 1920 Martigny.
Téléphone: 026/2 64 06.

1. OBJECTIFS VISES POUR 1988.

1.1. Economies recherchées.

Les principaux objectifs sont les suivants :

- Effectuer un sondage préliminaire sur un groupe d'usagers représentatifs pour identifier les blocages et les motivations sensibilisables en vue d'engager Dialogue Energétique.
- Préparer le matériel didactique de soutien à l'opération.
- Etablir la signature énergétique de Martigny qui décrit à l'aide des données disponibles les livraisons d'énergie de réseau et les consommations de mazout en fonction de la température extérieure avant l'introduction de Dialogue Energétique.
- Etablir la répartition des consommations d'énergie par procédé et l'état de l'équipement des bâtiments composant le parc immobilier de Martigny.
- Estimer le gisement d'économie exploitable à terme et fixer les objectifs de réduction de la consommation au cours de la phase II.

1.2. Support technique au Dialogue Energétique.

L'analyse et le suivi de l'opération entraînent le développement de moyens techniques adéquats, dont :

- Concentration des informations des compteurs municipaux (gaz, chauffage à distance et électricité) en un point télévisable.
- Préparation d'un système de référence à la situation météorologique pour permettre aux usagers un comportement énergétique rationnel.
- Préparation d'un mode de présentation de la consommation des compteurs de la ville et de la prestation requise par la situation météorologique, qui puisse être diffusé sur le télé-réseau local.

1.3. Echantillonnage de contrôle.

Pour compléter les données manquantes sur la structure de la demande d'énergie et pour suivre les effets du dialogue il a été prévu de développer un tableau de bord énergétique et de procéder aux étapes suivantes :

- Etablir les critères de sélection d'immeubles-types caractérisant l'ensemble de la commune.
- Mettre au point les techniques de mesure des consommations des immeubles types et équiper l'échantillon de tableaux de bord.
- Modéliser la relation entre l'échantillon et l'ensemble des immeubles de la commune.
- Développer une méthode d'analyse respectant la confidentialité.

2. TRAVAUX EFFECTUES EN 1988.

2.1. Economies recherchées.

L'analyse de la répartition de l'énergie consommée à Martigny a permis de définir deux actions principales :

- une enquête auprès des citoyens, pour définir leur comportement au domicile, sur le lieu de travail et dans la ville.
- une enquête auprès des consommateurs identifiés (gros consommateurs industriels) gérant l'essentiel de la consommation.

Le sondage préliminaire tend à montrer que le citoyen a des comportements très différents par rapport à la consommation d'énergie en tant qu'habitant dans son logement, employé sur sa place de travail ou comme utilisateur des lieux publics.

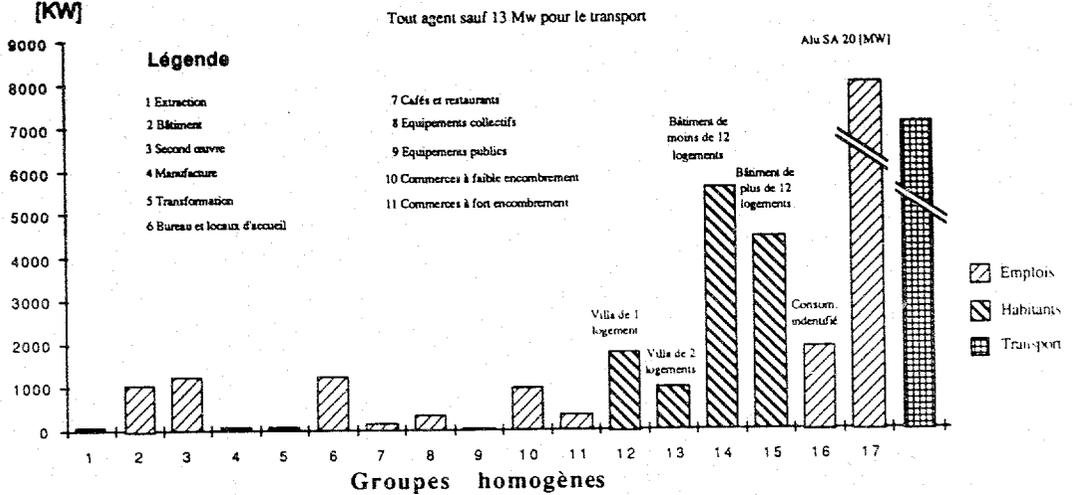
L'approche des 16 gros consommateurs (45% de la consommation de Martigny hors transports) a porté principalement sur la décomposition en procédés industriels pour découvrir les potentiels d'économies.

La recherche de ces informations a révélé l'absence de données claires sur la part des divers procédés énergétiques au bilan énergétique de ces gros consommateurs.

Le groupe communication composé de sociologues, psychologues, publicitaires et de journalistes, a requis l'appui des spécialistes de la communication et de la publicité pour le lancement de la campagne et le choix du matériel didactique. Sous le slogan "A Martigny, nous énergisons mieux", la campagne d'information a été structurée en actions hebdomadaires sur des thèmes précis.

La définition de l'état actuel comprend l'analyse des tendances de consommation par agent énergétique et par personne. Cette analyse s'est heurtée à la difficulté d'obtenir des séries d'informations homogènes et fiables. Cela était prévu pour le mazout, mais même les séries de données sur la population et les emplois sont entachées de grosses erreurs et les données détaillées sur les consommations de réseau ne sont pas exploitées par les systèmes informatiques de gestion sous une forme directement utile au technicien.

Fig. N° 1 Répartition des consommations pour 1987 par groupe homogènes (43 MW)



Pour 1987, la mesure des importations d'énergie à Martigny a permis de tracer les signatures énergétiques des divers agents distribués. Pour évaluer l'évolution par personne des consommations par agent énergétique, il a été nécessaire de définir pour chaque bâtiment l'agent énergétique utilisé pour le chauffage des locaux et pour la production d'eau chaude sanitaire, ainsi que le nombre d'habitants et d'emplois par catégories qu'il abrite.

La figure 1 décrit le résultat de cette analyse, soit la répartition d'énergie distribuée par procédé. Il faut noter que sur les 56 MW estimés (consommation moyenne annuelle), seuls 34 MW sont distribués par les Services Industriels, et donc mesurés.

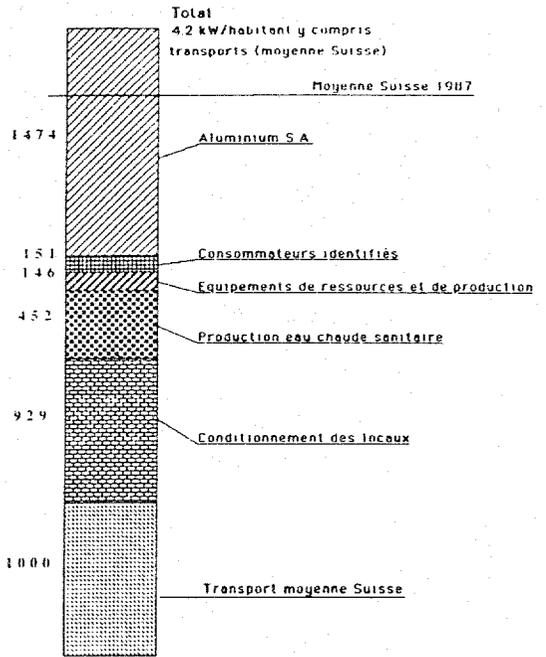
Les objectifs initiaux non démentis par cette analyse encore incomplète sont de diminuer les importations par personne de 5 à 25 % pour les agents de réseau au cours des 3 ans de l'opération et de 5 à 15 % pour le mazout, plus difficile à saisir.

En 1987 l'importation totale d'énergie par habitant à Martigny est de 3,2 kW/habitant ou de 4,2 kW/habitant en y incluant la consommation moyenne suisse de carburant (fig. 2).

2.2. Support technique du Dialogue Energétique.

Les points d'importation d'énergie de réseau à Martigny ainsi que trois sites pour la mesure de la température extérieure et la centrale de production d'énergie du CAD sont équipés d'acquisiteurs de données. La concentration de ces données s'effectue sur un ordinateur personnel qui permettra de transférer ces informations sur la page d'information prévue sur le télé-réseau local dès que les autorisations correspondantes de la Confédération auront pu être obtenues.

Le système de référence développé pour les économètres



(les valeurs sont exprimées en W par habitant)
Fig 2 Consommation de Martigny répartie par habitant en 1987 y compris estimation pour le mazout

et pour la ville, qui devra permettre aux usagers un comportement rationnel est représenté sur la figure 3. Il est le résultat encore perfectible d'un difficile compromis entre la complexité technique de chaque situation et la simplicité requise par la généralité de son usage.

2.3. L'échantillonnage de contrôle.

Le passage de la consommation de la ville à celle de ses habitants et ses emplois se fait en constituant deux groupes de consommateurs, l'un composé des habitants et emplois ayant des structures de consommation semblables et des variations limitées d'un groupe homogène à l'autre. L'autre comprend les gros consommateurs ou les consommateurs spéciaux traités séparément et pour lesquels la consommation par personne n'est pas significative. La consommation de référence des personnes du groupe traité statistiquement a été admise à 999 W dont un tiers pour le chauffage et l'eau sanitaire c'est à dire 20.8 MW sur 56 pour les 13'500 habitants et 7'300 emplois de ce groupe. Le suivi de l'opération et le résultat des mesures devront confirmer ce choix basé sur les travaux de recherche antérieures.

Au niveau de la ville, il est possible d'analyser la consommation par habitant en admettant que le nombre d'emplois par habitant présente des similitudes d'une ville à l'autre. Par contre, au niveau du bâtiment il est nécessaire de prendre en compte les habitants et les emplois, soit les personnes concernées.

Les bâtiments ont ainsi été répartis en catégories et les consommateurs en groupes homogènes possédant des caractéristiques de consommations semblables. L'échantillonnage de contrôle sera constitué par au moins un bâtiment de chaque groupe homogène.

Les tableaux de bord en cours d'installation mesurent tous les agents, donc la consommation brute par personne de l'immeuble.

Les paramètres pris en comptes sont les suivants :

- consommation électrique
- consommation de l'agent de chauffage (chauffage à distance, mazout, gaz, électricité)
- température extérieure
- température intérieure des locaux de jour
- température intérieure des locaux de nuit
- nombre d'habitants et d'emplois
- divers niveaux de prestations (conditionnement, équipement des habitants, équipement de production)

Pour juger de la performance de l'équipement de l'immeuble, mesuré indépendamment du niveau de confort requis, donc sans atteinte à la sphère privée, le tableau de bord calcule la consommation qu'aurait un équipement moyen pour satisfaire la prestation requise par les usagers de cet immeuble compte tenu de l'isolation du bâtiment, du volume disponible par personne, de la température requise des locaux et de la température extérieure des 24 dernières heures. Le rapport entre cette consommation de référence et la consommation brute permet alors de déterminer la consommation de l'immeuble qui est une consommation par unité de prestation, de comparer cet immeuble à la moyenne de la ville et encore d'indiquer si la performance est meilleure ou moins bonne que la veille.

La consommation brute donne le coût énergétique du bâtiment. La consommation d'immeuble indépendante de la sphère privée des usagers de l'immeuble est affichée en gras et sert à l'analyse de la consommation de la ville ainsi qu'au suivi des efforts d'économie que chacun fera dans le cadre de l'action solidaire dialogue énergétique.

3. RESULTATS OBTENUS EN 1988

L'analyse de l'état initial, soit l'analyse de la structure de la consommation énergétique de la ville par procédé, a montré la fragilité des

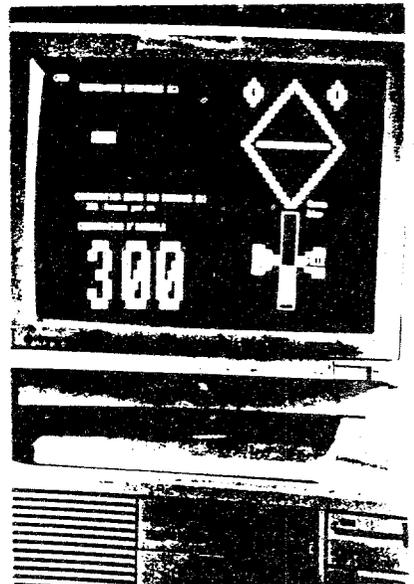
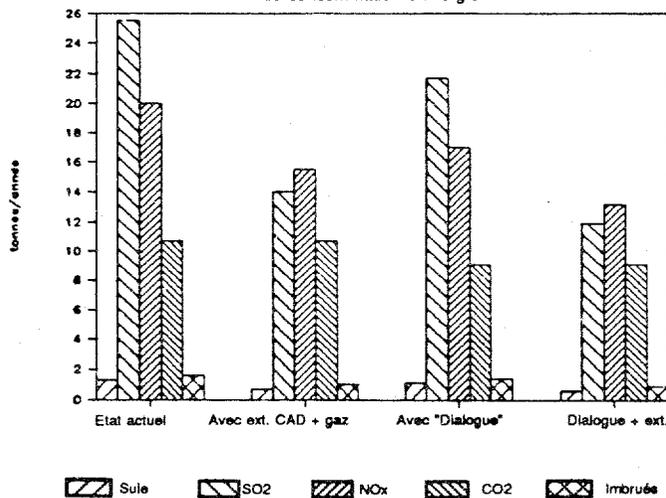


Fig. N°3 Economètre

données disponibles dans les systèmes informatiques de gestion financière des communes, qu'il s'agisse de consommation de mazout, de l'équipement du parc immobilier, de la population et des emplois ou même de la consommation des réseaux et de sa répartition dans les catégories qui servent à construire la statistique nationale. Les difficultés sont encore renforcées pour obtenir des séries statistiques cohérentes en pouvant expliquer quels sont les procédés qui ont conduit aux augmentations de la consommation au cours des dix dernières années et quelles sont les actions qui auront les répercussions les plus importantes. C'est par une combinaison de mesures, d'estimations exploratoires et de sondages ponctuels que les données ont dû être récoltées ce qui confirme l'originalité de la démarche et son importance primordiale pour une gestion rationnelle de l'énergie.

La construction des messages initiaux du dialogue énergétique, et le travail de collaboration entre les techniciens, spécialistes des sciences humaines et spécialistes des médias a révélé l'extrême difficulté de réduire la complexité technique et celle des motivations personnelles au slogan pouvant attirer l'intérêt des citoyens par les médias. S'il est facile d'exhorter les usagers à réduire la consommation par des privations ou l'austérité, le travail effectué montre que, hors des conseils ménagers, un travail très important reste à faire pour agir sur les consommations réellement importantes. Ainsi, si chacun éteint sa lumière et surveille son frigo, comment apprécier ou gérer l'éclairage et la chaîne de froid des grands magasins. Il en est de même pour la climatisation des gros blocs immobiliers où la consommation industrielle et ses relations avec l'emploi. Plus surprenantes encore ont été les difficultés d'indiquer aux usagers ce qu'ils consomment pour qu'ils puissent juger de la qualité de leurs équipements et des effets de leurs comportements. Que consomme aujourd'hui mon frigo ? Que consomme aujourd'hui mon immeuble ?

Fig. N° 4 Emissions moyennes estimées selon divers scénarios de consommation d'énergie



Les tableaux de bord, dont le pari sur la réalisation au coût prévu a été tenu, apparaissent comme une solution originale et indispensable pour répondre à cette question, mais tellement originale qu'il faudra encore beaucoup de temps pour mettre au dispo des techniciens, sociologues et publicistes.

Sur le plan de la concentration des informations et de leur diffusion sur le télé-réseau, les solutions originales proposées ont pu être réalisées. Nous disposons de modems pour dialoguer avec les tableaux de bord et de l'ordinateur pour synthétiser les informations de consommations de la ville sur les canaux et mires du télé-réseau. Mais ici aussi, l'originalité de la démarche exige un travail de titan pour progresser dans les contraintes institutionnelles et administratives et obtenir des autorisations et des dérogations réduisant l'écart entre ce qui est possible et ce qui est autorisé.

Ainsi, ces réussites techniques et paradoxalement les difficultés de mise en oeuvre confirment l'intérêt et l'originalité de la démarche proposée. Ces résultats nous confortent dans la conviction que la rupture des barrières à la circulation des informations et le décloisonnement entre les composants du bilan énergétique d'une ville comportent un énorme potentiel d'optimisation ayant des répercussions sensibles sur les émissions dans l'environnement comme le confirment les scénarios d'émission de la figure 4 dans la situation actuelle, en renforçant des réseaux de gaz et de chauffage à distance puis en obtenant les résultats prévus pour le dialogue énergétique.

4. COLLABORATIONS EXTERIEURES

En plus du travail avec de nombreux spécialistes collaborant de manière occasionnelle au projet, les contacts sont maintenus avec les entités et centres de recherche pouvant contribuer à la bonne marche du projet et notamment avec plusieurs laboratoires de l'EPFL et les écoles d'ingénieurs romandes. De plus, la Ville de Martigny

entretien des contacts étroits avec la ville de Besançon qui assure la télégestion des chaufferies communales par Minitel. Par ailleurs, les travaux relatifs à la gestion des systèmes urbains dans le cadre du projet SYSURB intégrant la gestion des données administratives et techniques dans un concept d'urbistique ont, par l'intermédiaire des contacts privilégiés avec la CEEETA de Lisbonne au Portugal ou l'Institut National du Génie Urbain de Lyon, confirmé l'intérêt et la pertinence de l'approche. Ces éléments situent les objectifs du Dialogue Energétique comme un des volets prioritaires de l'Urbistique conçue comme une voie nouvelle pour mieux gérer nos villes, leur consommation d'énergie et la qualité de leur environnement.

5. PUBLICATIONS

Rapports spécifiques

Préparation de Dialogue Energétique CREM 108.011d
Annexes Phase I 1ère partie CREM 108.020a
Annexes Phase I 2ème partie CREM 108.020b
Annexes Phase I 3ème partie CREM 108.020c
Contrôle des consommations

Contributions synthétiques :

1. J.-M. REVAZ : Rapport au conseil municipal sur la pollution atmosphérique
2. B. SAUGY : Mobilité de la demande d'électricité en Suisse, CREM N°901.003
3. J.-M. REVAZ : Rôle des télécommunications dans la gestion des réseaux énergétiques, texte présenté au 11ème séminaire sur la modélisation des systèmes énergétiques, Martigny, Juillet 1988
4. B. SAUGY : Modélisation des flux énergétiques, gestion des réseaux urbains centrée sur l'utilisateur, texte présenté à FORENERGY 88, IHE N° 623.141
5. B. SAUGY : Autonomie énergétique et développement des ressources endogènes fossiles et renouvelables, texte présenté à la Conférence Syndicale Européenne à Aachen, Novembre 1988, CREM N° 906.002

6. NOUVELLES RECHERCHES.

L'analyse du rapport de la phase I avec le groupe d'accompagnement a conduit à réévaluer le poids des objectifs des composants sociologiques des études du comportement des habitants. Leur contribution était prévue pour évaluer les pressions techniques contraignantes conduisant à des économies par une réduction du niveau de confort qui disparaîtraient après la campagne et pour identifier les blocages et les motivations sensibilisables dans une telle action. Par ailleurs la campagne de dialogue elle-même a été conçue comme élément d'analyse de la consommation d'énergie d'une ville, les données à ce sujet étant fragmentaires et soumises à question. Pour mieux évaluer les économies réelles et leur durabilité il est envisagé de renforcer l'analyse de l'état initial et d'étudier les aspects sociologiques des réactions solidaires face à l'énergie au niveau de la ville afin de préparer un matériel didactique plus spécifique et des techniques d'information mieux ciblées. Ce renforcement du projet permettrait en outre d'approfondir l'analyse de l'état initial pour préciser l'impact des actions prévues et l'évaluation des effets possibles et escomptés.

La suite du projet comprendra alors l'engagement du Dialogue Energétique et l'échange d'informations entre les usagers faisant état des résultats de leurs efforts, et de leurs connaissances, le service conseil du projet répercutant ses propres informations et celles recues ayant un caractère général. La mise en œuvre du Dialogue Energétique sous le thème "A Martigny nous énergisons mieux" permettra alors de confirmer les estimations faites sur la consommation puis d'évaluer l'effet des mesures proposées et de juger des résultats réellement obtenus par rapport aux objectifs initiaux.

Actions médiatiques :

Stand domotique à Habitat et Jardin 1988
Stand au 11ème séminaire sur la modélisation des systèmes énergétiques, Martigny 1988
Techniques municipales : TECH 88, Grenoble
Stand Dialogue énergétique à la Foire du Valais, Martigny 1988
Stand du Serveur CREM et télégestion à FORENERGY 88
Mesure en temps réel des réseaux de gaz : Conférence des gaziers à Neuchâtel, Octobre 1988
Série d'émissions d'été Dialogue : Radio Martigny
Série d'émissions d'automne Dialogue : Radio Martigny
Le CREM et Dialogue Energétique : Espace 2, Radio Romande, 24.10.88

Articles :

"Martigny, laboratoire énergétique" : L'Hebdo, 3 mars 1988
"Le CREM de Martigny" : Revue Treize Etoiles, Septembre 1988
Dialogue Energétique : nombreux articles, La Suisse, le Nouvelliste, Le Matin.

EXPERTENSYSTEME FÜR PRÄVENTIVE WARTUNG**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

1. Anvisierte Ziele

Das gesamte Projekt zielt darauf ab, anhand einer etwas komplexeren Komponente (Wärmepumpe) allgemeinere Strukturen zur Expertensystem-gerechten Darstellung des Wissens im Bereich Diagnose von haustechnischen Systemen zu finden.

Das vergangene Jahr wurde eingesetzt, um Vorstudien zu spezifischen Fragen zu verfassen. Praktische Arbeiten wurden keine vorgesehen. Folgende Ziele wurden gesetzt:

- Erstellung eines Pflichtenheftes für ein Expertensystem (ES)
- Gliederung des Expertenwissens für Vorfälle in WP/KM
- Konzept eines ES und testweise Realisierung wichtiger Teile (off-Line) auf dem PC

2. Durchgeführte Arbeiten

Im vergangenen Jahr konnten Arbeiten auf den folgenden Gebieten durchgeführt werden:

- Anforderungsprofil eines ES erstellen
- Wissen zum Thema "Störungen" sammeln und strukturieren
- Tests zur Fehlerklassifikation provisorisch festlegen
- ES-Shell evaluieren und auf dem PC austesten
- Pilotanlage planen

Von Seiten des Industriepartners wurde ein Experte des Fachgebietes und zugleich Projektleiter gestellt. In einer wöchentlichen "Knowledge Engineering"-Sitzung wurden die einzelnen Themen bearbeitet und die weitere Arbeitsrichtung festgelegt. Je nach Bedarf wurden Fachkräfte aus dem jeweiligen Gebiet beigezogen.

3. Ergebnisse

3.1. Erstellen des Anforderungsprofils des ES

An der Diskussion für die Definition der Randbedingungen des ES innerhalb der Interessen des Industriepartners nahmen Berater aus den Bereichen Service-Organisation, Inbetriebsetzung/Service, Anlagebau, Leitsystem sowie dem Management teil.

Es wurde die Absicht formuliert, dass die Arbeiten auf einen Prototyp eines einsetzbaren Produktes hinzielen sollen. Deshalb wird Wert auf Strukturen der Wissensrepräsentation gelegt, die generell für die Ueberwachung von haustechnischen Anlagen geeignet sind.

Die folgenden betrieblichen Vorgaben sind aufgestellt worden:

- Die Kommunikation soll über das Leitsystem und den Zentralrechner möglich sein (Fernbetrieb).
- Pro Routinefall darf das Telefonnetz höchstens einmal täglich für kurze Zeit belegt werden.

- Die Fehlerdiagnose / präventive Wartung muss die Störungsursache ermitteln, das Fachgebiet eingrenzen und mögliche Ersatzteile bzw. Reparaturvorschläge nennen.

3.2. Sammlung von Wissen zum Thema "Störungen"

Das Wissen wurde aus vorhandenen Fehler- und Checklisten und aus einer Fehlerstatistik aus einer Service-Organisation zusammengetragen. Anschliessend fanden Gespräche mit Service-Monteuren, Anlagebauern und einem Experten statt.

3.3. Strukturierung des Wissens

Das gesammelte Material sollte nun im Hinblick auf die Verarbeitung mittels ES strukturiert werden. Ziel der Strukturierung ist eine übersichtliche Darstellung und Vollständigkeit der Wissensblöcke. Verschiedene Darstellungsformen wurden auf Papier ausprobiert:

a) **Matrixdarstellung:** Diese Darstellung (s.Fig.1) eignet sich nicht zur Strukturierung von komplexeren Problemen. Die direkte Zuordnung von Wirkungen auf die Ursachen überspringt alle dazwischenliegenden Gedankengänge und hindert so die Gruppierung von typischen Symptomenkonstellationen. Ebenfalls problematisch ist diese Form, wenn eine Beziehung von Ursache zu Störung nicht dieselbe ist, wie umgekehrt (s. Abschn. c)).

Wirkung	Ursache									
	Ventil vereist	Filter verstopft	Füllung zu gross	Falscher Sollwert T
Alarm X	●									●
Alarm Y			●	●						
Dauerlauf			●							●
Z schwankt stark	●									
Blasenbildung		●						●		
.....										●

Fig.1 Wissen in Matrixdarstellung

b) **Hierarchische Struktur** (s. Fig.2): Ausgehend von den grundsätzlichen Störungsklassen werden die möglichen Störungen nach einem Gesichtspunkt so oft in Unterklassen aufgespalten, bis sich keine sinnvolle Verfeinerung mehr ergibt. Für eine erste Übersicht ist dies sehr praktisch. Die Beziehungen heissen z.B. "hat die Unterklasse ..." (a) oder in die andere Richtung: "vom Störungstyp..." bzw. "bewirkt" (b).

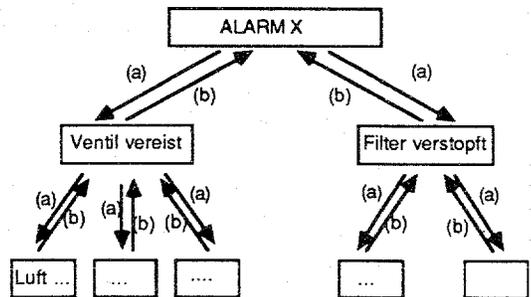


Fig.2 Wissen hierarchisch strukturiert

c) **Vernetzte Struktur** (s. Fig. 3):

Sobald ein Wissensgebiet von mehr als einem Gesichtspunkt aus strukturiert werden soll, können sich zwischen den Elementen verschiedener Äste Querverbindungen ergeben. Diese müssen durch weitere definierte Beziehungen berücksichtigt werden können. Durch diese wird die anfänglich hierarchische Struktur zu einem Netz.

- Wenn beispielsweise nach Anlageteilen strukturiert wurde, kommt eine fehlerhafte Regelung in mehreren Ästen vor.

Mögliche Beziehung: "Direkter Zusammenhang mit..." (c).

- Beziehungen in einer Hierarchie müssen nicht "reflexiv" ein. Beispielsweise kann eine Störung, die auf einem gewissen Niveau der Hierarchie lokalisiert worden ist bedingen, dass mindestens eine der Unterklassen eine Störung aufweisen muss. Umgekehrt können sich Störungen auf tiefem Niveau in ihrer Wirkung neutralisieren, so dass sie in der oberen Klasse nicht mehr auszumachen sind. Mögliche Beziehung: "Ergibt Fehlerbeitrag" (d).

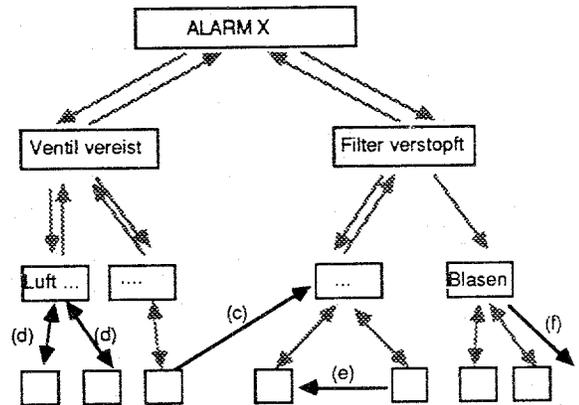


Fig.3 Wissen vernetzt

Weitere praktische Beziehungen wie "falls nicht" (e) oder "sonst" (f) können nach Bedarf definiert werden.

Alle diese ergeben wichtige Informationen für die Abarbeitungsprioritäten bei der Implementation.

3.4. Einteilung des Wissens nach Wartungsauftrag

a) Präventive Wartung:

Sätze von Messwerten werden regelmässig zu Kennwerten (Maxi, Mini, Durchschnitt, Zeit bis extrapolierte Kurve einen kritischen Wert schneidet) für jede zu beobachtende Grösse verarbeitet. Der zeitliche Verlauf wird überwacht: Sobald sich ein eindeutiger Trend abzeichnet, wird dieser nach Dringlichkeit klassifiziert und der Zentrale gemeldet.

b) Diagnose von Störungen:

Falls eine Störung abrupt aufgetreten ist, sollen die Daten der letzten "Momentaufnahme" aller Sensordaten derart ausgewertet werden können, dass der Fehler möglichst fein klassifiziert werden kann. Die Herleitung sollte nachvollziehbar sein.

c) Erfassung von unerwünschten Zuständen des Systems:

Es gibt eine ganze Reihe von ungünstigen Zuständen im System, die aufgedeckt werden sollten, obwohl sie nie direkt eine Störung auslösen. Die Schwierigkeit besteht u.a. darin, dass die Fehlfunktionen dieses Typs meistens von Anfang an eingebaut waren und deshalb nicht als Abweichungen vom Zustand nach der Inbetriebsetzung aufzudecken sind.

Meistens bewirken diese Zustände, dass eine Anlage über längere Zeit nicht im optimalen Bereich betrieben wird.

3.5. Provisorische Festlegung von Tests zur Fehlerklassifikation

Nachdem die verschiedenen auftretenden Fehler (d.h. Störungsursachen) auf dem Papier klassifiziert worden sind, müssen Tests für die Entscheidungen ermittelt werden. Ein Test kann auf Daten eines einzigen Sensors oder auf einer charakteristischen Konstellation von Daten verschiedener Sensoren beruhen.

Bei der Festlegung der Sensoren ist man auf der einen Seite daran interessiert, die Fehlerklassifizierung so weit als möglich zu treiben. Das bedingt eine stattliche Anzahl verschiedener Fühler. Auf der anderen Seite kann aus wirtschaftlichen Gründen evtl. auf die feinstmöglichen Unterscheidungen verzichtet werden, wenn diese kostspielige Sensoren erfordern und doch verhältnismässig wenig Zusatzinformation von praktischem Nutzen bieten.

Im Falle der Fehlerdiagnose muss noch untersucht werden, ob in allen Fällen eine Momentaufnahme (statisch) genügt oder ob erst ein Verlauf der Daten über die Zeit (dynamisch) die nötige Information für den Test liefert.

In einem ersten Schritt wurde provisorisch ein Satz von 25 Fühlern für die Ueberwachung einer bestimmten Konfiguration einer WP festgelegt. Versuche an einer realen Anlage werden zeigen, ob diese Auswahl durch geschicktes Ausnützen von Information anderer Sensoren reduziert werden kann.

3.6. Arbeiten mit einer ES-Shell auf dem PC

Im dritten Quartal wurde die Evaluation für eine Shell abgeschlossen. (Eine "Shell" ist eine Software zur Erstellung und zum Betrieb eines ES.) Die Evaluation stützt sich auf eine Arbeit des Instituts für Automatik, die mehrere Shells für den PC vergleicht. Der Entscheid fiel auf das Produkt "Nexpert-Object" in der Ausgabe für IBM-AT-kompatible PCs.

Für Unterprobleme wurden kleine Wissensbasen im Sinne eines "Prototypings" entwickelt. Dabei konnten einige Schwächen der Shell ausgemacht werden. Insbesondere ist keine Erklärungskomponente für das Endsystem vorhanden. Dies bedingt zusätzlichen Programmieraufwand in der Sprache "C" innerhalb der Windows- (später OS/2-) Umgebung.

3.7. Entwurf einer Wissensbasis

Die Wissensbasis sollte der Strukturierung des Wissens so weit als möglich nachempfunden werden, muss aber auch die Aspekte des Laufzeitverhaltens berücksichtigen. Daraus können im vorliegenden Fall folgende Richtlinien abgeleitet werden:

- Die Wissensbasis wird modular, d.h. als viele Unter-Wissensbasen aufgebaut. Damit der knappe Speicherplatz nicht unnötig belastet wird, werden nur gerade die aktuell benötigten Wissensbasen im Hauptspeicher belassen.
- Da vom Leitsystem her alle Prozessdaten abrufbereit sind, würde eine Vorwärtsverkettung des Inferenzprozesses zu einem erschöpfenden "reasoning" führen. Zur Minimierung des Zeitbedarfs ist deshalb eine Rückwärtsverkettung vorzuziehen.

Aus den Möglichkeiten und Begrenzungen der Shell ergibt sich vorderhand die Aufteilung zwischen regel- und objektbasierter Darstellung des Wissens:

- Die Ablaufsteuerung wird mit Regeln gemacht. Regeln sind sehr flexibel im Gebrauch und bieten die Möglichkeit von allgemeinen Ausdrücken ("pattern matching").
- Störungsklassen und "Fehleratome" (d.h. nicht weiter unterschiedene Ursachen) werden als Objekte (d.h. strukturierte Datentypen mit angehängten Prozeduren und der Möglichkeit zur Kommunikation mit anderen Objekten) dargestellt.

3.8. Planung Pilotanlage

Ursprünglich bestand die Absicht, das ES an einer bestehenden Anlage anzuschliessen. Weil aber keine vom Industriepartner gewartete Anlage mit den für unsere Arbeit nötigen Sensoren ausgestattet ist, wären grössere Installationsarbeiten für die Zusatzinstrumentierung Anpassungen der Leitsystem-Software nötig gewesen. Dazu kommt, dass wohl kein Betreiber seine Anlage für eingehende Untersuchungen (mit simulierten Fehlern usw.) während der Heizsaison zur Verfügung gestellt hätte.

Aus diesen Gründen wurde eine speziell ausgerüstete Pilotanlage für den Experimentierbetrieb geplant.

4. Ausblick

Durch eine Messkampagne im Verlaufe des nächsten Jahres soll das bisher gesammelte Wissen validiert und verfeinert werden. Dabei wird sich herausstellen, ob das gewählte Konzept und das gesammelte Wissen für das ES die Erwartungen erfüllen kann. Sobald die Kernfunktionen des ES zufriedenstellend laufen, soll eine benutzerfreundliche Bedienoberfläche mit Erklärungskomponente geschaffen werden.

VERBRAUCH, UMWELTSCHADSTOFFE & ÖKONOMIE

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: Paul Scherrer Institut (PSI)

Berichterstatter: S. Kyriacos

Adresse: 5232 Villigen PSI

Telephon: 056 / 99 26 75

1 Scope of the study and goals for 1988

The amount of man-made emissions released to the atmosphere can be reduced by extra investments on emission control systems like catalytic converters for private automobiles, denoxing and desulfurization systems for power production and/or industrial use, or by the use of fuels with less sulfur content. Investments may also result to energy conservation, increase use of renewables and fuel switching. These investments are associated to higher 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 emissions** and their required **investment and operation 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 detailed subtasks of work until the project completion were as follows:

- A report on the state-of-the-art with energy/environmental projects and studies in Switzerland will be completed (W. Hediger).
- A technical data-base will be completed and described based on national and international sources, taking into account the existing legislation.
(J. Wochele)
- It is planned to improve a data-base processing software for being able to generate the complete input file of MARKAL using the data library, the demand simulation model SMEDE and the reference energy system.
(S. Kypreos)
- The MARKAL software should be implemented to another mainframe and operating system due to the displacement of the EMOS operating system. An ideal solution is to generate the matrix on CDC or a workstation and solve the matrix in CRAY.
(S. Kypreos)
- Specification of the reference energy system for Switzerland.
Important is to include a complete set of technologies for emission control and especially energy conservation. The project will capitalize on the work accomplished for the EGES study.
- Definition of emission constraints as function of time.
It has been decided to **fix the total annual emission level**, by introducing **upper bounds**, and perform sensitivity analysis varying the bounds of NO_x , and

SO₂, in order to specify the trade-off curve. Since an important part of HC emissions is not energy related, simulation is necessary to treat hydrocarbons.

- Preliminary results will be reported in the forthcoming workshops, while sensitivity analysis will be performed afterwards. Demand, fuel prices and a nuclear moratorium will be the parameters. Final results will be described in a national report and a summary for the final project report will be prepared.
- The problem of **internalization of external (social) cost** of energy is going to be studied by Mr W. Hediger, aiming to improve analytical capabilities of the group.

2 Work accomplished in 1988

Due to the new organization of the Institute, which has resulted to a man-power reduction devoted to this study, the following work has been accomplished.

- The study on the state of the art which has been initiated by W. Hediger is in a preliminary stage.
- The energy demand projections and the data base of the Swiss energy system have been integrated to complete the model input.
The pollutants of interest for Switzerland, related to the problem of dying forest and the green-house effect are: SO₂, NO_x, Hydrocarbons and CO₂. The need to include a few specific abatement technologies for CO₂ other than conservation and fuel switching, became apparent during the course of the study, and it is not yet done.
- Preliminary optimizations on the NO_x, SO₂ and the CO₂ constraints have been done and the results are described in a PSI report (Ref. 1, Fig. 1).
- A software is written, which allows to integrate the results of the energy demand simulation model, the specifications of the reference energy system of the country and the technical data base, thus creating the set of input data required by the optimization model. All the input variables together with the output variables describing the results of optimization are integrated to a direct access file using as keys the names of all the scenario variables. This file is then processed to generate all the necessary information describing a scenario in form of tables and figures as well as for making sensitivity analysis.
- An assessment of the EGES work together with a review of the PSI contribution to this work has been presented during the joint IIASA/IEA conference on energy and environmental studies in Vienna (Ref. 2)

- Last but not least, Mr W. Hediger has formulated his ideas in a report describing the general terms for an approach which could conclude on the problem of internalization of the external costs of energy. A lot of work remains to be done in that direction in order to produce an operational model (Ref. 3).

3 Results obtained

The purpose of this preliminary analysis was to identify technical options for reducing the energy dependent atmospheric emissions in Switzerland below the levels of 1950 or 1960. The study concentrates on technical measures in the energy sector. It excludes policy options in the transportation sector which could change the traffic shares in favour of public transportation systems. These policy options require another methodological treatment than optimization, but their contribution could be taken into consideration as extra measures by simulation techniques.

The main message of the study is that **NO_x emissions** do not represent any impossible obstacle, as it was thought in the past, and a **reduction of annual emission around 70 Ktons/a can be obtained at an affordable cost**. The measures proposed, will result to an extra system cost of around **200 Million SFr per annum**. The cost of the measures proposed by the 'clean air concept' are not included in these results.

Promising systems are:

- The Fuellemann's burner and the ceramic gas burners in the residential and commercial sector,
- Denoxing and desulfurization systems, eventually low NO_x burners, and fluidized bed combustion systems for combined power and heat in the industry.
- In the transport sector and on the top of the introduction of catalytic converters for gasoline cars, improved diesel burning motors for cars and trucks as well as synthetic methanol are effective options to further improve air quality.

The **SO₂ emissions** are easily controlled to levels proposed by policy. Preliminary runs on the **CO₂ case**, indicate a reduction by approximately 13%, which is mainly obtained by a very high penetration of natural gas. **A 20% reduction, which has been recommended by the Toronto conference**, could be therefore obtained by introducing moderate conservation measures, on the top to these assumed in the reference case.

The study is of preliminary nature due to uncertainties in terms of the cost/ effectiveness ratio of control systems, the policy options assumed (nuclear energy) and the date of introduction of the measures. All these facts make further analysis necessary.

4 International cooperation

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. 'The energy debate in Switzerland, supply vs conservation'.
Proceedings of the joint IIASA/IEA conference on energy and environmental studies. Vienna, May 1988. S. Kypreos
2. TM-52-88-05: 'Technical options for a more stringent clean air concept in Switzerland'. S. Kypreos
3. TM-13-88-03: 'Soziale Kosten der Energie'. W. Hediger

6 Proposal for research

Two proposals have been elaborated during the course of this project which consists an extension of our research activities in the field:

- The first one is called **Energy emissions and depositions registers (Katasters) in Switzerland** and it has been explicitly formulated. The aim of the proposed project is to generate detailed emission sources for mesoscale atmospheric models in order to estimate out of the dispersion and the chemical reaction of pollutants, ground level concentration rates in Switzerland. It could lead to different abatement measures per region in order to satisfy the limits imposed by legislation. The cooperation with BUS, BEW, Statistical office, the 'GVK Stab' and the industrial representatives is a prerequisite for the initiation of such project.
- The second one refers to the **Global energy assessment and the green house effect**. This proposal should be understood as a direct extension of the IEA/ETSAP project and as a complementary contribution to the ORAU/IEA model of J. Edmonds and J. Reilly. The purpose of the project it will be to identify an **optimal path of CO₂ abatement and control**. We will try to obtain the endogenous treatment of energy demand and supply, by using principles of mathematical programming combined with general and partial equilibrium theory. The fuel prices will be estimated as endogenous model variables and in relation to the depletion of conventional fossil resources. A treatment of 'technological answers' to the CO₂ problem will improve the flexibility of studying CO₂ abatement, which

is not explicit available in the ORAU/IEA approach. International cooperation is a prerequisite for the initialization of such a project.

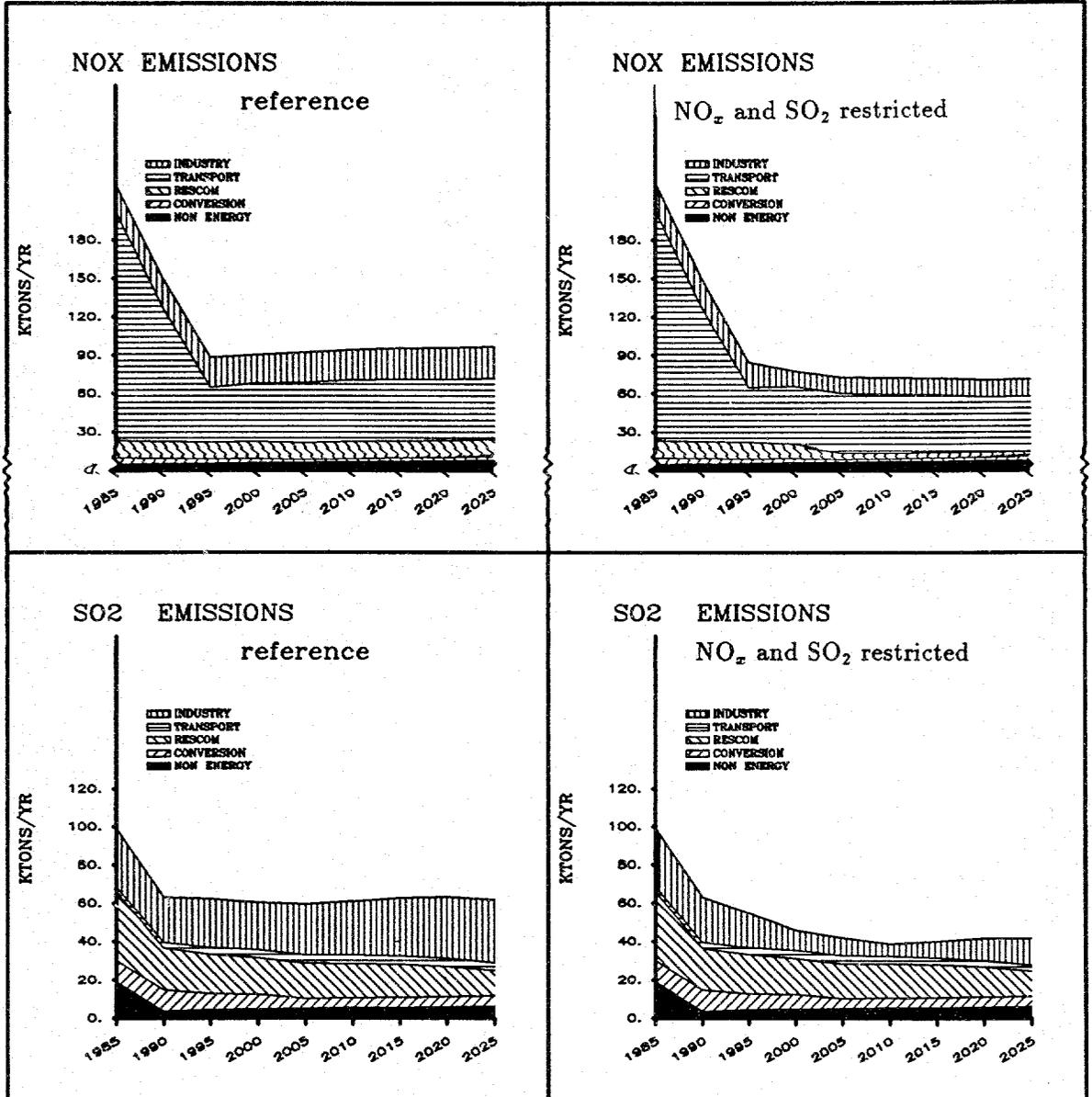


Fig. 1 : Distribution of NO_x and SO₂ emissions by sector as function of time. The left part of the drawing corresponds to the evolution of emissions under the demand and policy constraints of the reference case and present emission limits as specified by the "clean air ordinance". The right part of the drawing corresponds to similar demand development but extra bounds on the total annual NO_x and SO₂ emissions have been imposed (preliminary IEA/ETSAP results).

