
NEFF 1977-97

Förderung der Energieforschung

Allgemeiner Rechenschaftsbericht zum Abschluss der Tätigkeit des NEFF
Bedeutung der NEFF-Förderung
Zwanzig ausgewählte Forschungsprojekte

Funding of Swiss Energy Research

Final report of the Foundation NEFF
Relevance to Swiss energy research
Twenty reports on selected projects

Encouragement de la recherche énergétique

Bilan général à l'occasion de la fin des activités du NEFF
Importance de l'encouragement du NEFF pour la recherche énergétique de la Suisse
Sélection de vingt projets de recherche

v/dlf

Hochschulverlag AG an der ETH Zürich

Die Deutsche Bibliothek - CIP-Einheitsaufnahme

W.H. Heini Gränicher (Hrsg.)

Nationaler Energie Forschungs-Fonds

NEFF 1977-97, Förderung der Energieforschung; allgemeiner Rechenschaftsbericht zum Abschluss der Tätigkeit des NEFF; Bedeutung der NEFF-Förderung, zwanzig ausgewählte Forschungsprojekte.

Das Werk einschließlich aller seiner Teile ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung außerhalb der engen Grenzen des Urheberrechtsschutzgesetzes ist ohne Zustimmung des Verlags unzulässig und strafbar. Das gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen und die Einspeicherung und Verarbeitung in elektronischen Systemen.

ISBN 3- 7281-2592-X

© 1997, vdf-Hochschulverlag AG an der ETH Zürich.

Die Deutsche Bibliothek — CIP-Einheitsaufnahme

Nationaler Energie Forschungs-Fonds

NEFF 1977-97, Förderung der Energieforschung; allgemeiner Rechenschaftsbericht zum Abschluss der Tätigkeit des NEFF;

Bedeutung der NEFF-Förderung, zwanzig ausgewählte Forschungsprojekte.

[Hrsg.: W. H. Heini Gränicher], -Zürich, vdf-Hochsch.-Verlag an der ETH, 1997

Hrsg: W. H. Heini Gränicher, Projektleiter «NEFF-Buch»,
im Auftrag des NEFF, Nationaler Energie-Forschungs-Fonds,
CH-8001 Basel.

Gestaltung: Dr. Rudolf Weber †
zu Ende geführt durch Atelier Villotti / Zellweger, 8002 Zürich

Umschlag: »Symbols of Energy«, digital work, Th. Gränicher,
8008 Zürich

Druck: BUAG Buchdruckerei AG, 5405 Baden

© 1997

vdf Hochschulverlag AG an der ETH Zürich

Das Werk einschliesslich aller seiner Teile ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung ausserhalb der engen Grenzen des Urheberrechtsschutzgesetzes ist ohne Zustimmung des Verlages unzulässig und strafbar.

Das gilt besonders für Vervielfältigungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen und die Einspeicherung und Verarbeitung in elektronischen Systemen.

ISBN 3 7281 2592 X

Der vdf auf Internet: <http://vdf.ethz.ch>

Synopsis

- 1 6 **Einleitung**
Introduction
François Jeanneret, Président
- 2 16 **Allgemeiner Rechenschaftsbericht**
Bilan général
Jean-Louis von Planta
- 3 30 **Wirtschaftlicher, finanzieller Bericht**
Rapport économique et financier
Jean-Louis von Planta und W. H. Heini Gränicher
- 4 56 **Die Bedeutung des NEFF für die Schweizer Energieforschung**
L'importance du NEFF pour la recherche
énergétique en Suisse
- 58 **Einleitung**
Introduction
- 60 **Die Förderung der Photovoltaik durch den NEFF,**
L'encouragement de la photovoltaïque par le NEFF
Adolf Goetzberger
- 76 **Halbierung der Schadstoff-Emissionen bei der Verbrennung**
Réduction de substances polluantes lors de la combustion
Peter Suter
- 90 **Metallhydride auf dem Weg in die Energietechnik**
Les hydrures métalliques sur la voie de la technique
énergétique
Louis Schlapbach
- 98 **Gute Raumluftqualität ist auch mit wenig Energie möglich**
Dépenser moins d'énergie pour préserver la qualité de l'air
des pièces d'habitation
Peter Suter und Alfred Moser

5	112	<i>A Selection of 20 Projects</i>
	114	In memoriam Dr. Rudolf Weber †
	116	Hybrid dry cooler for industrial processes and climatization
	124	Inductive current limiter using high T _c superconductors
	132	Non-conventional deep gas project in the Central Swiss Alps
	142	A pressure-wave machine with constant volume combustion
	154	Diffusion-absorption heat pump with a 1.5 COP
	166	500 kW photovoltaic power plant PHALK Mont-Soleil
	178	Fundamentals of low-NO _x burners and boilers with flue gas recirculation
	186	Ecomobile «Hybrid III» — a concept reducing fuel consumption and emissions
	200	Improving accuracy of Acoustic Discharge Measurement in hydropower conduits
	210	Urban district heating with heat pumps utilizing thermal energy from Swiss lakes
	218	Numerical simulation of electromagnetic processes, especially induction heating
	228	A novel solid oxide fuel cell system for co-generation of electricity and heat
	238	High-power short-term energy storage with magnetically suspended flywheel
	246	Development of fibre traps for finest Diesel exhaust particulates
	258	Energy saving in ventilation systems by recirculating and filtering air
	266	Development of a façade system with integrated solar cell modules
	272	Optimizing the combination of heat pump and wood fire for home heating
	280	A novel arc detector in photovoltaic arrays
	286	An expert system for fault analysis in co-generation plants
	296	Flow-induced vibrations in staggered tube arrays of heat exchangers
	308	Index
6	313	<i>Statut und Reglemente</i>
	314	Mitglieder des Stiftungsrates / Membres du conseil de fondation
	316	Stiftungsstatut
	322	Statut de fondation
	328	Stiftungsratsreglement
	329	Ausschuss-Reglement
	331	Pflichtenheft der Geschäftsstelle
	332	Reglement für Gesuchsteller und Beitragsempfänger
	336	Forschungskonzept des NEFF
	337	Anforderungen an Forschungspläne in Gesuchen
	340	Richtlinien für die Begutachtung von Beitragsgesuchen
	342	Schema des Bewilligungsverfahrens
7	344	<i>List of approved Projects</i>

1 Einleitung: Der NEFF nach 20 Jahren

Eine einzigartige Institution verschwindet

1 Introduction: Le NEFF, 20 ans après

Une institution unique disparaît

Eine einzigartige Institution verschwindet

« . . die Technik hat ihren Anfang mit dem Wesen Mensch genommen: Der Mensch ist seiner Natur nach eines der am wenigsten zum Leben und Überleben geeignete Lebewesen. Physisch ist die Tatsache, dass er überlebt hat, völlig aussergewöhnlich. »

Jeanne Hersch

Der Nationale Energie-Forschungs-Fonds, abgekürzt als NEFF bezeichnet, ist kurz gesagt eine kleiner Nationalfonds für wissenschaftliche Forschung, aber thematisch auf den Energiebereich eingeschränkt, auf privater Grundlage und schwergewichtig auf angewandte Forschung ausgerichtet.

Seine Statuten tragen das Datum des 23. Juni 1977 und in ihrem Artikel 2 wird die Zielsetzung wie folgt beschrieben:

«Die Stiftung bezweckt die finanzielle Förderung der Forschung und Entwicklung auf dem Gebiete der Energiebeschaffung, -verteilung und -anwendung mit dem Ziel, eine ausreichende, sichere und kostengünstige Energieversorgung der Schweizerischen Eidgenossenschaft unter angemessener Rücksichtnahme auf die Umwelt und auf die Erschöpflichkeit der Vorräte mittel- und langfristig zu gewährleisten. Sie kann auch die Erforschung und Nutzbarmachung neuer Energieträger und -formen unterstützen und der Eidgenossenschaft Mittel zur Verfügung zu stellen, welche diese zur Erfüllung internationaler Verpflichtungen im Energiebereich benötigt.»

Der NEFF verschwindet im Alter von 20 Jahren, weil seine Stifter Ende 1991 beschlossen haben, ihre Beitragsleistungen einzustellen, welche — Jahr für Jahr — die Erreichung der gesteckten Ziele ermöglicht hatten. Die Gründer sind die Erdöl-Vereinigung, der Verband Schweizerischer Elektrizitätswerke, die KOLKO Genossenschaft Schweizerischer Kohlen-Importfirmen und der Verband der Schweizerischen Gasindustrie.

Deshalb ist 1997 das Jahr, wo der NEFF —zwei Jahrzehnte nach seiner Gründung— seine Tätigkeit einstellt und dies zum Anlass für verschiedene Aktionen nimmt. Dazu gehört, wie vom Stiftungsrat beschlossen, die Veröffentlichung des vorliegenden Buches, welches mit der vom Präsidenten verfassten Einleitung beginnt.

Die Idee, eine privatwirtschaftliche Institution auf dem Gebiete der Energieforschung zu schaffen, war das Ergebnis von Anhörungen, welche 1975 durch die Kommission für eine Gesamtenergie-Konzeption (GEK) veranstaltet wurden. Die Vertreter der Energiewirtschaft waren von der Notwendigkeit einer verstärkten Förderung der Energieforschung in unserem Lande überzeugt und vor allem von der nötigen Koordination in diesem Forschungsgebiet.

Une institution unique disparaît

« . . . la technique a commencé avec l'être humain: l'homme est par nature l'un des êtres les moins aptes à vivre et à survivre. Physiquement, le fait qu'il ait survécu est tout à fait extraordinaire. »

Jeanne Hersch

Le «Fonds national pour la recherche énergétique» ou NEFF – qui est l'abréviation du titre allemand Nationaler Energie-Forschungs-Fonds – est en résumé un petit fonds national de la recherche scientifique, mais seulement en matière d'énergie, de nature privée et se préoccupant essentiellement de recherche appliquée.

Ses statuts portent la date du 23 Juin 1977 et leur article 2 fixe le but de la Fondation en ces termes:

«La fondation a pour but de promouvoir financièrement la recherche et le développement dans le domaine de l'acquisition, de la distribution et des applications de l'énergie, ceci afin de garantir un approvisionnement en énergie suffisant, sûr, favorable par son coût, et qui tienne compte de façon adéquate de l'environnement ainsi que de l'épuisement à moyen et long termes des réserves disponibles.

Elle peut aussi soutenir la recherche et la mise en valeur de nouveaux agents énergétiques et de nouvelles formes d'énergie, et mettre à disposition de la Confédération des moyens lui permettant de remplir des engagements internationaux dans le domaine de l'énergie.»

Le NEFF va disparaître à l'âge de ses 20 ans, car ses fondateurs ont décidé à fin 1991 de cesser de verser les contributions qui ont permis, année après année, l'accomplissement de cet objectif. Les fondateurs sont l'Union Pétrolière, l'Union des centrales suisses d'électricité, la Coopérative de maisons suisses d'importation de charbon et l'Association suisse de l'industrie gazière.

L'année 1997 est donc celle, deux décennies après sa création, où le NEFF va mettre fin à son existence par diverses manifestations. Parmi celles-ci, ses organes ont décidé la publication du présent livre, que son président introduit par cet avant-propos.

L'idée de mettre sur pied une institution privée en matière de recherche énergétique est issue des auditions qui ont été organisées en 1975 par la Commission fédérale de la conception globale de l'énergie. Les représentants de l'économie énergétique ont alors été convaincus de la nécessité d'un encouragement accru à la recherche en matière d'énergie dans notre pays, et surtout de la coordination de celle-ci.

Ils ont estimé que la meilleure solution consistait à réunir les institutions représentatives des principales sources d'énergie, d'ob-

Sie kamen zur Beurteilung, dass die beste Lösung darin bestünde, die Organisationen der wichtigsten Energieversorger zusammenzuführen, um von ihnen ein Grundkapital sowie regelmässige Beitragsleistungen zu erhalten und diese Beiträge jedes Jahr durch einen unabhängigen Fonds für die Unterstützung angewandter Forschung in der Privatwirtschaft und an den Hochschulen einzusetzen.

Eine enge Bindung an die Eidgenossenschaft kam rasch zustande, nachdem der NEFF von Anfang an bestrebt war, ihr die Erfüllung der Verpflichtungen zu ermöglichen, welche der Schweiz im Rahmen der Internationalen Energie-Agentur (International Energy Agency, IEA) zufließen. Durch die Förderung der angewandten Forschung im passenden Zeitpunkt, strebte der NEFF eine langfristige prospektive Entwicklung der Schweiz im Energiebereich an. Er konnte dies umso besser erfüllen, als sich die Gründer zu Stifterverträgen von einer gewissen Dauer verpflichteten, welche dem NEFF eine Kontinuität in seiner Förderungspolitik ermöglichte.

Der schweizerische Bundesrat hat dies stets klar begrüsst, indem er im März 1982, aus der Feder des damaligen Chefs des Verkehrs- und Energiewirtschafts-Departement verlauten liess: *«Die Zusammenarbeit zwischen dem NEFF und der Eidgenossenschaft weist verschiedene exemplarische Eigenheiten auf. Sie beweist konkret, dass auf dem Gebiete der Energieforschung die Zusammenarbeit zwischen den Organen der Privatwirtschaft und der öffentlichen Hand die Regel bilden muss.»*

Wie es 1979 sein erster Präsident a. Nationalrat David Linder aus Basel ausdrückte: «Der NEFF ist nicht etwas, was sich von selbst versteht». Er ist eine einzigartige Institution wegen seiner Originalität, die Einfachheit seiner Arbeitsweise, des unbürokratischen Charakters seiner Organisation, wegen der Effizienz, der Schnelligkeit und des Pragmatismus seiner Entschlüsse; er ist eine perfekte Illustration dessen, was das helvetische Milizsystem besonders gut leisten kann.

Der Stiftungsrat und insbesondere sein Ausschuss äussert sich in voller Freiheit, unabhängig vom realen Gewicht der einzelnen Stifterorganisationen, zumal seine Mitglieder auch aus der Industrie, den Kreisen der übrigen Energiekonsumenten, der Hochschulen etc. stammen. Durch den Einsatz von Paten wird jedes eingegangene Gesuch gründlich geprüft. Es ist ein echtes Kollegium, welches – einem gemeinsamen Ziel verpflichtet — schliesslich in aller Unabhängigkeit über die Beiträge an die Forscher beschliesst.

Das Forschungskonzept des NEFF verfolgt mehrere Ziele, von denen wir die nachfolgenden besonders hervorheben möchten: Rationelle Energieverwendung fördern, Anreiz für neue Energieformen als Ergänzung zu klassischen Energiearten geben,

tenir d'elles un capital de fondation puis des ressources régulières et d'utiliser chaque année ces sommes, à travers un fonds indépendant, en vue de subventionner des recherches appliquées provenant du secteur privé et des hautes écoles.

Un lien étroit s'est vite établi avec la Confédération, à mesure que le NEFF a tenu dès l'origine à lui permettre de remplir ses obligations extérieures dans le cadre de l'Agence internationale de l'énergie (AIE). En promouvant la recherche appliquée en temps opportun, le NEFF visait ainsi le développement prospectif à long terme de la Suisse en matière d'énergie. Il pouvait d'autant mieux le faire que les fondateurs s'engageaient par des contrats-type d'une certaine durée, ce qui lui permettait une politique reposant sur la continuité.

Le Conseil fédéral l'a d'ailleurs toujours salué en déclarant clairement, en mars 1982, par la plume du Chef du département fédéral des transports et communications et de l'énergie de l'époque: *«La collaboration entre le NEFF et la Confédération présente de nombreuses particularités exemplaires. Elle démontre concrètement qu'en matière de recherche énergétique la coopération entre organes des secteurs privés et publics doit être la règle»*.

Comme le disait en 1979 son premier président, l'ancien Conseiller national David Linder de Bâle: «Le NEFF n'est pas quelque chose qui s'entend de soi-même». C'est une institution unique par son originalité, par la simplicité de son fonctionnement, par le caractère non bureaucratique de son organisation, par l'efficacité, la rapidité et le pragmatisme de ses décisions; il est l'illustration parfaite de ce que le système de milice helvétique peut faire de meilleur.

Le Conseil de fondation, et tout particulièrement son comité, se prononce en toute liberté, indépendamment du poids réel de chaque fondateur, ses membres provenant d'ailleurs également de l'industrie, des autres consommateurs d'énergie, des hautes écoles, etc. Par un système de parrainage chaque requête est examinée à fond et c'est un véritable collège uni autour d'un objectif commun qui, finalement, décide en toute indépendance des montants alloués aux chercheurs.

Le concept de recherche du NEFF poursuivait plusieurs objectifs dont nous relevons spécialement ce qui suit: encourager l'utilisation rationnelle de l'énergie, susciter de nouvelles formes pour compléter les énergies classiques, améliorer le stockage et le transport, contribuer à l'élimination des déchets et être sensible à la protection de l'environnement.

Les fondateurs du NEFF voulaient par là démontrer que l'économie privée pouvait apporter par elle-même une contribution décisive à la recherche énergétique de notre pays. Ils étaient logiques en préférant intervenir de cette façon plutôt qu'en se soumettant à des impôts ou

Speicherung und Transport von Energie verbessern, zur Beseitigung von Rückständen beitragen und all dies unter Beachtung des Umweltschutzes.

Die Stifter des NEFF wollten damit zeigen, dass auch die Privatwirtschaft einen entscheidenden Beitrag zur Energieforschung unseres Landes beitragen könne. Es war für sie logisch, wenn sie auf diese Weise vorzugehen beabsichtigten, statt sich Steuern oder Abgaben zu unterziehen, welche die Energieverbände treffen würden. Der Artikel 12 der Statuten sieht verbindlich eine Auflösung der Stiftung vor, falls die Eidgenossenschaft eine solche Politik verfolgen sollte. Seit 1977 haben verschiedene Vorstösse seine Existenz bedroht, wurden aber glücklicherweise nicht verwirklicht.

Jedoch im Alter von 15 Jahren musste der NEFF zur Kenntnis nehmen, dass die Stifterorganisationen beschlossen hatten, die Stiftung vom 1. Januar 1992 an nicht mehr zu finanzieren. Tatsächlich hatte sich das energiepolitische Umfeld, in der Schweiz und international, tiefgreifend verändert gegenüber der Epoche, wo der NEFF erdacht, konzipiert und verwirklicht worden war; ein Verfassungsartikel über Energie ist inzwischen angenommen worden und neue Beziehungen zum Bund sind entstanden. Dank der Reserven, die der NEFF im Laufe der Jahre äufnen konnte, war er in der Lage, noch während einiger Zeit Forschungsprojekte unterstützen zu können, aber dennoch ist nun der Zeitpunkt gekommen, wo er schlicht und einfach seine Auflösung an die Hand nehmen muss.

Bis in neuere Zeit waren die Organe des NEFF glücklich, Forschungsgesuche entgegenzunehmen, welche sowohl die Vielfalt, als auch das hohe Niveau der schweizerischen Energieforschung beweisen. Bis zuletzt wurden die Gesuche stets angegangen und vorerst bezüglich ihres wissenschaftlichen Gehalts beurteilt.

Bis zu seiner Auflösung hatte der NEFF nicht aufgehört, eine Katalysatorrolle zu spielen zwischen der Grundlagenforschung und der Produkteentwicklung. Wesentlich war es, eine solide Brücke zu bilden zwischen der grossen Zahl der theoretischen Einsichten und der industriellen Praxis, damit auch ein kleines Land auf gewissen Gebieten eine Führungsrolle spielen kann.

In der Einleitung zum Jahresbericht 1991 erklärte der unterzeichnete Präsident in Zusammenhang mit der Entscheidung der Stifter, dass wenn sie auch verstanden, so doch sehr bedauert wurde. Dazu sei das Folgende beigefügt:

«Wir bedauern es, weil sich der NEFF als aussergewöhnliche Organisation dank seiner pragmatischen, realistischen und unbürokratischen Arbeitsweise äusserst gut bewährt hatte. Wir hoffen, dass sich

des taxes frappant les associations énergétiques. L'article 12 des statuts prévoit une dissolution obligatoire si la Confédération pratiquait cette politique. Depuis 1977 plusieurs tentatives ont menacé son existence, mais elles ne se sont heureusement guère réalisées.

Mais à l'âge de 15 ans le NEFF a appris qu'il était condamné, ses fondateurs ayant décidé de ne plus alimenter le fonds dès le 1er janvier 1992. En effet, l'environnement politique et économique, suisse comme international, s'était profondément modifié depuis l'époque où le NEFF a été imaginé, conçu et réalisé; un article constitutionnel sur l'énergie a été adopté entre-temps et de nouveaux rapports ont été établis avec la Confédération. Grâce aux réserves qu'il avait sagement constituées au fil des ans, il a encore pu participer au financement de projets de recherches pendant un temps, mais le moment est venu désormais de procéder à la dissolution pure et simple.

Jusqu'au dernier moment les organes du NEFF auront été heureux d'accueillir des requêtes témoignant à la fois de la diversité et du haut niveau de la recherche énergétique helvétique. De même jusqu'à la fin les requêtes ont d'abord été approchées et appréciées quant à leur valeur scientifique.

Avant de disparaître le NEFF n'aura cessé de jouer le rôle de catalyseur entre la recherche fondamentale et le développement de produits, l'essentiel étant de créer un pont solide entre le plus grand nombre d'acquets théoriques et la pratique industrielle pour qu'un petit pays demeure un leader mondial en certains domaines.

Dans l'introduction du rapport de gestion 1991, le président soussigné disait à propos de l'esprit de cette décision que, si elle était comprise, elle était regrettée. Et nous ajoutions ceci:

«Nous le regrettons car le NEFF est une institution originale qui a fait éloquentement ses preuves et dont les modes de travail sont axés sur le pragmatisme, le réalisme et par essence la non-bureaucratie. Nous avons l'espoir que les fondateurs, notamment les deux principaux, poursuivront leur réflexion en vue de susciter de nouvelles initiatives en la matière, peut-être sous d'autres formes.

Mais nous le comprenons car l'environnement politique et économique, suisse comme international, s'est profondément modifié depuis les temps où des hommes lucides et compétents ont imaginé la création du NEFF. Un article constitutionnel sur l'énergie a été voté et de nouveaux rapports doivent être conçus avec la Confédération.

Pour l'heure, les organes du Fonds ont surtout pour tâche de gérer au mieux les ressources encore à disposition et de définir avec un soin particulier leur utilisation dès 1992.»

die Stifter, insbesondere die zwei wichtigsten unter ihnen auch in Zukunft bemühen, neue Initiativen zu fördern, wenn auch vielleicht in anderer Form.

Wir verstehen den Beschluss, denn die politische und wirtschaftliche Landschaft hat sich in der Schweiz und in der Welt stark verändert seit der Zeit, als vorausschauende und kompetente Leute zur Gründung des NEFF geschritten sind. Zwischenzeitlich wurde ein Verfassungsartikel angenommen, der zum Aufbau neuer, auf einer anderen Ebene liegenden Beziehungen zum Bund zwingt.

Gegenwärtig liegt die Hauptaufgabe der NEFF-Organe in der optimalen Bewirtschaftung der noch verfügbaren Mittel und in deren besonders sorgfältigen Bestimmung derer Verwendungsbereiche ab 1992.»

Wir sind glücklich, dass inzwischen Stifterorganisationen für ihre eigenen Energiesparten Forschungsfonds geschaffen haben. Jeder von Ihnen übernimmt damit teilweise die gleiche Rolle wie bisher der NEFF. Dies ist mehr denn je von Bedeutung, angesichts der Finanzsituation der öffentlichen Hände, insbesondere der Eidgenossenschaft.

Wenn jetzt das Blatt sich wendet, so geziemt es sich, zunächst all denen zu danken, welche auf die eine oder andere Weise an diesem grossen Abenteuer teilgenommen haben!

Nun, beim Versuch, die Zukunft zu erahnen, soll den Wissenschaftlern von morgen unser Vertrauen ausgesprochen werden. Durch den Entscheid, die letzte Million des Vermögens des NEFF zur Förderung junger Forscher einzusetzen, möchte er eine Spur seiner Existenz zu hinterlassen, welche — zutiefst nützlich — andere Unterstützungsmöglichkeiten sinnvoll ergänzend, einen Nachwuchs von hoher Qualifikation heranzubilden gestatten soll.

Es ist die Jugend, an die wir denken, indem wir ihr den Rest unseres Kapitals widmen. Dieses Kapital verstehen wir nicht nur finanziell, sondern auch moralisch und menschlich. Es stellt eine Brücke dar zwischen denen, welche 1977 den NEFF gegründet haben und denjenigen, welche 20 Jahre später die Fackel anderen Kräften übergeben.

Der Präsident des Stiftungsrates

François Jeanneret
Ehemaliger Staats- und Nationalrat

Nous sommes heureux qu'entre-temps les membres fondateurs aient constitué dans leur propre domaine énergétique un fonds de recherches.

Chacun d'entre eux assumera partiellement le même rôle que le NEFF et cela est plus important que jamais dès l'instant où l'on connaît l'état actuel des finances des collectivités publiques, tout particulièrement de la Confédération.

À l'heure où la page se tourne, il convient d'abord de remercier tous ceux qui, d'une manière ou d'une autre, ont participé à cette grande aventure.

Puis, en tentant de discerner l'avenir, de dire aux scientifiques de demain notre confiance. En décidant de consacrer le dernier million de la fortune du NEFF à encourager de jeunes chercheurs, celui-ci veut laisser une trace de son existence qui tout à la fois soit profondément utile, complète intelligemment d'autres subsides et permette une relève de haute qualité.

C'est à la jeunesse que nous pensons en lui consacrant le solde de notre capital. Ce capital est financier, moral et humain. Il est un pont entre ceux qui ont eu l'idée remarquable de créer le NEFF en 1977 et ceux qui, 20 ans après, remettent le flambeau à d'autres forces.

Le président du Conseil de fondation

François Jeanneret
Ancien conseiller d'Etat et conseiller national

2 Allgemeiner Rechenschaftsbericht

*Rückschau und Erkenntnisse
Personelles*

2 Bilan général

Rétrospective et enseignements
Remerciements

Rückschau und Erkenntnisse

Der Nationale Energie-Forschungs-Fonds (NEFF) hat in seiner 20jährigen Tätigkeit Forschungsbeiträge von rund 240 Mio. gesprochen. Dies entspricht jährlichen Beiträgen von knapp Fr. 13 Mio. In derselben Zeit wurden 702 Beitragsgesuche mit teilweise bis zu vier Fortsetzungsgesuchen eingereicht. Von sämtlichen dem NEFF eingereichten Gesuchen mussten um ca. 40 % abgelehnt werden. Die Ablehnungsgründe reichten von bereits durchgeführten und veröffentlichten Forschungsarbeiten auf diesem Gebiet über Nichterreichen der vom NEFF verlangten Qualitätsanforderungen an ein Forschungsprojekt bis hin zu Arbeiten, welche die physikalischen Gesetze nicht berücksichtigten und deshalb undurchführbar waren.

Unterstützte Forschungsgebiete

Von den insgesamt 869 Grund- und Fortsetzungsgesuchen konnte der NEFF 518 Forschungsprojekte finanziell unterstützen. Die Forschungsprojekte umfassten Systemstudien, mögliche Energiesparmassnahmen, Verbesserungen von Sicherheitsmassnahmen und Reduktion der Umweltbelastung, elektrische Energietechnik, Wasserstofftechnologie und Speicherung sowie Fernwärme und Energiewandlung bis hin zur thermonuklearen Fusion und der fortgeschrittenen Fission. Mit einem Beitrag von über 30 % seiner finanziellen Mittel unterstützte der NEFF auch Projekte, die sich mit der Nutzung der Erdwärme, der Biomasse sowie der Sonnenenergie und des Windes auseinandersetzten.

Stiftungszweck und Ziel der Forschung

Der NEFF hat demzufolge Projekte auf sämtlichen Gebieten der Energieforschung finanziell unterstützt. Die einzige Voraussetzung war neben dem Qualitätserfordernis die Erfüllung der Voraussetzungen des Stiftungszweckes, der die finanzielle Förderung der Forschung und Entwicklung auf dem Gebiet der Energiebeschaffung, -verteilung und -anwendung vorsah, mit dem Ziel, eine ausreichende, sichere und kostengünstige Energieversorgung der Schweizerischen Eidgenossenschaft unter angemessener Rücksichtnahme auf die Umwelt und auf die Erschöpflichkeit der Vorräte mittel- und langfristig zu gewährleisten.

Mittel an den Bund für IEA - Beteiligungen

Zusätzlich war es dem NEFF auch möglich, die Erforschung und Nutzbarmachung neuer Energieträger und -formen sowie den Bau von Demonstrationsanlagen zu unterstützen sowie der Eidgenossenschaft finanzielle Mittel zur Verfügung zu stellen, welche jene zur Erfüllung ihrer internationalen Verpflichtungen im Energiebereich benötigte. Gerade diese letzte Zielsetzung war zu Beginn der Existenz des NEFF für den Bund sehr wichtig. So hat die Schweizerische Eidgenossenschaft insbesondere bis ins Jahr 1985 für ihre Verpflichtungen der Internationalen Energie-Agentur [IEA] gegenüber 43 Mio. Fr. oder jährlich zwischen 6.5 Mio. Fr. und 7.0 Mio. Fr. erhalten.

Anschliessend nahmen diese direkten Zahlungen an die Bundes-

Rétrospective et enseignements

Au cours de ses 20 ans d'existence, le Fonds national pour la Recherche énergétique (NEFF) a attribué environ 240 millions de francs de crédits de recherche, soit près de 13 millions de francs en moyenne annuelle. Le nombre total de requêtes s'est élevé à 702 dont certaines ont engendré elles-mêmes jusqu'à 4 projets de recherche subséquents. Environ 40% des requêtes ont été rejetées, soit parce qu'il existait déjà des travaux de recherche sur le sujet, soit que les critères de qualité exigés par le NEFF n'étaient pas réunis, soit encore qu'il apparaissait patent que les lois de la physique empêcheraient d'atteindre un résultat.

Sur les 869 projets présentés, y compris ceux qui découlaient d'un projet initial, le NEFF en a soutenu 518. Les sujets à traiter étaient d'une très grande diversité: ils allaient de l'étude de systèmes à la mesure d'économies d'énergie ou à l'amélioration de mesures de sécurité, à la réduction des impacts sur l'environnement et aux techniques de l'énergie électrique en passant par la technologie et le stockage d'hydrogène, la chaleur à distance, les conversions, la combustion sans oublier la fusion thermonucléaire et la fission atomique. Plus de 30 % des ressources du NEFF ont été consacrées à des projets traitant des énergies dites douces comme la géothermie, la biomasse, l'énergie solaire et l'énergie éolienne.

Le NEFF a donc accordé son soutien financier dans tous les domaines de la recherche énergétique. Outre la qualité, la seule condition préalable émise était la conformité au but de la fondation, soit l'encouragement de la recherche et au développement dans des domaines tels que la distribution et l'utilisation rationnelle de l'énergie, afin d'assurer à la Confédération suisse un approvisionnement énergétique suffisant, sûr et économique sans esquiver les problèmes de l'environnement et de l'épuisement des ressources à moyen comme à long terme.

Il incombait aussi au NEFF de soutenir la recherche pour la mise en valeur de nouveaux vecteurs énergétiques, de nouvelles formes d'énergie et pour la construction d'installations de démonstration. En outre la Confédération elle-même a bénéficié du soutien financier du NEFF pour ses obligations internationales dans le domaine de l'énergie. Ce soutien a joué un grand rôle pour la Confédération, surtout au début de l'activité du NEFF puisque, jusqu'en 1985, elle a reçu à ce titre 43 millions de francs, soit entre 6.5 et 7.0 millions de francs par année pour s'acquitter de ses obligations envers l'Agence internationale de l'énergie (AIE). Par la suite, ce financement direct de l'administration fédérale a progressivement diminué.

Au total, la Confédération a reçu environ 47 millions de francs. Cette contribution incluait des crédits de recherche et des crédits globaux

Domaines de recherche soutenus

Buts de la fondation et de la recherche

Moyens accordés à la Confédération pour les programmes de l'AIE

verwaltung kontinuierlich ab. Insgesamt erhielt der Bund auf diese Weise ca. Fr. 47 Mio. In diesem Forschungsbeitrag waren sowohl projektbezogene Beiträge, als auch Pauschalkredite enthalten, die sich nicht direkt auf laufende Projekte bezogen, sondern dem Bund die nötige Handlungsfreiheit geben sollten, um kurzfristig Verträge über die Beteiligung der Schweiz an IEA-Projekten sicherzustellen.

Damit die Unterstützung der verschiedensten Forschungsanstalten und Forschungsunternehmungen der Schweiz gebührend sichergestellt war, legte der NEFF Wert auf einen breit abgestützten Stiftungsrat. So waren neben den 4 Stifterorganisationen, nämlich der Erdöl-Vereinigung (EV), dem Verband Schweizerischer Elektrizitätswerke (VSE), der KOLKO Genossenschaft Schweizerischer Kohlen-Importfirmen (KOLKO) sowie dem Verband der Schweizerischen Gasindustrie (VSG), die Schweizerischer Energiekonsumenten-Verband von Industrie und Wirtschaft (EKV), der VORORT Schweiz, Handels- und Industrie-Verein, die Hochschulkonferenz, Vertreter des Bundes und dessen Forschungsinstitutionen sowie Vertreter aus Forschung und Industrie im Stiftungsrat vertreten. Mit diesem in dieser Form einmaligen Gremium war gewährleistet, dass sämtliche an der angewandten Energieforschung interessierten Kreise in die Entscheidungsfindungen des NEFF einbezogen waren, was sich auf die Tätigkeit des NEFF sehr positiv auswirkte.

Da sich die kantonalen Energiedirektoren gegen Ende der achtziger Jahre immer mehr mit Energiefragen und insbesondere mit Energieforschung auseinandersetzen hatten, indem auch sie um Forschungsbeiträge angegangen wurden, beschloss der NEFF, einen Vertreter der Kantonalen Energiefachstellen in seinen Stiftungsrat als Gast aufzunehmen. Der Delegierte der Kantone nahm an den Stiftungsratssitzungen teil und war demzufolge über die wichtigsten Entscheide des NEFF informiert. Damit wurde eine Koordination zwischen den Forschungsanstrengungen der Kantone und des NEFF sichergestellt.

Um die laufenden Geschäfte zu erledigen, hat der Stiftungsrat einen Ausschuss, bestehend aus 10 Mitgliedern, gebildet. Ihm gehörten neben dem Präsidenten und dem Vizepräsidenten je ein Vertreter der Stifterorganisationen, zunächst einer, dann zwei Vertreter der forschenden Industrieunternehmen sowie ein Repräsentant der Hochschulen und der Eidgenossenschaft an. Die Aufgaben und Kompetenzen dieses Ausschusses wurden durch ein Reglement festgelegt. So kam man überein, dass der Ausschuss Forschungsprojekte bis und mit Fr. 500'000.— sowie die Zwischenberichte der einzelnen Gesuchsteller definitiv behandeln soll, während dem Stiftungsrat die Grossprojekte, die Abnahme der Schlussberichte, die Ablehnung von For-

***Vier Stifter-
organisationen ...***

***... und weitere
Interessierte***

Interesse der Kantone

***Arbeitsweise des
NEFF***

Rolle des Ausschuss

qui n'avaient pas de rapports avec des projets en cours mais qui étaient destinés à fournir à la Confédération les moyens de conclure rapidement des contrats où la Suisse était partie prenante à des projets de l'AIE.

Afin d'assurer un soutien aux établissements et institutions de recherche suisses les plus divers et aux milieux de l'industrie, le NEFF a constitué son conseil de fondation de façon diversifiée. Outre les 4 organisations fondatrices, l'Union pétrolière (UP), l'Union des Centrales suisses d'Electricité (UCS), la Coopérative suisse des Importateurs de Charbon, devenue plus tard l'Association pour l'Economie charbonnière suisse (KOLKO) et l'Association suisse de l'Industrie gazière (ASIG), les organisations suivantes étaient représentées au conseil de fondation: l'Union suisse des Consommateurs d'Energie de l'Industrie et des autres Branches économiques (UCE), l'Union suisse du Commerce et de l'Industrie (VORORT), la Conférence universitaire suisse (CUS), les délégués de la Confédération et de ses instituts de recherche et des représentants des milieux de la recherche et de l'industrie. Unique en son genre, ce conseil de fondation réunissait tous les milieux concernés par la recherche énergétique appliquée pour prendre part au processus de décision du NEFF. La composition de ce conseil a eu un effet très positif sur les activités qu'il a déployées.

Vers la fin des années 80, toujours plus concernées par les questions énergétiques, par la recherche et sollicitées elles aussi pour l'octroi de crédits de recherche, les directions cantonales de l'énergie ont été invitées par le NEFF à déléguer à son conseil de fondation un représentant de la Conférence des Services cantonaux de l'Energie. En participant aux séances du conseil de fondation, le délégué des cantons a pu se tenir au courant des décisions les plus importantes du NEFF et les coordonner avec les efforts de recherche des cantons.

Pour la gestion des affaires courantes, le conseil de fondation avait constitué un comité formé de 10 membres. Outre le président et le vice-président, ce comité comprenait un représentant de chacune des organisations fondatrices et un, puis deux représentants des centres de recherche des milieux industriels, un représentant des Ecoles polytechniques fédérales et un de la Confédération. Un règlement définissait les tâches et les compétences de ce comité. La gestion, c'est à dire l'évaluation, le suivi, les rapports intermédiaires des requérants des projets dont la valeur n'excédait pas 500'000 francs, étaient de la compétence du comité, tandis que le conseil de fondation statuait sur les projets de plus grande ampleur, sur l'acceptation des rapports finals et sur le refus des projets, quelle qu'en fût l'import-

Quatre organisations fondatrices ...

... et d'autres organisations intéressées

Intérêts des cantons

Gestion du NEFF

Rôle du comité

Stiftungsrat

schungsprojekten jeder Grösse sowie die Klärung grundsätzlicher Fragen im Zusammenhang mit dem NEFF als Stiftung zum Entscheid vorbehalten blieben. Der Ausschuss war ermächtigt, Experten zur Evaluation einzelner Projekte beizuziehen und auch zu entschädigen. Von dieser Kompetenz machte der Ausschuss insbesondere bei grossen und komplexen Projekten häufig Gebrauch. Nur so war eine fundierte Meinungsbildung und auch eine Koordination verschiedener laufender Forschungsprojekte möglich.

Reglement

Zur Erleichterung sowohl der Gesuchsteller als auch des Ausschusses wurde vom Stiftungsrat ein Reglement für Gesuchsteller und Beitragsempfänger erlassen. In diesem Reglement werden die Abläufe der Entscheidungsfindung durch den NEFF dargestellt sowie die Anforderungen an die Gesuche selbst festgelegt. Insbesondere wurden die Anforderungen an den Forschungsplan formuliert, der eine der wesentlichsten Voraussetzungen für ein erfolgreiches Gesuch war. So musste beispielsweise der eigentliche Forschungsplan sowohl fachlich als auch zeitlich gegliedert sein und Angaben über die wichtigsten Arbeitsschritte mit Zwischenzielen enthalten. Im weiteren hielt das Reglement die Grundsätze fest, nach welchen die Projekte beurteilt wurden.

Anforderungen an Gesuche

Als Beurteilungskriterien galten:

- Konformität des Projektes mit den Statuten und dem Forschungskonzept des NEFF;
- wissenschaftliche Qualität;
- Originalität, Neuigkeitswert;
- der Zielsetzung angepasste und glaubwürdige Lösungsmethoden;
- der Qualifikation und den Möglichkeiten des Gesuchstellers entsprechende Zielsetzungen und Lösungsmethoden;
- sinnvolle und eine Beurteilung der Zwischenziele ermöglichende Etappierung der Forschungsarbeiten / dem Arbeitsfortschritt angepasste Meilensteine;
- Übereinstimmung von geschätztem Aufwand mit der Zielsetzung und Methode;
- realistischer Terminplan;
- Umsetzbarkeit der Resultate in die Praxis.

Anwendbarkeit in der Praxis

Gerade dem letzten Beurteilungskriterium ordnete der NEFF grosse Beachtung zu. Er legte immer speziellen Wert darauf, dass die erreichten Forschungsergebnisse in die Praxis umgesetzt werden konnten. Eigentlichen Literaturstudien stand der Stiftungsrat immer skeptisch gegenüber. Neben einem klaren Forschungsplan wurde vom NEFF auch Gewicht auf das eigentliche Forschungskonzept gelegt.

tance. De plus le conseil de fondation était compétent pour clarifier toute question fondamentale touchant au rôle du NEFF en tant que fondation. De son côté, le comité pouvait faire appel à des experts rémunérés pour l'évaluation de certains projets. Cette procédure, fréquente pour les projets complexes et de grande envergure, lui permettait de se forger une opinion solide et assurait une bonne coordination avec les dossiers de recherche en cours.

Afin de simplifier la tâche des requérants, des bénéficiaires de subsides et du comité, le conseil de fondation avait élaboré un règlement à leur intention qui expliquait le déroulement du processus de décision du NEFF et fixait les exigences adressées aux requérants. Ce règlement précisait en particulier les principales règles auxquelles le plan de recherche devait se soumettre. C'était là une condition essentielle pour l'acceptation d'une requête. Le plan de recherche devait par exemple énumérer les étapes techniques et chronologiques, les principales démarches qu'elles contiendraient et les buts intermédiaires à atteindre. Le règlement précisait aussi les critères d'évaluation des projets.

Les critères d'évaluation des projets étaient les suivants:

- la conformité aux statuts et au concept de recherche du NEFF;
- la qualité scientifique;
- l'originalité, la nouveauté;
- les solutions crédibles et adaptées à l'objectif final;
- les objectifs et solutions en relation avec les qualifications et possibilités du requérant;
- la segmentation des projets de recherche en étapes cohérentes et permettant de juger des résultats intermédiaires obtenus / des buts intermédiaires adaptés aux progrès des travaux;
- l'adéquation de l'effort estimé aux buts visés et aux méthodes utilisées;
- la planification réaliste des délais;
- les possibilités d'appliquer les résultats à des cas concrets.

Le NEFF a toujours attaché une grande importance à ce dernier critère. Il était nécessaire de pouvoir tirer parti des résultats obtenus. Le conseil de fondation s'est en revanche toujours montré sceptique devant des travaux basés uniquement sur des critères de littérature scientifique. Outre un plan bien défini, le NEFF mettait l'accent sur le concept de recherche lui-même.

Les buts poursuivis par le NEFF pour l'encouragement à la recherche en conformité avec les statuts étaient les suivants:

- les techniques visant à une utilisation plus rationnelle et plus économe des sources d'énergie existantes et l'encouragement à la récupération d'énergie;

Conseil de fondation

Règlement

Critères d'évaluation

Applicabilité dans la pratique

Buts envisagés

Verfolgte Ziele

Gestützt auf den statutarischen Zweck verfolgte der NEFF durch seine Forschungsförderung die Ziele,

- die Anwendungstechnik der vorhandenen Energie im Sinn einer rationellen Energieverwendung (auch Energieeinsparung) zu verbessern und die Energierückgewinnung zu fördern;
- neue Energieformen zur Ergänzung bzw. zum Ersatz bisheriger Energiearten nutzbar zu machen;
- die Speicherung von Energie zu ermöglichen bzw. zu verbessern;
- den Energietransport zu verbessern;
- die Beseitigung von Rückständen aus Energieprozessen zu verbessern oder sinnvoll zu ermöglichen;
- die schädlichen Auswirkungen jeglicher Energienutzung auf die Umwelt zu senken;
- den Bau von Pilot- und Demonstrationsanlagen zu ermöglichen.

**Angewandte
Forschung und
vorausschauende
Entwicklung**

Schwerpunkt der Förderung bildete somit die angewandte Forschung und vorausschauende Entwicklung. Die Grundlagenforschung und die Produktentwicklung bildeten nur ausnahmsweise Gegenstand der Förderungstätigkeit. Diese werden vom Schweizerischen Nationalfonds unterstützt (Grundlagenforschung) oder von der Forschungsindustrie selbst finanziert (Produktentwicklung).

Mit Hilfe dieser Richtlinien hat der NEFF die einseitige Unterstützung der Forschung auf dem Gebiete der einzelnen Energieträger oder -formen vermieden; er hat sich aber immer das Recht vorbehalten, im Rahmen seiner statutarischen Zielsetzung für bestimmte Beitragsperioden Akzente zu setzen und Forschungslücken auszufüllen.

Gestützt auf diese Arbeitsunterlagen war es dem NEFF möglich, die meisten Forschungsgesuche innert 6 Monaten zu evaluieren und zur Beschlussreife zu bringen. Erleichtert wurde die Einhaltung der sechsmonatigen Behandlungsdauer der einzelnen Gesuche durch die Zuweisung der Projekte an ein bestimmtes Ausschuss- oder Stiftungsratsmitglied zur direkten Bearbeitung. Dieses Mitglied unseres Stiftungsrates übernahm sozusagen die Patenschaft über das Projekt. Der Pate war die direkte Ansprechperson der einzelnen Gesuchsteller, wenn bei der Durchführung der Forschungsarbeiten Schwierigkeiten fachlicher und zeitlicher Art auftraten. Der Pate hatte die Kompetenz, umgehend die zur Behebung der Schwierigkeiten nötigen Entscheide zu fällen. Der Ausschuss wurde über diese Entscheide in der darauffolgenden Sitzung orientiert.

Rolle des Paten

Dieses unbürokratische und unkomplizierte Vorgehen sicherte dem NEFF ein hohes Mass an Flexibilität und Effizienz zu. Umgekehrt bedurfte sie jedoch eines grossen Verantwortungsbewusstseins der einzelnen Paten, die diese Patenschaften nebenamtlich führten. Der Stiftungsrat und speziell der Ausschuss waren immer bemüht, die

- la mise en oeuvre de nouvelles formes d'énergie pour compléter ou se substituer aux énergies existantes;
- la réalisation ou l'amélioration des méthodes de stockage de l'énergie;
- l'amélioration du transport de l'énergie;
- l'amélioration des méthodes d'élimination des résidus de processus énergétiques;
- la diminution des atteintes à l'environnement dues à l'utilisation de l'énergie;
- la construction d'installations pilotes et de démonstration.

L'essentiel de l'encouragement allait donc à la recherche appliquée et aux développements en tenant compte des tendances futures. La recherche fondamentale et le développement de produits n'ont été soutenus qu'exceptionnellement par le NEFF. Il appartient en effet au Fonds national suisse pour la Recherche scientifique (recherche fondamentale) ou aux milieux industriels (développement de produits) de soutenir de tels projets.

Ces lignes directrices ont permis au NEFF d'éviter de financer unilatéralement des projets de recherche dans les domaines limités aux vecteurs d'énergie et aux formes de celle-ci. Conformément à la liberté que lui conférait ses statuts, il s'est toujours réservé le droit de mettre l'accent sur un domaine particulier ou de combler des lacunes constatées à certaines périodes.

Ces méthodes de travail ont permis au NEFF d'évaluer et de statuer sur une requête en 6 mois. L'attribution directe de chaque projet à un membre du comité ou du conseil de fondation pour procéder à son évaluation a facilité le respect de ce délai. Ce membre de notre conseil de fondation jouait pour ainsi dire le rôle de parrain du projet. Ce dernier était ainsi l'interlocuteur direct du requérant en cas de problèmes techniques ou de non respect des délais. Le parrain était habilité à prendre des décisions rapides pour surmonter les difficultés qui se présentaient. Au cours de la séance suivante, le parrain renseignait le comité des décisions prises.

Grâce à ce processus sans bureaucratie ni complication, le NEFF agissait avec souplesse et efficacité. Il exigeait de chacun des parrains un sens très aigu des responsabilités alors même que leur tâche était bénévole. Le conseil de fondation et le comité tout particulièrement se sont toujours efforcés d'agir au mieux des intérêts des requérants sans pour autant générer des frais élevés. Le NEFF peut aujourd'hui se targuer d'avoir agi avec des frais de fonctionnement extrêmement modestes par rapport aux avoirs qu'il gérait. Les seuls revenus des capitaux ont toujours suffi très largement à couvrir ses dépenses. Les contributions des membres fondateurs ont donc servi

***Recherche appliquée
et développement
d'avenir***

Rôle des parrains

***Frais d'administration
modestes***

***Geringe
Verwaltungskosten***

Interessen der einzelnen Gesuchsteller bestmöglich zu wahren, und dies möglichst ohne grossen Kosten. So kann der NEFF heute mit Stolz vermerken, dass seine Auslagen im Vergleich zum verwalteten Vermögen äusserst bescheiden und immer bei weitem durch die Zinserträge aus dem Kapital abgedeckt waren. Die Stifterbeiträge konnten somit ohne jede Belastung integral zur Finanzierung von Forschungsprojekten verwendet werden. Die ehrenamtliche Übernahme dieser im Interesse der gesamten Eidgenossenschaft liegenden Aufgaben durch den Stiftungsrat haben dies ermöglicht.

Externe Gutachter

Die kostengünstige Administration des NEFF war aber auch auf die engen und guten Beziehungen zwischen dem Bund, den technischen Hochschulen, der Universitäten sowie weiterer Experten und dem NEFF zurückzuführen. So haben die Experten des Bundesamtes für Energiewirtschaft und die Professoren von Hochschulen die Forschungsprojekte meistens ohne Kostenfolge für den NEFF begutachtet. Diese Begutachtungen waren sicherlich nicht immer einfach, war der NEFF doch oftmals gezwungen, als Experten die Hauptkonkurrenten der Gesuchsteller beizuziehen und um ihre Meinung zu fragen. Diese Aufgabe haben alle Experten nach bestem Wissen und Gewissen und gestützt auf objektive Kriterien erfüllt. Da dies gerade in einer Zeit grosser Konkurrenz nicht selbstverständlich ist, möchte es der Stiftungsrat nicht versäumen, hier sämtlichen Experten seine Hochachtung zum Ausdruck zu bringen.

Forschungskommissionen der ETH

Ebenfalls eine enge Zusammenarbeit hat sich mit den Forschungskommissionen der Technischen Hochschulen entwickelt. So wurden sämtliche Forschungsgesuche der beiden Hochschulen zunächst von den jeweiligen Forschungskommissionen begutachtet. Anschliessend wurde dem NEFF ein Antrag gestellt, wie die einzelnen Gesuche aus der Sicht der Technischen Hochschulen zu behandeln sind. Mit dem Einbezug der Forschungskommissionen wurde die Koordination der einzelnen Forschungsarbeiten an den Hochschulen selbst sichergestellt und dem Stiftungsrat zudem die Gewähr gegeben, dass auf diesem Forschungsgebiet keine Doppelspurigkeiten durch die beabsichtigten Forschungsarbeiten bestanden. Auch diese wertvolle Zusammenarbeit sei hier bestens verdankt.

Das Stiftungsstatut, das Reglement für die Gesuchsteller, die Anforderungen an die Forschungspläne sowie das Forschungskonzept sind in vollem Wortlaut im Kapitel 6 abgedruckt.

intégralement au financement des projets de recherche. L'exécution bénévole de ces tâches par le conseil de fondation dans l'intérêt de la Confédération toute entière en est la clé.

La modestie des frais de fonctionnement du NEFF est aussi due aux rapports étroits et fructueux que le NEFF a entretenus avec la Confédération, les écoles polytechniques, les universités et les experts, ceux de l'Office fédéral de l'Energie et les professeurs des écoles polytechniques, par exemple, qui, dans la plupart des cas, ont donné leur avis sur les requêtes sans qu'il en coûte rien au NEFF. Les expertises de ce genre n'ont certes pas toujours été faciles, aussi le NEFF a-t-il été souvent contraint d'avoir recours à l'opinion des principaux concurrents des requérants. Tous les experts ont toutefois accompli leur tâche au plus près de leur conscience en ne se basant que sur des critères objectifs. Cela n'allait pas de soi en ces temps de concurrence effrénée. A tous ces experts, le conseil de fondation tient à exprimer sa profonde et sincère considération.

Une étroite collaboration s'était également instaurée entre le NEFF et les commissions de recherche des écoles polytechniques fédérales. Toutes les demandes émanant de ces deux écoles étaient préalablement examinées par leurs propres commissions de recherche qui adressaient au NEFF une proposition et un préavis quant à la manière de gérer ces projets, du point de vue d'une école polytechnique. La collaboration de ces commissions de recherche a permis de coordonner les travaux de recherche au sein même des écoles polytechniques et de donner au conseil de fondation l'assurance que les projets envisagés ne créeraient aucune redondance dans les domaines considérés. Cette fructueuse collaboration mérite elle aussi les plus sincères remerciements du NEFF.

Les statuts de la fondation, le règlement à l'usage des requérants, les exigences des plans de recherche et le concept de recherche sont intégralement reproduits dans chapitre 6.

Experts externes

Commissions de recherche des EPF

Personelles

Stiftungsräte

Vom ursprünglichen Stiftungsrat, wie er anlässlich der Gründung des NEFF vom 23. Juni 1977 seine Arbeit aufnahm, sind heute noch Herr Werner Strebel und Herr Prof. Dr. W.H. Heini Gränicher im heutigen Stiftungsrat vertreten. Die meisten übrigen ehemaligen Stiftungsräte wurden während der Lebensdauer des NEFF nur einmal infolge Übernahme anderweitiger Aufgaben oder infolge Pensionierung ersetzt. Grundsätzlich konnte somit der NEFF auf der Kontinuität seiner Gremien aufbauen, was sich auch positiv auf die Zusammenarbeit mit den Gesuchstellern auswirkte. Sie hatten es während der Dauer ihrer Forschungsprojekte lediglich mit einem Paten zu tun, der genau über die Forschungsarbeiten im Bilde war und somit innert kürzester Frist kompetent bei der Lösung von Problemen behilflich sein sowie die nötigen Entscheide kurzfristig fällen konnte.

Entscheidfindung

Diese Kontinuität im Ausschuss und im Stiftungsrat führte auch dazu, dass bei den Entscheidfindungen immer Rücksicht auf die Interessen aller Beteiligten genommen wurde. Die Beschlüsse wurden mit ganz wenigen Ausnahmen einstimmig gefasst. Dabei spielte es keine Rolle, von wem oder von welcher Energiebranche das zu beurteilende Projekt kam; für den Beschluss entscheidend war ausschliesslich das Projekt und dessen Qualität und Innovation selbst. Diese Entscheidfindung in freundschaftlichem Rahmen war mit ein Grund der Effizienz der Gremien des NEFF sowie der unbürokratischen Behandlung der einzelnen Forschungsprojekte. Ohne das gegenseitige Vertrauen und Verständnis der Stiftungsratsmitglieder untereinander wäre der NEFF in seiner einmaligen Form nicht möglich gewesen.

Wirkungsvolles Sekretariat

Zu dieser Beständigkeit hat auch das Sekretariat beigetragen, das während der ganzen 20 Jahre in den Händen von Herrn Dr. Jean-Louis von Planta lag. Dem Sekretariat stand stets das Wohl der einzelnen Gesuchsteller an erster Stelle. Sie verdienten die volle Aufmerksamkeit und wenn immer möglich prioritäre Behandlung. Unnötiger administrativer und finanzieller Aufwand wurde vermieden. Dem Sekretariat sei an dieser Stelle für diese unbürokratische, aber doch gewissenhafte Abwicklung der Projekte und der Verwaltung der finanziellen Mittel bestens gedankt.

Die vollständige Liste sämtlicher Stiftungsratsmitglieder ist Kapitel 6 zu entnehmen und die Liste der unterstützten Projekte Kapitel 7.

Remerciements

Seuls M. Werner Strebel et le professeur W.H. Heini Gränicher ont fait partie du conseil de fondation du NEFF depuis sa constitution, le 23 juin 1977, jusqu'à sa dissolution. La plupart des anciens membres du conseil n'ont été remplacés qu'une seule fois au cours de l'existence du NEFF, soit que des obligations nouvelles les avaient appelés à d'autres fonctions, soit qu'ils avaient atteint l'âge de la retraite. Le NEFF pouvait donc tabler sur la continuité de ses instances au grand bénéfice des requérants. Tout au long du déroulement de leur projet, les requérants n'avaient en effet qu'un seul parrain, parfaitement au courant de leurs travaux et capable de les aider, d'intervenir et de décider rapidement en cas de problème.

La continuité qui présidait aux travaux du conseil de fondation et du comité a aussi permis de tenir toujours compte des intérêts de chacun lors des décisions à prendre. A quelques rares exceptions près, les décisions ont été unanimes. L'origine du projet ou le secteur énergétique considéré ne jouait aucun rôle; les critères de décision ne s'appuyaient que sur le projet lui-même, sa qualité et son degré d'innovation. Ce consensus amical constituait une des raisons de l'efficacité du comité du NEFF et explique la façon informelle dont chaque requête était traitée. La structure unique du NEFF n'aurait pas été possible sans la confiance et la compréhension mutuelles des membres du conseil de fondation.

La stabilité du NEFF fut aussi l'oeuvre du secrétariat dont Me. Jean-Louis von Planta a assumé la responsabilité au cours des 20 années de son existence. Pour le secrétariat, l'intérêt des requérants primait toute autre considération. Il leur vouait toute son attention et, dans la mesure du possible, les faisait bénéficier d'un traitement prioritaire. Les charges administratives et financières étaient réduites au strict minimum. Que le secrétariat veuille trouver ici l'expression des plus sincères remerciements du conseil de fondation pour la manière avec laquelle il a su gérer les projets et les ressources financières du NEFF sans bureaucratie, mais avec une grande conscience.

La liste complète des membres du conseil de fondation se trouve au chapitre 6 et la liste des projets soutenus dans le chapitre 7.

***Membres du
conseil de fondation***

***Le procédé de
décision***

Secrétariat efficace

3. Wirtschaftlicher, finanzieller Bericht

- 3.1. Entwicklung der Stifterbeiträge***
- 3.2. Übersicht über die Arten der Förderung und die Verwendung der Finanzmittel***
- 3.3. NEFF-Förderung der verschiedenen Forschungsgebiete***
- 3.4. Direkt unterstützte Forschungsinstitutionen***
- 3.5. Schlussabrechnung per 31. Dezember 1997 und Ausblick***

3 Rapport économique et financier

- 3.1. *Evolution des contributions des fondateurs***
- 3.2. *Aperçu des différents types d'encouragement
et de l'emploi des moyens financiers***
- 3.3 *Encouragement par le NEFF des différents
domaines de la recherche***
- 3.4. *Institutions de recherche
subventionnées directement***
- 3.5. *Décompte final au 31 décembre 1997 et perspective d'avenir***

3.1. Entwicklung der Stifterbeiträge

Stiftungskapital

Die finanzielle Basis des NEFF war einerseits das Dotationskapital in der Höhe von je Fr. 25'000.— der vier Stifterorganisationen, somit insgesamt Fr. 100'000.—, sowie die vertraglichen Beiträge der Stifter, die sich entsprechend dem kalorischen Wert der zu Energiezwecken importierten Erdölprodukte und Kohle bzw. der inländischen Strom- und Gasabgabe zu Energiezwecken pro Kalenderjahr berechneten. Die Basis wurde auf 0.01 Rappen/1'000 kcal = 0,01 Rappen pro Thermie festgelegt. Dies ergab für die Erdölprodukte unter Berücksichtigung der durchschnittlichen unteren Heizwerte einen Beitrag von 104 Rappen pro Tonne Treibstoffe und 100 Rappen pro Tonne Brennstoffe. Bei der Elektrizität ergab sich bei einem Wärmeäquivalent von 860 kcal/kWh auf der Basis des pro Kalenderjahres abgegebenen Stromes inklusive der Abgabe für Elektrokessel, aber exklusive Speicherpumpen und Verluste, ein Beitrag von 0.0086 Rappen/kWh. Bei der Gaswirtschaft errechnete sich der Beitrag ebenfalls auf der Basis eines unteren Heizwertes von 8'400 kcal/Nm³ des abgesetzten Erdgases nach Abzug der Leitungsverluste auf 0.082 Rappen/Nm³ oder 0.009 Rappen/Thermie. Bei den festen Brennstoffen betrug der Beitrag 70 Rappen pro Tonne Steinkohle resp. 46 Rappen pro Tonne Braunkohle.

Ansatz für Stifterbeiträge

Beitragsvertrag

Die Beitragsverträge wurden jeweils auf 3 Jahre abgeschlossen und mussten spätestens 9 Monate vor Ablauf der festen Vertragszeit aufgekündigt werden. Viermal wurden die Beitragsverträge verlängert, bevor die Stifterorganisationen ihre Beitragsleistungen per Ende 1991 einstellten.

Einnahmen

Aufgrund dieser Beitragsverträge erhielt der NEFF jährlich zwischen 11.3 Mio. Fr. und 16.4 Mio. Fr. Insgesamt erhielt der NEFF ab 1. Juli 1977 bis Ende 1991 Stifterbeiträge in Höhe von CHF 214'395'266.11. Letzte Zahlungen aufgrund der eingegangenen Verpflichtungen der Stifterorganisationen sind in den Jahren 1992 und 1993 eingegangen. Auf die einzelnen Jahre verteilen sich die Zahlungen der Stifter wie Tabelle 1 zeigt.

3.1. Evolution des contributions des fondateurs

La base financière du NEFF se composait en partie de la dotation en capital d'un montant de 25'000.— CHF de chacune des quatre organisations fondatrices, donc en tout 100'000.— CHF, et d'autre part des contributions contractuelles des fondateurs basées sur la valeur calorifique des produits pétroliers et charbonniers importés à des fins énergétiques ainsi que sur la production nationale de courant et de gaz à des fins énergétiques par année civile. La contribution de base a été fixée à 0,01 centime/1'000 kcal = 0,01 centime par thermie. En se basant sur les moyennes des valeurs calorifiques inférieures, cela équivaut pour les produits pétroliers à une contribution de 104 centimes par tonne de carburant et de 100 centimes par tonne de combustible. Dans le cas de l'électricité, on obtient sur la base d'un équivalent de la chaleur de 860 kcal/kWh basé sur le courant fourni par année civile, y-inclus la production pour les chaudières électriques mais excluant les pompes-turbines et les pertes, une contribution de 0,0086 centimes/kWh. La valeur pour l'économie gazière a été également déterminée à partir d'une valeur calorifique inférieure de 8'400 kcal/Nm³ du gaz naturel fourni, déduction faite des pertes dues aux fuites, ce qui conduit à une valeur de 0,082 centimes/Nm³ ou 0,009 centimes/thermie. La contribution des combustibles solides était de 70 centimes par tonne de houille ou de 46 centimes par tonne de lignite.

Les contrats portant sur les contributions ont été conclus chaque fois pour une durée de 3 ans et devaient être résiliés au plus tard 9 mois avant l'expiration de la durée fixe du contrat. Ces contrats portant sur les contributions ont été prolongés quatre fois avant que les organisations fondatrices ne suspendent leurs versements fin 1991.

Le NEFF a obtenu annuellement entre 11,3 millions de francs et 16,4 millions de francs provenant de ces versements contractuels. Le NEFF a reçu en tout du premier juillet 1977 à fin 1991 des contributions des fondateurs s'élevant à CHF 214 395 266,11. Les derniers paiements sur la base des obligations contractées par les organisations fondatrices ont été effectués en 1992 et 1993. Les paiements des membres fondateurs au cours des années s'échelonnent selon le tableau N° 1.

Capital de dotation

Contribution de fondation

Contrats de contribution

Recettes

Tabelle 1

Tableau N°1

	Stifterbeiträge <i>Contributions des donateurs</i>	Ausbezahlte Forschungsbeiträge <i>Montants payés pour la recherche</i>	Zahlungsverpflichtungen Stand per Jahresende <i>Engagements, fin. à la fin de l'année</i>
1977-1978	14 347 630.00	4 545 761.10	11 922 259.90
1979	14 689 479.55	8 448 173.55	11 683 179.40
1980	15 062 429.95	9 452 797.10	22 949 369.40
1981	13 376 621.40	11 887 531.60	19 731 243.20
1982	14 622 452.05	15 608 604.45	29 123 661.35
1983	14 992 779.95	17 622 715.10	18 924 397.65
1984	13 867 586.30	13 660 829.10	18 324 764.30
1985	15 661 935.15	11 841 960.80	18 537 869.50
1986	11 301 114.35	7 465 997.50	15 392 974.00
1987	13 414 633.20	5 383 768.55	17 136 897.00
1988	15 488 309.45	7 602 126.75	23 063 770.25
1989	15 489 019.25	11 491 637.40	30 536 727.95
1990	15 029 835.16	15 516 036.55	26 023 263.10
1991	16 425 462.05	12 882 295.70	38 217 255.10
1992	7 730 355.40	16 639 097.00	43 153 465.35
1993	2 965 624.00	22 132 979.80	41 203 236.10
1994	—	18 064 462.70	29 322 194.00
1995	—	14 991 169.25	19 631 549.90
1996	—	9 560 105.85	7 836 362.30
1997	—	5 910 899.70	557 325.00
Total	214 395 266.11	240 699 949.50	

Finanzverwaltung

Diese Stifterbeiträge wurden sorgfältig verwaltet und angelegt, weshalb zu den eigentlichen Beiträgen noch Zinserträge bis Ende 1996 in Höhe von insgesamt ca. 35.5 Mio. Fr. hinzukamen. Dieser hohe Betrag ist deshalb zustande gekommen, weil der NEFF die für bewilligte Projekte zugesprochenen Kredite zwar sofort reservierte, sie aber nur ratenweise, gemäss Buchstabe E des «Reglements für Gesuchsteller und Beitragsempfänger» ausbezahlte. Insgesamt verfügte der NEFF somit über finanzielle Mittel in Höhe von beinahe 250 Mio. Fr., von denen die Administration in den vergangenen 20 Jahre ca. 5.7 Mio. Fr. beanspruchte. Den Forschern und ihren Projekten kamen dementsprechend ca. 244 Mio. Fr. zugute.

Tabelle 1
In Tabelle 1 wird die Verwendung der finanziellen Mittel des NEFF auf Jahresbasis dargestellt (alle Auszahlungen bis 31. Dez. 1997, ohne Administrationsaufwand)

Tableau N°1
L'utilisation des moyens financiers du NEFF est représentée dans le tableau N°1 selon des bases annuelles. (Tous les montants indiqués ont été versés jusqu'au 31 déc. 1997, ils ne contiennent pas les dépenses pour l'administration)

Les contributions des membres fondateurs ont été gérées et placées avec discernement, ce qui a permis d'encaisser des intérêts des contributions proprement dites jusqu'à fin 1996 pour un montant d'environ 35,5 millions de francs. Ce montant élevé est dû au fait que le NEFF, s'il a bien réservé immédiatement les crédits accordés aux projets, ne les a payés que par tranches selon la lettre E du «Règlement pour les demandeurs et receveurs de subsides».

Le NEFF a donc disposé de moyens financiers atteignant presque un montant de 250 millions de francs dont il faut déduire environ 5,7 millions de francs de frais administratifs au cours des 20 années écoulées. La somme disponible pour les chercheurs et leurs projets était donc d'environ 244 millions de francs. L'aperçu illustre l'utilisation annuelle des moyens financiers du NEFF:

Gestion des finances

3.2 Übersicht über die Arten der Förderung und die Verwendung der Finanzmittel

Direkte und reaktive Forschungsförderung

3.2.1 Das Hauptengagement des NEFF betraf die direkte und reaktive Forschungsförderung. Gesuchsteller hatten Ideen entwickelt für neuartige, interessante, aber noch ungelöste Fragestellungen, welche zu energierelevanten Ergebnissen, zu neuartigen Produkten oder zu verbesserten Prozessen (z. B. mit geringerem Ressourcenbedarf oder mit weniger Umweltbelastung) führen. Solche Ideen unterbreiteten sie dem NEFF nach den Richtlinien von Kap. 6 als Forschungsgesuch. Reaktiv reagiert der NEFF auf das Forschungsgesuch, beurteilte es und entschied schliesslich in eigener Kompetenz und Verantwortung über Bewilligung, teilweise Bewilligung oder Ablehnung. Anschliessend wurde vom NEFF das Gesuch begleitet und schlussendlich der Schlussbericht beurteilt und genehmigt. In diesem Sinne handelt es sich um eine direkte Forschungsförderung. Die grosse Mehrheit der vom NEFF bewilligten Projekte (siehe Liste im Kap. 7) waren von dieser Art. Vom Beginn der Bewilligungspraxis an (1978) bis zur letzten Bewilligung (1995) wurden direktgeförderte Projekte mit einem Gesamtbetrag von rund 190 Mio. Fr. unterstützt. Die definitive Summe steht noch nicht genau fest, weil eine kleine Anzahl von Projekten noch nicht abgeschlossen ist und nicht abgerechnet werden konnte.

Von den 702 Projektnummern (ohne Fortsetzungsgesuche), welche eingegangenen Gesuche vom Sekretariat zugeordnet worden sind, fielen 491 bewilligte Gesuche in den Rahmen der direkten NEFF-Unterstützung. Davon waren 115 Eingaben Fortsetzungsgesuche von zuvor bewilligten Basisgesuchen. Der durchschnittlich zugesprochene NEFF-Kredit für ein Gesuch belief sich auf 388'000.— Fr. Bezogen auf die 376 Basisgesuche berechnet sich ein mittlerer Förderbeitrag von 507'000.— Fr. pro Forschungsvorhaben.

Zur Beantwortung der Frage, wie wurden die Mittel eingesetzt, sind die Förderbeträge nach zwei Gesichtspunkten statistisch ausgewertet worden:

- welche Forschungsgebiete wurden mit welchen Anteilen der Finanzmittel ausgestattet ?
- und welche Bereiche der Forschungsinstitutionen erhielten wie hohe Anteile der Förderung ?

Die Ergebnisse dazu und einige Kommentare finden sich nachfolgend in den Abschnitte 3.3 und 3.4.

3.2 Aperçu des différents types d'encouragement et de l'emploi des moyens financiers

3.2.1 Le NEFF a mis l'accent tant sur l'encouragement direct (proactif) à la recherche que sur son encouragement réactif.

Les requérants élaborèrent des idées abordant des questions nouvelles, intéressantes et encore non résolues, devant conduire soit à des résultats importants en matière d'énergie, soit à la création de nouveaux produits ou à l'amélioration de procédés (p.ex. plus économes en ressources ou polluant moins l'environnement). Ces idées furent transmises au NEFF sous forme de demandes de subsides, selon les directives indiquées au chapitre 6. Le NEFF réagissait alors à la requête, l'évaluait et décidait, de sa propre compétence et sous sa propre responsabilité, si la demande était entièrement ou partiellement acceptée, ou si elle était refusée. Le projet était ensuite suivi par le NEFF et finalement le rapport final évalué et accepté. Il s'agissait, dans ce sens, d'un encouragement direct à la recherche. La majorité des projets acceptés par le NEFF était de ce type-là (voir liste au chapitre 7). Du début de ce processus d'acceptations en 1978 jusqu'à la dernière acceptation en 1995, un montant total d'environ 190 millions de francs a servi au financement direct des projets. La somme définitive n'est pas encore connue car un petit nombre de projets n'est pas encore terminé et leurs décomptes n'ont pas pu être établis.

L'encouragement direct et réactif

Sur les 702 numéros (sans les demandes de continuation) donnés par le secrétariat aux requêtes reçues, 491 ont été approuvées pour soutien direct. Ces dernières comprennent 115 projets de continuation de demandes préalablement accordées. Le crédit moyen accordé par requête se monte à 388'000.— francs. Sur la base des 376 requêtes de base (les crédits des demandes de continuation inclus dans le crédit de base), le financement par projet se monte en moyenne à 507'000.— francs.

Pour savoir comment les moyens ont été utilisés, on a évalué statistiquement les montants accordés de deux points de vue:

- quels domaines de recherche ont été subventionnés et quel est le montant de ces subventions ?
- quelles institutions ont été subventionnées et dans quelle proportion ont-elles été financées ?

On trouvera les résultats et commentaires au paragraphes 3.3 et 3.4.

**Indirekte
Forschungsförderung**

3.2.2 Der NEFF hat indessen auch einen erheblichen Anteil seiner Mittel in der indirekten Forschungsförderung eingesetzt. Dies ergab sich aus der Situation in der Anfangszeit des NEFF. Wie in Kap. 2 erwähnt, entwickelte sich in der zweiten Hälfte der Siebzigerjahre die Einsicht, dass eine Intensivierung der Energieforschung unerlässlich sei. Dies war auch eine der Zielsetzungen der GEK (Eidg. Kommission für die Gesamtenergiekonzeption). Die Internationale Energieagentur (IEA) hatte — über einen Krisenplan für den Fall von Erdölengpässen hinaus— seit ihrer Gründung vorgesehen, die wissenschaftliche und technische Zusammenarbeit im Bereiche der Energie zu verstärken und die erneuerbare Energien zu fördern. Die für die Schweiz sehr erwünschte Beteiligung an zahlreichen dieser Forschungsprogramme war wegen der damals fehlenden Finanzmittel des Bundes in Frage gestellt. Es war daher nur allzu willkommen, dass der NEFF von Anfang an in seinen Statuten eine Mitfinanzierung solcher IEA-Programme vorsah.

Diese Beteiligung des NEFF ist als indirekte Forschungsförderung zu bezeichnen. Denn die Vorbereitung der Beteiligung an solchen Projekten, das Einholen, und Beurteilen sowie letztlich Entscheiden über solche Schweizerbeiträge sowie die Verwaltung der gesprochenen Kredite war Aufgabe des Bundesamtes für Energiewirtschaft (BEW). Der NEFF stellte dafür dem Bund pauschale Kredite zur Verfügung, welche von 1978 bis und mit 1985 die Gesamtsumme von 43.4 Mio.Fr. erreichten und Beiträge an das BEW für IEA-Administration einschlossen. In den Jahresberichten des NEFF, vor allem in denjenigen der Jahre 1984 und 1985, wurde über die Leistungen zu Gunsten der IEA-Beteiligung Rechenschaft abgelegt. Dort sind Einzelheiten über die Verwendung der NEFF-Mittel zu finden.

**Aktive
Forschungsförderung**

3.2.3 Auch eine aktive Forschungsförderung ist im Reglement des NEFF vorgesehen. Eine von ihm erkannte Lücke in Lehre und Forschung auf dem Gebiete der Verbrennung in der Schweiz veranlasste den NEFF zu Vorstössen im ETH-Bereich (1980 und später). Jedoch erst gegen Ende der Achtzigerjahre und ohne direkten Einbezug des NEFF wurde diese Lücke geschlossen. Diese Initiative führte zu abgestimmten Tätigkeiten der ETHZ, des PSI(EIR) und der Industrie, vor allem der ABB, Baden.

Der gewichtige Fall aktiver Forschungsförderung durch den NEFF war die Schaffung einer «Koordinationsstelle für Forschungen auf dem Gebiete der Sonnenenergie und energiesparendes Bauen» im Jahre 1979. Dieses später KWH genannte Team wurde im Auftrage

3.2.2. Le NEFF a également investi une part non négligeable de ses moyens dans l'encouragement indirect de la recherche. Ceci s'explique par la situation qui régnait au début de l'existence du NEFF. Comme il a été indiqué au chapitre 2, on s'est rendu compte, dans la deuxième moitié des années soixante-dix, qu'il était indispensable de développer davantage la recherche énergétique. Il s'agissait là également de l'un des objectifs de la CGE (Commission fédérale pour une Conception globale de l'énergie). L'Agence internationale de l'énergie (AIE) avait prévu, depuis sa création, d'intensifier la coopération scientifique et technique dans le domaine de l'énergie ainsi que de promouvoir les énergies renouvelables, et ce en plus d'un plan de crise en cas de grave pénurie de pétrole. Pour la Suisse, une participation à plusieurs de ces programmes de recherche aurait été fort souhaitable, mais celle-ci fut compromise en raison du manque de moyens financiers de la Confédération. Suite à cet état de fait, il était donc bienvenu que dès le début, le NEFF inscrive dans ses statuts une participation au financement de ce genre de programmes de l'AIE.

Cette participation du NEFF peut être qualifiée d'aide indirecte à la recherche. En effet, l'Office fédéral de l'énergie (OFEN) avait la tâche de préparer la participation à de tels projets, de rassembler, d'évaluer et de décider des contributions suisses ainsi que d'administrer les crédits accordés. Pour ce faire, le NEFF a mis à la disposition de la Confédération des crédits forfaitaires qui, de 1978 à 1985, atteignirent la somme totale de 43.4 millions de francs, y compris les frais de l'OFEN pour frais d'administration des projets AIE. Dans les rapports annuels du NEFF, particulièrement dans ceux des années 1984 et 1985, le NEFF a rendu compte des prestations en faveur de la participation de l'AIE. Ces rapports annuels présentent des détails sur l'emploi des fonds du NEFF.

L'encouragement indirect

3.2.3. Le règlement du NEFF prévoit aussi la possibilité d'un encouragement actif à la recherche, le NEFF ayant reconnu, en Suisse, une lacune dans l'enseignement et la recherche sur la combustion, ce qui le conduisit à plusieurs postulats dans le domaine des EPF (1980 et plus tard). Cette lacune n'a été comblée que vers la fin des années '80 et ce, sans la participation directe du NEFF. Cette initiative conduisit à une coordination des travaux menés dans ce domaine par l'EPFZ, l'IPS/EIR et l'industrie, en particulier ABB.

Le cas le plus important d'encouragement actif à la recherche par le NEFF a été la création, en 1979, d'un centre de coordination des recherches en énergie solaire et en construction économe en énergie ("Koordinationsstelle für Forschungen auf dem Gebiet der Sonnenenergie und energiesparendes Bauen"). Cette équipe,

L'encouragement actif

des NEFF von der Eidg. Materialprüfungsanstalt (EMPA), Dübendorf aufgebaut und später durch eine sich teilweise selbsttragende «Energierengruppe» (erg) ergänzt. Neben eigenen Studien und externen Beratungsaufträgen hat die KWH auftragsgemäss auch den NEFF auf ihrem Arbeitsgebiet beraten, z. B. bei der Begutachtung von Forschungsgesuchen. Der NEFF hat in der Zeit von anfangs 1980 bis Ende 1995 der EMPA zur Erfüllung dieser Aufgaben insgesamt einen Betrag von etwas mehr als 4 Mio. Fr. zur Verfügung gestellt.

***Begleitende
Aktivitäten***

3.2.4 Als begleitende Aktivitäten hat der NEFF auf Gesuche hin wiederholt die Informationsverbreitung über Energie unterstützt.

Die dem BEW angegliederte «Eidg. Fachkommission für die Nutzung der Sonnenenergie, KNS» hat ab 1980 unter dem Namen INFOSOLAR Beratungsstellen geschaffen, die erste davon am HTL Brugg-Windisch. Diese Stellen in verschiedenen Landesteilen entsprachen einem beachtlichen Bedürfnis von Privaten und Planungsstellen der Bauwirtschaft. Für eine Studie «Meteodaten» 1982, für INFOSOLAR und später INFOENERGIE hat der NEFF Beiträge von total 1.365 Mio.Fr. geleistet.

***INFOSOLAR
INFOENERGIE***

Fortbildungskurse

Für drei Fortbildungskurse zur berufbegleitenden Weiterbildung in Energie wurde der EPF Lausanne etwas mehr als eine Mio.Fr. zur Verfügung gestellt. Weitere kleinere Beiträge gingen an die Organisatoren von wissenschaftlich-technischen Tagungen und Konferenzen. Für Exponate über Energie an der HEUREKA, Forschungsausstellung, Zürich im Jahre 1991 wurde ein Kredit von 0.13 Mio. Fr. bewilligt.

nommée KWH par la suite (Koordinationsstelle für Wärmeschutzforschung im Hochbau) a été constituée à la demande du NEFF par l'institut fédéral d'essai des matériaux (EMPA) de Dübendorf et complétée plus tard par un groupe de calcul sur l'énergie en partie autofinancé (Energierengruppe, erg). Outre des études indépendantes et des contrats de conseil externes, la KWH, conformément à son mandat, a aussi conseillé le NEFF dans son domaine d'expertise propre, par exemple pour l'évaluation de requêtes. Le NEFF a mis à disposition de l'EMPA un montant global d'un peu plus de 4 millions de francs en vue de l'accomplissement de ces tâches entre le début de 1980 et la fin de 1995.

3.2.4 Comme mesures d'accompagnement, le NEFF a plusieurs fois appuyé des demandes visant à transmettre des informations sur l'énergie.

La Commission fédérale pour l'utilisation de l'énergie solaire (KNS) rattachée à l'OFEN proposa dès 1980 la création d'un certain nombre de centres d'information nommés INFOSOLAR dont le premier a été ouvert à l'ETS de Brugg-Windisch. Ces centres, localisés dans différents cantons, répondirent à un besoin considérable de la part de la population et des planificateurs de l'industrie du bâtiment. Pour une étude de 1982 intitulée "Météodata", pour INFOSOLAR et plus tard pour INFOENERGIE, le NEFF dépensa un montant total de 1,365 millions de francs.

L'EPF de Lausanne obtint près d'un million de francs en vue de la création de trois cours de formation continue en tant que formation professionnelle complémentaire dans le domaine de l'énergie. D'autres subventions moins importantes furent destinées aux organisateurs de congrès et de conférences scientifico-techniques. Enfin, le NEFF accorda un crédit de 0,13 million de francs pour des présentations sur l'énergie à l'occasion de l'exposition HEUREKA de 1991 à Zurich.

Mesures d'accompagnement

INFOSOLAR INFOENERGIE

Cours postgrades

Tabelle 2

Beitragsbewilligungen, kumulativ 1977 - 1995, aufgegliedert nach Fachgebieten

Crédits accordés, liste cumulative 1977-1995, répartis par thèmes

Tableau N°2

Programme/Projekte	in %	Programmes/Projets
1. Primärenergiequellen		1. Sources d'énergie primaires
- Sonne/energie, Wind	10,8	- Energie solaire, éolienne
- Biomasse	5,0	- Biomasse
- Erdwärme	3,7	- Géothermie
- Therm nukleare Fusion sowie fortgeschrittene Fission	6,8	- Fusion thermo nucléaire et fission avancée
Total	26,3	Total
2. Energieumwandlung - Übertragung und -speicherung		2. Conversion, transmission et stockage de l'énergie
- Energieumwandlung	10,9	- Conversion de l'énergie
- Fernwärme	0,6	- Chauffage à distance
- Speicherung	4,9	- Stockage
- Wasserstoff-Technologie	3,8	- Hydrogène
- Elektrische Energietechnik	12,4	- Energie électrique
- Diverse	4,0	- Divers
Total	36,6	Total
3. Sicherheit und Umweltbelastung	18,2	3. Sécurité et pollution de l'environnement
4. Systemstudien	11,5	4. Etudes de système
5. Energiesparmassnahmen	7,4	5. Mesures d'économie d'énergie

Tabelle 5

NEFF Forschungsstatistik, direkte reaktive Förderung, ausbezahlte Beträge
Statistique des montants versés pour l'encouragement direct,
répartis par période

Tableau N°5

Bereich	Projekte	78-81	Projekte	82-85	Projekte	86-89	Projekte	90-92	Projekte	93-95	Projekte	Bsum 79-95
GU / GE	4	3,87	7	4,07	15	12,83	21	10,84	16	6,39	63	38,0
I + P	22	4,38	30	5,81	23	5,11	25	9,82	47	11,46	147	36,5
KMU/PME	7	2,16	9	2,35	11	4,47	11	4,37	13	7,05	51	20,4
«Bund»	28	10,56	59	25,03	29	15,37	41	26,10	38	11,96	195	89,0
UNI (Mittel)	10	1,05	14	2,50	3	0,450	1	0,35	5	1,83	35	6,7
	74	22,01	119	39,75	81	38,23	101	52,08	119	38,70	491	190,6

Tabelle 3**Tableau N°3****NEFF 1978-1995: Statistik aller ausbezahlter direkter Förderbeiträge**

Gegliedert nach Bereichen der ausführenden Forschungsinstitutionen

Statistique de tous les montants versés pour l'encouragement direct

Bereich	Projekte / Projets	Mio. Fr.	Anteil
GU / GE*	63 Projekte	38.0	20.0%
I + P**	147 Projekte	36.5	19.1%
KMU/PME***	51 Projekte	20.4	10.7%
«BUND»	195 Projekte	89.0	46.7%
UNI****	35 Projekte	6.7	3.5%
Direkte NEFF - Forschungsförderung	total	190.6	100%
insgesamt	491 Projekte		
davon	261 Projekte der Privatwirtschaft	94.9	49.8%

*) GU Grosse Unternehmungen / GE Grandes entreprises

**) I + P Ingenieurunternehmen und Private / Entreprises d'ingénieurs - conseils et privés

***) KMU Kleine und Mittlere Unternehmen / PME petites et moyennes entreprises

****) Kantonale Institutionen: Uni: BE, BS, FR, NE, ZH, HTL: Rapperswil, Brugg, Yverdon, ZTLuzern

Tabelle 4**Tableau N°4****Aufgliederung im Bereich «Bund»** (ETHs und Forschungsanstalten des Bundes)*Répartition dans le domaine «Bund»* (Les EPF et instituts fédéraux de recherche)

ETHZ	92 Projekte	47%	40.8	21.4%
EPFL	63 Projekte	32%	26.0	13.6%
PSI	22 Projekte	11%	18.8	9.9%
EMPA	13 Projekte	7%	2.4	1.3%
weiteres	5 Projekte	3%	1.0	0.5%
Ganzer Bereich	195 Projekte	100.0%	89.0	46.7%
«Bund»**				

*) Forschungsanstalten des Bundes (SMA, RA Conthey, FA Tänikon)

**) ohne Pauschalbeiträge für IEA-Projekte, Kommissionen, Öffentlichkeitsarbeit und dgl.

3.3 NEFF-Förderung der verschiedenen Forschungsgebiete

Interdisziplinäre Forschung

Als Vorbemerkung muss daran erinnert werden, dass «Energieforschung» kein Begriff einer einheitlichen Fachdisziplin ist, sondern ein Überbegriff, welcher verschiedene Fachgebiete umschliesst, d.h. fast jedes Forschungsgesuch ist ein Stück interdisziplinäre Forschung. Mit anderen Worten: Die Zuordnung eines Gesuchs zu einem Stichwort einer Klassifizierung der Forschungsgebiete ist selten ohne eine gewisse Willkür möglich. Als Beispiel sei erwähnt, dass wohl die Mehrheit der Forschungsanträge Energiesparmassnahmen anstreben, selbst wenn dies nicht das primäre Ziel des betreffenden Forschungsprojektes ist. Bei der Zuordnung innerhalb der Klassifizierung kann man sich nur davon leiten lassen, auf welchem Sachgebiet der Schwerpunkt der geplanten Forschungsarbeit liegt. Die in der Frühzeit des NEFF gewählte Gliederung wurde in der Folge nicht mehr modifiziert. Sie ist nicht wesentlich von der Klassifizierung der IEA oder des BEW verschieden.

Tabellen in den Jahresberichten

Das Sekretariat des NEFF hat jährlich in den Jahresberichten die *beschlossenen Bewilligungen* zusammengestellt und in einer Tabelle dargestellt. In einer zweiten ähnlichen Tabelle wurden die bis Ende des Berichtsjahres kumulativ gesprochenen Kredite aufgelistet, zusammen mit den indirekt über das BEW unterstützten IEA-Projekten. Diese IEA-Liste in den NEFF-Jahresberichten hat sich seit Ende des Jahres 1985 nicht mehr geändert, weil die IEA-Beteiligung des Schweiz seither vollständig aus Bundesmitteln bestritten wird. Die kumulative Liste aller Projektbewilligungen der direkten NEFF-Förderung ist in Tabelle 2 wiedergegeben.

Folgende Kommentare dürften von allgemeinem Interesse sein.

Hauptergebnisse

1. In den ersten 10 Jahren erzielten Projekte über «Primär-energiequellen» einen Anteil von etwas über einem Drittel; wenn man die IEA-Projekte einbezieht, gar einen solchen von fast 50 %. Dies entsprach dem Nachholbedarf, erneuerbare Energien zu erforschen, insbesondere die Anwendungen der «Sonnenenergie». Standen anfangs vor allem solarthermische Systeme im Vordergrund, so entwickelte sich später vor allem die Photovoltaik (vgl. dazu den Artikel von Prof. Goetzberger im Kap. 4).

3.3 Encouragement par le NEFF des différents domaines de la recherche

Notons en introduction que la dénomination "Recherche énergétique" ne représente pas une discipline spécialisée homogène, mais qu'il s'agit-là d'un terme collectif englobant différents domaines, ce qui revient à dire que presque chaque demande de subsides forme un élément de recherche interdisciplinaire. En d'autres termes: la catégorisation d'une requête d'après un mot-clé, appartenant à une classification des domaines de la recherche, se fait la plupart du temps de façon aléatoire. Prenons l'exemple suivant: la plupart des demandes de subsides visent des mesures d'économie d'énergie, même si celles-ci ne sont pas l'objectif initial des projets de recherche en question. La catégorisation au sein de la classification peut uniquement s'opérer suivant le domaine d'étude sur lequel on a mis l'accent. La classification adoptée dans les premiers temps de la création du NEFF n'a plus été modifiée par la suite. Elle ne diffère pas fondamentalement de la classification de l'AIE ou de l'OFEN.

Tous les ans, le secrétariat du NEFF a répertorié les *octrois de subventions* dans les rapports annuels et les a représentés dans un tableau. Un second tableau similaire représente les crédits attribués cumulativement discutés jusqu'à la fin de l'exercice ainsi que les projets de l'AIE soutenus par l'OFEN. La liste AIE donnée dans les rapports annuels du NEFF n'a plus été modifiée depuis la fin de l'année 1985, étant donné que la participation suisse à l'AIE était dès lors entièrement couverte par des fonds fédéraux. La liste cumulative de l'ensemble des projets classés par thèmes dont le financement avait été octroyé par le NEFF est représentée dans le tableau N°2.

Les commentaires suivants sont d'intérêt général.

1. Dans les 10 premières années, la proportion des projets touchant les "sources d'énergie primaires" était d'un peu plus d'un tiers; si l'on y inclut les projets AIE, la proportion atteint même 50%. Ceci résultait d'un état de rattrapage dans le domaine de la recherche des énergies renouvelables, en particulier les différentes utilisations de "l'énergie solaire". Alors que dans un premier temps, les systèmes thermo-solaires étaient prioritaires, le développement de la photovoltaïque fut par la suite majeur (voir à ce propos l'article du Prof. Goetzberger dans le chap. 4).

Recherche interdisciplinaire

Tableaux dans les rapports annuels

Résultats majeurs

2. Die Anteile für «Energieumwandlung» und «elektrische Energietechnik» blieben mit knapp einem Viertel der bewilligten Kredite recht konstant. Verständlich und nicht unerwartet ist die Zunahme bei «Sicherheit und Umweltbelastung». Auch «Systemstudien» haben erst in der zweiten Hälfte des NEFF-Lebens anteilmässig erheblich auf fast 12% zugenommen.

3. Wenn oben davon die Rede war, dass sich die Zuteilung der NEFF-Mittel am aktuellen Bedürfnis für meist ungenügend entwickelte Forschungsgebiete orientiert hat, so ist aber nicht ausser Acht zu lassen, dass die Möglichkeit, Forschungsgesuche einzureichen, auch davon abhängig war, ob dem Gesuchsteller genügend sachkundiges Personal zur Verfügung stand.

Bemerkung: Die bewilligten Forschungsbeiträge sind öfters höher als die vom NEFF ausbezahlten Summen. Der umgekehrte Fall kommt selten vor, weil nach Reglement der NEFF normalerweise nicht auf Nachforderungen eintritt.

2. La proportion pour la conversion d'énergie et la technique énergétique de l'électricité est restée relativement constante avec près d'un quart de crédits accordés. L'augmentation du domaine "sécurité et pollution de l'environnement" était compréhensible et donc sans surprises. Les "études de systèmes" ont également augmenté de près de 12% mais seulement dans la seconde moitié de l'existence du NEFF.

3. Il a été dit plus haut que l'attribution de moyens du NEFF s'orientait d'après des projets traitant de domaines trop peu développés, mais il faut néanmoins garder à l'esprit que la possibilité de déposer une requête était dépendante de la condition de disposer de suffisamment de personnel qualifié.

Remarque: Les crédits de recherche accordés sont souvent plus élevés que les sommes payées par le NEFF. Le cas inverse est rare car selon son règlement le NEFF n'admet pas la couverture de dépassements.

3.4 Direkt unterstützte Forschungsinstitutionen

- Wer hat profitiert?** Oft wird die Frage gestellt, welche Forschungsinstitutionen haben von der NEFF-Förderung profitieren können und ging nicht ein zu grosser Anteil der NEFF-Mittel an die staatlichen Hochschulen, welche ja ihre Mittel vor allem von der öffentlichen Hand und nicht von einem privatwirtschaftlichen Fonds erhalten sollten. Die per Ende der Jahre 1991 und 1993 erstellten Statistiken waren die Grundlage für die nun für die gesamte Bewilligungsdauer von 1978 bis 1995 erarbeitete Datensammlung.
- «Spielregeln»** Vorerst gilt es die Voraussetzungen — man könnte sagen «Spielregeln» — zu beschreiben, unter denen die Daten beschafft wurden, denn sie prägen und begrenzen den Informationsgehalt der zu gewinnenden Aussagen:
- Ausbezahlte Beträge** 1) Für jedes Projekt, inkl. Fortsetzungsgesuche, wurden die vom NEFF *ausbezahlten Beträge* erfasst. Für die wenigen noch nicht abgerechneten, neueren Projekte wurden die bewilligten Zahlen eingesetzt.
- dem Gesuchsteller zugeordnet** 2) Diese Förderbeträge wurden gesamthaft auf den Namen des Hauptgesuchstellers, bzw. seiner Institution eingeschrieben. Dies selbst dann, wenn ein oder mehrere Mitgesuchsteller, bzw. andere forschende Institutionen an der Forschungsarbeit beteiligt waren und dafür über den Hauptgesuchsteller NEFF-Mittel erhalten haben.
- Drittmittel** 3) In den eingereichten Forschungsgesuchen hatten die Hauptgesuchsteller allenfalls beantragte oder bereits bewilligte Drittmittel bekannt zu geben. Diese Kredite sind von der NEFF-Statistik nicht erfasst.
- Eigenbeteiligung** 4) Vom Gesuchsteller oder seiner Organisation wurde eine Eigenbeteiligung verlangt gemäss dem «Finanzierungsgrundsatz» in Buchstabe B des «Reglements für Gesuchsteller und Kreditempfänger», siehe Kap. 6.
Angaben oder gar Belege über die erzielte Höhe der Eigenbeteiligung wurden vom NEFF bei der Schlussabrechnung im Schlussbericht nicht verlangt. Damit wurde auf Seite des Kreditempfängers und des NEFF an administrativem Aufwand gespart. Andererseits liegen nun aber keine Zahlen über den erbrachten Gesamtaufwand vor, welche z.B. eine «materielle» Effizienz der erbrachten Forschungsarbeit hätten beurteilen lassen

3.4 *Institutions de recherche subventionnées directement*

Souvent on s'interroge sur les institutions de recherche qui ont pu bénéficier des subventions octroyées par le NEFF et l'on en vient à se demander si les établissements de l'enseignement supérieur public n'ont pas été les principaux bénéficiaires des moyens du NEFF, vu que les fonds qui leur sont attribués devraient provenir des pouvoirs publics et non d'un fonds privé. Les statistiques établies à la fin de l'année 1991 et 1993 furent la base de la collecte de données élaborée pour l'ensemble de la période d'attribution de 1978 à 1995.

Qui a bénéficié?

Il s'agit tout d'abord de décrire les conditions préliminaires, que l'on pourrait également appeler "règles du jeu", à la constitution de ces données, car celles-ci marquent et délimitent le contenu de l'information des résultats à extraire:

«Règles du jeu»

1) Pour chaque projet, demandes supplémentaires incluses, les *sommes versées* par le NEFF ont été répertoriées. Pour les quelques projets plus récents, non encore comptabilisés, les sommes accordées ont été répertoriées.

Sommes versées

2) Toutes les subventions ont été inscrites sous le nom du requérant principal, respectivement selon son institution. Ceci même si une ou plusieurs autres personnes, voire plusieurs autres institutions participaient au même projet et qu'elles obtenaient des fonds du NEFF par l'intermédiaire du requérant principal.

C'est le requérant qui prime

3) Les requérants principaux devaient rendre compte de toutes autres demandes de subventions ainsi que de toutes subventions accordées préalablement. Ces crédits ne figurent pas dans les statistiques du NEFF.

Moyens de tiers

4) Une participation personnelle de l'organisation du requérant fut exigée conformément au "principe de financement" énoncé sous la lettre B du "Règlement pour les requérants et les bénéficiaires de crédits en vue de la réalisation d'un projet de recherche" (voir à ce propos le chap. 6).

Participation personnelle

Le NEFF n'exigea aucun renseignement ni justificatif concernant le montant de la participation personnelle lors du décompte final dans le rapport de clôture. Le bénéficiaire du crédit et le NEFF ont pu de la sorte éviter des frais administratifs. Il n'existe néanmoins aucune donnée relative au montant total, qui auraient pu évaluer, par exemple, l'efficacité "matérielle" du travail investi dans le projet de recherche.

Bereiche von Institutionen

5) Die Institutionen, welchen die Hauptgesuchsteller angehörten, wurden in fünf Bereiche unterteilt, mit einer detaillierteren Unterteilung bei den dem «Bund» zuzuordnenden Forschungsinstitutionen. Es ist klar, dass die Zuordnung bei den drei Bereichen der Privatwirtschaft nicht immer ganz treffsicher sein konnte. In den Fussnoten zu den Tabellen 3 und 4 sind die verwendeten Abkürzungen für die Bereiche definiert.

Darstellung der Resultate

Aus dem unter den geschilderten Randbedingungen erstellten Datensatz wurden für die ganze Dauer 1978-95 die insgesamt ausbezahlten Finanzmittel aufgegliedert nach den Bereichen ausgewertet. Sie sind in den Tabellen 3 und 4 zu finden. Für mehr historische Überlegungen über die Entwicklung der Energieforschung und der NEFF-Förderung wurden in Tabelle 5 je für die fünf Bereiche die Zahl der bewilligten Projekte und die ausbezahlten Kreditsummen in zeitlicher Entwicklung, gegliedert in drei Perioden zu 4 und zwei zu 3 Jahren aufgelistet.

Förderkredite

Gestützt auf diese Angaben lassen sich folgende Trends angeben:

- Höhe der Förderkredite
Über alle Projekte gemittelt, d.h. über die ganze Laufzeit und alle Bereiche, unterstützte der NEFF ein Projekt mit 388 kFr. (1 kFr. = 1'000.— Fr.). Es überrascht sicher nicht, dass die GU im Mittel um 56 % höhere Beträge erhielten. Die von solchen Unternehmen angegangenen Projekte waren von der Zielsetzung her umfassender, beanspruchten mehr Personal und hohe Aufwendungen für Versuchsaufbauten und Instrumentierung. Der Bereich I + P, wo Schreibtischarbeit und Computerbenützung vorherrschen, genügten im Mittel um 36 % geringere Beiträge als der Durchschnitt. Während die KMU mit 3 % nur knapp über dem Durchschnitt lagen, waren die Projekte des Bereichs «Bund» um 18% darüber

zeitliche Entwicklung

- Zeitliche Entwicklung
Über alle Projekte gesehen, entwickelten sich die durchschnittlichen Kredite pro Projekt in der Zeit 1978 bis 1985 nur von 310 auf 331 kFr. Ein Anstieg führte über den Wert von 472 hinaus auf 507 in der Periode 1990 - 1992. Der Rückgang in der Schlussphase auf 326 kFr. kann nicht überraschen, denn lange, aufwendige Projekte hätten nicht zeitgerecht abgeschlossen werden können.

nach Bereichen

Die zeitliche Entwicklung in den fünf Bereichen geben ein uneinheitliches Bild und lassen keine wesentlichen Schlussfolgerungen zu, es sei denn man verfolgt anhand von Kap. 7 die jeweils bearbeiteten Forschungsthemen.

5) Les institutions auxquelles appartenaient les requérants principaux furent divisées en cinq domaines différents avec une répartition détaillée des institutions de recherche rattachées à la "Confédération". Il est évident que le classement dans les trois domaines du secteur privé n'a pas toujours pu être fait avec exactitude. Les notes sous les tableaux 3 et 4 définissent les abréviations utilisées pour les divers domaines.

Domaines des institutions

A partir des données récoltées selon les conditions indiquées, les fonds versés en totalité pour toute la durée de 1978-95 furent classés d'après les domaines et évalués. On les trouvera dans les tableaux 3 et 4. Pour plus de considérations historiques sur le développement de la recherche énergétique et du subventionnement par le NEFF, le tableau N°5 représente pour chacun des cinq domaines le nombre des projets accordés et les sommes de crédits versées chronologiquement: une répartition en trois périodes de 4 ans et deux périodes de 3 ans.

Présentation des résultats

A partir des données récoltées selon les conditions indiquées, les tendances suivantes se dessinent:

- **Montant des subventions**

Sur l'ensemble des projets, considérant la période globale et l'ensemble des domaines, le NEFF a versé une subvention moyenne de 388 kfr (1kfr = 1'000 fr). Il n'est pas surprenant d'apprendre que les *GE* aient reçu en moyenne des sommes 56% plus élevées. Les projets déposés par de telles entreprises présentaient une finalité plus vaste, nécessitaient plus de personnel et mettaient en jeu des dépenses plus importantes pour les installations nécessaires aux essais et les instruments utilisés. Pour le domaine I + P, où prédominent le travail de bureau et l'utilisation d'ordinateurs, les sommes accordées ont été 36% inférieures à la moyenne. Alors que les *PME* dépassaient tout juste de 3% la moyenne, les projets du domaine "Confédération" lui étaient supérieurs de 18%.

Montant de subventions

- **Evolution dans le temps**

En tenant compte de l'ensemble des projets de 1978 à 1985, le crédit moyen par projet est passé seulement de 310 à 331 kfr. La période 1990-1992 a été marquée par une hausse avec une valeur passant de 472 à 507 kfr. La baisse lors de la phase finale, atteignant la somme de 326 kfr, s'explique par le fait que de longs et coûteux projets n'auraient pas pu être achevés à temps.

Evolution dans le temps

L'évolution dans le temps des cinq domaines ne fournit pas de représentation homogène et ne permet pas d'aboutir à des conclusions importantes, à moins d'étudier individuellement chaque thème de recherche à l'aide du chapitre 7.

par domaines

Privatwirtschaft

Der Anteil der Kredite an die Privatwirtschaft wies einen Tiefstwert von 31 % in der Periode 1982 - 85 auf, stieg aber dann in den restlichen Jahren auf den Höchstwert von fast 65 % in der letzten Zeitperiode, bei einem Wert von 49.7 % im Gesamtmittel über die NEFF-Förderungstätigkeit. Dieser erfreulich angestiegene Anteil der Privatwirtschaft ist nicht das Resultat einer Steuerung durch den NEFF, sondern einer wachsenden Initiative der Privatwirtschaft, namentlich der Ingenieurunternehmungen.

Grösstes Projekt

- Es mag abschliessend interessieren, dass das grösste Forschungsvorhaben, welches der NEFF mit gegen 6.4 Mio. Fr. unterstützt hat, das Projekt Nr. 339 («Energierrelevante Luftströmungen») unter der Leitung von Herrn Prof. Peter Suter der ETHZ war. Zielsetzungen und Ergebnisse sind in Kap. 4 im Artikel der Herren A. Moser und P. Suter beschrieben. An diesem Grossprojekt war mit etwas mehr als der Hälfte des NEFF-Beitrags die ETHZ beteiligt. Von den zusätzlichen 11 Teilprojekten wurden deren vier von Unternehmen der Privatwirtschaft mit etwa einem Drittel des NEFF-Betrags erarbeitet. Die ETH Lausanne und die EMPA bearbeiteten je drei Teilprojekte, wofür etwas über ein Sechstel der NEFF-Förderung eingesetzt war. Weitere wichtige Kreditquellen für dieses Projekt waren die Privatwirtschaft, der ETH Rat, das Bundesamt für Energiewirtschaft (BEW) und die KWF (neu: KTI, Kommission für Technologie und Innovation). Die Zusammenarbeit von Privatwirtschaft und Hochschulinstituten war beispielhaft!

Schlussbemerkungen

- **Schlussbemerkungen:**
Der Beitragssatz der Leistungen der Stifterorganisationen wurde nie geändert. Da auch der Energieverbrauch des Landes keine grösseren Veränderungen erfuhr, blieben die Einnahmen des NEFF ziemlich konstant, nahmen aber anteilmässig als F+E - Beitrag zum Gesamtaufwand des Landes von Bund und Privatwirtschaft auf dem Gebiete der Energieforschung dauernd und deutlich ab. Es wäre aber unzutreffend anzunehmen, dass die Bedeutung des NEFF dadurch vernachlässigbar wurde. Er behielt die Rolle eines Katalysators und dies besonders in solchen Fällen, wo sich neuerkannte Forschungschancen dank ihm rasch und unkonventionell umsetzen liessen.

Der NEFF hat es als Ausdruck seiner Wertschätzung und Anerkennung angesehen, dass verschiedentlich das Management von Firmen in Fällen von mutigen, risikoreichen Projekten argumentiert hat, dass sie das Projekt durchzuziehen beabsichtigen, wenn es die Unterstützung des NEFF und seiner zugezogenen Experten erfährt.

La part des crédits accordés au secteur privé afficha une valeur minimale de 31% pour la période 1982-1985, augmenta ensuite les années qui suivirent pour atteindre un sommet de presque 65% dans la dernière période, avec une valeur moyenne globale de 49,7% supérieure aux subventions du NEFF. Cette augmentation fort louable de la part du secteur privé ne résulte pas d'une intervention du NEFF, mais de l'initiative croissante au sein du secteur privé, et en particulier de la part des ingénieurs.

- En résumé, il peut être intéressant de signaler que le plus grand projet soutenu par le NEFF, le projet No.339 ("Importance des flux d'air pour l'énergie") dirigé par le Professeur Peter Suter de l'EPFZ, a été subventionné pour 6.4 millions de francs. Les buts et les résultats sont décrits dans l'article de P.Suter et A.Moser au chap. 4. L'EPFZ a participé à ce grand projet avec plus de la moitié des montants accordés par le NEFF. Parmi les 11 volets supplémentaires, 4 ont été traités par des entreprises privées avec environ un tiers des montants du NEFF. L'EPF de Lausanne et l'EMPA ont chacune travaillé sur 3 volets pour lesquels plus d'un sixième des montants mis à disposition par le NEFF ont été nécessaires. Des bailleurs de fonds importants pour ce projet étaient aussi le secteur privé, le Conseil des EPF, l'Office fédéral de l'énergie (OFEN) et la Commission pour la technologie et l'innovation. La coopération entre le secteur privé et les instituts universitaires a été exemplaire!

- Conclusion:

Le taux de participation des prestations des organisations donatrices n'a jamais été changé. Etant donné que la consommation énergétique de la Suisse n'a pas connu de changements majeurs, les revenus annuels du NEFF demeurèrent constants, mais en proportion diminuèrent de façon durable et significative par rapport aux dépenses du pays dans le domaine de la recherche énergétique, en raison de l'augmentation de la participation de la Confédération et des entreprises privées. Il serait erroné de penser que le NEFF perdit par là de son importance. Il maintint son rôle d'impulsion, surtout dans les cas où il sut entrevoir des nouvelles possibilités de recherche, qu'il permit de concrétiser rapidement et de façon non conventionnelle.

Le NEFF reçut divers témoignages d'estime et de reconnaissance; à diverses reprises le management d'entreprises déclara vouloir concrétiser un projet courageux et risqué, si il était soutenu par le NEFF et ses experts.

Secteur privé

Le plus grand projet

Conclusion

3.5 Schlussabrechnung per 31. Dezember 1997 und Ausblick

Die Bilanz des Nationalen Energie-Forschungsfonds weist am Ende des Jahres 1997 die folgenden Zahlen auf:

Liquidität

Die liquiden Mittel, bestehend aus Guthaben bei Bank, Postcheck und Verrechnungssteuer, betragen rund 3.5 Mio. Fr. Diesem Betrag standen Verbindlichkeiten aus bewilligten, aber noch nicht voll abgerechneten Forschungskrediten sowie aus Rückstellungen (reservierten Beträgen) in der Höhe von etwas über 0.5 Mio. Fr. gegenüber.

Abgabe der Schlussberichte

Die Projektleiter sind verpflichtet worden, alle noch nicht durch Schlussberichte beendeten Projekte per Ende 1996 zum Abschluss zu bringen. Dementsprechend sind vor allem im ersten Quartal 1997 eine grosse Zahl von Schlussberichten eingegangen, welche nach Genehmigung den NEFF verpflichten, die bewilligten Restsummen zu vergüten. Im Gefolge sind bis Ende 1997 die restlichen Schlussberichte bis auf ca. ein Dutzend eingegangen. Für die noch fehlenden Berichte liegen dem Ausschuss berechnete Gründe für die verspätete Abgabe anfangs 1998 vor.

Absichten

Nach Vergütung der Kosten für die Schlussveranstaltung, das vorliegende Buch, sowie für Verwaltungs- und Liquidationskosten soll die schliesslich verbleibende Restsumme für Vergabungen an forschungsfördernde Institutionen, insbesondere für die Nachwuchsförderung auf dem Gebiete der Energieforschung eingesetzt werden (siehe Vorwort des Präsidenten).

3.5 Décompte final au 31 décembre 1997 et perspective d'avenir

Le bilan dressé par le Fonds national pour la recherche énergétique présente les chiffres suivants à la fin de l'année 1997:

Les liquidités se composant des avoirs en banque, de chèques postaux et d'impôts anticipé, représentaient environ 3,5 millions de francs. De cette somme sont à déduire les échéances de crédits octroyés pour la recherche, mais qui n'avaient pas encore été versés, ainsi que des provisions (sommes réservées) d'un montant d'un peu plus de 0,5 millions de francs.

Liquidités

Les chefs de projet avaient été priés de clore tous les projets qui n'avaient pas fait l'objet d'un rapport final à la fin de l'année 1996. C'est la raison pour laquelle un grand nombre de rapports finals ont été remis en majorité dans le premier trimestre 1997, rapports qui, après accord du NEFF, engageaient à un versement des sommes restantes octroyées. Par la suite, les rapports restants ont été remis depuis cette date et ce jusqu'à la fin de l'année 1997, sauf environ une dizaine. Pour la suite tardive des rapports manquants au début de l'année 1998, des justifications fondées ont été présentées au comité.

Remises de rapport finals

Après remboursement des frais pour la manifestation de clôture, l'édition du présent livre, les frais de gestion et de liquidation la somme restante servira à attribuer des crédits à des institutions de promotion de la recherche, destinée en priorité à l'encouragement des jeunes dans le domaine de la recherche sur l'énergie (voir introduction du Président).

Intentions

4 Die Bedeutung des NEFF für die Schweizer Energieforschung

58 *Einleitung*

60 *Die Förderung der Photovoltaik durch den NEFF,
oder «wie man mit wenig Mitteln viel erreichen kann»*
von Adolf Goetzberger

76 *Halbierung der Schadstoff-Emissionen bei der Verbrennung*
von Peter Suter

90 *Metallhydride auf dem Weg in die Energietechnik*
von Louis Schlapbach

98 *Gute Raumluftqualität ist auch mit wenig Energie möglich*
von Peter Suter und Alfred Moser

4 L'importance du NEFF pour la recherche énergétique en Suisse

59 Introduction

**61 L'encouragement de la photovoltaïque par le NEFF
ou «comment se débrouiller avec peu de moyens»**
par Adolf Goetzberger

**77 Réduction de moitié des émissions de substances polluantes lors de la
combustion**
par Peter Suter

91 Les hydrures métalliques sur la voie de la technique énergétique
par Louis Schlapbach

**99 Comment dépenser moins d'énergie
pour préserver la qualité de l'air des pièces d'habitation**
par Peter Suter et Alfred Moser

Einleitung

Die Energiewirtschaft und letztlich alle Energiekonsumenten haben durch ihre insgesamt beachtlich hohen Beiträge die NEFF-Förderung der Energieforschung möglich gemacht. Es ist deshalb eine sehr berechnete Frage, was haben diese NEFF-Gelder schlussendlich erbracht und bewirkt? Die Antwort wird in den nachfolgenden Kapiteln unter zwei verschiedenen Gesichtspunkten gegeben werden.

Zu Kapitel 4:

Nachfolgend soll aus *historischer Sicht* gezeigt werden, dass und wie sich Forschungsbereiche entwickelt haben, welche vor der NEFF-Zeit in der Schweiz nicht oder völlig unzureichend vertreten waren. Der NEFF-Ausschuss hat dafür vier Beispiele ausgewählt. Es handelt sich um Forschungsbereiche, in welchen die Schweiz in den letzten zwanzig Jahren internationales Niveau und hohe Anerkennung erlangt hat. Dabei ist zu erwähnen, dass die vier gewählten Themen nicht die einzigen sind, welche es verdienen würden, erwähnt zu werden! Denn in zahlreichen Fällen hat die NEFF-Förderung entscheidend dazu beigetragen, dass sich Forschungsgruppen entwickeln konnten, welche durch ihre guten Ideen und durch ihre hochwertigen Arbeiten Weltgeltung erlangt haben. Es versteht sich, dass solche Erfolge nicht das alleinige Verdienst der NEFF-Förderung waren. Fördermittel der öffentlichen Hand (vor allem über die Hochschulen und das BEW) und der Privatwirtschaft haben dazu beigetragen. Der NEFF erwartet, dass die durch ihn geförderten Forscher auch in Zukunft für die Schweiz und die Energietechnik wichtige Fortschritte erzielen werden.

Für die letztlich ausgewählten Gebiete konnten anerkannte Fachleute aus dem Hochschulbereich als Autoren gewonnen werden. Sie werden am Ende jedes der vier Beiträge je mit ihrem beruflichen Werdegang vorgestellt.

Zu Kapitel 5:

In diesem Hauptteil des Buches werden die erzielten neuen Ergebnisse von zwanzig besonders interessanten und wichtigen Projekten in *fachlicher Hinsicht* dargestellt. Siehe die dortige Einleitung.

Introduction

L'économie énergétique et, en fin de compte, l'ensemble des consommateurs d'énergie ont permis au NEFF d'encourager la recherche énergétique par des contributions qui sont loin d'être négligeables. Il est donc parfaitement justifié de se demander ce que les fonds du NEFF ont apporté et permis d'accomplir en fin de compte. Les réponses données dans les chapitres qui suivent procèdent de deux points de vue différents.

A propos du chapitre 4:

On montre du *point de vue historique* comment les domaines de recherche qui n'étaient pas ou très mal représentés en Suisse avant l'époque du NEFF se sont épanouis. Le comité du NEFF a choisi quatre exemples typiques. Il s'agit de domaines de recherche dans lesquels la Suisse a atteint un niveau international et une grande renommée au cours des vingt dernières années. Il va sans dire que les quatre thèmes choisis ne sont pas les seuls qui mériteraient d'être cités! Car l'encouragement du NEFF a souvent contribué de façon décisive au développement de groupes de recherche dont les idées novatrices et les travaux de grande valeur ont acquis une réputation mondiale. Les contributions du NEFF ne constituent pas, bien entendu, le seul facteur de succès: les moyens mis à disposition par l'Etat (principalement par l'entremise des écoles polytechniques et de l'OFEN) et par l'économie privée en sont un autre. Le NEFF attend des chercheurs qu'il a soutenus qu'ils continuent à accomplir des progrès importants pour la Suisse et pour la technique de l'énergie.

Il a été possible de convaincre des spécialistes renommés des hautes écoles d'écrire une contribution dans les domaines finalement choisis. La carrière professionnelle de chacun d'entre eux est présentée en fin de chacune des quatre contributions.

A propos du chapitre 5:

Cette partie principale de l'ouvrage présente du *point de vue professionnel* les nouveaux résultats obtenus dans le cadre de vingt projets particulièrement intéressants et importants. Se reporter à l'introduction correspondante.

Die Förderung der Photovoltaik durch den NEFF, oder «wie man mit wenig Mitteln viel erreichen kann»

Adolf Goetzberger

Langsame Markteinführung

Da nunmehr der Nationale Energie-Forschungs-Fonds seine Tätigkeit einstellt, ist es angezeigt, Bilanz über seine langjährige Förder-tätigkeit zu ziehen. Eingangs ist es wichtig, sich zu vergegenwärtigen, dass Energieforschung und -entwicklung sehr lange Zeiträume beanspruchen. Während sich andere Techniken, wie die Mikroelektronik, mit rasanter Geschwindigkeit fortentwickeln, mit Produktlaufzeiten von nur zwei bis drei Jahren, bewegt sich der Energiesektor im Vergleich dazu nur im Zeitlupentempo voran.

Man kennt die Zeitkonstanten für die Markteinführung neuer Energieträger, die in der Grössenordnung von mindestens 50 Jahren liegen. Dementsprechend muss auch die angewandte Forschung auf diesem Gebiet einen langen Atem haben und genau das ist die Stärke der meisten Förderprojekte des NEFF. In meinem Beitrag will ich versuchen, den Beitrag der Schweiz (an dem wiederum der NEFF einen erheblichen Anteil hat) zum Stand der Technik aus internationaler Sicht zu beschreiben. Ich werde mich dabei auf die Photovoltaik (PV) beschränken.

Forschungsschwerpunkt Photovoltaik

Bei der Fördertätigkeit des NEFF ist ein Schwerpunkt im Bereich der Sonnenenergie zu erkennen. Davon betreffen 39 Projekte die Photovoltaik. Das ist sinnvoll, denn die Photovoltaik ist einerseits eine enorm attraktive Energiequelle mit grossem Potential, andererseits ist sie von allen Varianten der Sonnenenergienutzung noch am weitesten von der wirtschaftlichen Konkurrenzfähigkeit entfernt. Die Photovoltaik hat also noch den grössten Forschungs- und Entwicklungsbedarf und war daher zurecht ein Schwerpunkt der Förderung. Hier ist anzumerken, dass alle erneuerbaren Energien einen leichteren Stand hätten, wenn die Kosten der Umweltbelastung in den Energiepreisen enthalten wären. Die Photovoltaikentwicklung läuft in zwei Bereichen ab, der Solarzellenentwicklung und der Systemtechnik. In beiden Sparten hat die Schweiz beachtliche Erfolge vorzuweisen. Das trifft besonders auf die Systemtechnik zu. Unter Systemtechnik verstehen wir alles, was ausser dem eigentlichen PV-Modul erforderlich ist, um daraus einen funktionsfähigen Solar-generator zu erstellen.

Systemtechnik wichtig

Die Bedeutung der Systemtechnik ersieht man aus Abb. 1, wo die Kostenzusammenstellung für eine typische Photovoltaikanlage gezeigt ist: Die Solarzelle trägt nur 24% der Kosten bei, die Modultechnik weitere 24%, der Rest ist BOS (Balance of System), also Systemtechnik.

Da die Schweiz über keine eigene Solarzellenproduktion verfügt, ist die Wertschöpfung in der Systemtechnik von grosser Bedeutung.

L'encouragement de la photovoltaïque par le NEFF ou «comment se débrouiller avec peu de moyens»

Adolf Goetzberger

Maintenant que le fonds national pour la recherche énergétique cesse ses activités, il est temps de dresser un bilan de ses nombreuses années d'encouragement à la recherche. Il importe tout d'abord de ne pas oublier que la recherche et le développement des techniques énergétiques s'étendent sur de très longues périodes. Alors que d'autres techniques, la microélectronique, pour ne citer qu'elle, progressent à une vitesse foudroyante (cycles de production de deux à trois ans seulement), le secteur énergétique, toutes proportions gardées, se meut au ralenti.

On sait que le temps nécessaire à l'exploitation commerciale de nouveaux porteurs d'énergie est de l'ordre de 50 ans et plus. La recherche appliquée dans ce domaine sera donc aussi de longue haleine et c'est précisément là que réside l'avantage de la plupart des projets d'encouragement du NEFF. Cet article tente de décrire la contribution de la Suisse (où le NEFF joue aussi un rôle important) à l'avancement technologique sur le plan international. Je me limiterai au thème de la photovoltaïque (PV).

Les activités d'encouragement du NEFF ont placé un accent sur le domaine de l'énergie solaire. Les 39 projets de photovoltaïque en profitaient, ce qui est compréhensible. Car la photovoltaïque constitue non seulement une source d'énergie extrêmement attrayante au potentiel considérable, mais elle est la source d'énergie solaire la plus éloignée du stade de la commercialisation. La photovoltaïque, qui requiert les efforts de recherche et de développement les plus considérables, a donc constitué à juste titre un chapitre important du programme d'encouragement. Notons que toutes les énergies renouvelables seraient dans une position plus favorable si les coûts des atteintes à l'environnement étaient compris dans le prix de l'énergie. Le développement de la photovoltaïque englobe deux disciplines, le développement de cellules solaires et la technique d'appoint. Si la Suisse peut se targuer de beaux succès dans ces deux domaines, cela s'applique tout particulièrement à la technique d'appoint. Celle-ci a trait à tout ce qui est requis en plus du module PV proprement dit pour réaliser un générateur solaire fonctionnel.

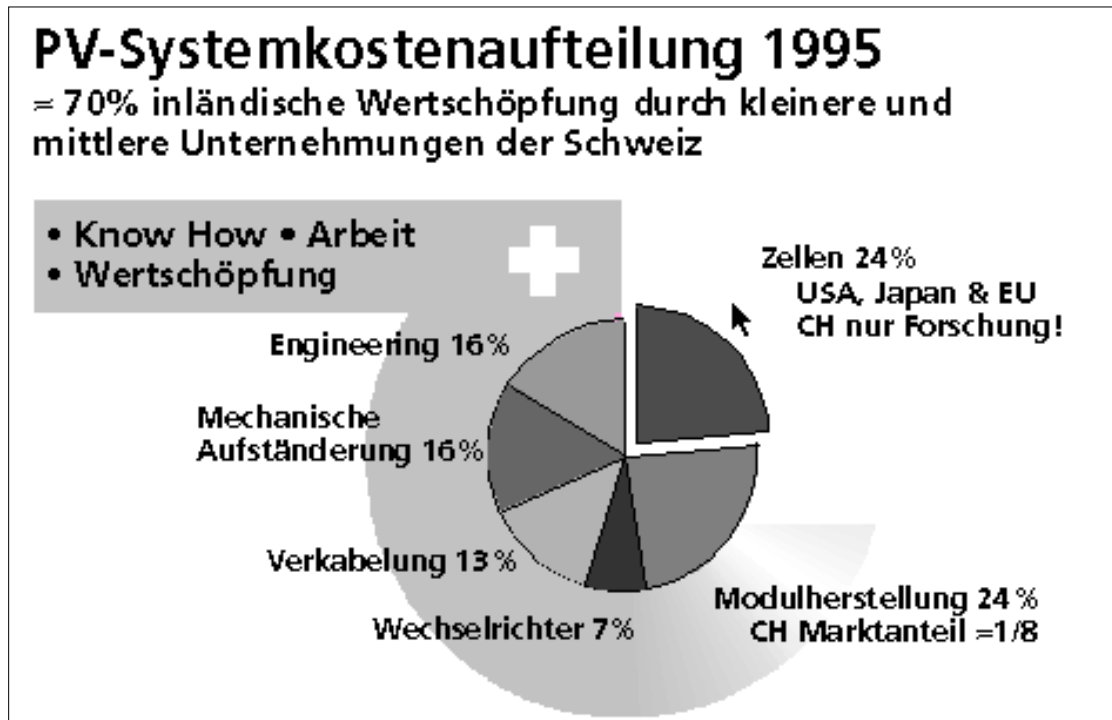
La fig. 1 illustre le rôle de la technique d'appoint. Les coûts d'une installation photovoltaïque typique y sont indiqués: La cellule solaire ne contribue qu'à 24% des coûts, la technique modulaire à 24% supplémentaires, le reste étant BOS (Balance of System), donc la technique d'appoint.

La Suisse ne produisant pas de cellules solaires, la valeur ajoutée par la technique d'appoint a une grande importance.

***Commercialisation
lente***

***Photovoltaïque:
encouragement
préférentiel***

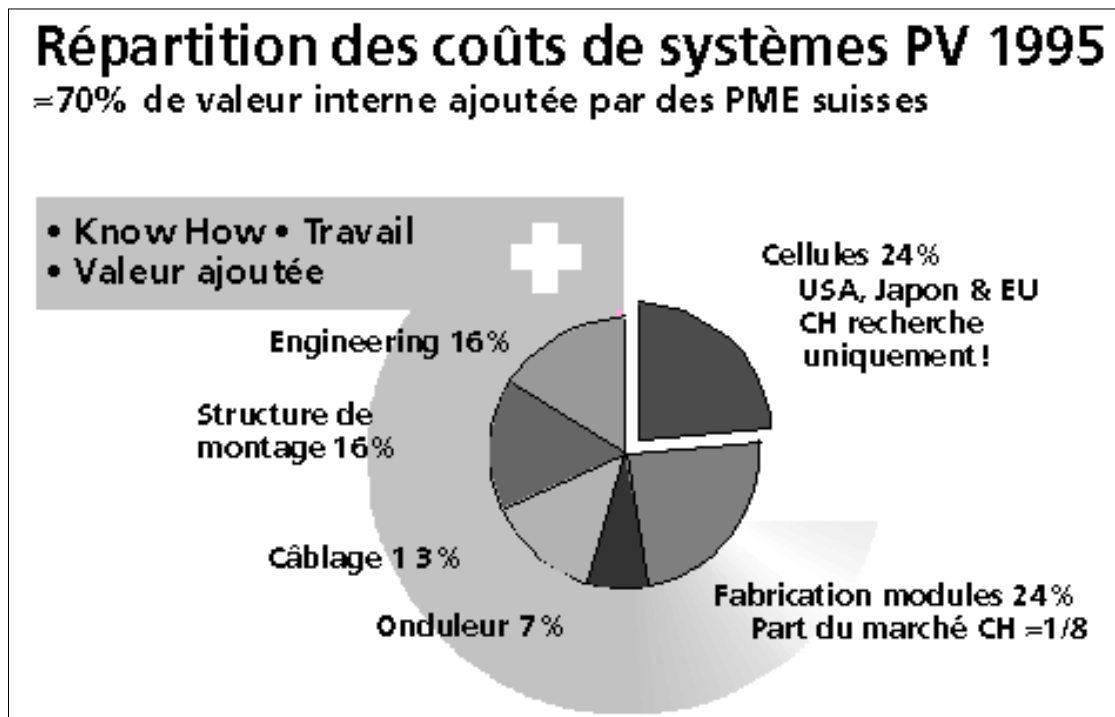
Importance de la technique d'appoint



Auch andere Länder sehen sich seit kurzem in einer solchen Situation, so z. B. Deutschland, wo die Bestürzung über die Produktionsverlagerung der grossen Solarzellenhersteller nach USA gross ist. Die Kompetenz der Schweiz beginnt bei der Modulherstellung, wo Innovatives geleistet wurde. Dabei wurde u. a. gezeigt, dass bei der Verarbeitung von angekauften Solarzellen zu Modulen auch mittelständische Firmen erfolgreich auf dem Markt konkurrieren können.

Systemtechnik

Ohne Zweifel hat sich die Schweiz in der Systemtechnik international gesehen einen Spitzenplatz erobert. Man muss heute die Schweiz in einem Atemzug mit den Schwergewichten in der Photovoltaikentwicklung wie USA, Japan und Bundesrepublik Deutschland nennen, und das, obwohl die Schweiz an Einwohnerzahl in einer ganz anderen Kategorie liegt. Diese Spitzenstellung ist zu einem nicht unwesentlichen Teil der Förderpolitik des NEFF zu verdanken. Es werden nun einige besonders überzeugende Beispiele aus der Fördertätigkeit aufgeführt.



D'autres pays se trouvent à présent dans la même situation, par exemple l'Allemagne où règne une grande inquiétude quant au transfert aux USA de la production des principaux producteurs de cellules solaires. Le domaine de compétence de la Suisse commence au niveau des contributions novatrices dans la fabrication de modules. On a pu constater entre autres que des entreprises de taille moyenne peuvent se profiler avec succès sur le marché de l'assemblage en modules de cellules solaires importées.

La Suisse a sans contredit acquis une place prépondérante au niveau international dans le domaine de la technique d'appoint. La Suisse s'est hissée au rang des «grands» du développement de la photovoltaïque, comme les USA, le Japon et l'Allemagne, bien que le nombre de ses habitants la place dans une toute autre catégorie. Cette position privilégiée a été conquise en bonne partie grâce à la politique d'encouragement du NEFF. Quelques exemples particulièrement frappants donnés plus bas viennent étayer cette thèse.

Technique d'appoint

**PV-
Gebäudeintegration**

Gebäudeintegration stellt heute eine wesentliche Stossrichtung des PV-Marktes dar. Die Vorteile liegen auf der Hand: Durch die Doppelfunktion des PV-Moduls als Gebäudeteil und Energieerzeuger stellt sich die wirtschaftliche Situation völlig verändert dar. Das gilt sowohl für die Dachintegration, als auch für Verglasung und Sonnenschutz und insbesondere für die Fassadenintegration. Die Bedeutung der Dachintegration wurde weltweit in der Schweiz zuerst erkannt und an zahlreichen Beispielen praktisch erprobt. Nicht ohne Grund wurde von der Internationalen Energie Agentur (IEA) die Schweiz als Standort für die internationale Test- und Demonstrationsanlage in Lausanne ausgewählt. Aufgrund ihrer starken Position konnte die Schweiz aktiv bei einigen Tasks der IEA wesentliche Beiträge leisten. Die Beteiligung der Schweiz am IEA wurde vom NEFF sowohl direkt, als auch über Projekte gefördert, in neuerer Zeit vor allem durch den Bund.

**Doppelfunktion des
PV-Moduls****Neue Modulkonzepte**

Weitere Konzepte, die in der Schweiz zum ersten Mal erprobt wurden, sind aus Photovoltaikmodulen bestehende, teildurchlässige Verglasungen und Sonnenschutzelemente, in die Module integriert sind (Shadowvoltaics). Bei Shadowvoltaics werden die Solarmodule der Sonne nachgeführt, ohne dass dafür zusätzliche Kosten entstehen.

Dachintegration

Eine Folge der Beschäftigung mit Dachintegration war auch die Entwicklung eines Solardachziegels durch eine Schweizer Firma im Rahmen eines NEFF-Projekts. Heute existieren bereits einige Demonstrationsvorhaben, die auf dieser Technik beruhen. Bei Dachziegelmodulen, die ja relativ kleine Module darstellen, ist die Verkabelung eine nicht zu unterschätzende Schwierigkeit. Das Problem wurde mit einer zuverlässigen Steckverbindung gelöst, die ebenfalls mit Hilfe des NEFF entwickelt wurde. Die komplette Dachziegeltechnik wird gegenwärtig von Schweizer Firmen auf dem Weltmarkt angeboten.

Fassadenintegration

Von grösster Bedeutung ist schliesslich die Fassadenintegration, die in der Schweiz zum ersten Mal ausgeführt wurde. Obwohl auch an einer unverschatteten Südfassade der Energieertrag nur etwa 70% des Ertrags einer optimal ausgerichteten Fläche beträgt, ist die Kostensituation hier besonders günstig, denn im Gegensatz zur Dacheindeckung können Fassaden sehr teuer sein. Wichtiger als die Kosten sind die Ästhetik und die Akzeptanz bei Architekten und Bauherren. Die steigende Beliebtheit von PV-Fassaden zeigt, dass hier ein neuer Markt für solare Stromerzeugung im Entstehen begriffen ist, der den Vorteil hat, dass die Wirtschaftlichkeit nicht nur auf den Energieerzeugungskosten beruht.

L'intégration au bâtiment donne aujourd'hui une impulsion essentielle au marché de la PV. Les avantages sont évidents: la double fonction du module PV comme élément de construction et producteur d'énergie bouleverse les données économiques. Il en va ainsi pour l'intégration sur toiture, le vitrage et la protection solaire, et tout particulièrement l'intégration de façade. La Suisse a, la première au niveau mondial, reconnu l'importance de l'intégration sur toiture et l'a appliquée dans de nombreux cas pratiques. Ce n'est pas par hasard que l'Agence internationale de l'énergie (AIE) a choisi Lausanne en Suisse pour son installation d'essai et de démonstration. La position avantageuse de la Suisse lui a permis de participer activement à quelques travaux importants de l'AIE et d'y apporter des contributions décisives. La participation de la Suisse à des projets internationaux de l'AIE a été encouragée par le NEFF soit directement soit par des projets particuliers. Ces dernières années ce soutien a été remplacé par celui de la Confédération.

D'autres concepts mis tout d'abord à l'épreuve en Suisse sont les vitrages translucides composés de modules photovoltaïques et les éléments de protection solaire dans lesquels sont intégrés des modules (Shadowvoltaics). Les modules solaires des Shadowvoltaics sont continuellement orientés vers le soleil sans qu'on doive encourir des coûts supplémentaires.

L'investigation de l'intégration sur toiture a aussi conduit une entreprise suisse à développer des tuiles solaires dans le cadre d'un projet du NEFF. Il existe déjà quelques projets de démonstration basés sur cette technique. Le problème du câblage des modules pour tuiles solaires qui sont relativement petits pose un problème qu'on aurait tort de sous-estimer. Il a été résolu au moyen de connecteurs fiables développés eux aussi avec l'assistance du NEFF. Une solution complète basée sur ces tuiles est à présent offerte sur le marché mondial par des entreprises helvétiques.

L'intégration de façade, qui est en fin de compte de la plus haute importance, a été menée à bien pour la première fois en Suisse. Bien que même une façade entièrement exposée au sud n'ait qu'un rendement énergétique d'environ 70% par rapport à une surface d'exposition optimale, la question des coûts s'avère particulièrement favorable car, contrairement à la couverture en toiture, les façades peuvent être d'un prix très élevé. L'esthétique et l'acceptabilité par les architectes et les maîtres d'oeuvre priment les coûts. La popularité croissante des façades PV est le signe que ce marché naissant pour la production d'électricité solaire présente l'avantage de ne pas restreindre les considérations économiques aux coûts de la production d'énergie.

Intégration d'éléments PV au bâtiment

Fonction double des modules PV

Nouveaux concepts de modules

Intégration sur toiture

Intégration de façade

- PV an Verkehrswegen*** Eine weitere Pionierleistung der Schweiz ist der Einsatz von PV an Verkehrswegen. Diese innovative Anwendung wurde zwar nicht von Anfang an vom NEFF gefördert, aber er hat später zur Entwicklung wesentlich beigetragen. Die Schweiz verfügt nicht nur über die weltweit ersten, sondern auch über die grössten PV-Schallschutzanlagen (zur Zeit 300 kW). Die Idee ist überzeugend, denn Schallschutzwände bieten nicht nur eine schon vorhandene Struktur zur Montage der Module, sondern es wird kein zusätzlicher Platz benötigt und die mögliche Standardisierung bietet ein weiteres Kostenreduktionspotential. Mittlerweile wurde das Konzept in einigen anderen Ländern kopiert und findet in ganz Europa grosses Interesse.
- Doppelfunktion:
PV und Schallschutz***
- Solare Fahrzeuge und Boote*** Ein weiteres interessantes Anwendungsgebiet für PV entwickelt sich bei Fahrzeugen. In der Schweiz wurden die ersten Wettbewerbe für solare Strassenfahrzeuge organisiert. In diesem Zusammenhang finde ich ein NEFF Projekt, in dem die Entwicklung eines Solarboots gefördert wurde, besonders attraktiv. Dieses Boot gewann sodann auch den ersten Preis in einem Wettbewerb. Der Einsatz in Booten dürfte praxisnäher sein, als in Strassenfahrzeugen, denn ein umweltfreundlicher, geräuschloser Antrieb für Boote auf Binnenseen wird seit langem gesucht.
- Wechselrichter-
technik:*** Ein Teilaspekt der Systemtechnik, der in der Schweiz von Anfang an starke Beachtung fand, ist die Wechselrichtertechnik. Während man anderswo keinen Entwicklungsbedarf bei Wechselrichtern für PV-Systeme sah, erkannte man in der Schweiz sehr frühzeitig, dass hier besondere Randbedingungen vorliegen, die spezielle Lösungen erfordern. Der NEFF hat diese Entwicklungen von Anfang an gezielt gefördert. Der neueste Trend sind modulintegrierte Wechselrichter. Wenn es gelingt, hochwertige Wechselrichter für kleine Leistungen zu niedrigen Preisen und mit ausreichenden Lebensdauern zu realisieren, dann sind erhebliche Vorteile bei der Verkabelung von PV-Generatoren zu erwarten, da man dann schon auf Modulebene mit Wechselstromtechnik arbeiten kann. Das Wechselstrommodul passt gut zum modularen Charakter der Photovoltaik und löst zudem Verschaltungsprobleme. Schweizer Firmen haben sich schon sehr früh mit Unterstützung des NEFF mit modulintegrierten Wechselrichtern befasst. Da diese neue Technik noch mitten in der Entwicklung steckt, lässt sich jedoch zur Zeit noch keine Aussage über ihren letztendlichen Erfolg machen.
- Wechselrichter vs
Verkabelungskosten***

La Suisse a aussi accompli un travail de pionnier dans l'utilisation de la PV sur les voies de circulation. Si le NEFF n'a pas apporté d'emblée son soutien à cette application d'un nouveau genre, il a contribué par la suite de façon décisive à son développement. La Suisse, non contente d'effectuer une première mondiale, dispose aussi des plus importantes installations PV d'isolation sonore (300 kW pour l'instant). C'est une idée qui a fait mouche car les parois d'isolation sonore constituent une structure toute prête pour le montage des modules. En outre, aucun espace supplémentaire n'est nécessaire et la standardisation ouvrirait la voie à une réduction supplémentaire des coûts. Ce concept a été imité entre temps par d'autres pays et intéresse énormément l'Europe entière.

Les véhicules constituent encore un autre domaine potentiellement porteur pour la PV. C'est la Suisse qui a organisé les premiers concours de véhicules solaires routiers. Je suis aussi particulièrement séduit par le projet de développement d'une embarcation solaire encouragé par le NEFF. Cette embarcation a même gagné le premier prix d'un concours. L'utilisation dans les embarcations devrait s'avérer plus proche de la pratique que dans les véhicules routiers, car la recherche d'un moyen de propulsion des embarcations de nos lacs plus favorable à l'environnement et moins bruyant est un vieux problème.

Un aspect particulier de la technique d'appoint ayant causé d'emblée un grand intérêt en Suisse est celui de la technique des onduleurs. Alors que partout ailleurs on ne voyait aucune raison de procéder au développement d'onduleurs adaptés aux systèmes PV, la Suisse a reconnu très tôt le besoin de solutions adaptées à ces conditions particulières. Le NEFF a encouragé ce type de recherche dès le début. La tendance la plus récente est celle d'onduleurs intégrés aux modules. S'il est possible de réaliser économiquement des onduleurs de haute qualité pour faibles puissances d'une durée de vie suffisante, cela facilitera considérablement le câblage des générateurs en permettant d'appliquer les techniques du courant alternatif au niveau des modules. Un module à courant alternatif s'accorde bien au caractère modulaire de la photovoltaïque et résout aussi les problèmes de câblage. Des entreprises suisses se sont occupées très tôt des onduleurs intégrés dans des modules avec l'assistance du NEFF. Mais comme cette nouvelle technique est encore en pleine évolution, il est impossible de prédire pour le moment ses chances de succès.

PV sur les voies de circulation

Véhicules solaires

Technique des onduleurs:

Coûts: onduleur vs câblage

**Risiken der
Forschungsförderung**

Trotz aller Erfolge gab es auch beim NEFF weniger erfolgreiche Projekte. Das sollte nicht verwundern, denn es liegt in der Natur der Forschungsförderung, dass man immer Risiken eingehen muss. Man kann sogar andersherum argumentieren: Eine Forschungsfördereinrichtung, die keine Misserfolge hat, erfüllt nicht ihre Aufgabe. Das Erfolgskriterium ist anders zu definieren, nämlich: Mit welchem Aufwand werden welche Ergebnisse erzielt? Aus dieser Sicht liegt der NEFF sehr gut, denn die erwähnten Erfolge einschliesslich der im nächsten Abschnitt beschriebenen Solarzellenentwicklung wurden mit einem Einsatz von durchschnittlich nur 2.2 Mio Fr. pro Jahr für das ganze Gebiet der Sonnenenergie (+ Wind) erzielt. Ich kann mir gut vorstellen, dass es für den Ausschuss des NEFF oft nicht leicht war, wenn es darum ging aus einer grösseren Zahl guter Anträge die zu fördernden auszuwählen.

Wenig Erfolg war beispielsweise einem Projekt beschieden, das die Produktion solaren Wasserstoffs für ein meteorologisches Institut vorsah. Die Auswahl war durchaus gut überlegt: Der solare Wasserstoff sollte zur Gasfüllung der Wetterballone der Station dienen. Letztlich scheiterte das Projekt aber an der mangelnden Zuverlässigkeit des Elektrolyseurs, eine Erfahrung, die auch anderswo bei ähnlichen Projekten gemacht wurde.

**Solarzellen-
technologie**

Ich komme nun zur Solarzellentechnologie. Wie schon erwähnt, besitzt die Schweiz keine eigene Solarzellenfabrikation. Dadurch fällt ein wichtiger wirtschaftlicher Aspekt für eine Förderung bereits weg. Andererseits ist es sicher richtig, an Hochschulen, im Rahmen der Grundlagenforschung neue Materialien und Technologien für Solarzellen zu erforschen. Aus dieser Sicht kann auch das diesbezügliche Programm innerhalb des NEFF gerechtfertigt werden. Es wurden verschiedene Materialien und Technologien bearbeitet (Kadmiumtellurid, amorphes Silicium, elektrolytische Abscheidung von Silicium), die jedoch alle über das Laborstadium nicht hinaus kamen.

**Die Grätzelzelle :
neues PV-Konzept**

Erstaunlicherweise wurde gerade das spekulativste und am meisten grundlagenorientierte Projekt ein beachtlicher Erfolg, nämlich die Farbstoff- oder Grätzelzelle. Der NEFF förderte ursprünglich die Arbeiten von Prof. Grätzel zur Wasserspaltung mit Solarstrahlung. Diesen Arbeiten war kein Erfolg beschieden, aber als nicht vorhersehbares Ergebnis entstand die Grätzelzelle. Es handelt sich dabei um ein völlig neues Konzept der Photovoltaik: Gewöhnliche Solarzellen bestehen aus einem Sandwich von n- und p- dotiertem Halbleiter, in welchem das Sonnenlicht bewegliche Ladungsträger erzeugt, die durch das im Innern der Zelle eingebaute elektrische Feld getrennt werden. In der Grätzelzelle hingegen wird in einem sogenannten Sensibilisator, meist einem Farbstoffmolekül, ein Elektron

En dépit de toutes ces réussites, le NEFF a parfois soutenu des projets moins couronnés de succès. Rien d'étonnant à cela, car il est au contraire dans la nature même de l'encouragement à la recherche de prendre des risques. On peut même prétendre qu'une organisation d'encouragement à la recherche qui ne connaît pas d'échecs ne joue pas son rôle. Il faut redéfinir le concept de «succès»: Quels moyens pour quelle fin? Le NEFF obtient un excellent score si l'on se base sur ce critère car les succès cités, y compris le développement des cellules solaires décrit dans la section qui suit, n'ont exigé qu'un investissement annuel moyen de 2.2 millions de Fr. par année pour le domaine entier de l'énergie solaire. Il m'est facile de concevoir que le comité du NEFF s'est souvent trouvé devant un choix très difficile entre un grand nombre de demandes de subventions, toutes de qualité.

Comme exemple d'échec, citons la production d'hydrogène solaire pour un institut météorologique. Le choix était pour le moins raisonnable: L'hydrogène solaire devait servir à gonfler les ballons-sondes de la station. Mais le projet a finalement échoué à cause du manque de fiabilité de la cellule d'électrolyse, une expérience qui s'est répétée dans d'autres projets similaires.

J'en arrive à présent à la technologie des cellules solaires. Comme nous avons eu l'occasion de le voir, la Suisse ne fabrique pas ses propres cellules solaires. Un aspect économique important fait donc défaut à la politique d'encouragement. Mais il est assurément raisonnable que les écoles polytechniques effectuent des recherches fondamentales sur de nouveaux matériaux et de nouvelles technologies pour cellules solaires. Il est donc ainsi possible de justifier ce programme dans le cadre du NEFF. On a essayé divers matériaux et technologies (tellure de cadmium, silicium amorphe, séparation électrolytique du silicium) qui n'ont toutefois pas dépassé le stade des essais de laboratoire.

Il est étonnant que le projet le plus spéculatif et le plus orienté vers la recherche fondamentale soit aussi celui qui a connu un succès considérable, j'entends par là la cellule à colorant ou cellule de Grätzel. Le NEFF a initialement accordé son soutien aux travaux du Professeur Grätzel sur la décomposition de l'eau par le rayonnement solaire. Ces travaux n'ont pas abouti mais ont donné naissance de manière inattendue à la cellule de Grätzel. Il s'agit d'un concept entièrement nouveau de la photovoltaïque: les cellules solaires ordinaires sont composées d'un sandwich de semi-conducteurs dopés de type n et p dans lequel la lumière solaire crée des porteurs de charge mobiles qui sont séparés par le champ électrique engendré dans la cellule. Dans la cellule de Grätzel par contre, un électron de ce qu'on nomme un sensibilisateur, généralement une molécule de colorant, est excité à un

Risques de l'encouragement de la recherche

Technologie des cellules solaires

La cellule de Grätzel: un nouveau concept PV

Zukunftsaussichten

auf ein höheres Energieniveau angeregt, geht sehr schnell in einen angrenzenden Halbleiter über und kann von dort über einen äusseren Stromkreis zur Photozelle zurückkehren. Attraktiv bei der Grätzelzelle ist, dass sie aus sehr billigen Materialien besteht. Vom Farbstoff werden nur geringste Mengen benötigt und der Halbleiter besteht aus Titandioxid, das reichlich vorhanden ist.

Als kritischer Betrachter dieser interessanten Entwicklung muss ich konstatieren, dass die Marktnähe des Konzepts zu Beginn viel zu optimistisch eingeschätzt wurde. Es wurden Zahlen für die Kosten der Module und Entwicklungszeiträume genannt, die einer näheren Durchleuchtung nicht standhielten. Diese Erscheinung konnte man in der Geschichte der Photovoltaikentwicklung sehr häufig beobachten. Manches neues Zellprinzip wurde von den Entdeckern naturgemäss als der grosse Durchbruch betrachtet, wobei man davon ausgehen darf, dass sie selbst voll daran glaubten. Die Medien nahmen die Nachricht begierig auf und der Leser erfuhr, dass es nicht mehr lange dauern würde, bis der billige Solarstrom für jedermann verfügbar wäre. Eine solche Publizität hat aber unbeabsichtigt nachteilige Auswirkungen auf den Markt, denn nun wartet jeder Kunde auf die neue Technik. Bisher wurde jedoch immer der lange Weg vom Nachweis des Prinzips im Labor bis zum marktfähigen Produkt drastisch unterschätzt. Auf diesem Weg sind viele Hürden zu überwinden und oft sind es kleine technische Probleme, die den Erfolg blockieren. Die Grätzelzelle hat heute erst einen Teil dieses Weges zurückgelegt und ihren Erfolg vorauszusagen wäre reine Spekulation. Aber man kann zwei Aussagen machen:

a) Diese Zelle hat reale Anwendungsaussichten für Kleingeräte, wie Uhren, Anzeigen aller Art, insbesondere überall dort, wo Teiltransparenz der Zelle gefordert wird. Diese Anwendungen sind gerade für die schweizerische Industrie von grossem Interesse.

b) Der Einsatz im Energiesektor ist noch nicht gesichert, da hier sehr harte Randbedingungen bezüglich der Lebensdauer und Zuverlässigkeit unter harten Umweltbedingungen existieren. Die Bedeutung der Entdeckung der Grätzelzelle ist aber daraus zu ermessen, dass sich heute viele Labors auf der ganzen Welt mit diesem neuen Photovoltaikprinzip befassen.

niveau d'énergie supérieur, passe très rapidement dans un semi-conducteur adjacent et peut retourner de là à la cellule photoélectrique par un circuit électrique externe. Ce qui rend la cellule de Grätzel attrayante est le prix très bas des constituants. Le colorant n'est présent qu'en quantité négligeable et le semi-conducteur est du dioxyde de titane qui se trouve en abondance.

En tant qu'observateur critique de cet intéressant développement, force m'est de constater que les estimations initiales de la maturité commerciale de ce concept ont été bien trop optimistes. Les chiffres cités pour le coût des modules et la longueur des phases de développement n'ont pas résisté à un examen plus approfondi. Ce phénomène a été très souvent observé dans l'histoire de la photovoltaïque. Combien de nouveaux principes de cellules n'ont-ils pas été considérés tout naturellement par leur créateur comme la solution, étant entendu qu'ils en étaient eux-mêmes fermement persuadés. Les media se sont emparés de la nouvelle et ont donné au lecteur l'impression qu'il n'aurait pas longtemps à attendre avant que le courant fourni par l'énergie solaire soit disponible pour tout un chacun. Une publicité de ce genre exerce toutefois, qu'on le veuille ou non, une influence néfaste sur le marché, car chaque client compte sur la nouvelle technique. Force est toutefois de constater que la distance qui sépare le principe de laboratoire de l'introduction du produit sur le marché a toujours été drastiquement sous-estimée. Le chemin est semé d'embûches et ce sont souvent de petits problèmes techniques qui barrent la voie menant au succès. La cellule de Grätzel n'a encore parcouru qu'une partie de ce chemin et il serait pour le moins prématuré de parier sur son succès. On peut toutefois affirmer deux choses:

- a) Cette cellule serait indubitablement intéressante pour les appareils de petite taille comme les montres, les affichages en tous genres, en particulier lorsque la cellule doit être translucide. Ces applications présentent justement un grand intérêt pour l'industrie horlogère suisse.
- b) L'utilisation dans le secteur énergétique n'est pas encore certaine, car des conditions particulièrement sévères y règnent quant à la durée de vie et à la fiabilité dans des environnements peu favorables. Il faut toutefois mesurer l'importance de la découverte de la cellule de Grätzel au fait que de nombreux laboratoires dans le monde entier se penchent aujourd'hui sur ce nouveau principe photovoltaïque.

Perspectives d'applications futures

Rück- und Ausblick**Beachtlich gute
Stellung der Schweiz**

Im Verhältnis zur Bevölkerungszahl sind in der Schweiz eine beachtlich grosse Zahl von Photovoltaikanlagen installiert: Nach offiziellen Angaben standen 820 netzgekoppelte PV-Anlagen zu Beginn des Jahres 1997 in Betrieb mit einer Spitzenleistung von 6.2 MWp (vor dem Wechselrichter). Nimmt man die Inselanlagen noch hinzu, so dürfte die Gesamtleistung gar 9 MWp. übersteigen. Dennoch erreicht die jährlich produzierte elektrische Energie nur etwa ein Zehntel Promille des Landesverbrauchs. An der grössten schweizerischen Anlage auf dem Mont Soleil mit einer Spitzenleistung von 500 kWp hat sich der NEFF mit einem erheblichen Beitrag beteiligt. Die schweizerische Solarstromproduktion entspricht derjenigen von Italien und von Deutschland. Dies bedeutet, dass der Pro-Kopf-Anteil der Schweiz rund zehnmal grösser ist als derjenige Deutschlands.

Anteil der KMU wichtig

Wenn man die Fördertätigkeit des NEFF über die Jahre betrachtet, fällt auf, dass sich die Verteilung der Gesuchsteller im Lauf der Jahre gewandelt hat. Waren es zu Beginn meist staatliche Forschungsstellen, die Anträge stellten und den Zuschlag bekamen, so verlagerte sich der Schwerpunkt mit der Zeit immer mehr auf den Wirtschaftssektor, wie es auch ursprünglich in den Statuten vorgesehen war. Erfreulich ist der hohe Anteil mittelständischer Firmen, die gefördert wurden, wobei auch der Eindruck entsteht, dass im grossen und ganzen die kleinen Firmen innovativer arbeiten, als die Grosskonzerne.

**Zukünftige
Marktentwicklung**

Wie hat sich die Photovoltaik weltweit in der Zeitperiode des NEFF-Programms entwickelt? Das lässt sich am besten an den Marktzahlen für den Modulumsatz ersehen (Abb. 2) Die Umsätze wachsen seit etwa einem Jahrzehnt stetig um etwa 15 bis 20 Prozent pro Jahr. Das ist ein beachtliches Wachstum, das für fast jeden Industriezweig sehr befriedigend wäre. Wenn aber die Photovoltaik einen nennenswerten Beitrag zum weltweiten Energiebedarf liefern soll, dann ist dieses Wachstum nicht ausreichend. Was wir brauchen, sind grössere Märkte für Solarzellen. In Europa dürften diese Märkte nicht bei Grossanlagen im Megawattbereich zu finden sein, sondern in einer Vielfalt von dezentralen Einsatzmöglichkeiten, für die jeweils die intelligenteste Systemlösung gefunden werden muss. Eine grosse Zahl der Projekte des NEFF haben zu solchen zukunftsweisenden Lösungen geführt. Der NEFF hat insgesamt durch seine Förderpolitik einen wichtigen Anteil am heutigen hohen Ansehen der Schweizer Photovoltaik.

Le nombre d'installations photovoltaïques en activité en Suisse est considérable par rapport au nombre d'habitants. D'après des sources officielles, 820 installations PV couplées au réseau au début de l'année 1997 possèdent une puissance maximale de 6.2 MWp (avant l'onduleur). Si l'on ajoute les installations autonomes, la puissance totale dépasse la puissances de 9 MWp. Mais l'électricité produite n'est qu'environ un dixième de ‰ de la consommation du pays. Le NEFF a alloué une contribution considérable à la plus grande installation suisse, située sur le Mont Soleil, qui fournit une puissance maximale de 500 kWp. La production d'électricité solaire suisse correspond à celle de l'Italie et de l'Allemagne. Cela signifie que la production suisse calculée par habitant est environ dix fois plus grande que celle de l'Allemagne!

Une chose saute aux yeux lorsqu'on considère les activités d'encouragement du NEFF au cours des ans: La répartition des demandeurs de subsides s'est modifiée. Alors que les crédits étaient initialement accordés aux instituts de recherche nationaux dont émanaient la plupart des demandes, le centre de gravité s'est toujours rapproché du secteur économique conformément à ce qui était initialement prévu dans les statuts. On peut se réjouir qu'un grand nombre de moyennes entreprises ait été subventionnées, ce à quoi s'ajoute l'impression que, tout bien considéré, les petites entreprises sont plus novatrices que les grandes sociétés.

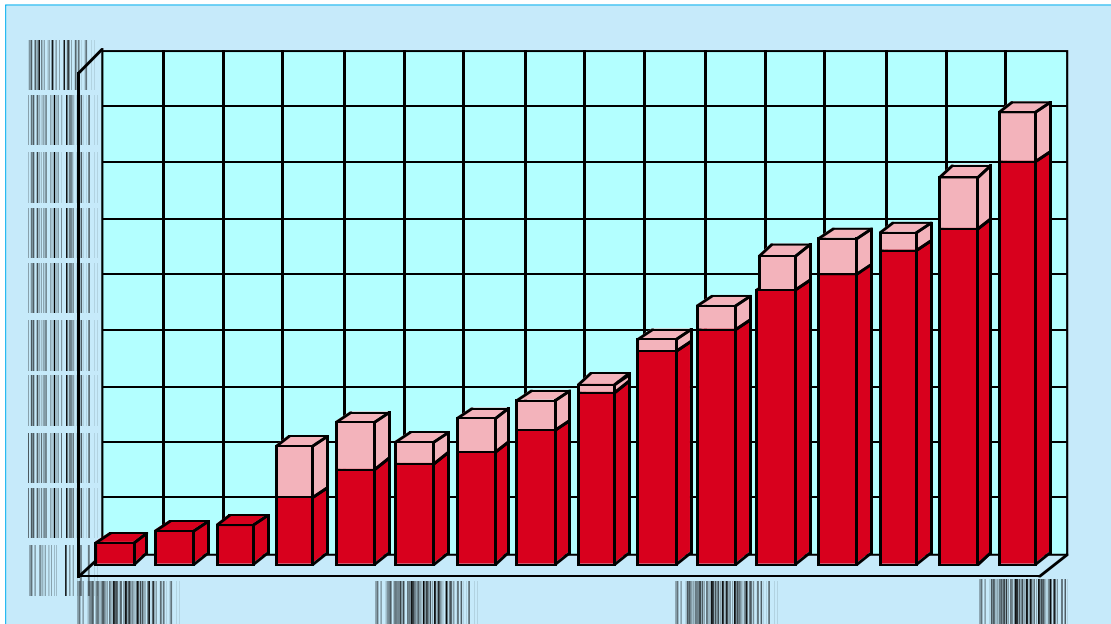
Dans quelle mesure la photovoltaïque s'est-elle développée mondialement au cours de la période couvrant le programme du NEFF? Laissons plutôt parler les chiffres du marché qui indiquent les ventes de modules (fig. 2). Les ventes croissent à peu près linéairement d'environ 15 à 20 pour cent par an depuis environ une dizaine d'années. C'est une croissance respectable dont se contenteraient presque toutes les branches de l'industrie. Mais elle est insuffisante si la photovoltaïque doit un jour apporter une contribution significative aux besoins d'énergie mondiaux. Il nous faut des débouchés plus importants pour les cellules solaires. En Europe, ces débouchés ne se trouvent pas dans le domaine des installations de grande taille produisant «par mégawatts», mais dans les applications décentralisées les plus diverses pour lesquelles il faut trouver chaque fois la solution la plus intelligente au niveau du système. Un grand nombre de projets du NEFF ont conduit à des solutions d'avenir de ce genre. Par sa politique d'encouragement, le NEFF a contribué dans une large mesure au prestige élevé dont jouit aujourd'hui la photovoltaïque suisse.

***Regard vers le passé
et vers le futur***

***Position remarquable
de la Suisse***

Importance des PME

***Développement futur
du marché***

**Der Autor:**

Adolf Goetzberger, Dr.rer.nat., Dr.e.h. (Uppsala), geb. 1928, ehem. Leiter des Fraunhofer Instituts für Solare Energiesysteme in Freiburg, Honorarprofessor an der Universität Freiburg i.Br. Studium der Physik und Promotion (1955) an der Universität München. Von 1955-1958 bei Siemens München, 1958-1963 Mitarbeiter von W. Shockley, USA und anschliessend bei Bell Laboratories, Murray Hill, USA. 1968 Rückkehr nach Deutschland als Leiter des Fraunhofer Instituts für Angewandte Festkörperphysik und 1981 Gründung des Fraunhofer Instituts für Solare Energiesysteme ebenfalls in Freiburg i.Br. Fellow des IEEE und 1991-1993 Präsident der ISES (International Solar Energy Society). Seit 1993 Präsident der Deutschen Gesellschaft für Sonnenenergie. Verschiedene in- und ausländische Ehrungen wurden ihm zuteil.

Adresse des Autors: Prof. Dr. Dr. h.c. A. Goetzberger, Fraunhofer Institut für Solare Energiesysteme, Oltmannsstr. 5, D-79100 Freiburg i.Br., Tel.: 0049 (0)76 1 4588 152

Abb. 2

Weltweite Modulumsätze in MWp (mit Angabe der Streubreite der Marktschätzungen verschiedener Beobachter) Quelle: Fraunhofer Institut für Solare Energiesysteme

Fig. 2

Ventes mondiales de modules en MWp (avec la dispersion des estimations du marché par divers observateurs). Source: Institut Fraunhofer pour l'énergie solaire

Adolf Goetzberger est né en 1928. Dr. ès sc., dr. h.c. de l'université d'Uppsala et professeur honoraire de l'université de Fribourg-en-Brigau, il y a fondé et dirigé l'Institut Fraunhofer pour les systèmes basés sur l'énergie solaire. Il est docteur en physique de l'université de Munich en 1955. De 1955 à 1958, chez Siemens, il a développé des semi-conducteurs. De 1958 à 1963, il est collaborateur de W. Shockley (USA) puis chez Bell Laboratories à Murray Hill. Dès 1968, il dirige l'institut Fraunhofer pour la physique appliquée des solides à Fribourg-en-Brigau et, en 1981, fonde l'institut Fraunhofer pour l'énergie solaire. Il est Fellow de l'IEEE et a présidé l'ISES (International Solar Energy Society) de 1991 à 1993. Depuis 1993, il est président de la Société allemande pour l'énergie solaire. Il a reçu plusieurs distinctions pour ses recherches dans le domaine de l'énergie solaire.

Adresse de l'auteur: Prof. Dr. Dr. h.c. A. Goetzberger, Fraunhofer Institut für Solare Energiesysteme, Oltmannsstr. 5, D-79100 Freiburg i.Br., Tél.: 0049 (0) 761 4588 152

L'auteur:

Halbierung der Schadstoff-Emissionen bei der Verbrennung

Peter Suter

In der Verbrennungsforschung können deutlich zwei Abschnitte unterschieden werden. Vor etwa 1984 standen Projekte im Vordergrund, welche mit der Verbesserung des Wirkungsgrades im Zusammenhang standen, waren doch die Brennstoffpreise hoch, und es bestanden Befürchtungen über eine baldige Verknappung fossiler Brennstoffe. Nach 1984 ging es vor allem um die Verminderung der Schadstoffemissionen, denn die Verbrennung trägt weit über 50 % zu den meisten Luftschadstoffen bei; es wurde auch klar, dass irreparable Umweltschäden auftreten werden, lange bevor die Brennstoffvorräte zur Neige gehen.

Vor allem Entstehung von Schadstoffen mindern

Die Schadstoffemissionen können durch Abgasbehandlung reduziert werden, weshalb zu diesem Thema einige Projekte unterstützt wurden. Noch wichtiger ist es aber, das Entstehen der Schadstoffe in der Verbrennung selbst zu verhindern. Dazu sind aber detaillierte Kenntnisse über die Vorgänge in Flammen nötig, was vor etwa 1987 kaum möglich war, sind diese doch äusserst komplex. So findet nicht etwa eine Globalreaktion von Brennstoff und Luft zum Rauchgas statt, sondern sehr viele parallele chemische Reaktionen, beim Wasserstoff über 50, beim Methan über 1000 und beim Öl noch weit mehr, wobei sich aber nicht nur von Ort zu Ort in der Flamme Unterschiedliches ereignet, sondern auch am selben Ort herrschen wegen der Turbulenz (diese ist in technischen Flammen die Regel) zeitlich stark variable Zustände. So kann die Temperatur lokal ohne weiteres um ± 200 °C variieren; angesichts des grossen Einflusses auf die Reaktionsgeschwindigkeiten werden dann ganz verschiedene Reaktionen favorisiert. Die Bildung vieler Schadstoffe hängt aber entscheidend von den Zwischenprodukten vorheriger Schritte ab.

Einsicht in diese Verhältnisse bedingt aber erstens eine fein auflösende Messtechnik ohne Störung der Vorgänge, wie sie nur mit laseroptischen Verfahren möglich sind, zweitens numerische Simulation der physikalisch-chemischen Abläufe; Simulation beruht auf Modellbildung und diese wiederum bedeutet Verständnis der massgebenden Vorgänge. In beiden Gebieten sind weltweit erst seit etwa 1987 die Voraussetzungen erfüllt.

Kompetenzverbund Verbrennungen

Auch in der Schweiz wurde ab 1985 mit dem Aufbau eines an der ETH Zürich und am Paul Scherrer Institut PSI angesiedelten Kompetenzverbundes Verbrennung begonnen, unter tatkräftiger Unterstützung aus den Etatmitteln vor allem für die teure Infrastruktur. Wichtige Mittel trug auch das Programm «Verbrennung» des Bundesamtes für Energiewirtschaft bei. Die Verbrennungsforschung wurde in allen beteiligten Gruppen als Priorität definiert, d.h. es wurde ein hoher Anteil der zur Verfügung stehenden Etatstellen dafür fixiert.

Réduction de moitié des émissions de substances polluantes lors de la combustion

Peter Suter

Le domaine de la recherche sur la combustion a connu deux phases bien distinctes. Les projets les plus marquants de la période qui se termine aux alentours de 1984 avaient pour but l'amélioration du rendement. Le prix du combustible était élevé et la crainte de la raréfaction proche des combustibles fossiles constituait un facteur important. Les travaux effectués après 1984 avaient par contre pour principal objet la diminution de l'émission de substances polluantes; la combustion est en fin de compte responsable de la présence de bien plus que 50 % de la plupart des substances qui contribuent à la pollution de l'air. Il était aussi devenu évident que des dommages irréparables seraient causés à l'environnement bien avant que les réserves de combustible tirent à leur fin.

L'émission de substances polluantes peut être réduite par le traitement des gaz d'échappement, ce qui explique le soutien accordé à quelques projets de ce genre. Il est cependant bien plus approprié d'empêcher la combustion de produire des substances polluantes. Il faut toutefois posséder pour cela des connaissances détaillées des processus qui se déroulent au sein d'une flamme, ce qui n'était guère possible avant 1987, étant donné leur extrême complexité. En effet, les gaz d'échappement ne sont pas le produit d'une réaction globale du combustible et de l'air, mais de très nombreuses réactions chimiques s'effectuant en parallèle: plus de 50 pour l'hydrogène, plus de 1000 pour le méthane, et encore bien davantage dans le cas du fuel. En outre les variations de l'état ne sont pas fonction que de la position dans la flamme, mais des états fortement variables existant à un endroit donné à cause des turbulences (ce qui est le cas normal dans les flammes techniques). La température peut sans autre varier localement de ± 200 °C ce qui, de par l'influence considérable sur les vitesses de réactions, peut faire jouer à des réactions complètement différentes un rôle prépondérant. La formation des substances polluantes dépend toutefois de façon cruciale des produits intermédiaires des étapes précédentes.

Pour tirer au clair tous ces facteurs, il faut disposer tout d'abord d'une technique de mesure à haute résolution qui ne perturbe pas la flamme, ce que seuls permettent les procédés basés sur l'optique laser, puis d'une simulation numérique des processus physico-chimiques. La simulation repose sur l'élaboration de modèles qui reposent à leur tour sur la compréhension des processus significatifs. Les conditions préalables ne sont remplies dans le monde entier que depuis environ 1987.

En Suisse aussi, on a établi à partir de 1985 une communauté de compétences en combustion à l'EPF de Zurich et à l'institut Paul Scherrer PSI avec en particulier le soutien énergétique des moyens de

Surtout empêcher la production de substances polluantes

Communauté de compétences en combustion

Kooperation mit Industrie dank NEFF

Da sich wichtige Rückfragen an die Grundlagenforschung oft erst aus der technischen Anwendung ergeben, bestand von Anbeginn an der Wille zu enger Kooperation mit der Industrie; deren Mitwirkung wurde nun vor allem durch den NEFF finanziert, und zwar gilt dies sowohl für Grossfirmen als auch für kleine und mittlere Unternehmen, wie sie je nach Anwendungsbereich vorherrschen. So machte in den letzten Jahren der Anteil des NEFF an den gesamten öffentlichen Mitteln für Verbrennungsforschung von jährlich 15 Millionen Franken etwa ein Viertel aus.

Gebiet Domaine	Zeitraum Période	1978-82	1983-87	1988-91	1992-95	Industriepartner Partenaire industriel
Motorische Verbrennung <i>Combustion dans les moteurs</i>					5 (3G)	grosse/grand
Stationäre Feuerungen <i>Chauffage stationnaire</i>			1	3 (2G)	1 (1G)	mittlere/moyen
Gasturbinenverbrennung <i>Combustion dans les turbines à gaz</i>				1	6 (3G)	grosse/grand
Spezielle Verfahren <i>Procédés spéciaux</i>		2	2	1		grosse/grand
Abfall <i>Résidus</i>			1	1	2	kleine/petit
Holz <i>Bois</i>			2	2 (2G)	3 (1G)	mittlere/moyen
Abgasbehandlung <i>Traitement des gaz d'échappement</i>			2	2	3	kleine/petit
Komponenten und Systeme, <i>Composants et systèmes</i>			1	1	13 (1G)	grosse/grand mittlere/moyen kleine/petit

Aus der obenstehenden Tabelle ergibt sich folgende Verteilung der NEFF-Projekte auf die Untersuchungsgebiete im Laufe der Zeit (bezogen auf den Bewilligungszeitpunkt):

F+E Schwerpunkte verlagerten sich mit der Zeit

In den ersten beiden Perioden wurden Industrieprojekte für Druckwellenaggregate und Wirbelschichtverbrennung unterstützt, Ideen, welche einerseits bessere Prozesswirkungsgrade versprachen, andererseits schwierige Brennstoffe (Kohle, Abfälle, Schweröl) zu beherrschen gestatten. Auch die Projekte in den übrigen Gebieten waren mehr phänomenologischer Natur, d.h. sie betrafen vor allem neuartige Konzepte für Brenner, Brennraum und Regelung.

Von der dritten Periode an kamen nun, entsprechend der in den Hochschulbereichen aufgebauten Kompetenz, auch fundamentalere Fragestellungen in Betracht, welche vorerst die stationäre Verbrennung

l'état au coût élevé des infrastructures. Des moyens importants ont aussi été mis à disposition par le programme de recherche « Combustion » de l'office fédéral de l'énergie. Les recherches sur la combustion ont été définies comme prioritaires pour tous les groupes concernés, ce qui veut dire qu'une grande partie des postes d'état disponibles ont été assignés à cet objectif.

Comme les questions importantes à résoudre au niveau de la recherche fondamentale n'apparaissent souvent que lorsqu'on passe aux applications techniques, une collaboration plus étroite avec l'industrie a été considérée dès le début comme désirable. La participation des PME et des grosses entreprises a été financée par le NEFF au prorata de leur engagement dans le domaine d'application envisagé. Au cours de ces dernières années, la contribution du NEFF aux subventions publiques destinées aux recherches sur la combustion s'est élevée à un quart du montant total de 15 millions de francs par an.

Le financement par le NEFF a permis la collaboration avec l'industrie

G kennzeichnet Projekte mit besonders ausgeprägter Grundlagenorientierung

G désigne les projets dont l'orientation fondamentale est particulièrement marquée.

La répartition des projets du NEFF dans les domaines d'investigation en fonction du temps (date de l'accord de subsides) est reproduite ci-contre:

Lors des deux premières périodes, on a soutenu des projets industriels concernant les groupes à ondes de pression et la combustion à lit fluidisé, des idées qui promettaient d'améliorer le rendement du processus tout en permettant de maîtriser des combustibles d'un usage difficile (charbon, résidus, gas-oil lourd). Les projets des autres domaines étaient aussi de nature plus phénoménologique, c'est-à-dire qu'ils étaient consacrés avant tout à de nouveaux concepts de brûleurs, de chambres de combustion et de régulation.

La troisième période a vu surgir des recherches plus fondamentales reflétant les compétences acquises dans les hautes écoles. Elles

Efforts R+D se déplacent avec le temps

nung in Haus- und Gewerbefeuern betrafen, sich anschliessend auch den noch schwierigeren Gebieten der Gasturbinenverbrennung (stationär, aber hoher Druck) und der motorischen Verbrennung zuwenden konnten.

Einige Projekte, welche vor allem bezüglich der Kooperation mit der Industrie aufschlussreich sind, sollen in der Folge etwas eingehender diskutiert werden.

Öl- und Gasfeuerungen

Ab etwa 1984 wurde in der Öffentlichkeit das Problem der Luftschadstoffe sehr aktuell; während bezüglich des Schwefeldioxids die Senkung des Schwefelgehaltes des Öls relativ bald eine gute Lösung ermöglichte, war die Situation bei den Stickoxiden schwieriger, werden sie doch bei den hohen Verbrennungstemperaturen aus dem immer vorhandenen Luftstickstoff gebildet. Städte und Kantone führten immer wieder neue drastischere Grenzwerte ein und verunsicherten das Volk und die Industrie. Durch eine Initiative der Verbände der Kessel- und Brennerindustrie zusammen mit der ETHZ konnte erreicht werden, dass zwar schärfere Grenzwerte festgelegt wurden, als sie damals dem Stand der Technik entsprachen, dass aber bis zu ihrer Einführung eine gewisse Frist offen gelassen wurde, welche es den Unternehmen ermöglichte, die notwendigen Entwicklungsarbeiten durchzuführen. Ausserdem wurde zugesichert, dass diese Grenzwerte dann auch längere Zeit unverändert bleiben würden, so dass der Entwicklungsaufwand auch amortisiert werden könne.

Schadstoff - Grenzwerte

Basiswissen...

Um der Gesamtheit der Unternehmen die Grundlagen zu dieser Aktion zu verschaffen, wurde im NEFF-Projekt 451 wichtiges Basiswissen erarbeitet, etwa zur Frage, wie sich die innere Rezirkulation im Brennraum auswirkt, bei welcher bereits verbrannte Rauchgase, an kühlen Wänden entlangstreichend, zum Brenner zurückgeführt und dort mit Frischluft gemischt werden. Die Folge ist, dass immer noch stabile Flammen möglich sind, dass aber die Maximaltemperatur in der Flammenzone sinkt. Diese Temperatur ist entscheidend für die Stickoxidbildung; Reduktion um 100 entspricht etwa dreimal weniger Stickoxiden.

... von Hochschule und Industrie...

Da es um die Einhaltung von Grenzwerten geht, ist es im weiteren auch wichtig, zu wissen, wie sich die äussere Bedingungen wie Lufttemperatur, Luftdruck oder Luftfeuchte auswirken, weil sonst bei den Kontrollen Fehlurteile möglich wären.

Die Projektarbeiten wurden teils vom Hochschulinstitut geleistet, teils von den Firmen. Die so erarbeiteten Grundlagen standen allen

ont porté tout d'abord sur la combustion stationnaire du chauffage domestique et industriel avant de se tourner également vers les domaines plus complexes des turbines à gaz (stationnaires, mais à haute pression) et de la combustion dans les moteurs.

Quelques projets, avant tout riches d'enseignements quant à la collaboration avec l'industrie, sont discutés ci-dessous un peu plus en profondeur.

C'est aux alentours de 1984 que le public a pris une conscience aigüe du problème des produits de pollution atmosphérique; alors que l'abaissement de la teneur en soufre du mazout a bientôt permis de réduire le dégagement de dioxyde de soufre, la situation s'avérait plus délicate pour les oxydes nitriques qui se forment toujours à partir de l'azote de l'air lorsque la température de combustion est élevée. Les villes et cantons ont imposé des limites toujours plus rigoureuses, désorientant ainsi la population et l'industrie. Une initiative des associations de fabricants de chaudières et de brûleurs en collaboration avec l'EPFZ a permis d'obtenir que, bien que des limites plus sévères que ne le permettaient alors les possibilités techniques soient fixées, le délai dont leur introduction ferait l'objet permettrait aux entreprises de mener à bien les travaux de développement nécessaires; on a donné en outre l'assurance que les limites ne seraient pas modifiées à court terme pour permettre d'amortir l'effort de développement.

Pour permettre à toutes les entreprises de bénéficier de données de base suffisantes pour cette initiative, des connaissances fondamentales ont été réunies grâce au projet NEFF 451. Celles-ci portaient p.ex. sur l'action de la recirculation interne dans la chambre de combustion lorsque des gaz de combustion déjà brûlés se propageant le long de parois froides sont renvoyés au brûleur où ils sont mélangés à de l'air frais; il en découle qu'il est encore bien possible d'assurer la stabilité de la flamme, mais que la température maximale de la zone de la flamme subit une diminution; cette température est cruciale pour la formation d'oxydes nitriques; une baisse de 100 correspond à environ 3 fois moins d'oxydes nitriques.

Comme il s'agit de respecter des limites, il importe aussi de connaître l'influence de facteurs externes tels que la température de l'air, la pression atmosphérique ou l'humidité de l'air pour éviter des erreurs d'appréciation lors de contrôles. Les projets ont été en partie menés par les écoles polytechniques et en partie par les entreprises; les bases ainsi élaborées ont été mises à la disposition de toutes les entreprises, dont la collaboration a été digne d'éloges; bien entendu,

Installations de chauffage au mazout et au gaz

Limites des produits polluants

Connaissances de base...

... des EPF et l'industrie...

... in die Praxis

Firmen zur Verfügung, welche gut kooperierten. Jede zog dann aber natürlich ihre eigenen Schlüsse für die Produktentwicklung, wo sie einander wieder scharf konkurrierten. Dass die gewonnen Erkenntnisse und Methoden (Messtechnik, numerische Simulation der Flammen) tragfähig sind, beweist auch das nachfolgende NEFF-Projekt 624, bei welchem ein neues Brenner-Kessel-Konzept für den (schwierigeren) Bereich der höheren Brennerleistungen (über 1 MW) in wesentlich kürzerer Zeit und in weniger Entwicklungsschritten als sonst zur Reife geführt werden konnte.

Holzfeuerungen**Besondere Probleme beim Holz**

Holzfeuerung ist diejenige Art der erneuerbaren Energie, welche am schnellsten einen grösseren zusätzlichen Anteil an den Energieverbrauch liefern könnte. Sie stellt aber Probleme wegen der Partikel im Abgas, welche durch guten Ausbrand und durch Filter überwunden werden können, vor allem aber wegen der Stickoxide, wo bisher die Grenzwerte der Luftreinhalteverordnung überschritten wurden, so dass an sich unerwünschte Ausnahmeregeln erlassen werden mussten. Das Problem ist deshalb schwierig, weil die Stickoxide nicht aus dem Stickstoff der Luft, sondern aus dem im Holz relativ reichlich vorhandenen Stickstoff schon bei tiefen Verbrennungstemperaturen gebildet werden. Eine Vorentstickung des Holzes ist kostenmässig nicht diskutabel. So wurden in einigen NEFF-Projekten Abgas-Entstickungsverfahren untersucht. Ein anderer Weg besteht darin, die Bildung der Stickoxide in der Verbrennung selbst zu vermeiden. In der Tat könnte sich doch aus dem Holzstickstoff auch das normale Stickstoffmolekül bilden.

Halbierte Emissionswerte durch optimierte Verbrennungsführung

Im NEFF-Projekt 463 wurden nun die Bedingungen hierfür untersucht, und es konnte eine Lösung gefunden werden mit halbierten Emissionswerten. Die Bedingungen sind die folgenden: In jeder Holzverbrennung wird zuerst der Grossteil des Holzes vergast; erst nachher werden diese Gase mit Sekundärluft unter Abgabe der eigentlichen Nutzwärme verbrannt. Wird nun die Vergasung unter kontrollierten Bedingungen durchgeführt und lässt man den entstandenen Gasen bei mindestens 1100 °C eine halbe Sekunde Zeit, so werden diejenigen Reaktionswege bevorteilt, welche zum Stickstoffmolekül und nicht zum Stickoxid führen. Die erwähnte Verweilzeit und die Einhaltung der Temperatur bedingen aber Umkonstruktionen der Feuerung, welche durch einen mittelgrossen Industriepartner realisiert wurde und die Erwartungen bestätigte. Holz kann nun mit gutem ökologischem Gewissen verfeuert werden.

chacune d'entre elles en a alors tiré ses propres conclusions pour le développement des produits, en se faisant une sévère concurrence sur le marché.

Le projet suivant, NEFF 624 apporte une preuve supplémentaire que les résultats obtenus et les méthodes utilisées (technique de mesure, simulation numérique des flammes) sont viables. Dans ce projet, l'élaboration d'un nouveau concept de brûleur et de chaudière destiné au domaine (délicat) des puissances de combustion élevées (plus d'un MW) a été mené à bien en un temps sensiblement plus court et avec un nombre plus restreint d'étapes de développement que de coutume.

Le chauffage au bois est une sorte d'énergie renouvelable qui pourrait couvrir à court terme une partie plus importante des besoins en énergie. Il pose toutefois des problèmes dus aux particules des gaz brûlés (qui peuvent être surmontés par une bonne combustion et à l'aide de filtres), mais surtout aux oxydes nitriques qui dépassaient jusqu'ici les limites de l'ordonnance sur la protection de l'air, ce qui a contraint à promulguer des mesures d'exception indésirables. La difficulté du problème réside en ce que les oxydes nitriques qui se dégagent déjà à des températures de combustion peu élevées ne sont pas formés à partir de l'azote de l'atmosphère, mais de celui, relativement abondant, qui se trouve dans le bois. Une extraction préalable de l'azote du bois est exclue pour des raisons de coût. C'est pourquoi quelques projets du NEFF concernent la dénitrification des gaz d'échappement; une autre méthode consiste à éviter la formation d'oxydes nitriques lors de la combustion elle-même. En effet, l'azote du bois pourrait aussi être transformé en molécules d'azote normales.

Le projet NEFF 463 a permis d'étudier les conditions nécessaires et la solution proposée réduit de moitié la quantité émise. Les conditions sont les suivantes: lorsque le bois se consume, la plus grande partie est tout d'abord gazéifiée; ce n'est qu'ensuite que ces gaz se consomment sous l'action de l'air secondaire pour produire la chaleur utile proprement dite. Si on effectue la gazéification dans des conditions contrôlées et si on laisse à ces gaz un temps de séjour d'une demi-seconde à 1100 C, les voies de réaction favorisées sont celles qui conduisent à une molécule d'azote et non pas à l'oxyde nitrique. Ce temps de séjour et le maintien de la température nécessitent toutefois une adaptation de l'installation de chauffage qui a été réalisée par un partenaire industriel de taille moyenne et qui a répondu aux attentes. Il est donc possible de se servir à présent du bois comme combustible en toute bonne conscience écologique.

... à la pratique

Installations de chauffage au bois

Problèmes particuliers du bois

Réduction de moitié de la quantité émise grâce à l'optimisation de combustion

**Gasturbinen-
Brennkammern**

Gasturbinen-Brennkammern haben eine sehr grosse Leistungsdichte. In der durch einen Querschnitt von 1 m² strömenden Luft werden pro Sekunde etwa 5 kg Brennstoff verbrannt. Der ganze Vorgang muss nach etwa 1 m Laufweg beendet sein mit einer sehr gleichmässigen Temperatur über dem Querschnitt, weil die nachfolgenden Turbinenschaufeln, welche sehr hohen Fliehkraftspannungen ausgesetzt sind, sonst keine genügende Lebensdauer hätten. Anders als im Motor folgt ja der Verbrennungsphase nicht eine kühlende Ladungswechselphase, sondern es herrscht am selben Ort stets die gleiche hohe Temperatur.

**Lösung für beste
Brennkammern**

Stabile Flammen, geringe Russbildung und tiefe Stickoxidwerte unter variabler Last sind Anforderungen, welche nur durch eine detaillierte Kenntnis der örtlichen Verhältnisse realisiert werden können, wobei beim Brennstoff Erdgas die Ziele praktisch erreicht sind, aber bei Öl noch Probleme (Russ, Stickoxide) auftreten. Einerseits ist es sinnvoll, das Öl vorerst zu verdampfen und mit Luft vorzumischen (Projekt Nr. 519 der ETH), andererseits ist es nötig, die Verhältnisse in der eigentlichen Verbrennungszone an einem grossen Prüfstand unter Druck in Kooperation von ETHZ und Industrie (Projekte 538, 648) unter Anwendung der vor allem am PSI entwickelten Laser-Messtechniken zu klären. Die starke Stellung in der Gasturbinen-Verbrennung hat massgebend dazu beigetragen, die Geschäftssparte Gasturbinen dem Werkplatz Schweiz zu erhalten.

**Motorische
Verbrennung**

Die Beherrschung der motorischen Verbrennung ist besonders schwierig. Die Ausbreitung der Flamme, die Vollständigkeit der Verbrennung und die Bildung von Schadstoffen hängen von der Art der Brennstoffvorbereitung und -einleitung, von der Turbulenzentwicklung und von der Mischung im Verbrennungsraum ab, nicht zuletzt aber auch von den Vorgängen in der unmittelbaren Nähe der relativ kalten Zylinderwände.

**Auch für die Schweiz
wichtig**

Zwar existiert in der Schweiz noch ein Motorenhersteller; kompetente Forschungsinstitute können aber auch Partner bei wichtigen ausländischen Unternehmen sein. Das durch aktive Motorenforschung erworbene Wissen erlaubt ausserdem eine bessere Formulierung der nationalen oder sogar eine gewisse Beeinflussung der internationalen Gesetzgebung; für das Geschehen auf dem Markt sind beide wesentlich. Dazu dienen auch Flottenversuche mit neuen Fahrzeugkonzepten, wie sie auch in der Schweiz (zwar nicht im Rahmen von NEFF-Projekten, aber gestützt durch die mit NEFF-Geld erworbene Kompetenz) mehrfach stattfinden.

Les chambres de combustion des turbines à gaz possèdent une puissance volumique très élevée; la quantité de combustible brûlée dans une section de 1 m² à travers laquelle souffle l'air est de 5 kg par seconde environ, et la distribution transversale de température à la fin du processus, qui se termine après un trajet d'environ 1 m, doit être très homogène pour ne pas réduire exagérément la durée de vie des aubes de la turbine en aval qui sont soumises à des tensions centrifuges très élevées. Contrairement au cas des moteurs, la phase de combustion n'est pas suivie d'une phase refroidissante, mais la même température élevée règne toujours au même endroit.

Des flammes stables, une faible formation de suies et des valeurs basses d'oxydes nitriques sous des charges variables constituent des buts qu'il n'est possible d'atteindre qu'avec une connaissance précise des états locaux dans la flamme. Si ce but est pratiquement atteint lorsqu'on utilise le gaz naturel comme combustible, il existe encore des problèmes dans le cas du fuel (suie, oxydes nitriques). Il est devenu judicieux de gazéifier le fuel et de le mélanger préalablement à l'air (projet No. 519 de l'EPFZ), mais il reste encore à éclaircir les phénomènes dans la zone de combustion proprement dite à l'aide d'un banc d'essai de grande dimension à pression élevée. Cet objectif a été réalisé dans le cadre d'une collaboration entre l'EPF et l'industrie (projets 538, 648) en faisant appel aux techniques de mesure laser développées au PSI. La position favorable dans le domaine de la combustion des turbines à gaz a largement contribué à conserver à la Suisse sa place dans le domaine de la fabrication des turbines à gaz.

La combustion dans les moteurs est particulièrement difficile à maîtriser. La propagation de la flamme, la combustion complète et la formation de substances polluantes dépendent de la façon de préparer et d'introduire le carburant, de la formation de turbulences et du mélange dans la chambre de combustion, et enfin, dans une mesure non négligeable, des processus à proximité immédiate des parois relativement froides des cylindres.

Il existe encore en Suisse un fabricant de moteurs, mais les instituts de recherche compétents peuvent aussi être les partenaires d'importantes entreprises étrangères. Le savoir acquis dans la recherche sur les moteurs permet en outre de mieux formuler la législation nationale ou même d'influencer dans une certaine mesure la législation internationale; ces deux points sont essentiels pour l'activité sur le marché. Dans ce contexte s'imposent aussi des essais portant sur des groupes de véhicules de conception nouvelle. Des essais de ce genre ont eu lieu à plusieurs reprises en Suisse, hors du cadre des projets du NEFF, mais avec le soutien des connaissances acquises grâce aux fonds du NEFF.

Chambres de combustion des turbines à gaz

Solution pour meilleures chambres de combustion

Combustion dans les moteurs

Important pour la Suisse également

**Einzelne
Forschungsvorhaben
in Gesamtkonzept
integriert**

In einem Gesamtkonzept «Motorische Verbrennung» sind verschiedene Einzelprojekte integriert, welche einerseits vom BEW, andererseits vom NEFF finanziert sind, wozu noch erhebliche Eigenmittel von ETHZ und PSI kommen. Projekt 638 untersucht z.B. die Vorgänge an der Zylinderwand, welche die Ursache sind für örtliches Flammenlöschen, Russbildung, Abnutzung, aber auch für Wärmeverluste, d.h. Wirkungsgradeinbussen. Da zwischen dem Zylinderinneren und der wandnahen Partie Wärmestrahlung ausgetauscht wird, wird auch die Temperatur im Inneren und damit die Schadstoffbildung (oder bei vorgemischten Motoren die Klopfneigung) beeinflusst. Lasergestützte Holographie ermöglicht es nun, die Temperatur bis zu den letzten Mikrometern vor der Wand zu erfassen. Daraus lassen sich viele der gewünschten Informationen gewinnen, und mit dem besseren Verständnis der Vorgänge können bessere Motorenkonzepte begründet werden.

**Zusammenfassende
Beurteilung**

Das Ziel, im Verbund eine wesentliche Kompetenz in der Verbrennungsforschung zu erzielen ohne an Flexibilität einzubüssen, wurde durch die gute und dauernde Kooperation von Industrie, Hochschulinstituten und Hauptgeldgebern erreicht.

Ziel erreicht ...

Eine wesentliche Hilfe war dabei die Programmleitung «Verbrennungsforschung» des BEW und dass dank NEFF die Industrie-Kooperation möglich wurde. So konnte die «Schweizerische Vereinigung für Verbrennungsforschung SVV» ins Leben gerufen werden, welche ihre Mitglieder bei der renommierten «International Flame Research Foundation IFRF» vertritt. Auch wurde die aktive Mitwirkung an weiteren europäischen Organisationen der Verbrennungsforschung möglich. Dass sich durch Fusionen von Firmen manchmal die Kooperationspartnerschaft von schweizerischen Unternehmen zu ausländischen verschob, ist angesichts der allgemeinen Globalisierung nicht erstaunlich; immerhin konnte doch in einigen Fällen ein Beitrag dazu geleistet werden, dass auch der Werkplatz in der Schweiz verblieb.

**... hohe Kompetenz
auf dem
Gebiet Verbrennung**

Die technischen Ziele konnten weitgehend erreicht werden; so sind im Bereich der Haus- und Gewerbefeuernungen Emissionswerte weit unter den gesetzlichen Grenzwerten Realität geworden, und auch bei den Holzfeuerungen ist das (schwierigere) Einhalten der Limiten nun möglich. Dasselbe gilt bei den Gasturbinen, während bei den Motoren, besonders den Dieselmotoren, manches noch zu tun ist, da die Emissionen pro Energieeinheit noch um Größenordnungen höher sind.

**Technische Ziele ver-
wirklicht**

Plusieurs projets intégrés dans le concept général de « combustion » sont financés par l'OFEN et le NEFF ainsi que par des fonds considérables provenant directement de l'EPF et du PSI. Le projet 638 concerne par exemple les processus proches de la paroi du cylindre qui sont responsables de l'extinction de la flamme, de la formation de suies, de l'usure et aussi de la déperdition de chaleur, c'est-à-dire de la diminution du rendement. En outre, l'échange de chaleur entre l'intérieur du cylindre et la partie proche de la paroi influence la température interne, donc la formation de substances polluantes (ou, dans les moteurs à prémélange, la tendance au cognement). L'holographie au laser permet à présent de mesurer la température aux environs de la paroi jusqu'au dernier micromètre, donc d'obtenir une grande partie des informations désirées sur les processus dont une meilleure compréhension permet d'améliorer la conception des moteurs.

Le but consistant à atteindre un haut niveau de compétence en recherche sur la combustion sans perdre de vue la flexibilité a été atteint grâce à une collaboration efficace et durable de l'industrie, des hautes écoles et des principaux bailleurs de fonds.

La direction du programme de recherche « Combustion » par l'OFEN et la mise en pratique de la collaboration avec l'industrie par l'entremise du NEFF ont constitué une aide essentielle. Cela a permis de fonder la « Schweizerische Vereinigung für Verbrennungsforschung SVV » (Association suisse de la recherche sur la combustion) qui représente ses membres auprès de l'organisation « International Flame Research Foundation IFRF ». Une collaboration active avec d'autres organisations européennes de recherche sur la combustion s'est aussi avérée possible. Que des fusions d'entreprises aient parfois remplacé les entreprises suisses participant à la collaboration par des entreprises étrangères n'est pas surprenant, vu la globalisation générale; toujours est-il qu'il a été possible dans certains cas de conserver aussi les places de travail en Suisse.

Les buts techniques ont été atteints dans une large mesure; des émissions d'installations de chauffage domestique et professionnel bien au-dessous des limites fixées par la loi sont aujourd'hui une réalité, même dans le cas (plus délicat) du chauffage au bois. Il en va de même pour les turbines à gaz, alors que dans le cas des moteurs, en particulier des moteurs Diesel, il reste encore beaucoup à faire pour réduire les émissions qui sont encore trop élevées de plusieurs ordres de grandeur.

Un développement en sens opposé, basé sur l'évolution de la qua-

Volets différents intégrés dans un concept général

Evaluation globale

But atteint ...

... hautes compétences en combustion

Buts techniques réalisés

Eine gegenläufige Entwicklung könnte durch die Entwicklung der Brennstoffqualität stattfinden, indem beim Öl zwar der Schwefelgehalt abgenommen hat, der Stickstoffgehalt aber steigende Tendenz hat; die erworbenen Kenntnisse erlauben es aber im Prinzip, trotzdem tiefe Emissionswerte zu realisieren, doch ist natürlich noch Forschungs- und Entwicklungsaufwand erforderlich.

**Weitere Fortschritte
durch bessere
Prozesse**

Bei fossilen Brennstoffen ist die CO₂-Bildung unvermeidlich; da die realen Wirkungsgrade bei den Feuerungen nur wenig unter 100 % liegen, ist keine wesentliche Verbesserung mehr möglich; hingegen besteht bei Gasturbinen und Motoren noch ein beträchtliches Potential durch bessere Prozesse. Dadurch werden aber meist auch neue Anforderungen an die Verbrennungstechnik gestellt.

**Kenntnisstransfer bei
NEFF-Projekten**

Was die Umsetzung in die Praxis betrifft, so war sie bei den vom NEFF finanzierten direkten Industrieprojekten durchaus gegeben. Natürlich besteht immer das Risiko, dass andere Unternehmen noch marktwirksamerere Systeme entwickeln. Bei Projekten mit Partnern aus Industrie und Hochschulbereich konnten sich hingegen manchmal Probleme ergeben wegen des unterschiedlichen zeitlichen Entscheidungshorizontes; hier ist eine klare Etappierung und die Kontrolle der Zwischenziele unumgänglich.

**Bedeutung für die
Ausbildung**

Über den Anwendungsnutzen hinaus hat Verbrennungsforschung noch deshalb Bedeutung für die qualifizierte Ausbildung, weil sie ausgesprochen generischen Charakter hat, denn sie erfordert das Zusammenspiel aller grundlegenden Fähigkeiten der technischen Wissenschaften.

Der Autor:

Peter Suter diplomierte und doktorte als Maschineningenieur an der ETH Zürich. Anschliessend arbeitete er während 12 Jahren in der Industrie an der Entwicklung von Turbomaschinen. Von 1970 bis 1983 war er Professor für «thermique appliquée» an der ETH Lausanne, von 1983 bis 1996 Professor für «Energiesysteme» an der ETH Zürich mit den Schwerpunkten Gebäudeautomation, Raumluftströmungen, schadstoffarme Verbrennung von Öl, Gas, Holz sowie Ökobilanzen von Energiesystemen. Von 1988 bis 1993 leitete er zudem die Abteilung «Allgemeine Energieforschung» am Paul Scherrer-Institut (PSI) in Würenlingen.

Adresse des Autors: Prof. Dr. P. Suter, Rebenstr. 2, CH-9425 Thal, Tf.: 0041 (0)71 888 1904

lité du combustible, pourrait avoir lieu: abaissement du contenu en soufre, mais accroissement simultané de l'azote. Les connaissances acquises permettent toutefois de maintenir en principe des valeurs peu élevées des émissions, mais au prix de recherches et de développements supplémentaires.

La formation de CO₂ dans les combustibles fossiles est inévitable, et comme le rendement réel du chauffage atteint presque 100 %, aucune amélioration déterminante n'est plus possible dans les chaudières. Le potentiel d'amélioration du rendement des moteurs et des turbines à gaz par de nouveaux processus est lui, par contre, loin d'être épuisé, mais présente aussi dans la plupart des cas de nouvelles exigences dans les techniques de combustion.

Les conditions du transfert à la pratique ont été pleinement réalisées dans le cas des projets financés par le NEFF s'adressant directement à l'industrie; il faut naturellement toujours tenir compte du risque que d'autres entreprises développent des systèmes encore plus concurrentiels. Les problèmes qui se sont par contre présentés quelquefois lors de projets dont les partenaires appartenaient à l'industrie et aux hautes écoles, étaient dus aux divergences portant sur le rythme des décisions à prendre; des phases clairement délimitées et un contrôle des buts intermédiaires sont indispensables.

Abstraction faite de son utilité, la recherche sur la combustion, de par son caractère générique, offre un cadre exemplaire pour la formation spécialisée, car elle exige la mise en oeuvre de toutes les ressources des sciences techniques.

***Progrès ultérieur par
nouveaux procédés***

***Transfert des résultats
acquis par les projets
NEFF***

Impact en formation

Peter Suter est diplômé et docteur en génie mécanique de l'EPF de Zurich. Il a ensuite participé pendant 12 ans au développement industriel de turbomachines. De 1970 à 1983, il a été professeur de «thermique appliquée» à l'EPF de Lausanne, de 1983 à 1996 professeur pour les «systèmes énergétiques» à l'EPF de Zurich, ce qui inclut en particulier la domotique, l'aéraulique des locaux, la combustion pauvre en substances nocives du fuel, du gaz et du bois ainsi que le bilan écologique des systèmes énergétiques. Il a aussi dirigé de 1988 à 1993 la section «Recherche énergétique générale» de l'Institut Paul Scherrer (PSI) à Würenlingen.

L'auteur

Adresse de l'auteur: Prof. Dr P. Suter, Rebenstr. 2, CH-9425 Thal, Tél.: 0041 (0) 71 888 1904

Metallhydride auf dem Weg in die Energietechnik

Louis Schlapbach

Die sogenannte Energiekrise der 70er Jahre brachte nicht nur Leben in die Energiepolitik, sondern auch in die Energietechnik. Neue Formen von Primärenergie und Energieträgern wurden aktuell. So auch Wasserstoff und seine Speicherung. Was ist und bietet er denn, dieser vielgerühmte und seit dem Brand des Zeppelins «Hindenburg» doch auch gefürchtete Wasserstoff ?

Wasserstoff...

Wasserstoff, das einfachste Element des Periodensystems, besteht pro Atom aus je einem Elektron und Proton. Beim schweren Wasserstoff, Deuterium (D) genannt, kommt noch ein Neutron im Atomkern hinzu, beim instabilen und radioaktiv zerfallenden Tritium (T) ein weiteres Neutron. Wasserstoff ist das häufigste Element im Kosmos und kommt auf der Erde in fast unerschöpflichen Mengen im Wasser chemisch gebunden mit Sauerstoff vor. In der Energietechnik kann Wasserstoff in folgenden vier Rollen wichtig sein:

... in der Energietechnik

- I nukleare Fusionsprozesse, wie sie z.B. auf der Sonne ablaufen, in welchen zwei Wasserstoffatome verschmelzen und grosse Energiemengen freigesetzt werden;
- II Kohlenwasserstoffe in fester, flüssiger oder gasförmiger Phase, die mit Sauerstoff zu Wasser, Kohlendioxid und Nebenprodukten verbrannt werden;
- III reiner Wasserstoff als Energieträger, gasförmig oder flüssig, als synthetischer Brenn- und Treibstoff zur Erzeugung mechanischer Energie oder, via Brennstoffzelle, elektrischer Energie.
- IV als reaktive Komponente in geschlossenen, zyklisch arbeitenden Energieumwandlungsprozessen.

In der Wasserstoff-Energiewirtschaft geht es um III, die Metallhydride sind für III und IV nützlich.

Erzeugung...

Der Brennstoff Wasserstoff muss mittels geeigneter Primärenergie durch die Spaltung von Wasser gewonnen werden. Er ist somit ein chemischer Energieträger und keine Primärenergie. Bei seiner Verbrennung wird höchstens soviel Energie frei, wie zu seiner Gewinnung erforderlich war. Bezogen auf die Masse gibt es keinen effizienteren chemischen Energieträger. Die Verbrennung von 1 kg Wasserstoff liefert soviel thermische Energie wie 3.3 kg Benzin oder 5 bis 10 kg Kohle. Bei der Verbrennung entstehen ausser Wärme natürlich Wasserdampf und allenfalls Stickoxide und sonst nichts, kein Russ, kein Kohlendioxid und keine Schwefelprodukte, auch keine festen Abfälle. Bei magerer Verbrennung lassen sich Stickoxide ganz vermeiden. Ein wunderbarer Brennstoff also, und deshalb ist es nicht erstaunlich, dass der NEFF und das Bundesamt für Energiewirtschaft sich dafür interessieren.

... und Verbrennung

Les hydrures métalliques sur la voie de la technique énergétique

Louis Schlapbach

Ce qu'on a qualifié de crise énergétique des années 70 n'a pas seulement donné un coup de fouet à la politique énergétique, il a aussi stimulé la technique énergétique. De nouvelles formes d'énergie primaire et de porteurs d'énergie sont devenues d'actualité. Par exemple, l'hydrogène et son stockage. En quoi consiste l'hydrogène et qu'a-t-il donc à offrir, ce gaz tant vanté, mais aussi craint depuis l'incendie du dirigeable «Hindenburg» ?

L'hydrogène est l'élément le plus simple du tableau périodique. Le noyau de ses atomes se compose d'un électron et d'un proton. Le noyau atomique de l'hydrogène lourd, deutérium (D), comporte aussi un neutron, le tritium (T), instable et subissant une désintégration radioactive, un neutron supplémentaire. L'hydrogène est l'élément le plus répandu dans le cosmos et est lié chimiquement à l'oxygène de l'eau de notre globe en quantités presque inépuisables. Les quatre rôles importants que l'hydrogène peut jouer dans la technique énergétique sont:

- I processus de fusion nucléaire tels qu'ils se déroulent par exemple dans le soleil lorsque deux atomes d'hydrogène s'unissent en dégageant une grande quantité d'énergie.
- II hydrocarbures solides, liquides ou gazeux dont la combustion avec de l'oxygène dégage de l'eau, du dioxyde de carbone et des sous-produits.
- III hydrogène pur comme porteur d'énergie sous forme gazeuse ou liquide servant de combustible ou de carburant dans la production d'énergie mécanique ou, par l'entremise de cellules à combustible, dans celle d'énergie électrique.
- IV comme constituants réactifs dans des processus fermés et cycliques de conversion d'énergie.

Le point III s'applique à l'économie d'énergie basée sur l'hydrogène, les hydrures métalliques sont utiles en III et IV.

Pour obtenir de l'hydrogène comme combustible, il faut d'abord décomposer de l'eau au moyen d'une source appropriée d'énergie primaire. Il constitue donc un porteur (chimique) d'énergie, pas une source d'énergie primaire. Sa combustion dégage au plus autant d'énergie que celle nécessitée pour son extraction. Par rapport à sa masse, il constitue le porteur chimique d'énergie le plus efficace. La combustion de 1 kg d'hydrogène fournit autant d'énergie thermique que 3.3 kg d'essence ou 5 à 10 kg de charbon. Outre de la chaleur, la combustion dégage bien entendu de la vapeur d'eau et tout au plus des oxydes nitriques, mais rien de plus, pas de fumées, pas de dioxyde de carbone et pas de produits sulfureux, pas non plus de résidus solides.

L'hydrogène...

***... dans la technique
énergétique***

Sa production...

... et sa combustion

Speicherung und Transport

Wo liegt die Crux? Wasserstoff ist bei Zimmertemperatur und Atmosphärendruck ein Gas, ein nicht ganz harmloses. Um Volumina für Speicherung und Transport klein zu halten, ist er entweder als Gas zu komprimieren oder zu verflüssigen (-250°C) oder, die prinzipiell elegantere Form, in sogenannten Metallhydriden reversibel zu speichern.

Viele elementare Metalle, intermetallische Verbindungen und ein- oder mehrphasige Legierungen sind in der Lage, Wasserstoffatome (H) zwischen die Metallatome einzulagern und chemisch zu binden. Gleiches geschieht mit Atomen der Wasserstoffisotope Deuterium (D) und Tritium (T). Solche Einlagerungsverbindungen nennt man Metallhydride, auch Metall-Wasserstoff-Legierungen oder populärer Wasserstoffschwämme. Unter «Metall» kann man dabei verstehen:

Metallhydride

- metallische Elemente, z.B. Palladium (Pd), Magnesium (Mg), Lanthan (La); sie bilden binäre Metallhydride $\text{PdH}_{0,6}$, MgH_2 , LaH_2 , LaH_3 ,
- intermetallische Verbindungen, z.B. aus Zirkon und Mangan (ZrMn_2), Lanthan und Nickel (LaNi_5), oder Magnesium und Nickel (Mg_2Ni); sie bilden ternäre Metallhydride $\text{ZrMn}_2\text{H}_{3,4}$, $\text{LaNi}_5\text{H}_{6,7}$, Mg_2NiH_4 ,
- mehrphasige Legierungen der Metalle Titan und Nickel, oder Magnesium und Nickel, z.B. $\text{TiNi-Ti}_2\text{Ni}$, $\text{Mg-Mg}_2\text{Ni}$; sie bilden mehrphasige Hydride.

Metalle, die Wasserstoff ohne grossen Aufwand absorbieren und desorbieren, können als reversible Speicher von Wasserstoff eingesetzt werden. Die wichtigsten Eigenschaften eines Metallhydridspeichers sind

Reversible Speicher

- die Menge Wasserstoff, die pro Gewicht und pro Volumen reversibel gespeichert werden kann,
- die Temperatur und der Druck, bei welchen der Speicher betrieben werden muss; Reaktionswärme, bezw. Bildungsenthalpie der Metallhydridbildung,
- die Kinetik der Absorption und Desorption,
- die zyklische Lebensdauer,
- der Preis.

Für die Speicherung von Wasserstoff stehen folgende Familien von intermetallischen Verbindungen in Vordergrund:

AB_5	Prototyp:	LaNi_5 ,	hexagonale Struktur
AB_2	Prototypen:	ZrMn_2 , TiMn_2 ,	Laves Phasen
$\text{AB-A}_2\text{B}$	Prototypen:	$\text{TiNi-Ti}_2\text{Ni}$	Legierung
AB	Prototyp:	TiFe	kubische Struktur
A_2B	Prototyp:	Mg_2Ni	kubische Struktur

La combustion pauvre permet d'éliminer complètement le dégagement d'oxydes nitriques. Bref, le combustible miracle, rien d'étonnant donc à ce que le NEFF et l'Office fédéral de l'énergie s'y intéressent.

Où se cache le piège ? A température et pression ambiante, l'hydrogène est un gaz qui n'est pas totalement dépourvu de danger. Pour réduire le volume de stockage et de transport il faut le comprimer sous forme gazeuse ou le liquéfier (-250°C) ou encore, la méthode la plus élégante, le stocker sous forme réversible dans ce que l'on nomme des hydrures métalliques.

De nombreux éléments métalliques, composés intermétalliques et alliages à phase unique et à phases multiples ont la propriété de pouvoir intercaler des atomes d'hydrogène (H) ou ses isotopes (D ou T) entre les atomes du métal et de s'y lier chimiquement. On nomme les composés qui présentent de telles insertions hydrures métalliques, ou alliages métal-hydrogène ou encore, plus familièrement éponges d'hydrogène. «Métal» peut signifier ici:

- des éléments métalliques, par exemple palladium (Pd), magnésium (Mg), lanthane (La); qui forment les hydrures métalliques binaires $\text{PdH}_{0,6}$, MgH_2 , LaH_2 , LaH_3 ,
- des composés intermétalliques, par exemple zirconium et manganèse (ZrMn_2), lanthane et nickel (LaNi_5), ou magnésium et nickel (Mg_2Ni); ils forment les hydrures métalliques ternaires $\text{ZrMn}_2\text{H}_{3,4}$, $\text{LaNi}_5\text{H}_{6,7}$, Mg_2NiH_4 ,
- des alliages à phases multiples des métaux titane et nickel, ou magnésium et nickel, par exemple $\text{TiNi-Ti}_2\text{Ni}$, $\text{Mg-Mg}_2\text{Ni}$; ils forment des hydrures à phases multiples.

Les métaux qui absorbent et désorbent l'hydrogène sans grand-peine peuvent servir de réservoir réversible d'hydrogène. Les propriétés les plus importantes d'un réservoir à hydrure métallique sont les suivantes:

- la quantité d'hydrogène par unité de poids et de volume pouvant être stockée de façon réversible,
- la température et la pression auxquelles fonctionnent ces réservoirs; la chaleur de réaction ou l'enthalpie de formation de l'hydrure métallique,
- la cinétique d'absorption et de désorption,
- la durée de vie cyclique,
- le prix de revient.

Les familles principales de composé intermétalliques pouvant servir au stockage de l'hydrogène sont les suivantes:

AB_5	type:	LaNi_5 ,	structure hexagonale
AB_2	types:	ZrMn_2 , TiMn_2 ,	phases de Laves
$\text{AB-A}_2\text{B}$	types:	$\text{TiNi-Ti}_2\text{Ni}$	alliage
AB	type:	TiFe	structure cubique
A_2B	type:	Mg_2Ni	structure cubique

Stockage et transport

Hydrures métalliques

Stockage réversible

- Es gibt zwei Verfahren, hydridbildende Metalle mit Wasserstoff zu beladen:
- Diffusion** 1. Das Metall wird in eine geeignete Atmosphäre von Wasserstoffgas gebracht, der molekulare Wasserstoff spaltet sich an der Metalloberfläche in Wasserstoffatome, welche zwischen die Metallatome hineindiffundieren.
- Elektrolyse** 2. Das Metall wird als Kathode in einem wässrigen Elektrolyten auf ein geeignetes Potential gebracht; Wasserstoffionen spalten sich von Wassermolekülen ab und lagern sich an die Metalloberfläche an. Durch den Transfer eines Elektrons wird das Ion zu einem Wasserstoffatom, das wie im Verfahren 1 in das Metall hineindiffundiert. Verfahren 1 entspricht der reversiblen Speicherung von Wasserstoffgas, Verfahren 2 dem Einsatz von Metallhydriden als Elektrode in wiederaufladbaren Batterien (Ersatz für das aus Umweltgründen ungewünschte Cadmium).
- Metallhydridforschung in der Schweiz** In der Schweiz setzte die Metallhydridforschung im Rahmen des Nationalen Forschungsprogramms NFP 7 «Energie» im Jahre 1978 ein. Ich konnte die als Postdoc in Frankreich gewonnene Einführung an der ETHZ umsetzen und mit zwei Doktoranden erste Ergebnisse erarbeiten. Unverständliche und schlecht reproduzierbare Resultate der Messung magnetischer Eigenschaften gehörten dazu. Wir vermuteten einen irreversiblen Effekt an der Oberfläche, verfügten aber über kein geeignetes analytisches Instrument. Testmessungen an einem Instrument bei IBM San José und in München bestätigten die Vermutungen. Gleichzeitig erschien eine Zeitungsmeldung über die Gründung des NEFF. Die rasche Zusage des NEFF, einen Drittel der Kosten eines oberflächenanalytischen Gerätes zu übernehmen stimulierte die ETHZ und den Nationalfonds sich auch zu je einem Drittel an den Kosten zu beteiligen. Das unter Ultrahochvakuum arbeitende Spektrometer wurde als modernes Forschungsinstrument 1979 in Betrieb genommen.
- Schlüsselrolle Oberfläche** Die Ergebnisse waren brisant: Sie zeigten die Schlüsselrolle der Oberfläche im Prozess der Hydridbildung. Der NEFF übernahm die Fortsetzung des Forschungsprojektes ab 1980 bis 1995. Zwölf Diplom- und acht Doktorarbeiten entstanden, etwa 50 Publikationen, drei Patente und zwei Bücher «Hydrogen in Intermetallic Compounds». Die Zusammenarbeit mit NEFF und seinem Hochschulvertreter H. Gränicher kann ich als unkompliziert und vertrauensvoll loben.

Il existe deux méthodes pour charger en hydrogène les métaux formant des hydrures:

1. Le métal est soumis à une atmosphère appropriée d'hydrogène gazeux, l'hydrogène moléculaire se dissocie en atomes d'hydrogène à la surface du métal et ceux-ci se diffusent vers l'intérieur entre les atomes du métal.

2. Le métal, qui sert de cathode, est porté à un potentiel approprié dans un électrolyte aqueux. Les ions hydrogène se dissocient des molécules d'eau et se rassemblent à la surface du métal. Le transfert d'un électron transforme l'ion en un atome d'hydrogène qui se diffuse dans le métal comme dans la méthode 1.

Le procédé 1 correspond au stockage réversible de l'hydrogène gazeux, le procédé 2 à l'emploi d'hydrures métalliques comme électrode dans les batteries rechargeables (en remplacement du cadmium).

La recherche sur les hydrures métalliques a débuté en Suisse en 1978 dans le cadre du programme national de recherche NFP 7 «Energie». J'ai pu transplanter à l'EPFZ l'introduction que j'avais reçue en France comme postdoc et obtenir les premiers résultats avec l'assistance de deux candidats au doctorat. Des mesures incompréhensibles et difficilement reproductibles des propriétés magnétiques faisaient partie des résultats. Nous soupçonnions la présence d'un effet de surface irréversible, mais ne disposions d'aucun instrument analytique.

Des mesures test avec un instrument chez IBM San José et à Munich ont confirmé nos suppositions. Un communiqué de presse sur la fondation du NEFF est paru à ce moment là. L'approbation rapide du NEFF de contribuer pour un tiers aux coûts d'un instrument d'analyse des surfaces a poussé l'EPFZ et le Fonds national à financer chacun à un tiers des coûts. Le spectromètre, un instrument de recherche moderne qui fonctionne sous ultravide, a été mis en service en 1979.

Les résultats ont été saisissants: Ils ont révélé le rôle crucial de la surface dans les processus de formation d'hydrures. Le NEFF a repris le projet de recherche à partir de 1980 jusqu'en 1995. Il a donné lieu à douze travaux de diplôme et 8 doctorats, environ 50 publications, trois brevets et deux livres «Hydrogen in Intermetallic Compounds». La collaboration avec le NEFF et son représentant des hautes écoles H. Gränicher s'est avérée être dépourvue de complications et basée sur la confiance.

Diffusion

Electrolyse

Recherche sur les hydrures métalliques en Suisse

Rôle de la surface

**Ergebnisse dank
NEFF**

An der Universität Genf entwickelte Klaus Yvon ebenfalls in NEFF-finanzierten Forschungsprojekten Modelle zur Kristallstruktur und Kristallchemie von Metallhydriden.

In den Bereichen Materialsynthese und Strukturbestimmung ergab sich eine intensive Zusammenarbeit beider Gruppen, unterstützt durch das Laboratorium für Neutronenstreuung der ETHZ.

Die langjährige NEFF-Unterstützung hat zu folgenden vier Hauptergebnissen geführt:

- weltweit akzeptierte Modelle zur Kristallchemie (Uni Genf) und
- zu den katalytischen Prozessen an der Oberfläche (ETHZ, dann Uni Fribourg),
- Entwicklung intermetallischer Verbindungen von ungewöhnlich grossem Wasserstoffgehalt wie BaReH₉ und
- Entwicklung intermetallischer Verbindungen auf der Basis überstöchiometrischer AB₂-Laves Phasen mit ungewöhnlich hoher elektrochemischer Speicherkapazität von 800 Ah/kg.

Dank internationaler Anerkennung unserer wissenschaftlichen Beiträge sind wir auch beauftragt worden, das «International Symposium on Metal Hydrogen Systems 1996» zu organisieren. Wir führten es im August in Les Diablerets mit 340 Teilnehmern durch, nochmals mit wertvoller NEFF-Unterstützung.

Ausblick

Metallhydride bzw. die Metallhydridtechnologie haben sich bis jetzt nur in Spezialfällen zur reversiblen Speicherung von Wasserstoffgas, zur Wasserstoffreinigung und in thermischen Maschinen (Wärmepumpen, Kühlmaschinen, Kompressoren) auf dem Markt durchgesetzt. Viele Prototypen sind gebaut und getestet worden, auch eine Serie wasserstoffgetriebener Automobile. Hingegen sind Metallhydride äusserst erfolgreiche Produkte geworden sowohl als Elektroden in wiederaufladbaren Batterien (1996: ca. 400 Mio Stück in portablen Geräten) und auch z.B. in Feuerdetektoren für Flugzeuge.

Der Autor:

Louis Schlapbach studierte Physik an der ETH Zürich, wo er 1973 mit einer Doktorarbeit über Magnetismus von flüssigen Legierungen mit Metallen der Seltenen Erden abschloss. Während eines Postdoc-Aufenthaltes an einem CNRS-Laboratorium in Paris (1974-75) begann er sich für Phänomene von Wasserstoff in Metallen und dessen Anwendungen als Energiespeicher zu interessieren. Er baute dann an der ETH Zürich vorwiegend mit NEFF-Unterstützung eine kleine, sehr aktive Forschungsgruppe auf, deren Arbeiten aus dem Gebiete «Wasserstoff in Metallen» weltweite Anerkennung fanden. Seit 1988 ist Louis Schlapbach Professor an der Universität Fribourg, wo er und seine Mitarbeiter sich unter anderem mit Metall-Wasserstoff-Elektroden für Batterien sowie der Rolle von Wasserstoff in der Materialwissenschaft befasst. Er ist Herausgeber von zwei Springer-Büchern über «Hydrogen in Intermetallic Compounds». Adresse des Autors: Professor Louis Schlapbach, Unité de recherche Physique des Solides, Université de Fribourg, Pérolles, CH-1700 Fribourg; Tf.: 0041 (0) 26 300 90 66

Dans des projets de recherche financés par le NEFF, Klaus Yvon de l'université de Genève a aussi développé des modèles de structures cristallines et de cristalochimie des hydrures métalliques. Les domaines de la synthèse des matières et de la détermination de la structure ont donné lieu à une collaboration intensive entre les deux groupes soutenus par le laboratoire de diffusion des neutrons de l'EPFZ.

Le soutien accordé par le NEFF pendant plusieurs années a permis d'arriver aux quatre résultats principaux suivants:

- modèles cristalochimiques (université de Genève) et
- des processus catalytiques de surface (EPFZ, puis université de Fribourg) acceptés au niveau mondial,
- développement de composés intermétalliques pouvant contenir des quantités particulièrement élevées d'hydrogène, comme BaReH₉ et
- développement de composés intermétalliques basés sur des phases de Laves AB₂ hyperstoechiométriques présentant la capacité de stockage inhabituellement élevée de 800 Ah/kg.

La reconnaissance de nos contributions scientifiques au niveau international nous a aussi valu d'être chargé d'organiser le «International Symposium on Metal Hydrogen Systems 1996». Il a eu lieu en août aux Diablerets avec 340 participants, une fois encore avec le précieux soutien du NEFF.

Les hydrures métalliques, plus spécialement la technologie des hydrures métalliques, ne sont parvenus jusqu'à présent à s'imposer sur le marché que dans des cas particuliers de stockage réversible d'hydrogène gazeux, de purification de l'hydrogène et de machines thermiques (pompes à chaleur, machines réfrigérantes, compresseurs). Un grand nombre de prototypes ont été construits et testés, ainsi qu'une série de voitures alimentées à l'hydrogène. Les hydrures métalliques sont devenus par contre des produits extrêmement demandés comme électrodes de batteries rechargeables (1996: environ 400 millions dans les appareils portatifs) et par exemple comme partie constituante des détecteurs d'incendie des avions.

Louis Schlapbach a étudié la physique à l'EPF de Zurich, où il a terminé en 1973 son doctorat sur le magnétisme des alliages liquides avec les métaux des terres rares. Durant son postdoc dans un laboratoire du CNRS à Paris, de 1974 à 1975, il s'est intéressé aux phénomènes de l'hydrogène dans les métaux et à son emploi comme accumulateur d'énergie. Par la suite, avec le soutien du NEFF, il a formé un petit groupe de recherches de l'hydrogène dans les métaux à l'EPF de Zurich. Ses travaux sont mondialement reconnus. Depuis 1988, Louis Schlapbach est professeur à l'université de Fribourg, où, avec ses collaborateurs, il s'intéresse entre autres aux hydrures métalliques pour piles électriques ainsi qu'au rôle de l'hydrogène dans la science des matériaux. Il est l'éditeur de deux ouvrages sur l'hydrogène dans les composés intermétalliques parus aux éditions Springer. Adresse de l'auteur: Professeur Louis Schlapbach, Unité de recherche Physique des Solides, Université de Fribourg, Pérolles, CH-1700 Fribourg; Tél.: 0041 (0) 26 300 90 66

Résultats grâce au soutien du NEFF

Perspectives

L'auteur:

Gute Raumluftqualität ist auch mit wenig Energie möglich

Peter Suter und Alfred Moser

Grossprojekt

Unter der Bezeichnung «Energierrelevante Luftströmungen in Gebäuden (ERL)» wurde in den Jahren 1986-93 ein grosses Forschungsvorhaben durchgeführt, welches in zweierlei Hinsicht die Bezeichnung «Grossprojekt» zu Recht trägt:

Mehrere Forscherguppen ...

- Erstens wegen der Zusammensetzung und Zahl der beteiligten Forschungsgruppen, nämlich drei aus dem Hochschulbereich und fünf aus dem privatwirtschaftlichen Bereich der Ingenieurbüros und der Gebäudetechnik-Industrie; das Projekt war nicht eine lose Kompilation einzelner Ideen, sondern wurde zielgerichtet nach einem (natürlich den Ergebnissen entsprechend laufend adaptierten) Plan mit drei Teilbereichen A, B, C und einer Gesamtleitung geführt. Der Freiheit der Forscher zu kreativen Ideen waren dadurch aber keinerlei Grenzen gesetzt; Kreativität scheint uns nicht so sehr die Freiheit beliebiger Themenwahl zu sein, sondern vielmehr Raum zum innovativen Finden neuer Zusammenhänge.

... und verschiedene Geldgeber

- Zweitens durch die Vielzahl der Geldgeber (neben NEFF auch Nationalfonds, Kommission zur Förderung der Wirtschaft durch Forschung, KWF, und Bundesamt für Energiewirtschaft, BEW, sowie Eigenmittel der Hochschulinstitute und auch der Firmen). Mit einem Anteil von über 25 % an der Gesamtsumme von 11.8 Millionen Franken war der NEFF der grösste einzelne Geldgeber des Projekts. Dank seines «langen Atems» war er massgebend für die Sicherung der Kontinuität über die lange Projektdauer. Eine zweite wesentliche Bedingung für das Gelingen solcher Mehr-Quellen-Projekte ist es, dass die beteiligten Forschergruppe auch aus eigenen Mitteln wesentliche Beiträge erbringen, denn damit signalisieren sie glaubwürdig, dass sie an einem für sie prioritären Thema arbeiten und nicht nur, weil gerade Geldmittel vorhanden sind. Diesbezüglich haben nach unserer Erfahrung Ausschreibungen, wie sie z.B. bei den Schwerpunktprogrammen des Nationalfonds die Regel sind, auch einen fragwürdigen Aspekt.

Luftströmungen energetisch bedeutend

Luftströmungen sind energiewirtschaftlich wesentlich, weil sie etwa für einen Drittel des Wärmebedarfs von Gebäuden (Tendenz wachsend) verantwortlich sind, was mehr als 10 % des Gesamtenergieeinsatzes der Schweiz ausmacht, also etwa halb so viel wie die ganze Industrie, oder ein Drittel des gesamten Verkehrs. Sie haben zwei Aspekte, erstens sind sie ein wesentlicher Parameter für das thermische Wohlbefinden der Bewohner, zweitens sind sie zentral für die Luftqualität, d.h. für eine richtige Luftfeuchte und eine geringe Schad- oder Geruchstoffkonzentration.

Comment dépenser moins d'énergie pour préserver la qualité de l'air des pièces d'habitation

Peter Suter et Alfred Moser

Un projet de recherche de grande envergure intitulé «Aspects énergétiques de l'aérodynamique du bâtiment (AEAB)» a été mené au cours des années 1986-1993. Il mérite à double titre son nom de «projet de grande envergure» :

- Tout d'abord à cause de la composition et du nombre des groupes de recherches associés, trois provenant des hautes écoles et cinq du secteur privé, des bureaux d'ingénieurs et de l'industrie des techniques du bâtiment. Loin de consister en une compilation d'idées disparates, le projet s'est déroulé selon un plan (bien entendu continuellement mis à jour selon les résultats) en trois volets A, B et C et sous une direction générale. Il ne faudrait toutefois pas croire que la créativité des chercheurs ait été limitée de quelque façon que ce soit. En effet, la créativité ne nous semble pas consister seulement à choisir un sujet de recherche en toute liberté, mais bien plus à disposer du cadre nécessaire pour y découvrir des relations nouvelles.
- Deuxièmement, à cause du nombre de bailleurs de fonds: Outre le NEFF, le Fonds National, la commission pour l'encouragement de la recherche scientifique CERS et l'Office fédéral de l'énergie OFEN, ainsi que les moyens d'autofinancement des instituts des hautes écoles et des entreprises. Avec une contribution de plus de 25 % de la somme totale de 11.8 millions de francs, le NEFF a été le principal bailleur de fonds du projet. Grâce à sa «persistance», son rôle a été déterminant pour assurer la continuité à long terme du projet. Une deuxième condition essentielle pour la réussite de telles collaborations est que chaque groupe de recherche investisse suffisamment de fonds propres pour indiquer qu'il participe au projet de recherche par conviction et non pas seulement parce que des subventions sont disponibles. Dans ce contexte, les appels d'offres, comme ceux lancés par exemple pour les programmes prioritaires du Fonds national, présentent à notre avis des aspects contestables.

Les écoulements d'air sont importants du point de vue de l'économie énergétique, car ils comptent pour un tiers dans les besoins en chaleur des bâtiments (tendance croissante). Cela correspond à plus de 10 % de la consommation d'énergie de la Suisse, c'est-à-dire environ la moitié de la consommation de toute l'industrie ou un tiers de celle des transports. Ils présentent deux aspects. Ils constituent tout d'abord un paramètre thermique essentiel pour le confort des personnes résidant dans les locaux. Ils sont aussi essentiels pour la qualité de l'air, c'est-à-dire pour assurer une humidité appropriée de l'air et une faible concentration de substances nocives et des odeurs. La maîtrise

Projet de grande envergure

Groupes de recherches ...

... et plusieurs bailleurs de fonds

Écoulements d'air importants pour l'énergie

Schwierigkeiten

Nun stellt aber die Beherrschung dieser Strömungen ein sehr schwieriges Problem dar,

- weil die Durchströmung der vielen Räume eines Gebäudes von ihrer Anordnung, von den Queröffnungen und von den momentanen Drücken auf den Aussenfassaden bestimmt sind,
- weil die Verhältnisse im einzelnen Raum für die Benutzung entscheidend sind, aber von den Bedingungen in den Nachbarräumen abhängen,
- weil die Raumströmungen echt dreidimensional und turbulent sind, wobei die Grundgleichungen fünf hochgradig nichtlineare partielle Differentialgleichungen darstellen und die Raumgeometrien samt Möbeln sehr vielfältig sind,
- weil die Strömungen sehr schwach sein können und müssen und deshalb sehr empfindlich auf die verschiedenen Antriebseffekte (Strahleinführung, Auftrieb, Über- und Unterdrücke an Raumöffnungen) reagieren.

**Früher
Energieverschwen-
dung**

Diese Schwierigkeit führte dazu, dass in der Vergangenheit durch «Daumenregeln» geplant und einfach durch die Einführung von sehr viel Luft eine möglichst gute Durchmischung angestrebt wurde, um wenigstens für diesen Durchschnittszustand die Benutzeranforderungen zu erfüllen – mit entsprechender Energieverschwendung. In der Tat ist die gute Luftqualität nicht im ganzen Raum nötig, sondern nur bei der Nase des Benutzers oder am Ort eines heiklen Produktionsprozesses (Punktlüftung). Das Erscheinen neuer experimenteller und rechnerischer Möglichkeiten (numerische Simulation von Strömungen) macht es nun möglich, viel gezielter vorzugehen; das Projekt ERL sollte hierzu die Werkzeuge erarbeiten und bis zur Umsetzung in der Praxis führen.

Drei Teilbereiche:

ERL umfasste deshalb die folgenden drei eng zusammengehörenden Teilbereiche, welche vom NEFF unter Projektnr. 339 mit 0.9, 0.9 und 1.3 Mio. Franken gefördert wurden:

Einzelraum

A. Luftströmung im Einzelraum: Entwicklung von Rechenverfahren der numerischen Simulation samt Validation an sorgfältigen Experimenten.

Gesamtgebäude

B. Luftströmung durch das Gesamtgebäude: Entwicklung und Validation eines Rechenverfahrens sowie einer Messmethodik zur Bestimmung des Austausches zwischen einzelnen Räumen.

Planung

C. Lüftungssysteme und -planung: Praktische Erprobung neuartiger Lüftungssysteme und Erarbeitung von Unterlagen für den Planungsablauf.

Zu jedem Teilbereich wird beispielhaft ein wesentliches Ergebnis, welches von einem NEFF-Projekt erzielt wurde, dargestellt.

de ces écoulements d'air constitue toutefois un problème très complexe

- car le transport de l'air par les nombreuses pièces d'un bâtiment dépend de leur disposition, des ouvertures transversales et des pressions instantanées exercées sur les façades extérieures.
- car les situations dans chaque local sont cruciales pour l'utilisation, mais dépendent des conditions dans les locaux adjacents,
- car les écoulements dans les locaux sont tridimensionnels et turbulents: les cinq lois de base sont des équations différentielles aux dérivées partielles fortement non linéaires et les géométries des pièces meublées sont très compliquées,
- car les écoulements peuvent et doivent être très faibles, donc très sensibles à différents effets d'entraînement (entrée du jet, poussée ascensionnelle, surpressions et dépressions aux ouvertures de la pièce).

Ces difficultés ont conduit par le passé à se servir de règles «à vue de nez» pour la conception et à s'efforcer simplement d'atteindre le meilleur mélange possible en introduisant beaucoup d'air, ce qui permettait de satisfaire aux exigences des occupants, au moins en moyenne, mais causait un gaspillage d'énergie. En fait, la qualité de l'air n'a pas besoin d'être bonne dans toute la pièce, mais seulement là où est situé le nez de l'occupant ou là où s'effectue un processus de fabrication délicat (aération ponctuelle). L'apparition de nouvelles possibilités de calcul (simulation numérique d'écoulements) permet de procéder de manière bien plus ciblée. Le but du projet AEAB était de fournir les outils nécessaires et d'assurer le transfert à la pratique.

Le projet AEAB (NEFF no. 339) comportait donc trois volets fortement liées soutenus par une contribution du NEFF de 0.9, 0.9 et 1.3 millions de francs:

A. Ecoulement d'air dans une pièce: développement de méthodes de calcul en simulation numérique, y compris leur validation par des expériences soigneusement élaborées.

B. Ecoulement d'air dans l'ensemble du bâtiment: développement et validation d'une méthode de calcul et d'un procédé de mesure permettant de déterminer les échanges entre les pièces.

C. Systèmes d'aération et leur conception: essais sur le terrain de systèmes d'aération novateurs et établissement de documents de base sur le déroulement de la conception.

Chaque volet sera illustré par un résultat essentiel et représentatif acquis lors d'un projet du NEFF.

Problèmes

Par le passé gaspillage d'énergie

Nouveaux outils pour la recherche

Trois volets:

une pièce

l'ensemble du bâti- ment

conception

A. Numerische Ermittlung der Luftströmung im Einzelraum.

Problem Gittergenerierung

Für die numerischen Simulation ist meist eine sehr grosse Zahl von Gitterelementen erforderlich, in der Grössenordnung von mehreren 100'000. Nun ist aber nicht so sehr diese Zahl angesichts der ständig verbesserten Rechnerleistungen das Problem, sondern die Vorbereitungsarbeit für die Gittergenerierung, welche zusammen mit der Formulierung der Randbedingungen den Hauptteil der Kosten ausmacht. Es wurde deshalb eine Kennziffer G ermittelt, welche das Raumvolumen, die Zuluftrate pro Zeiteinheit und die kinematische Luftzähigkeit sowie eben die Anzahl der Gitterelemente enthält. Je kleiner G ist, desto grösser muss die Zahl der Elemente sein. Für ein qualitatives Strömungsbild genügt ein Wert $G = 5$; für quantitative Angaben ist ein schärferer Wert $G = 2$ nötig.

Kennziffer G

«Ersatzrandfläche» definiert

Die Randwerte sind ihrerseits für die Ausbildung der Strömung entscheidend, besonders an den Einlässen, wo nicht nur die Geschwindigkeit, sondern auch die Turbulenz der einströmenden Luft bekannt sein muss. Würde das Simulationsgebiet in die Luftzuführung vorverlegt, so könnten im Prinzip diese Einströmgrössen errechnet werden, doch wäre wegen der üblichen feingliedrigen Konstruktion der Bauelemente eine viel zu grosse Zahl von Gitterelementen nötig; überdies stehen vom Produzenten her die nötigen Konstruktionsangaben kaum zur Verfügung. Eine Lösung besteht darin, in Vorausrechnungen oder in Experimentserien die erforderlichen Grössen auf einer Strömungsfläche nach dem Lufteintritt zu bestimmen und diese dann als «Ersatzrandfläche» für die eigentliche Raumströmungssimulation zu verwenden. Im Projekt wurden Kriterien zur Wahl der Grösse dieser Ersatzfläche ermittelt.

Fluktuationen entdeckt

Im weiteren wurde eine interessante Erscheinung entdeckt: Auch bei stationären äusseren Bedingungen können sich im Raum Strömungsfluktuationen (langsame von der Grössenordnung der Minute, also nicht die übliche Turbulenz) ergeben. Diese Fluktuationen sind keineswegs das Resultat numerischer Instabilitäten, sondern entsprechen realen Vorgängen, die bisher vermutet, aber mangels geeigneter Messtechnik nicht bewiesen werden konnten. Es existiert ein Wert für die oben erwähnte Kenngrösse G (kleiner als 1), welche das Auffinden solcher eventueller Fluktuationen sicherstellt; sie können bewirken, dass Schad- und Geruchsstoffe an ganz verschiedene Orte transportiert werden. Abb. 1 zeigt die verschiedenen Strombahnen während einer solchen Fluktuation.

A. Détermination numérique de l'écoulement d'air dans une pièce

La simulation numérique exige dans la plupart des cas un très grand nombre de mailles, de l'ordre de plusieurs centaines de milliers. Ce n'est toutefois pas ce nombre qui constitue l'obstacle principal, vu l'amélioration constante de la puissance des ordinateurs, mais le travail préparatoire de la génération du maillage qui constitue, avec la formulation des conditions aux limites, l'essentiel des coûts. C'est pourquoi on a déterminé un nombre caractéristique G contenant le volume de la pièce, le débit de l'air amené par unité de temps et la viscosité cinématique de l'air ainsi que le nombre de mailles. Plus G est petit et plus le nombre d'éléments doit être grand. Une valeur $G = 5$ suffit pour une représentation qualitative de l'écoulement: des résultats quantitatifs requièrent une valeur plus petite $G = 2$.

Les conditions aux limites sont elles-mêmes cruciales pour la formation de l'écoulement, en particulier aux points d'admission où la turbulence de l'air affluant doit être connue en plus de la vitesse. On pourrait en principe déterminer ces grandeurs en étendant la simulation à la conduite d'admission d'air. Cela demanderait toutefois un nombre bien trop élevé de mailles, étant donnée la finesse des éléments de construction; en outre, les détails de construction nécessaires ne peuvent pratiquement pas être obtenus auprès des fabricants. Une solution consiste à déterminer les grandeurs nécessaires sur une surface d'écoulement en aval de l'admission d'air par des calculs préliminaires ou des séries d'expériences, puis à utiliser cette surface comme «section d'entrée fictive» pour la simulation du mouvement de l'air proprement dite. Des critères élaborés au cours du projet permettent de déterminer la taille de cette surface.

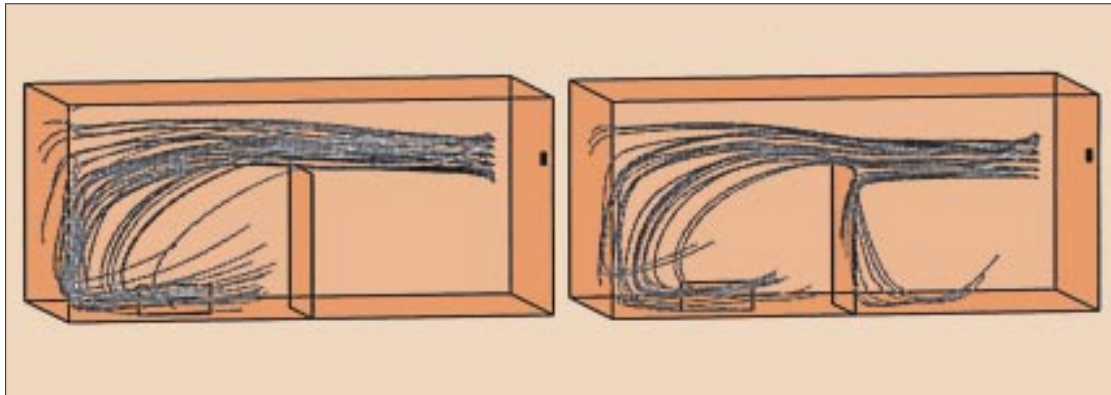
Un effet intéressant a aussi été découvert: même si les conditions externes sont stationnaires, des fluctuations peuvent apparaître dans l'écoulement (elles sont lentes, de l'ordre de la minute et ne sont donc pas des turbulences au sens usuel du terme). Ces fluctuations ne doivent en aucun cas être attribuées à des instabilités numériques, elles représentent bien des processus réels dont on soupçonnait jusqu'ici l'existence mais sans pouvoir la confirmer faute de techniques de mesure adéquates. Il existe une valeur (inférieure à 1) de la grandeur caractéristique G considérée plus haut qui garantit la détection de fluctuations de ce genre s'il s'en trouve; elles peuvent être la cause du transport de substances nocives et d'odeurs à des endroits complètement différents. La figure 1 montre les différentes trajectoires d'écoulement au cours d'une fluctuation de ce genre.

**Obstacle:
génération du maillage**

**Nombre
caractéristique G**

**Définition d'une
«section d'entrée
fictive»**

**Fluctuations
découvertes**



Sachverstand gefragt

Auf Grund der Erfahrungen kann gesagt werden, dass es heute ein leichtes ist, schönste graphische Darstellungen von Raumströmungen zu produzieren, welche aber u.U. mit der Realität nichts zu tun haben, da sie durch das Setzen der Randbedingungen beliebig manipuliert werden können. Eine zutreffende Lösung setzt den physikalischen Sachverstand des Lüftungsfachmanns voraus.

Gebäude ist komplexes Strömungsnetz

Tracer verraten Leckagen

Knotenwerte?

B. Luftströmung durch das Gesamtgebäude

Das Gebäude stellt für die Luftströmung ein Kanal- und Volumennetz mit sehr vielen, oft unbekanntem Übertrittsquerschnitten dar; man denke an Undichtheiten von Fenstern gegen aussen oder an Türspalten im Inneren. Da auch die Über- und Unterdrücke an den Fassaden je nach Windrichtung, aber auch je nach Temperatur verschieden sind (die Druckabnahme mit der Höhe aussen und innen hängt entscheidend auch von der lokalen Temperatur ab; bei offenen Fenstern gilt dies selbst für nur ein Stockwerk), so können sich an derselben Stelle Strömungen in der einen oder anderen Richtung ausbilden. Im Brandfall ist die Kenntnis der Luftwege direkt lebensnotwendig. Es wurde deshalb im Projekt ein Mess- und zugehöriges Auswerteverfahren entwickelt, welches im Gebäude mehrere (ungiftige) Tracergase einsetzt und aus der Entwicklung der Konzentrationen in verschiedenen Räumen Rückschlüsse auf die Werte dieser Leckageöffnungen erlaubt, siehe Abb. 2. Es wurde erfolgreich eingesetzt und führte dazu, dass die für die Strömung von Raum zu Raum entwickelten Rechenprogramme (auch ein Resultat von ERL) Ergebnisse liefern, welche gut mit der Wirklichkeit übereinstimmen.

Da bei der Betrachtung des Gesamtgebäudes die einzelnen Räume als Knoten vereinfacht werden müssen, erhebt sich noch die Frage, welche Werte aus dem komplizierten Feld der Temperatur oder Schadstoffkonzentration im Einzelraum (Beschreibung eines Zimmers gemäss Teilbereich A) denn die massgebenden Knotenwerte darstellen; auch hierzu konnten Regeln und Methoden aufgezeigt werden.

Abb. 1

Unterschiedliche Strombahnen zu zwei um 76 sec auseinander liegenden Zeiten in einem Raum bei konstanten Randbedingungen; die Strömung wechselt periodisch zwischen den zwei Zuständen. Der Raum hat eine partielle Trennwand; die Zuluft strömt durch eine Öffnung rechts oben ein. In der einen Situation strömt alle Zuluft über die Trennwand, in der anderen wird ein Teil von der Trennwand abgefangen.

Fig. 1

Différentes trajectoires d'écoulement à des instants séparés de 76 sec dans une pièce où les conditions aux limites sont constantes; l'écoulement alterne périodiquement entre les deux états. La pièce possède une paroi de séparation partielle; l'air amené provient d'une ouverture en haut à droite. Dans un des cas, tout l'air amené s'écoule par-dessus la paroi de séparation, dans l'autre, une partie de l'air est capturée par la paroi de séparation.

En outre les expériences accumulées permettent de conclure qu'il est aujourd'hui facile de produire les plus belles représentations graphiques d'écoulement dans les pièces sans que celles-ci aient nécessairement quelque chose à voir avec la réalité en manipulant les conditions aux limites. Le savoir d'un spécialiste de l'aération est indispensable pour parvenir à une solution adéquate.

**Savoir d'un spécialiste
indispensable**

B. Écoulement d'air dans le bâtiment entier

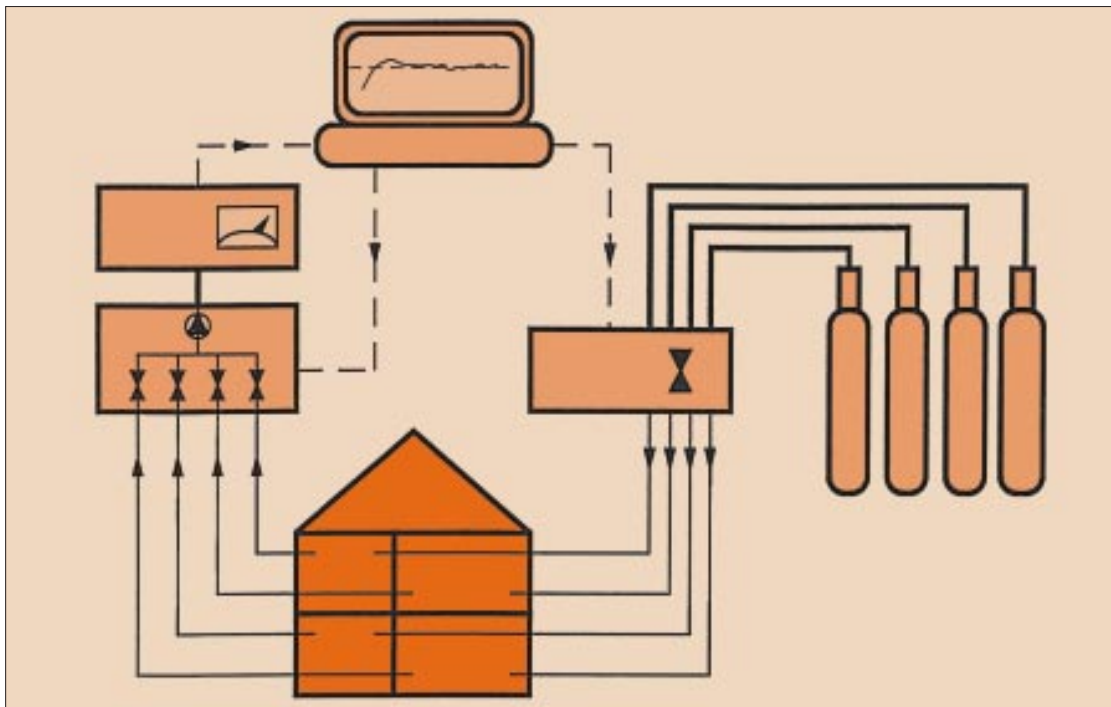
Le bâtiment représente pour l'écoulement d'air un réseau de canaux et de volumes comportant de nombreuses sections de passage souvent mal connues. Il suffit de penser au manque d'étanchéité des fenêtres par rapport à l'extérieur ou aux fentes des portes à l'intérieur. Les surpressions et dépressions s'exerçant sur les façades diffèrent selon la direction du vent et aussi selon la température (la diminution de pression en fonction de la hauteur à l'extérieur et à l'intérieur dépend de façon cruciale de la température locale; cela s'applique même à un seul étage si les fenêtres sont ouvertes); des courants peuvent donc se former dans une direction ou l'autre au même emplacement. En cas d'incendie, une connaissance de la direction de circulation d'air est d'importance vitale. On a donc développé dans le cadre du projet un procédé de mesure et de traitement des données dans lequel on utilise des gaz traceurs (inoffensifs) dont la concentration dans les différentes pièces permet de tirer des conclusions sur ces interstices de passage comme le montre la fig. 2. Ce procédé a été utilisé avec succès et a conduit à ce que les résultats des programmes de calcul développés pour les échanges d'air de pièce à pièce (un autre résultat de l'AEAB) correspondent bien à la réalité.

**Le bâtiment, un réseau
complexe de courants**

**Gaz traceurs révèlent
les interstices de pas-
sage**

Comme l'analyse de l'ensemble du bâtiment requiert que la structure d'une pièce soit simplifiée pour ne former qu'un noeud, la question se pose de savoir, vu leur structure compliquée, quelles sont les valeurs des champs de température et de concentration de polluants (décrivant selon volet A la situation dans une pièce) qui correspondent à celles de chaque noeud; dans ce cas aussi, il a été possible d'indiquer les règles et les méthodes à suivre.

Valeurs de noeud?



C. Lüftungssysteme und Lüftungsplanung

Sanfte Lüftung

Neue sanfte Lüftungsverfahren mit weniger Zuluft, aber gezielter Strömungsführung sparen Energie und geben erst noch bessere Luftqualität; sie sind aber heikler in der Auslegung. Nicht immer sind (aus Kostengründen) die oben erwähnten Recheninstrumente angemessen. Es wurden deshalb in Zusammenarbeit mit Planungsfirmen Hilfsmittel in Diagrammform geschaffen, welche die zielgerichtete Planung für Standardräume erlauben und trotzdem den komplexen Zusammenhängen Rechnung tragen. Abb. 3 zeigt den Fall der Quell-Lüftung, bei welcher die Zuluft leicht kühler am Boden eingeführt wird und dort einen «Frischlufsee» bildet. Der Mensch hat nun wegen seiner Metabolik eine Übertemperatur an seiner Kleideroberfläche, weshalb sich eine Auftriebsströmung bildet, mit welcher er sich die Frischluft aus dem See automatisch aufwärts zu seiner Nase auf einer typischen Höhe von 110 cm fördert. Natürlich soll die Temperatur im Fussbereich nicht zu tief sein, und die vertikale Temperaturzunahme im Raum muss beherrscht werden. Örtliche Gegebenheiten wie Sonneneinstrahlung auf den Boden etc. haben natürlich einen Einfluss. All dies ist im Planungswerkzeug berücksichtigt, so dass die energiesparende Lösung nicht durch lufttechnische Fehlschläge diskreditiert wird.

Diagramme als Hilfe

Quell-Lüftung

Abb. 2

Schema einer Messanordnung, welche mit verschiedenen Tracergasen arbeitet, welche in die verschiedenen Räume eines Gebäudes nach einem bestimmten Programm eingebracht werden. Die automatisierte Auswertung der gemessenen Konzentrationen erlaubt die Ermittlung der Grösse der Leckageöffnungen zwischen den Räumen oder nach aussen.

Fig. 2

Schéma d'un dispositif de mesure fonctionnant avec différents gaz traceurs introduits dans les différentes pièces d'un bâtiment selon un plan défini. L'évaluation automatique des concentrations mesurées permet de déterminer la taille des interstices de passage entre les pièces ou vers l'extérieur.

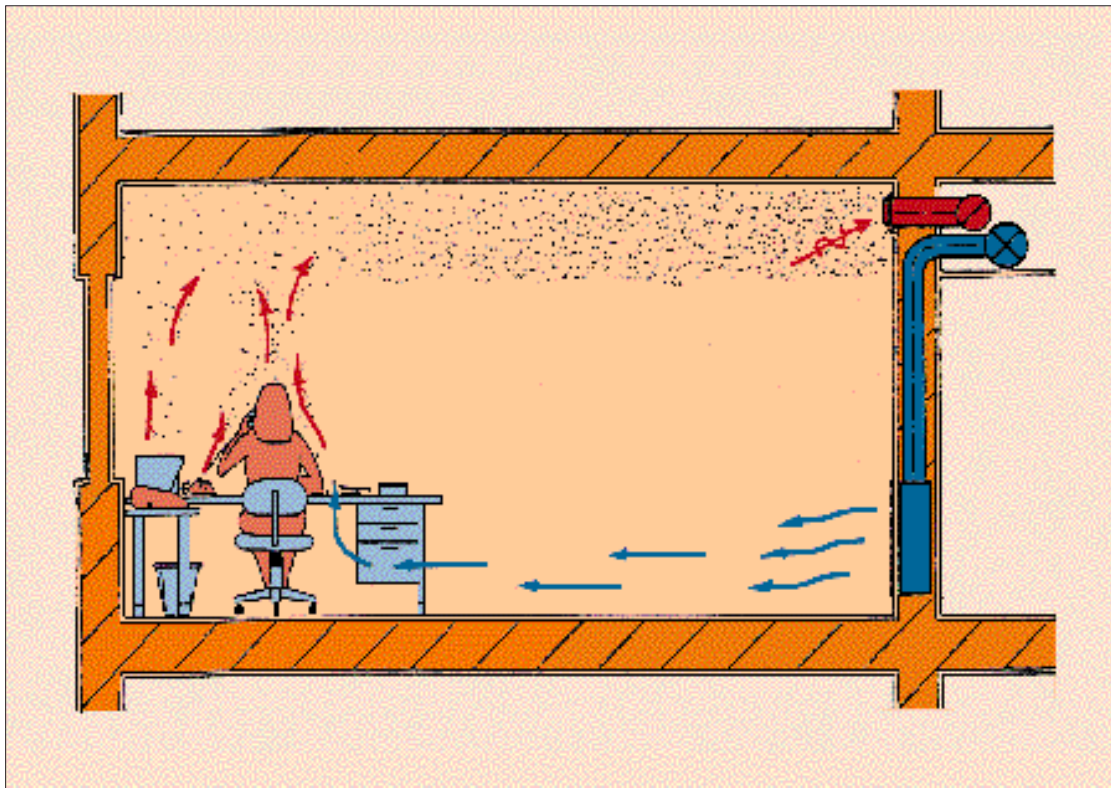
C. Systèmes d'aération et conception de l'aération

Les nouvelles techniques douces d'aération utilisant moins d'air, mais canalisant plus efficacement les échanges d'air, ce qui permet d'économiser l'énergie tout en améliorant encore la qualité de l'air, sont toutefois délicates à mettre en oeuvre. Les moyens de calcul évoqués plus haut ne sont pas toujours appropriés (problème des coûts). C'est pourquoi des outils ont été élaborés sous forme de diagrammes en collaboration avec des bureaux d'études. De tels auxiliaires permettent de concevoir des pièces standardisées conformes à leurs buts tout en tenant compte malgré tout de la complexité des relations. La figure 3 illustre le principe d'une ventilation par déplacement qui fournit de l'air à une température légèrement plus basse au niveau du sol et y forme un «lac d'air frais»: le métabolisme du corps humain produit toutefois un excès de température à la surface de ses vêtements, ce qui cause un courant ascendant qui fait monter automatiquement l'air frais du «lac» jusqu'aux narines à une hauteur typique de 110 cm. La température de la zone des pieds ne doit naturellement pas être trop basse, et l'accroissement vertical de température dans la pièce doit être maîtrisé. Les facteurs locaux tels que le rayonnement solaire sur le sol etc. ont bien entendu une influence. Il importe de tenir compte de tout cela dans l'outil de conception pour que la solution économique en énergie ne soit pas discréditée par des défauts d'aéraulique.

Aération douce

Diagrammes auxiliaires

Ventilation par déplacement



Gesamtbetrachtung

Internationale Anerkennung

Das Projekt ERL war für die Beteiligten eine sehr positives Erlebnis; wissenschaftlich schwierige Probleme verbanden sich mit der Umsetzung der Ergebnisse in den Alltag der Haustechnik; es führte auch zu internationaler Anerkennung, so dass Mitarbeitern aus dem Projekt bei zwei internationalen Folgeprojekten der Internationalen Energie Agentur IEA die Rolle des «Operating Agent» anvertraut wurde und die Gruppen zur Mitarbeit in mehreren Europrojekten eingeladen wurden.

Projekt-Wirkungen:

Was hat der NEFF also durch die Finanzierung des ERL -Projekts bewirkt?

Kontinuität

Zusätzlich zum Erwerb wertvoller neuer Erkenntnisse, was ja das selbstverständliche Ziel jeder Forschung ist, und welche dazu führen, dass bei der Lüftung anspruchsvollerer Gebäude merklich Energie gespart werden kann (größenordnungsmässig 20 %), hat der NEFF

- durch die Kontinuität seiner Zusage (zur Sicherung der Kontinuität trugen ebenfalls das BEW und die Eigenmittel aus zwei ETH-Instituten bei) ein derartig lang angelegtes, zielgerichtetes Projekt überhaupt erst ermöglicht,

Abb. 3

Das Prinzip der Quelllüftung: Leicht kühlere Luft strömt durch bodennahe Einlässe ein und bildet einen Frischluftsee. Personen oder Apparate verursachen durch ihre wärmeren Oberflächen eine lokale Auftriebsströmung von Frischluft aus dem See, wodurch Verunreinigungen nach oben abgeführt werden.

Fig. 3

Principe de la ventilation par déplacement: l'air est introduit à une température légèrement plus basse par des orifices d'admission proches du sol et forme un lac d'air frais. La surface plus chaude des personnes ou des appareils cause un courant local ascendant d'air frais à partir du lac, ce qui évacue les impuretés vers le haut.

Considérations globales

Le projet AEAB a constitué une expérience très enrichissante pour les collaborateurs concernés; des problèmes scientifiques complexes étaient imbriqués à la mise en application des résultats dans la pratique journalière des techniques du bâtiment; la reconnaissance internationale obtenue a permis à des collaborateurs du projet de participer à titre de «Operating Agent» à deux projets dérivés de l'agence internationale de l'énergie AIE et les groupes ont été invités à participer à plusieurs projets européens.

Qu'a donc atteint le NEFF en finançant les projets AEAB?

Outre l'acquisition de nouvelles connaissances importantes, ce qui est en fin de compte le but de toute recherche, conduisant à des économies sensibles d'énergie (de l'ordre de 20 %) dans l'aération des bâtiments à partir d'une certaine taille, le NEFF a

- tout d'abord créé les conditions nécessaires à la poursuite d'un projet de si longue haleine visant un but bien précis par la continuité de son soutien (pour assurer la continuité, l'OFEN et les fonds propres des deux EPF ont été aussi mis à contribution).

Reconnaissance internationale

Effets du projet:

continuité

- Industrie-Kooperation**
- die dauernde Partizipation der Industrie und ihre Mitarbeit über den blossen Tagesbedarf der betreffenden Unternehmen hinaus bewirkt. Diese Kooperation war aber die Bedingung dafür, dass relevante Ergebnisse bis zur Umsetzung in die Praxis erzielt wurden.
- Kompetenz-Aufbau**
- eine das Projekt überdauernde Kompetenz aufzubauen geholfen, welche sich auch in die internationale Forschungsgemeinschaft auswirkt.

Der Autor :
Moser (Suter s. S. 88)

Alfred Moser hat 1966 an der ETH Zürich als Maschineningenieur diplomiert. Darauf arbeitete er während sechs Jahren in den USA in zwei Firmen der Luftfahrtindustrie. Nach der Rückkehr in die Schweiz (1975) war er vier Jahre lang in der Gasturbinen-Entwicklungsgruppe der Gebrüder Sulzer in Winterthur tätig (Berechnungen von Gasströmungen). Mit zehn Jahren Industrieerfahrung erarbeitete er an der ETH Zürich eine Dissertation über nichtlineare Gasschwingungen. Im Jahr 1984 war er einer der ersten Mitarbeiter des damals neuen Laboratoriums für Energiesysteme unter Leitung von Prof. Dr. P. Suter. Von 1986 bis 1994 war er Teilprojektleiter im NEFF-Projekt 339, ERL. Heute leitet er die Arbeitsgruppe Air & Climate (Professur für Haustechnik an der Abt. I), die sich mit numerischer Simulation von Luftströmungen und Wärmeübergang in Räumen befasst. Von 1992 bis 1997 ist er Projektleiter (Operating Agent) des IEA Projektes Annex 26, «Energy-Efficient Ventilation of Large Enclosures».

Adresse des Autors: Dr. Alfred Moser, Air & Climate, ETH-Zentrum LOW E 2, CH-8092 Zürich, Tf.: 0041 (0)1 632 36 41.

- assuré la participation constante de l'industrie et la collaboration des entreprises au-delà de leurs simples besoins au jour le jour. Cette coopération était en effet la condition nécessaire pour mettre en pratique les résultats obtenus.
- aidé à développer des compétences qui survivent à la fin du projet, ce qui a eu aussi des répercussions sur la communauté de recherche internationale.

Coopération de l'industrie

Développement des compétences

Alfred Moser a obtenu un diplôme de génie mécanique à l'EPF de Zurich en 1966. Il a travaillé ensuite pendant six ans aux USA dans deux entreprises aéronautiques. De retour en Suisse, dès 1975, il a fait partie du groupe de développement des turbines à gaz chez Gebrüder Sulzer à Winterthur (calcul d'écoulements gazeux). Après dix ans d'expériences industrielles, il a soutenu une thèse à l'EPF de Zurich sur les oscillations non-linéaires des gaz. En 1984, il fut un des premiers collaborateurs du nouveau laboratoire des systèmes énergétiques sous la direction du Professeur P. Suter. De 1986 à 1994, il a dirigé un des volets du projet 339 ERL du NEFF. Il dirige aujourd'hui le groupe de travail Air & Climate au sein de la chaire de technique des bâtiments (section d'architecture) qui étudie par simulation numérique les écoulements d'air et le transfert de chaleur dans les locaux. De 1992 à 1997, il fut «Operating Agent» du projet AIE Annex 26, «Energy-Efficient Ventilation of Large Enclosures».

**L'auteur:
A.Moser (Suter viz. p. 89)**

Adresse de l'auteur: Dr Alfred Moser, Air & Climate, ETH-Zentrum LOW E 2, CH-8092 Zurich, Tél.: 0041 (0)1 632 36 41.

Comments to Chapter 5

- Author:*** This essential part of the book was written by Dr. Rudolf Weber †, based on the final research reports of the projects and supplemented by additional informations and recent comments of the project leaders.
Dr. John Fernihough has been a meticulous corrector. Final proof reading was done by Prof.Dr. Alec Baer
- Selection criteria:*** A great number of projects —see the full list of projects subsidized by NEFF in chapter 7— were interesting and warranted consideration for inclusion in this book. The Executive Committee of the Board of the NEFF decided to choose projects which were carried out in the 1990s only. The selection should be representative of the spectrum of fields in energy research supported by the NEFF and of the spread of research institutions involved.
- The main selection criteria have been
- attractiveness of the goals and results of the project,
 - high qualification of the researchers and quality of the work and
 - relevance for technology transfer to potential industries.
- Presentation:*** The texts are arranged according to increasing project numbers. These numbers have been given by the secretariat to all incoming research proposals.
- Though this part is mainly addressed to readers familiar with original research publications on energy, persons from other fields should not be excluded. Therefore, to enhance readability a two-prong strategy has been used:
- The text itself describes the general lines of the project without going in too many details,
 - the illustrations, however, taken mostly from the original reports, together with their captions may be read as a parallel story with more technical information than the text itself.
- Language:*** English has been selected to ensure the broadest possible dissemination of the information. It is after all the almost universally used language in science and technology.

5 A Selection of 20 Projects

	<i>Project no.</i>
114 <i>In memoriam Dr. Rudolf Weber †</i>	
116 <i>Hybrid dry cooler for industrial processes and climatization</i>	352
124 <i>Fault current limiter based on high T_c superconductors</i>	406
132 <i>Non-conventional deep gas project in the Central Swiss Alps</i>	422
142 <i>A pressure-wave machine with constant volume combustion</i>	426
154 <i>Diffusion-absorption heat pump with a 1.5 COP</i>	434
166 <i>500 kW photovoltaic power plant PHALK Mont-Soleil</i>	442
178 <i>Fundamentals of low-NO_x burners and boilers with flue gas recirculation</i>	451
186 <i>Ecomobile «Hybrid III» — a concept reducing fuel consumption and emissions</i>	469
200 <i>Improving the accuracy of Acoustic Discharge Measurement in hydropower conduits</i>	489
210 <i>Urban district heating with heat pumps utilizing thermal energy from Swiss lakes</i>	496
218 <i>Numerical simulation of electromagnetic processes, especially induction heating</i>	497
228 <i>A novel solid oxide fuel cell system for co-generation of electricity and heat</i>	500
238 <i>High-power short-term energy storage with magnetically suspended flywheel</i>	525
246 <i>Development of fibre traps for finest Diesel exhaust particulates</i>	527
258 <i>Energy saving in ventilation systems by recirculating and filtering air</i>	544
266 <i>Development of a façade system with integrated solar cell modules</i>	557
272 <i>Optimizing the combination of heat pump and wood fire for home heating</i>	573
280 <i>A novel arc detector in photovoltaic arrays</i>	584
286 <i>An expert system for fault analysis in co-generation plants</i>	626
296 <i>Flow-induced vibrations in staggered tube arrays of heat exchangers</i>	631
308 <i>Index</i>	

In memoriam



Rudolf Weber

**Dr. techn. Dipl. Ing.
Wissenschaftspublizist
12. 02. 1940 - 29. 08. 1997**

Rudolf Weber was born and raised in Kufstein (Tyrol). He graduated in physics from the Technical University of Vienna (TH Wien) and obtained a Ph.D. from the same university in 1969, with a thesis on superconductivity. After five years as a lecturer at the Monash University, Melbourne, Australia, he became technical editor with the company Siemens KWU, Erlangen, Germany, and, in 1976, he served as editor-in-chief of the Swiss Association for Atomic Energy (SVA), Berne.

Beginning in 1976, he has written numerous articles for technically interested non-specialists. They have been published in more than thirty newspapers and journals. In 1979, he started his career as author and editor of popular books, mostly on recent achievements in

energy research. Among his eighteen books are five 'pocket dictionaries' («Webers Taschenlexika»). Second, updated editions of two of them, «Renewable Energy» and «Waste Management» have been published in 1995 und 1996 respectively. For these dictionaries he had developed his own characteristic style, e.g. each keyword being explained on facing pages.

Most of his books have been published by his own publishing house, «OLYNTHUS», founded in 1985. They cover such topics as solar electricity, nuclear power, hydrogen technology, aluminium or energy conservation in buildings for instance. In addition to the books which he has written on his own initiative, he has also been an editor and author of parts of books on the development of technology in Switzerland. The Swiss Federal Office of Energy engaged him to write and edit reports about its energy conferences as well as about energy related subjects. The Board of the NEFF has vowed that this book should be completed, as a monument to Weber's outstanding ability to make the achievements of researchers intelligible to a broad public of non-specialists. Weber's texts are models of didactic clarity that never sacrifice the accurate presentation of scientific knowledge.

For fourteen years, the NEFF has drawn considerable advantage from its collaboration with Weber. Between 1984 and 1993, for instance, it published ten blue annual brochures, each containing the text of about eight newspaper articles written and published by Weber about various NEFF projects. Consequently, not only has the NEFF itself become better known to the public at large, but these Weber articles have proved more than once to be an efficient way to create contacts between the authors of the projects and industrial firms interested in developing products based on their results.

As the NEFF was aware and appreciative of the great qualities of Weber, it was only natural to ask him to collaborate in the preparation of the present volume. On the basis of information gathered from final project reports, but also from his numerous personal contacts with their authors, Weber has written all twenty technical articles about the projects selected for the book. The Board of the NEFF deeply regrets that his sudden and unexpected demise has prevented him from seeing the final stages of a publication into which he had been putting so much effort.

The NEFF has evidently not been the only institution to appreciate Weber's considerable skills as a science publicist and to recognize the value of his endeavor. Indeed, between 1981 and 1990, Weber's work has been honoured by not less than five distinguished awards.

The Board of the NEFF foundation expresses its high appreciation for Dr. Rudolf Weber's oeuvre and its considerable debt of gratitude to a great science publicist!

Project no. 352

Hybrid dry cooler for industrial processes and climatization

A reliable cooler for power plants, combining the advantages of the evaporation and the dry cooling techniques, was the goal of a project performed by Jäggi AG, of Berne, from 1987 until 1992. Based on a concept derived from previous studies, measurements at various research institutions clarified details important to the optimum functioning of such hybrid coolers. In a prototype all findings were put to use. The final result is a modular series of coolers which has been commercially successful, though mainly in the field of climatization. They show superior performance over conventional dry coolers for cooling fluids down to ambient air temperature, and not more than 7 K below. The Jäggi coolers also save considerable energy and water, and there is no fogging.

Project target

a basically air-cooled, but evaporation assisted re-cooler for central heating and power plants

saving energy, water, space and weight compared to evaporation and dry coolers

acceptable noise levels, no fogging

economically competitive

In the summer of 1986, Jäggi AG, of Berne, applied to the NEFF for financial assistance for a project entitled »Hybrid Cooler«. A more detailed description specified an air-cooled plant for cooling or condensing fluids in closed circuits – especially the cooling water of electric power plants – down to temperatures around that of ambient air. The novel technology ought to combine the advantages of both dry and evaporation cooling, thereby saving energy, water, space, and weight. The hybrid dry cooler promised to be producible at competitive costs, and to offer non-fogging as the main environmental asset.

In the background of this proposal stood experiences made elsewhere with dry coolers. Here, in the simplest case, the fluid to be cooled passes through tubes exposed to the open air, which may be agitated by a ventilator to increase the air volume flow thus enhancing the heat transfer away from the tubes. Wet cooling, in addition to this purely convective process, also makes use of evaporation. Water is sprayed onto the tubes and a portion evaporates, taking the heat for this phase change from the tubes and the liquid inside them.

Applications

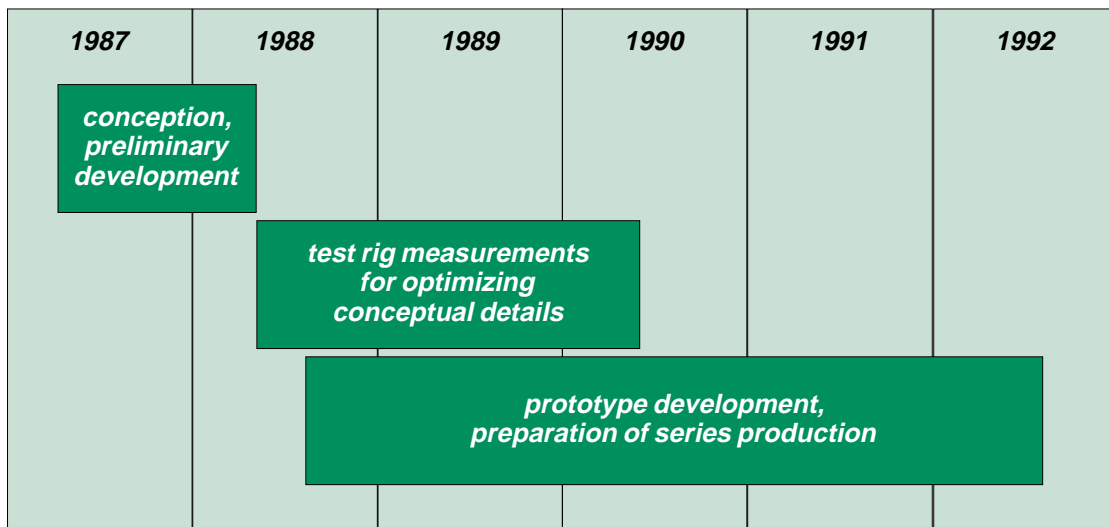
cooling or condensing of fluids in closed circuits to temperatures around or below ambient air

e.g. for climatization, re-cooling in industrial processes, co-generation, or waste incineration

Combining dry and wet cooling

Clearly, evaporation cooling is much more efficient than dry cooling. In other terms: Dry coolers require many times the plant volume to achieve the same effect, and the use of ventilators to improve the efficiency by increasing the air mass-flow consumes considerable amounts of electricity. The drawback of evaporation cooling, however, is fogging in conditions of elevated air humidity. Such fogging may be intolerable in populated areas. In arid places, resources to replace the evaporated water may not be available.

With a view to power plant applications, Jäggi, a medium-sized enterprise specializing in industrial cooling equipment, and the Swiss Federal Institute of Reactor Research (EIR), now Paul Scherrer Institute



(PSI), had set out in 1982 to improve the performance of dry cooling towers by wetting the surface. Whereas the EIR concentrated on moistening the air blown over the cooling plant, or spraying water onto it, Jäggi embarked on flooding fins vertically mounted on the tubes.

Over the following years, Jäggi undertook numerous experiments and measurements, resulting in a rather well defined concept of their »hybrid dry cooler« (called hybrid, Greek for mongrel, because it is a combination of dry and wet cooling, and dry cooler, because dry cooling is the base). It was determined that for efficient cooling, the water should be forming a film on the fin. This is best achieved when

- the water flows down from the edge of an open trough,
- the cooling elements, consisting of horizontal tubes and vertical fins, are tilted at an angle of 20 ° to the vertical,
- air is sucked through the elements at a rate of more than 6 t per m² per hour (sucking is preferable to blowing, as the air is warmed up in the element, and hence icing of the ventilator bathing in this air does not occur).

Open questions

In those years, however, the market showed no demand for coolers different from the conventional ones. In 1986, Jäggi recognized signs of interest in the novel technology, and foresaw some potential in the field of heating and climatization. That year Jäggi applied to the NEFF because transferring the concept into a reliable and competitive product would require research and development work beyond the means of the company. Many questions had yet to be answered in much more detail, e.g.: What is the best way to shed the water onto the fins? Which is the optimum fin geometry? Fundamental research was to provide the data for computer programs for dimensioning coolers, and predicting their performance. Safe and reliable operation

Conception of the hybrid cooler, based on studies in the years before and preliminary development work, were performed in 1987/88. This was followed by two years of intensive measurements intended to clarify and optimize details. Prototype development was started as soon as the first measurement results were known, and was continued until 1992, when a modular line of production coolers was ready for marketing.

Data of series plant optimum, economical cooling range 26 to 30 °C

minimum temperature 7 K below ambient air

module cooling power 300 kW to 2 MW

no fogging under any atmospheric conditions

compared to dry (or evaporative) coolers up to 90 % savings of electricity (or 50 % of water)

light weight for roof installation



One of the first production hybrid coolers, built in 1992, serving to dry the sludge of a water purification plant. The cooling power of 1.8 MW, at a temperature of 28 °C and at a relative humidity of 42 % of the ambient air, suffices to reduce the temperature of the process fluid (water with 30 % ethylen glycol) from 36 to 26 °C.

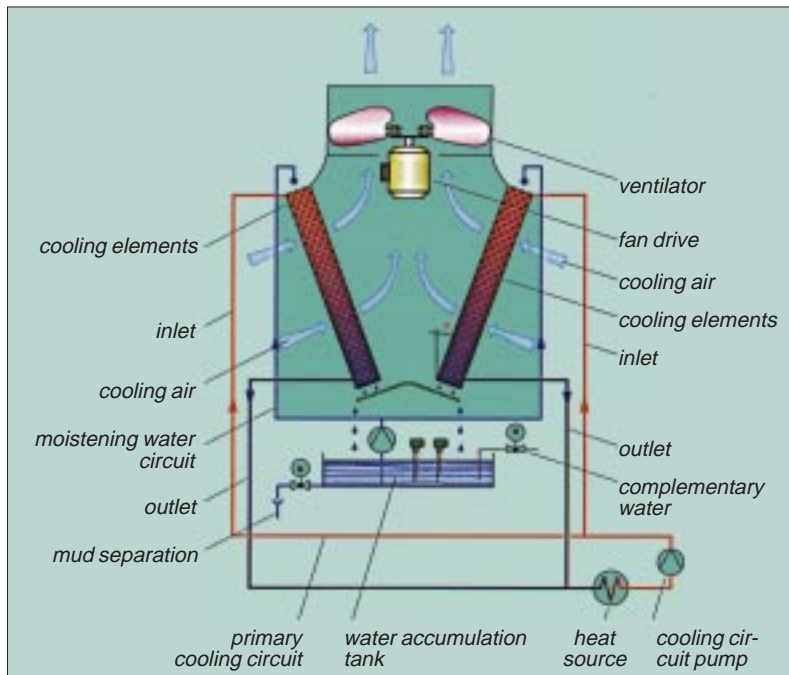
as well as corrosion resistance had yet to be demonstrated, while the control of cooling power was another challenge.

In the Spring of 1987, the NEFF as well as other institutions (the Swiss Federal Office of Energy, BEW, the Canton of Berne, and the Swiss Federal Commission for the Promotion of Scientific Research, KWF) granted financial support, all of them »realizing the potential and importance of the hybrid technology for the Swiss industry, both producers and users«, to quote a jury member.

Project work was begun in mid-1987. The engineering part of the development was to be performed at Jäggi and would center around the construction of a prototype. This included scaling up of laboratory models and experiments on corrosion protection. Much attention was to be paid to practicality for series production and easy maintenance. External institutions were entrusted with carrying out the scientific part of the project.

Optimizing moistening

At the School of Engineering (HTL) at Brugg-Windisch, a special test rig served to investigate all items concerning moistening the cooling elements. The rig partly consisted of series components, and the entire arrangement was chosen to be as close to a commercial product as possible. Some parts were made of transparent materials to allow visual inspection of the water flow. The cooling elements could be connected in series, or parallel. Within two years, nearly 300 series of measurements were made.

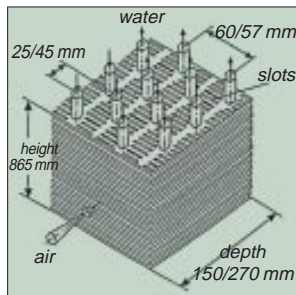


Schema of the hybrid dry cooler: Ambient air is sucked by the ventilator through the tilted finned elements. The fins (which are attached to the horizontal tubes containing the fluid to be cooled) are moistened with water flowing down from the longitudinal edge of an open trough. Part of the water evaporates in the air flow – the heat of evaporation is taken from the element, and hence the fluid is cooled. At low temperatures of the ambient air, moistening is not necessary, as the purely convective effect of the sucked air may suffice for cooling. The water not evaporated is collected and, after conditioning and replacing the evaporated part, reused for moistening.

- Water input: From preliminary experiments, open channels emerged as the favourite technique. The water outflows over a longitudinal edge, and the position of this edge with respect to the fin-element is of utmost importance.
- Comparison of single and tandem elements. A single element is a stand-alone parcel of tubes carrying the fluid to be cooled, and of fins surrounding the tubes. A tandem element consists of a second element placed next to the first one in the direction of the air flow. This further warms the air, thereby reducing its relative humidity for safely avoiding icing. It was shown for single elements that cooling power is tripled when they are moistened, whereas for tandem elements cooling power is increased by only 35 % over that of single elements. This rules out tandem elements for economical standard applications.
- Comparison of old and new fin geometry. New fins of »type 10« were designed by Jäggi to increase turbulence, thus improving moistening and self-cleaning. At equal ventilator power, tandem elements gained 9.3 % in cooling power; at equal cooling power, 30.3 % less ventilator power was required – all relative to the old »type 9« fins. The corresponding values for single elements are 12.6 % and 44.7 %.
- Wetting: Depending on the position of the water input edge, and on the ventilated air volume-flow, the fin surface may not be fully moistened. Up to 2.5 ppm of surfactant added to the water slightly improve this moistening, and hence the cooling power. More than 2.5 ppm tends to cause thin »soap skins« bridging the fins, with the resulting air pressure drop across the element annihilating any gain in cooling power.

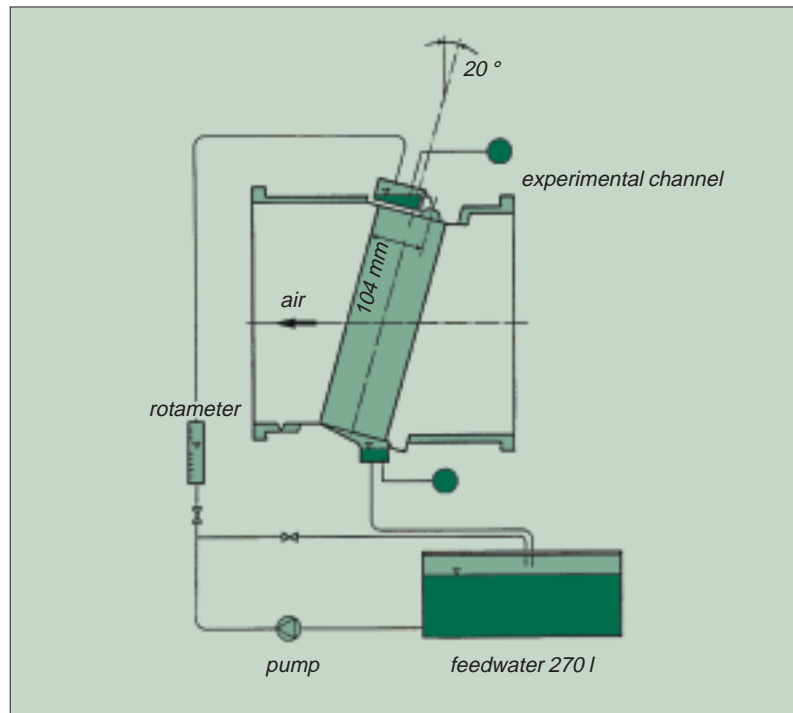


The test rig JET V at the HTL Brugg, which served to determine the best way of moistening the finned elements. In the foreground on the right such an element, on the left the measuring electronics, and in between and on top the ventilator plant sucking the air through the element.



Top:
Schema of a finned element. The fins made of aluminum are attached to the tubes carrying the fluid to be cooled, thus conducting heat away from them. Ambient air is sucked through, between the fins. The cooling effect is highly sensitive to the partitioning of the fins, i.e. the distance between neighbouring fins.

Right:
Schema of the test rig METRO at the EIR, where the optimum air flow and moistening rates were determined. Water flows from the open channel over a circular distributor and then onto the finned element. A distance of 104 mm between the channel edge and the ventilator-facing upper edge of the element was found to yield the highest cooling power.



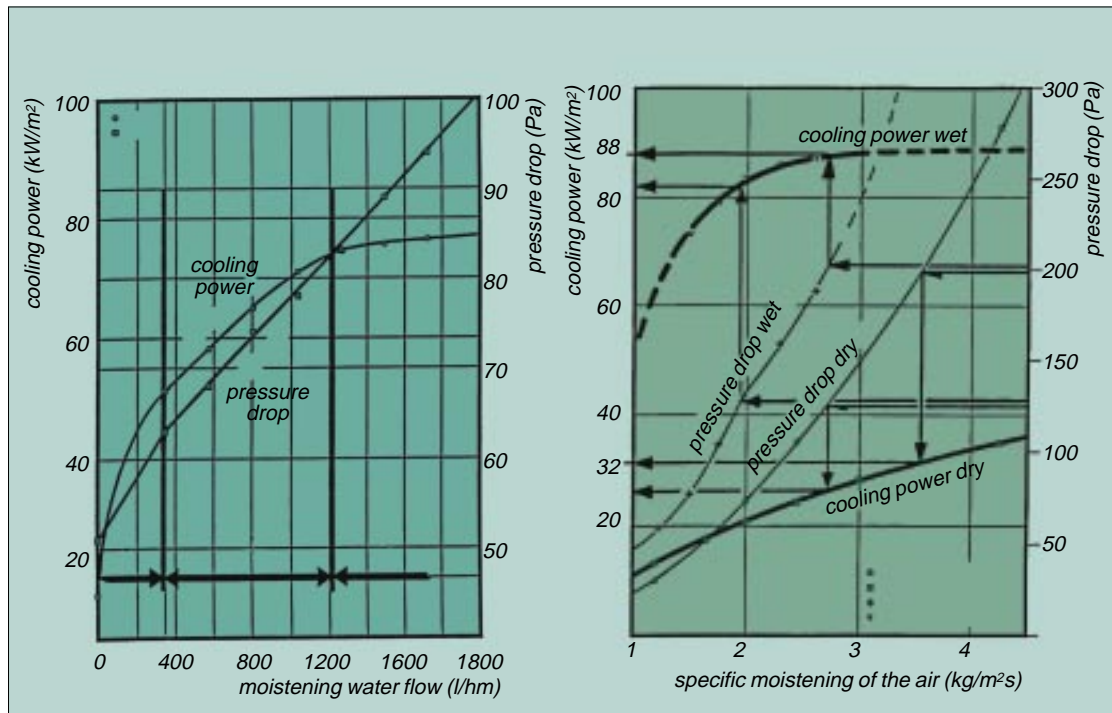
- Temperature of the moistening water. Irrespective of its input-temperature, after flowing approx. 10 cm on the fins this water has already assumed the average fin temperature. Fresh, and hence much colder tap water could raise cooling performance by 5 to 10 %, but the necessary conditioning would be much too expensive.

Optimum air flow and moistening rates

Simultaneous to the work at Brugg, which was concluded in the spring of 1990, at the nearby EIR another measurement campaign was executed to determine the optimum operating range of the hybrid cooling elements. An existing test rig which permitted the conditioning of the cooling air, was modified to allow the air temperature to be varied from $-7.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ to $+40\text{ }^{\circ}\text{C}$, the air flow rate from 1 to 6 kg/m²s, and the flow-rate of the moistening water from 100 to 1'800 l/hm (litres per hour per meter of channel edge).

An early result of importance: Increasing the distance between the edge of the channel and the ventilator-facing edge of the element from 39 to 104 mm improved cooling power by no less than 25 %, at the optimum air flow-rate.

The optimum flow rate of the air, as well as that of the moistening water, was found in two series of runs performed on elements with a fin-spacing of 2.85 mm. Their results are in very good agreement with the findings at Brugg:



- At equal pressure drop across the finned element, moistening the fins will triple the cooling power, with the optimum range of air mass-flow being less than 2 kg/m²s.
- The optimum flow rate of the moistening water is between 400 and 1'200 kg/hm (at higher flow rates, much of the surplus water is carried away by the air, and these droplets can cause fogging).

The best fins

Selecting a fin-spacing of 2.85 mm for the runs at the EIR resulted from comparisons made at the Central Swiss School of Technology Lucerne (Zentralschweizerisches Technikum Luzern, ZTL) at Horw. Here, the pressure drop across four varieties of finned elements as well as the cooling power were measured. The four varieties were the old »type 9« fins, spaced at 2.85 mm, and three spacings of the new »type 10« fins: 2.0 mm, 2.85 mm, and 3.3 mm. The »type 9« fins served as the comparison standard for the »type 10« fins, which were designed for increased turbulence of the water film.

As could have been expected, heat-transfer from the elements to the cooling air improved as the spacings got narrower, but this came at the expense of an increased pressure drop (which, in turn, would mean more ventilator power). From the search for the best compromise between heat transfer, pressure drop, soiling, and noise generation (hissing), type 10/2.85 mm emerged as the winner.

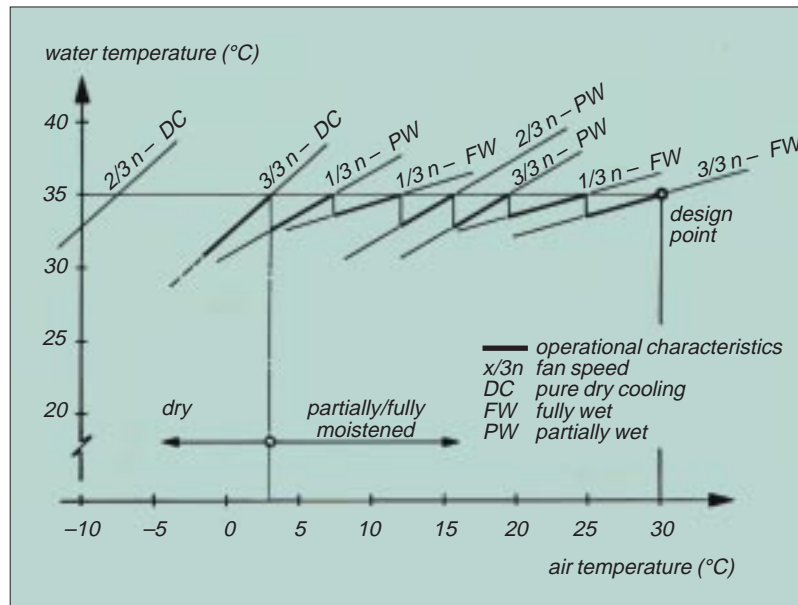
Left-hand diagram:

The cooling power per m² (left scale) as well as the pressure drop (right scale) across the finned element as measured at the EIR is shown as function of the moistening rate. Over range 1 the cooling power rises very steeply, but so does the pressure drop. Over range 2, both parameters rise more or less parallel to each other: moistening has reached its maximum, but the heat exchange is still improving due to increasing turbulence of the water. In range 3, the power increase has come to a halt because part of the moistening water is carried away by the air flow. Range 2, between approx. 400 and 1200 l/hm, is preferred for operating a hybrid cooler.

Right-hand diagram:

Again cooling power and pressure drop are shown, this time as functions of the air mass-flow across the finned element, both in the »dry« mode and in the »wet« mode. At constant pressure drop, e.g. 200 Pa or 125 Pa, moistening can triple the cooling power compared to the dry mode. Optimum operation occurs at an air mass-flow of less than 2 kg/m²s.

If ambient air temperatures are below the design values, the cooling power might rise too high (e.g., when constant temperature of the fluid is demanded). Hence a power control is required. Changing from »wet« to »partial wet« to »dry« mode by switching the moistening pumps on and off may be too coarse a control. Fine control within a mode is generally achieved by changing the speed of the ventilators. This in turn is done by step motors, or by a variable speed control by means of an electronic frequency converter.



Prototype and series development

At Jäggi, construction of a prototype was started as soon as the first useful results arrived from Brugg, EIR and Horw. With any new important result, and with growing experience, modifications and improvements were applied. Much attention was paid to simplicity of production, maintenance, and transport. To render corrosion-proof the finned elements and especially the seams and edges, a variation of electrophoretic varnishing was developed.

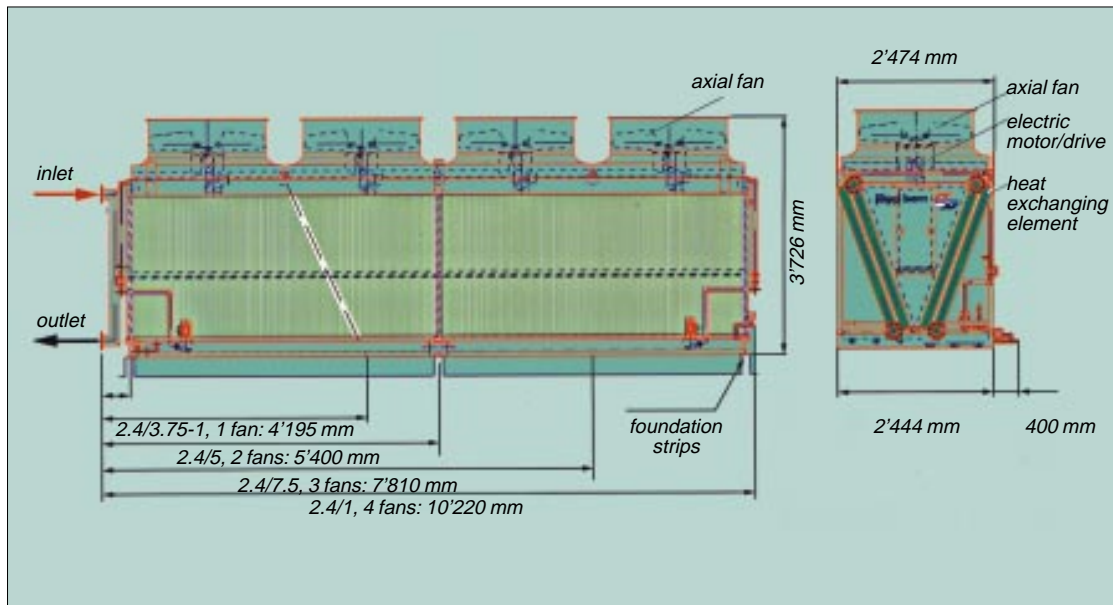
Finally, a modular production set of hybrid coolers was designed, with units from 300 kW to 3 MW of cooling power, and with the possibility to connect several units to reach a total of 50 MW (at less than 300 kW, water treatment is too costly in relation to plant price). European patents were granted in 1993.

In parallel to this work, two computer programmes were constantly refined. One serves to dimension plants for a given cooling power, the other one to compute the performance of this plant.

Application range and limits

Already prior to the conclusion of the project in 1992, first orders for hybrid dry coolers had come in. The most powerful plant then built, at the Swiss Federal Institute of Technology Zürich (ETHZ), was tested in 1992 at its full 6 MW cooling power: all design values were reached precisely.

Since then, more than 150 plants with a total heat performance of approximately 150 MW have been yielding a wealth of experience, but have also demonstrated the limits of the hybrid cooler:



- Depending upon atmospheric and other conditions, hybrid coolers usually are operated in the »dry« mode at full power from 3'000 to 6'000 hours per year, and only in the remaining time – at elevated air temperatures – in the »wet« mode.
- In comparison to pure dry coolers, hybrid coolers save up to 90 % electricity (for powering the ventilators), and compared to similar hybrid concepts of other manufacturers, they save up to 50 % water and electricity.
- Dirt of atmospheric origin settling on the fins is completely washed out (thanks to the turbulence created by the type 10 fin design).
- Fogging is never observed (thanks to under-saturation of the air in the »wet« mode, and to the partial »dry« mode).
- For extremely low fluid temperatures, evaporation cooling is the only solution.
- The temperature difference between the ambient air and the fluid (at the exit from the cooling element) should not exceed 6 to 8 K. For higher values, pure dry coolers are more economical.
- The optimum range of achievable fluid temperatures is 26 to 30 °C, e.g. at 30 °C ambient air temperature and 45 % relative humidity (or 32 °C and 38 %, respectively).

By the way, most of the above mentioned plants sold are applied in the field of climatization. This market gap had become apparent only towards the end of the project.

Longitudinal and cross sections of a production hybrid dry cooler composed of two units in series. Each unit consists of two finned elements arranged as a space saving V-shape. Several unit dimensions with varying numbers of ventilators can be chosen to meet the required cooling power. The units shown here are each 3.7 m high and 5.4 m long, weighing 5.5 tons. Each accommodates 664 l of fluid to be cooled, and 400 l of moistening water.

Project no. 406

Fault current limiters based on high-temperature superconductors

A fault current limiter utilizing the principle of the »shielded iron core« and employing high-temperature superconductors has been developed at the ABB Research Centre at Baden. From 1989 onwards, models of increasing power have been successfully tested (the last one, of 1 MVA, has been installed in a hydroelectric plant). The main problem encountered was the occurrence of hot spots in the superconducting ceramics of the Bi2212 type. Those problems were overcome by materials development, finally leading to a special »partial« melting process. This development, initially not intended, extended and prolonged the project, and also increased costs. New algorithms allow to calculate the limiting behaviour of the device as well as ac losses with high precision.

Design goals:

20 kVA power (voltage drop across times nominal current in device)

limitation of short circuit current to 2 to 6 times nominal current

In 1986, the discovery of high-temperature superconductors in Zurich, hence also known as »Zurich oxides«, prompted an idea at the ABB Research Laboratories in nearby Baden-Dättwil. ABB, of course, had been familiar with the problem of fault current limitation, which has been increasing together with the growing interconnection of electrical networks worldwide. As a consequence of this growth, short circuit currents have been increasing in powerplants and switchgear, causing high mechanical and thermal stresses (such currents follow short circuits due to lightning strikes or breakdown of electrical insulation). Therefore all equipment must be designed to withstand those stresses.

Common means for limiting short circuit currents include enlarged stepped-up transformer reactances or additional reactors. However, such devices have substantial negative influence on the network in daily practice, causing voltage drops and retarding fast current changes. Other limiters, like melting or triggered fuses, have to be replaced after every short circuit. In summary, all the conventional limiters are far from satisfactory.

Applications:

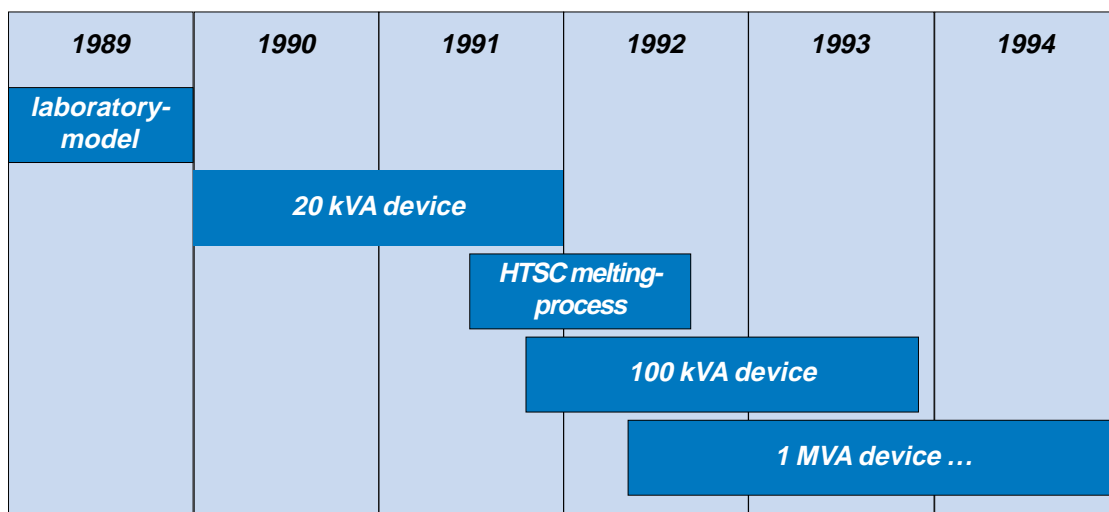
networks with high prospective fault currents and rather small nominal currents

e.g. in excitation, auxiliary, and startup branches of power stations

Superconductors

The ideal fault current limiter (FCL) exerts negligible influence on the grid. It instantaneously limits the short circuit current to a maximum of three times the nominal current, irrespective of the nature of the short circuit and without producing over-voltages. It has very short recovery time, and is capable of repetitive operation without replacement. It requires neither external triggers nor energy sources, and it is fail-safe.

FCL based on superconductors promise to fulfil all of these conditions. From the late 1970s on, various configurations had been conceived, but not realized – due to the fact that the cost of cooling such devices down to the temperature of liquid helium, which boils



at 4.2 K, is prohibitive. Classical low-temperature superconductors (LTSC) exhibit this unique feature of zero resistivity only below similar low »critical temperatures« (T_c), at which they change from normal to superconducting. The highest LTSC have T_c close to 25 K.

High-temperature superconductors (HTSC) have T_c ranging from 90 to more than 100 K, rendering possible much cheaper cooling with liquid nitrogen, which boils at 77 K. Not surprisingly, projects for applying HTSC in FCL were devised all around the industrialized world immediately after their discovery in 1986.

At the ABB research centre at Baden-Dättwil, the concepts for such FCL were thoroughly considered, and finally the »shielded iron core« or »inductive« HTSC-FCL was adopted. Essentially a transformer with a superconducting secondary, its main components are an iron core, a conventional primary coil in series with the power line to be protected, a superconducting secondary in the shape of a tube, and a cryostat for cooling nothing else but this tube to 77 K. The main drawback of this concept: rather high mass and volume.

The 20 kVA device

Project work at Dättwil commenced in 1989 with the design and construction of a laboratory-scale prototype. Its purpose was to verify theoretical calculations and to gain experiences preparing and moulding HTSC. It was not intended to do materials research, but rather rely on methods found elsewhere. Hence for the secondary tube, in the case of the lab-prototype a ring of 5 cm diameter, $YBa_2Cu_3O_7$ with a T_c at 93 K was chosen. HTSC are characterized by a critical current density (j_c) above which the superconductivity breaks down even though the temperature is below T_c . This is referred to as a »quench«. In the $YBa_2Cu_3O_7$ -ring, with a j_c of approx. 200 A/cm² at 77 K, the energy dissipated by a quench did not suffice to heat it above T_c .

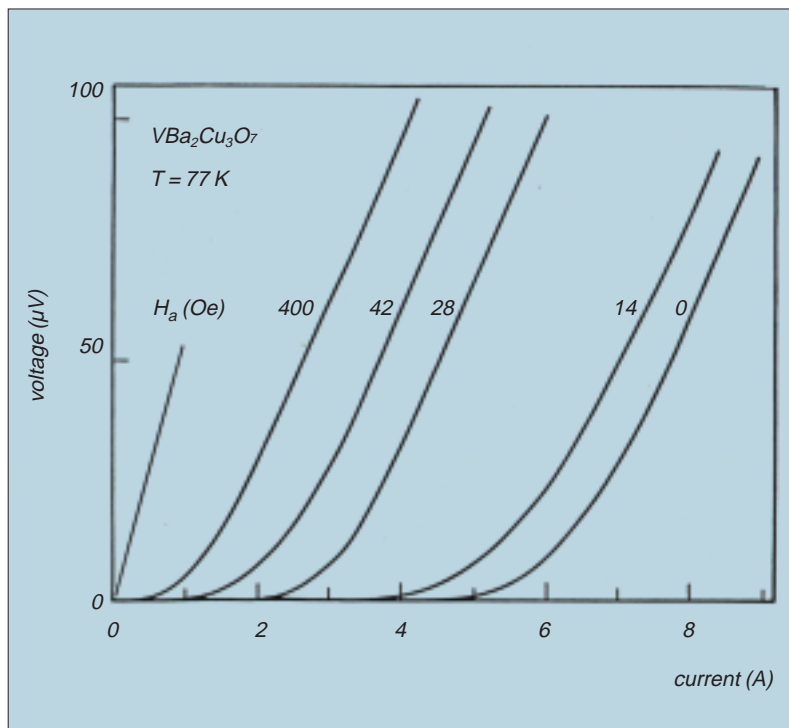
Work on the NEFF project started in 1989 and was finished in the autumn of 1994, after having been prolonged due to unforeseen materials development. Since the end of 1994, a continuing project has been financially supported by PSEL.

Superconductors (SC):

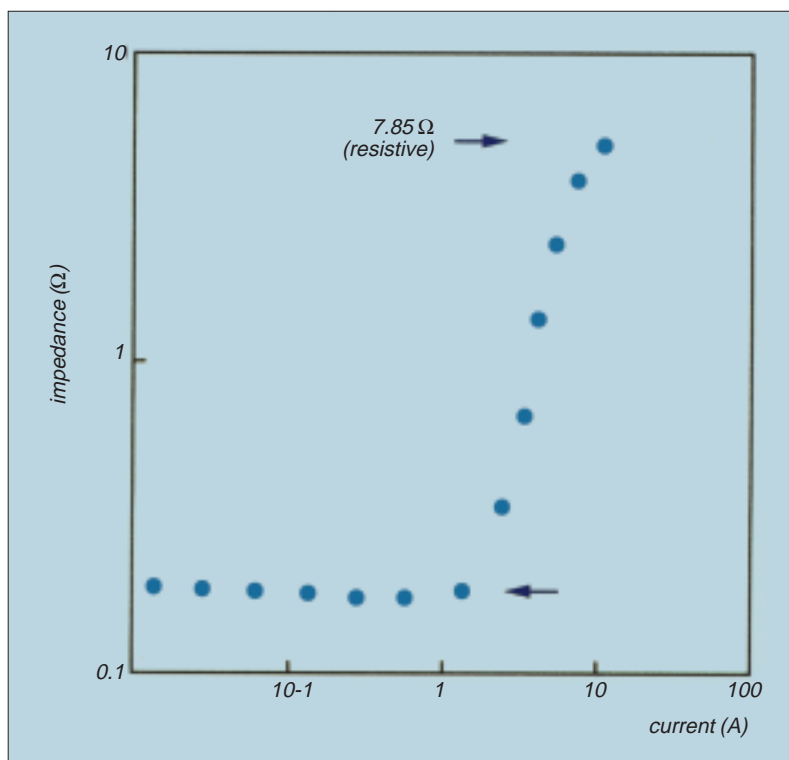
Low temperature SC have T_c of a few K, their technology is mature, achieving j_c of 100'000 A/cm², ac-losses of 10-5 W/Am at 50 Hz and 50 mT, and normal resistivity of 50 $\mu\Omega$ cm.

High temperature SC, at 77 K, show j_c around 5'000 A/cm², and normal resistivity of 500 $\mu\Omega$ cm.

Characteristic dependency of current vs. voltage of a HTSC, in this case of $YBa_2Cu_3O_7$ at 77 K, exposed to various magnetic fields H_a .



The impedance of the 10 W device based on YBCO at 50 Hz is constant at small currents, where the secondary remains in the superconducting state and hence the impedance is purely inductive. It rises dramatically and is mainly resistive, when the critical current is exceeded and superconductivity breaks down.

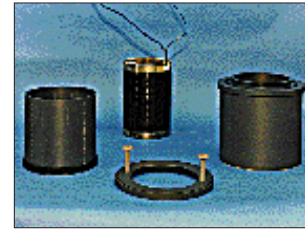


The main concepts conceived and pursued for superconducting fault current limiters

In the ***saturated iron core reactor*** a superconducting secondary winding keeps the core saturated during normal operation. In the event of a fault, the core departs from saturation and thus increases the reactor's impedance. With the secondary being exposed to dc only, it remains superconducting, needing no recovery time. The major disadvantage: the device has twice the mass of an equivalent transformer.

The ***resistive limiter*** is inserted into the line to be protected. In the event of a fault, the j_c of the superconductor is exceeded, consequently the latter becomes resistive. Very compact. Current leads into the cryostat cause high thermal losses.

The ***shielded iron core***, the concept chosen by ABB, is a transformer with a shorted superconducting secondary winding.



Components of the 20 kVA limiter:

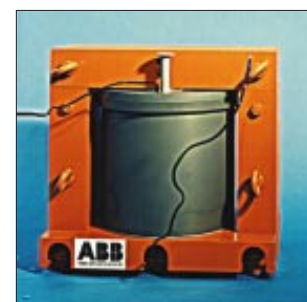
- 1 copper wound primary
- 2 cryostat (made of plastic)
- 3 stacked superconducting rings, \varnothing 20 cm
- 4 part of top lid with N_2 -connections

By 1990, a 20 kVA device was ready for testing. Its one phase design already envisaged application in a power plant, where each of the three phases would be equipped with such a device. The power of 20 kVA results from 100 A nominal current and a 220 V voltage drop across the device in case of a short circuit. In order to achieve a quench of the superconductor with j_c between 1'000 and 2'000 A/cm², the secondary tube was to have a diameter of 20 cm, a height of 20 cm and a wall thickness of 0.2 cm. The obvious choice of HTSC was Bi₂Sr₂CaCu₂O₈, generally referred to as Bi2212. This ceramic with a T_c around 90 K, exhibited the highest known critical current densities of any HTSC at that time, around 20'000 A/cm² measured at 77 K – though in thin filaments and not in bulk, as required for the ABB-FCL.

The rings were formed in a silver mould after melting the precursor powder in a silver crucible (silver is one of the few metals not reacting with Bi2212). Static tests of the single rings in the device showed j_c -values between 1'500 and 2'500 A/cm² at 64 K, and between 100 and 400 A/cm² at 77 K.

The hot spot problem

Subsequent dynamical tests, however, resulted in disappointment. They were performed at 65 K in order to take advantage of the fact that j_c increases with decreasing temperature. The liquid nitrogen was held at this temperature by maintaining a nitrogen vapour pressure of 150 mbar. Increasing the ac resulted in a quench as well as in a limitation of the current, but it also prompted the destruction of the rings (four of which were stacked to form the tube of 20 cm height).



The 20 kVA limiter assembled around the iron core.

Melting and moulding of the HTSC proved crucial to the project, and to SCFCL in general. Shown here is the early process of simply melting the precursor powders and moulding the rings in a silver crucible. This was insufficient, resulting in voids and cracks that acted as hot spots. The specially developed and patented process for Bi₂212 comprises three main steps:

- *At first the pre-reacted powder, a mixture of metal oxides and carbonates, is partially melted at 900 to 1'000 °C and then moulded. After cooling down, the solid contains phases of Bi₂212 as well as non-superconducting material.*
- *Homogenisation by a heat treatment just below the melting-point converts the non-superconducting material into HTSC-phases.*
- *By oxidizing at elevated temperatures the oxygen content is adjusted to O_{8,17} exactly, where Bi₂212 has its highest critical temperature, 94 K.*



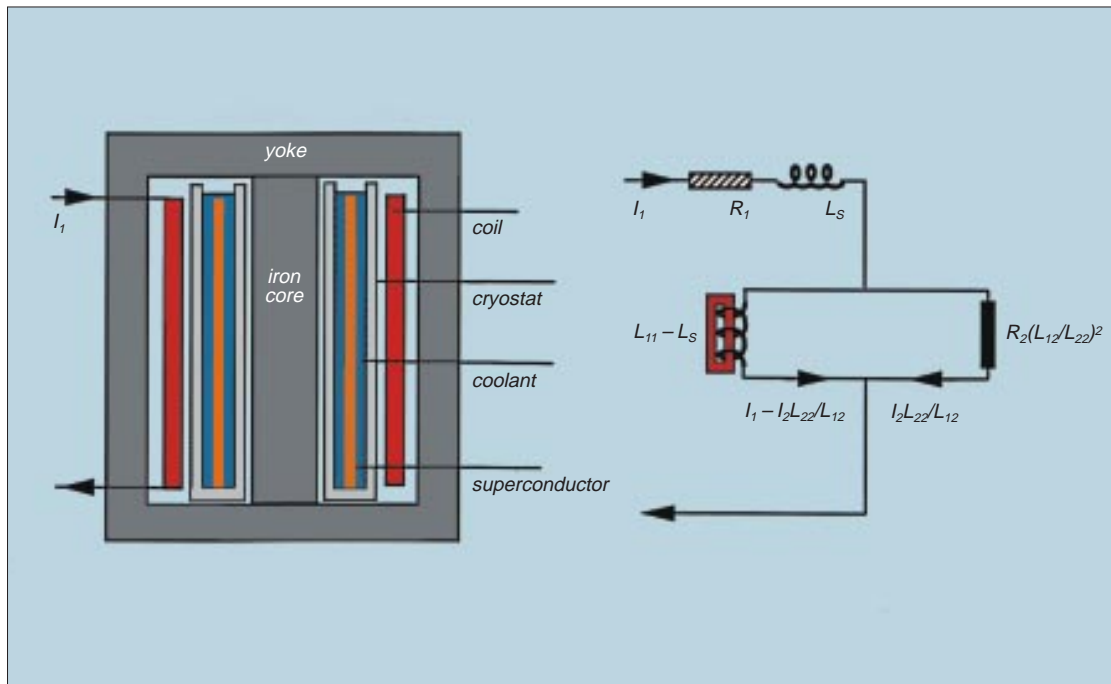
Analysis revealed »hot spots« as the cause of those failures – tiny zones within the bulk superconductor, where superconductivity broke down prior to the rest. Hence a major part of the total energy was dissipated in these zones, causing locally temperatures sufficient to destroy the material. The majority of such »weak« zones are voids, followed by micro cracks caused by thermal shocks occurring when cooling the rings to liquid nitrogen temperatures.

An attempt to bypass the hot spots electrically by coating the rings with thin layers of silver did not prove successful. As a consequence, the project had to be adjusted to include materials research – i.e. developing a process of melting the Bi₂212 to render bulk rings free of hot spots.

New melting-process

By mid 1992, such a novel (and patented) melting process had been established: the precursor powder was melted in a cylindrical silver mould, rotating slowly – at 3 to 4 rpm – inside a furnace. The rings were much more homogeneous now, exhibiting j_c -values of up to 800 A/cm² at 77 K. In addition, the rings were stabilized both mechanically by trusses, and electrically by thin silver coatings.

As a result, the 20 kVA device now functioned well. With a nominal



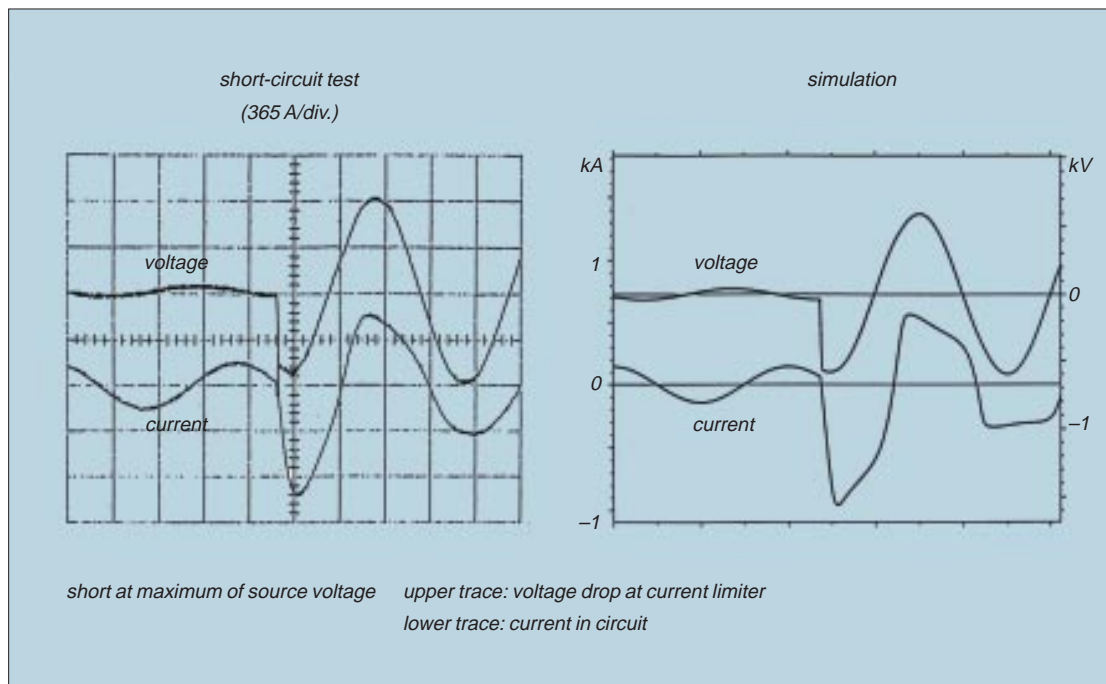
current of 70 A, the voltage drop across the device during the quench was 300 V, hence with 21 kVA the device even surpassed design specifications. The short-circuit-current, which according to straight forward electro-dynamical calculation should have reached 3'000 A, was limited to 400 A. None of the rings was damaged.

The 100 kVA device

Initially, the final goal of the project had been a 20 MVA device for practical application in a power station. With the experience gained in the materials field by 1991, 20 MVA appeared all too ambitious, and not necessary. Too ambitious, because new materials problems were to be expected at ring diameters of 40 cm and beyond, and not necessary, because a device in the 1 MVA range was already large enough to serve in a power plant. Hence, in 1991 it was decided to build and test a 100 kVA device prior to designing the final one of 3 MVA.

The 100 kVA device employed B2212 rings of 20 cm diameter like the 20 kVA predecessor, naturally prepared by the further improved partial melting process. But instead of two rings, four rings each 8 cm high were stacked to form a tube of 35 cm length (including spacers). This design was based on a j_c of 1'400 A/cm², which offered a margin

Schema of ABB's SCFCL, with only the superconducting tube immersed in liquid nitrogen (left). The exact equivalent circuit comprises resistances R_1 and R_2 of the copper coil and the superconducting tube inductances L between primary and secondary, stray inductance L_s and currents I in primary and secondary (right).



Left:
 Short circuit tests with the 100 kVA device were performed in a 480 V, 50 Hz circuit with an inductive load of 13 mH and a prospective fault current of 8'000 A. Limitation always was smooth without over-voltages, short triggered at peak (primary coil 86 turns, nominal current 132A). The current was limited to 900 A, approx. 5 times the nominal current.

Right:
 Simulation of the limitation is in very good agreement with measurements.

These shorts were triggered at the maximum of source voltage (shorts at zero crossing of source voltage show rather similar behaviour).

of safety over the 3'500 A/cm² that had been reproducibly achieved in small bulk samples. In order to vary the nominal current, copper-wound primary coils of 45, 60, 74, and 86 turns were provided. Cheap construction steel of 0.2 cm thickness was chosen for the iron yoke, as it is not magnetized in normal operation, but its mass amounts to approx. 200 kg.

Assuming a jc of 1'400 A/cm², the calculated critical current of the Bi2212 tube was 8'500 A. However, due to its smooth current/voltage curve, the Bi2212 proved to remain thermally stable up to 2.5 times this value. Consequently, the maximum operating current of the tube was chosen to be 16'000 A, the nominal current being 251, 189, 153, and 132 A, respectively, according to the number of turns of the primary.

One of the main factors influencing device economy are ac losses in the HTSC, increasing the boil off rate of the coolant. Only classical, elementary superconductors do not exhibit such ac losses, which are due to magnetization.

In the case of the tube, at nominal current they amounted to 35 W, which was 15 W more than calculated by means of a mathematical model, developed within the project and extending classical ac theory to HTSC. The surplus losses can be ascribed to growing dc contributions in HTSC at increasing currents.

Short circuit tests were performed with HTSC tubes – stabilized electrically with thin silver layers – in a 480 V circuit at 50 Hz. The prospective fault-current was 8'000 A, simulated by bypassing the inductive load of 13 mH. A circuit-breaker opened after 50 ms.



The 100 kVA device after assembly. On top is the cryostat with attached connecting tube (left) for pumping down the vacuum chamber. The iron yoke has yet to be added.

By the end of 1993 about 20 test runs had been performed with different primary coils and phase angles. In all cases, fault current limitation was smooth, and neither overvoltages nor degradation of the HTSC rings occurred. At that time, the 100 kVA device was the most powerful device known to be realized with HTSC.

The 1-MVA-prototype

Based on the experience with the 100 kVA device, only minor design changes were necessary for a 1 MVA prototype (the financial support now being taken over by PSEL, the research funds of the Association of Swiss Electrical Utilities). It is divided into three devices of 330 kVA, one for each phase. The Bi₂212 rings, once again prepared by the partial melting process, now have a diameter of 40 cm. A tube is formed by stacking 16 rings.

The device has been installed and tested in the Swiss hydroelectric plant at Löntschi in 1996.

Project no. 422

Non-conventional deep gas project in the Central Swiss Alps

From 1988 until 1993, the Swiss Tiefengas-Konsortium, TGK, carried out an extensive exploration programme for deep gas in the Central Swiss Alps. Abundant gas seepages in this area, as well as geological conditions similar to regions with rich findings in other countries, had led to the presumption of non-conventional gas reserves. Studies of seismics, earthquake data, gravity, and geochemistry throughout the concession area – the cantons of Nidwalden, Obwalden, and Uri – enhanced the likelihood that such non-conventional reservoirs exist. Subsequently, a test site for drilling to a depth of 7'150 m was defined. Drilling would be technically difficult but feasible. In case of success, the undertaking should also be economical. TGK is now looking for competent partners.

Research target

development of a non-conventional reservoir model for deep gas

search for such a reservoir under the Central Swiss Alps by geophysical and geochemical methods

definition of a test-drilling site

Towards the end of 1988, the Tiefengas-Konsortium, TGK, applied to the NEFF for financial support of a project named »Deep gas research, phase II overpressure reservoir«. Officially founded in this same year as a joint venture between Swisspetrol Holding Ltd., Zürich, and Sulzer International Ltd., Winterthur, TGK since 1985 had followed the idea that at great depth beneath the Helvetic Nappes of the Central Swiss Alps huge non-conventional gas reservoirs might exist and be economically exploitable. At that time, the idea was discussed rather controversially among oil and gas experts.

Pros and cons

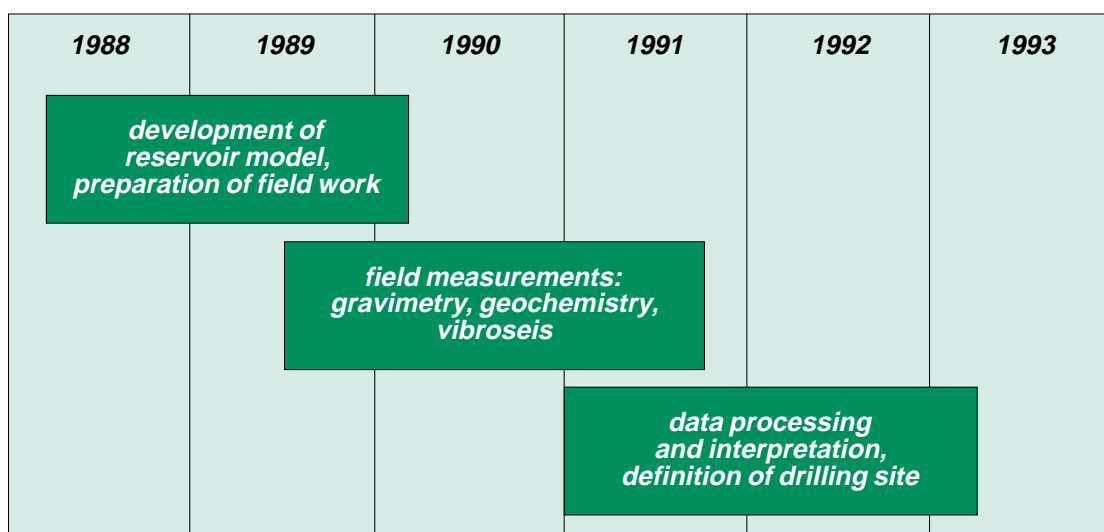
The main argument against this idea, and generally against the presence of oil and gas in Switzerland was the history of exploration there. This exploration had been focused on the Molasse Basin in the Alpine foreland, including the Southern edge of the Jura ranges and the sub-alpine Molasse (the term Molasse applies to sediments of the Tertiary, mainly sandstones and conglomerates). Since the 1950's, Swisspetrol had drilled 24 wells there, some of them to depths of 6'000 m under the Molasse sediments. Many had shown oil and especially gas, but one only – Entlebuch-1 – was developed for production.

In general, reservoir quality was so poor that Switzerland was considered too high an economic risk to continue exploration. For a reservoir to be considered of good quality three requirements have to be fulfilled simultaneously: a source must generate or liberate abundant gas, above the source a tight seal has to form an impermeable cover to create a trap, and in between source and seal a porous formation must store the gas (forming a reservoir) as well as be permeable enough to let it pass upwards.

TGK's strongest arguments in favour of non-conventional reservoirs were the following:

Applications

once validated, the model can be applied elsewhere under similar geological conditions: deep Carboniferous under tight, but faulted Nappes



- While exploration in Switzerland had exclusively searched for conventional reservoirs at moderate depth, deep drilling into the eastward extension of the Molasse Basin had been successful in Southern Germany and Austria. There, overpressure (i.e. pressure higher than hydrostatic) of gas accumulations indicates abundant gas under tight seals and at greater than »conventional« depths.
 - In other sediment basins in the world incorporating large overthrust systems like those beneath the Central Swiss Alps, a non-conventional reservoir type had been found. In the Anadarko Basin of Oklahoma, USA, such reservoirs are characterized by overpressure and faults in the seal, yielding the highest production rates known.
 - In the tunnels through, and along the northern edge of, the Swiss Alps numerous gas seepages have long been known.
- In the period 1988 till 90, project work was devoted mainly to the development of the theoretical model of deep gas reservoirs and traps. Gravimetric and geochemical field measurements were started in 1989. Vibroseis along 205 km covering the entire concession area were carried out in 1990, with additional investigations in 1991. As from the beginning of 1991, vibroseis and other data were processed and interpreted, and subsequently a site for drilling a test well to 7'150 m depth was defined. After this completion of the NEFF project, TGK has been looking for partners to finance the test drilling.*

The reservoir model

Prior to applying to the NEFF, TGK had done much preparatory work, the most important items being the development of a non-conventional reservoir model, extensive geochemical surface gas measurements (»gas sniffing«) along the northern Alpine front, and the definition of the region to be investigated.

At this stage it may be of interest to briefly look at the geology of the northern Swiss Alps. Most of this area is covered by the Helvetic Nappes, which mainly consist of allochthonous Mesozoic sediments (the Greek term allochthonous meaning: not created on the site where found). These Nappes form a seal above the underlying autochthonous (created on-site) sequences, in which a crystalline basement is covered by a coal-bearing Carboniferous, and this in turn is overlain by Mesozoic sediments, including dolomites of the Triassic, and by Tertiary.

Findings

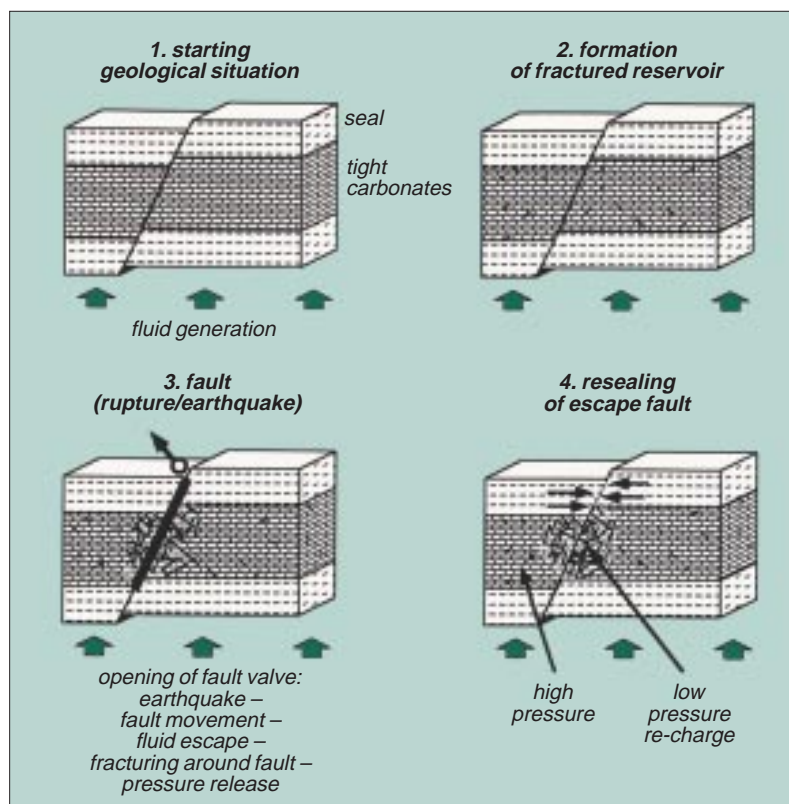
manifold evidence for deep gas underneath the Helvetic Nappes of the Northern Central Swiss Alps

definition of a test-drilling site to 7'150 m

technical and economic feasibility shown

Schematic model of the »seismic valving« mechanism:

1. The starting geological situation is characterized by a formation where the generation of fluid hydrocarbons takes place, covered by tight carbonates and an impermeable seal. All three formations are crossed by a fault.
2. As the pressure in the fluid generation formation rises and reaches the fracture strength of the carbonates, fractures open in the carbonates, and the fluid overpressure exceeds the hydrostatic pressure of the overlain sequences.
3. With the pressure rising further, the existing fault ruptures, causing an earthquake. The fault moves, fluid escapes, intense fracturing around the fault occurs, and the pressure is released.
4. The region around the fault is re-charged, as now there exists a pressure gradient from the bulk carbonates to the fault. Vertical escape paths in the seal may be re-sealed again.



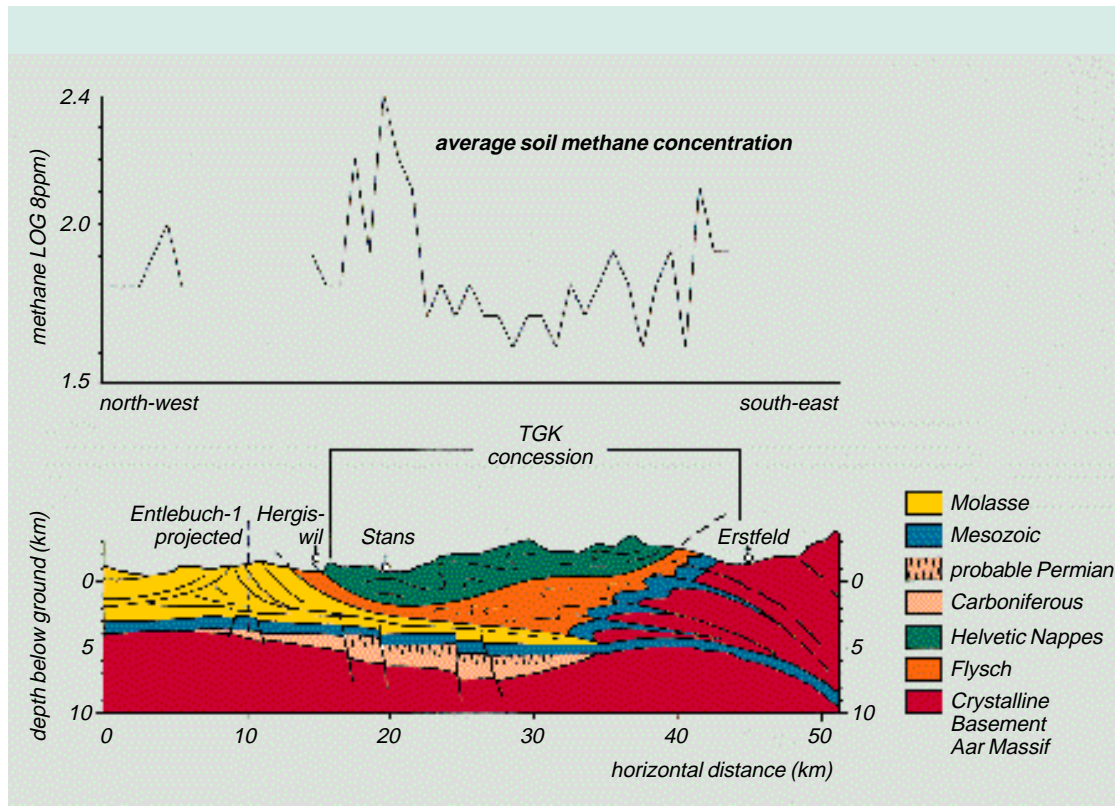
Top:
For gas sniffing, probes are inserted into the soil.

Below:
To determine gas flow rates, the ground was covered by plastic foils.

The »gas reservoir and trapping model« was partly inspired by the successful exploration results for very deep gas in the Anadarko Basin under comparable rock mechanical conditions. The model in a nutshell:

- Somewhere deep down, the generation of fluid hydrocarbons takes place, for example, where elevated temperatures and pressure liberate them from source rocks.
- With the generation continuing, the pressure in the pores containing the hydrocarbons increases, and finally reaches the fracture strength of the surrounding formations.
- This triggers the opening of a fault, and consequently the newly created pressure gradient will cause hydraulic fracturing, progressing from near the fault into the overpressurized zone. This mechanism is recognized as the origin of seismicity, or earthquakes, in many parts of the world.
- Once this has happened, »seismic valving« can occur. Hot aggressive fluids circulating in the new fractures may locally leach the rocks, thereby enhancing porosity and permeability, and eventually re-sealing escape faults opened before.

As a result, an overpressurized gas reservoir has been created. Formations considered to favour such reservoirs are brittle and dolomitic limestones, and the dolomites of autochthonous Mesozoic.



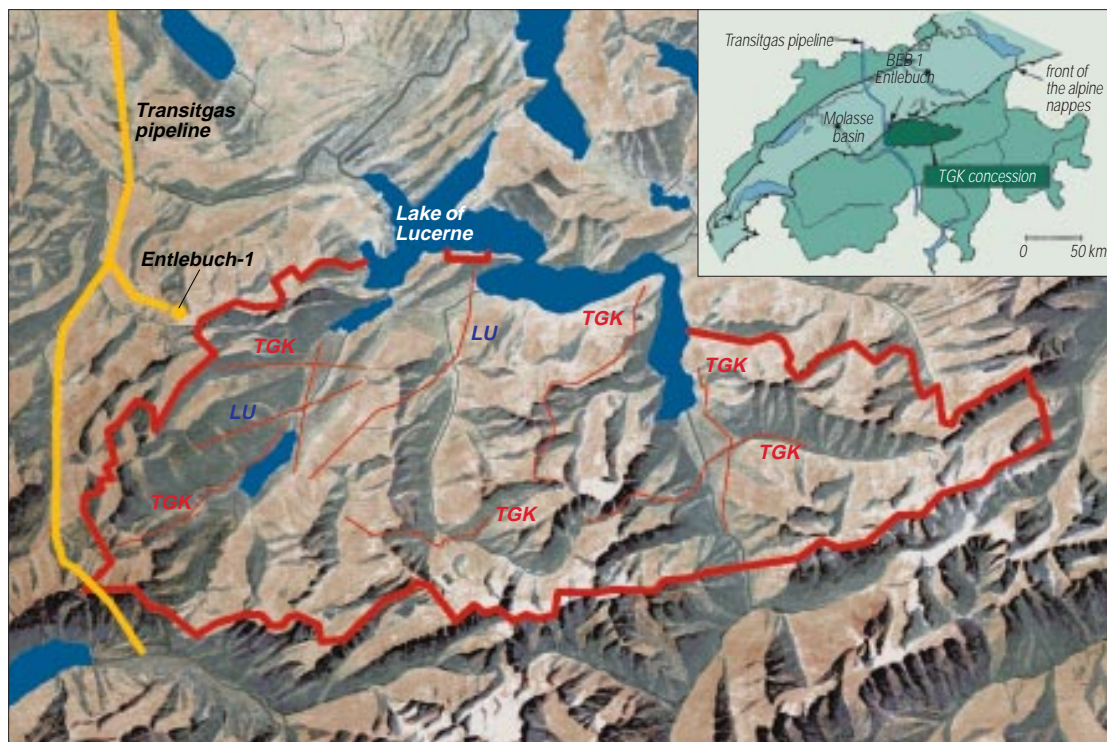
Extensive exploration programme

Gas seepages along the northern edge of the Swiss Alps are abundant, and are reflected in many locality names. In 1985, TGK undertook an extensive survey in the cantons of Obwalden, Nidwalden and Uri. About 5'000 samples were taken. The results of chemical analyses ruled out a biogenic generation near the surface and clearly assigned their source to great depths. Gas concentrations above average coincide with known faults in, and at the edges of, the Helvetic Nappes. Hence these Nappes obviously act as regional seals above a gas source. From the fact that the nearby production well of Entlebuch-1, though positioned outside the Nappes, draws gas from the Carboniferous 5'000 m deep, TGK concluded the source under the Nappes was also the Carboniferous.

Based on these findings, and relying on the reservoir model, in 1987 TGK took a prospecting concession for an area comprising 1'195 km², namely the entire cantons of Obwalden and Nidwalden, and the northern part of the canton Uri. Annually renewable, the concession grants TGK the exclusive rights to explore for hydrocarbons, and in principle also contains subsequent drilling permits and production concessions.

Geological sectional view of Central Switzerland, from north-west (left) to south-east (right). In between the allochthonous Helvetic Nappes and the autochthonous crystalline basement, there is a sequence of sediments. The age of these sediments decreases with increasing altitude: Carboniferous is followed by Mesozoic, Molasse, and Flysch.

Maxima of the average methane concentration in the soil (upper diagram) coincide with faults in the Helvetic Nappes, and occur at the edge of the Nappes and outside – indicating that the gas source is underneath the Nappes.



Topographic map of TGK's concession area (red), showing some of the seismic lines (all the lines measured have a total length of 205 km). The lines denoted »TGK« were measured by TGK in 1990. The lines »LU« refer to measurements of LEAG in 1976 until 1978, from which the data were reprocessed by TGK.

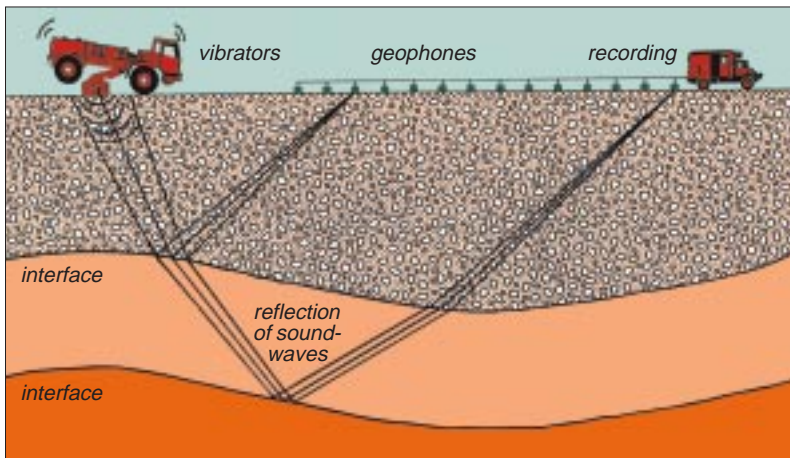
By 1988, TGK considered that sufficient preparative work had been done to prove the model in the field. An extensive exploration programme was planned, including seismic, geochemistry, gravity studies, and an analysis of seismicity. In the application to the NEFF, TGK stated that the search for conventional oil- and gas-bearing structures was not subject of the project, nor any research as to whether the gas was of biogenic or a-biogenic origin. Furthermore, the programme was designed to be discontinued after this research phase in case results would be clearly negative (the planned »phase III test-drilling«, would be dropped, not to mention phase IV, »production«).

For carrying out all those investigations, TGK continued to employ a small permanent staff, and also relied on the expertise of individual experts and specialized companies and institutes.

The measurements were performed in 1990 and 1991. Processing, evaluation and interpretation of the data were finished by early 1993.

Seismic measurements

The seismic measurements took place in the summer of 1990. »Vibro-seis« was implemented by specially equipped trucks wherever the terrain was accessible by roads. These trucks send strong vibrations into the ground, and the reflections of these vibrations by interfaces between different rock formations are registered by »geophones«, or



Vibroseis is one of the most important methods to study the geology of the ground. A heavy vibrator, or an explosion in a shallow well, emits vibrational signals, which are reflected at the interfaces between different formations, and the reflected signals are recorded by geophones. From the variation of angles, velocities, amplitudes, and phases of the signals, the structure of the ground can be deduced.



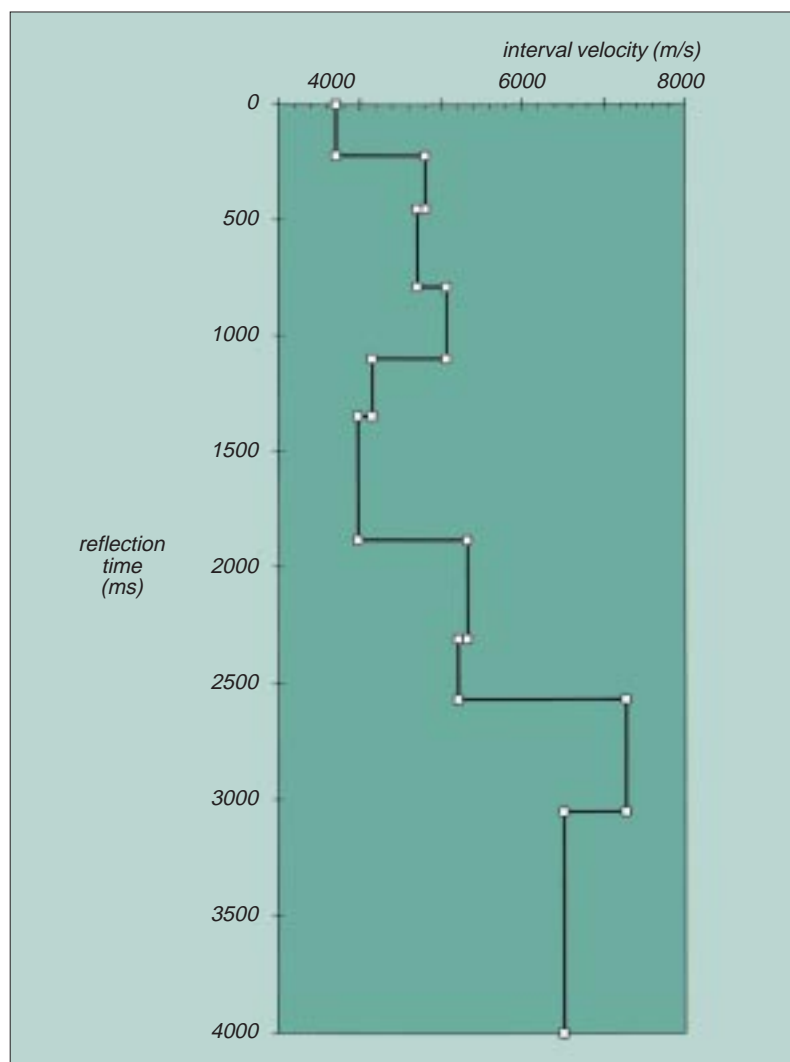
A group of the vibrator-trucks, each weighing 17.5 t, on the Glaubenberg, in 1990. For measurements, the trucks are propped up on the road by a ram. A certain vibrational spectrum is then transmitted to the ground for 20 s.

earth microphones. Where the trucks could not proceed into rough terrain, the vibrations were generated by explosions in shallow wells.

The seismic measurements were performed along lines chosen to achieve the best coverage of the concession area while also considering accessibility in the mountainous region, and aiming at minimum cost. Their total length was 205 km, and they were linked to points of 160 km of seismic lines, which had been surveyed in 1976–78 by the Luzerner Erdöl AG, LEAG. In addition, TGK co-ordinated their campaign with that of the Swiss National Research Programme NFP 20, a concurrent geological study of Switzerland, and with the NAGRA, exploring for a possible depository for nuclear waste at Wellenberg. The quality of data generally was considered »good«, in view of the complex Alpine tectonics. Re-processing of the old LEAG-data proved to be a valuable supplement.

On the diagrams compiled from the processed data, the autochthonous Mesozoic sequence is clearly visible to the expert as a band of strong reflections, interrupted by normal faults. Below this, troughs of Permo-Carboniferous are recognizable. The depth section appears to be a deep basin under the northern alpine nappes, containing coal seams and bituminous shales with source potential for oil and gas.

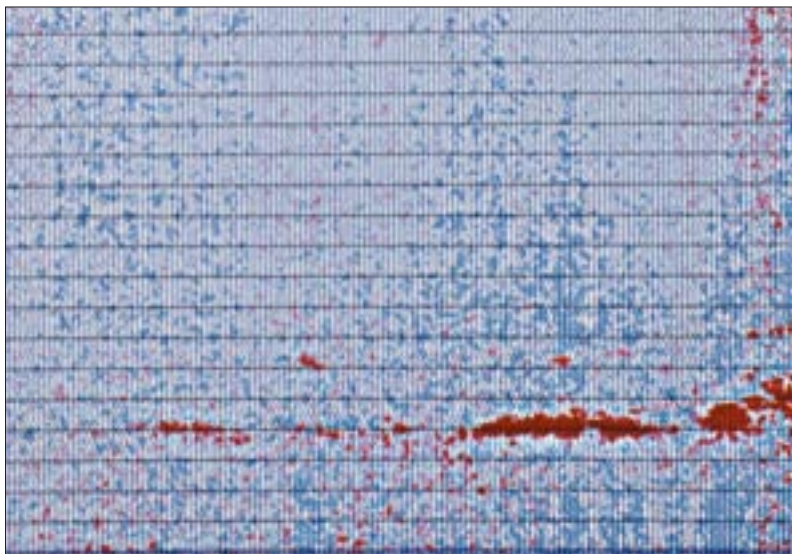
Typical seismic velocity distribution in the Central Swiss Alps, as derived from vibroseis measurements. Velocity inversion zones are commonly observed near the base of the Helvetic Nappes and, sometimes, near the basal overthrust of the Subalpine Molasse and the North Helvetic Flysch. Local anomalies indicating enhanced fracture porosity and permeability are observed in all sedimentary units below the Nappes.



The frontal, i.e. northern part of the Aar-Massif is affected by thrust tectonics, showing on the diagrams as a stack of imbricated slices of Mesozoic and basement, overriding the southward dipping autochthonous sediments.

Seismicity and geochemical studies

As the concession area is one of the main centres of earthquakes in Switzerland, TKG hoped to gain additional information from seismicity data. Hence, data recorded by the network of the Swiss Earthquake Monitoring Institute and other stations were processed and interpreted, confirming that the earthquakes originate in the sediments in between the Helvetic Nappes and the crystalline allochthonous base. This is to say, that those sequences contain fracture zones, making them porous and permeable and thus suitable to be gas reservoirs.



The modern AVO-method of evaluating vibro-seismic data allows gas accumulations in great depth to be »seen«, a feat difficult to achieve otherwise. AVO (Amplitude vs. Offset) utilizes the fact that the measured amplitudes of formations saturated with gas differ markedly from those of non-saturated ones, or those saturated with water or oil. Here part of an AVO-diagram evaluated from TGK-data – the blue zones represent dense rock or water-saturated formations, while the red spots belong to porous gas-filled compartments (the red zone at the lower right is about 6'000 to 7'000 m below ground level, and the horizontal distance represented by the diagram is approx. 1 km).

Geochemical investigations were undertaken to trace the origin, migration paths and distribution of the deep gas. Sixty-five samples from all over the concession area were analyzed by studying inclusions of hydrocarbons in quartz and calcite of veins. Methane turned out to be the dominant component, and isotopic differentials of carbon-13 and of deuterium revealed a close resemblance of the vein-included gasses with the present surface-seepages and the gas produced at Entlebuch-1 from 5'000 m depth. These facts suggest a common origin in the deep Carboniferous trough.

Comments of the Scientific Advisory Board

Since 1989, a Scientific Advisory Board of independent experts had monitored technical progress and results of the TGK exploration team. In January, 1993, after the conclusion of the NEFF-assisted project, the Board commented on the project.

»Of main concern were the maintenance of a solid technical standard, the scientific credibility of results and conclusions derived thereof and the feasibility of a potential drilling campaign.«

»TGK's original objective was to explore for thermal gas below the Helvetic Nappes. In view of this, two prime questions had to be answered: is it reasonable to assume that a gas source is present below the Helvetic Nappes, and is it realistic to search for reservoirs or gas accumulations of an economic size within the (Mesozoic) target interval? These questions were addressed by combining actual information from the Anadarko Basin with theoretical models and the application of established exploration methods.«

»The Scientific Advisory Board supports the essential ingredients of this model, relevant to prospect evaluation in TGK's concession area, namely:

NEFF-projects nos. 261 and 581
Gas from the Lake Maggiore: biogenic origin

Substantial gas seepages in and around the upper part of the Lake Maggiore in the canton Ticino, in the South of Switzerland, have been known for centuries. Generally the origin of natural gas is closely related to the geological setting. The latter being rather complex in the lake's area, no origin – biogenic, a-biogenic, or from the earth's mantle – may be ruled out.

In the early 1980's, the NEFF project no. 261 investigating the seepages postulated an origin, at least of part of the gas, in the earth's mantle, from where it could migrate to the surface through the fault system of the Insubric Line. This line separates the European from the Adriatic crust, and runs across the Lake Maggiore. The hypothesis that part of all gas and oil in the world emerges from the earth's crust where methane had been trapped during its formation, had been proposed by the astro-physicist Th. Gold a few years before.

As this hypothesis as well as the result of project no. 261 were disputed by many oil and gas experts, in 1992 the NEFF sponsored an-

other project, no. 581 (like project no. 261 having nothing in common with project no. 422), aiming at elucidating the real origin of the gas. In 1993, 20 samples were taken and chemically analyzed. Also the data of project no. 261 were re-interpreted. The researchers arrived at the conclusion that the gas definitely is biogenic:

- in all samples higher hydrocarbons are lacking, indicating young age
- the classical diagram of the differences of deuterium and carbon-13 isotopes clearly points to a biogenic origin.

This origin is made plausible by estimates, according to which the rivers supplying the Lake Maggiore each year carry 600'000 t of organic-rich sediments into the lake. The decay of this organic matter corresponds well with the estimated annual gas production in the area of 100'000 m³.

Some points still remain unexplained, e.g. why there are large variations of the deuterium in the methane from identical gas seepages.

- that reservoirs and traps can be formed and filled with hydrocarbons in pressure compartments and specifically in confined domains adjacent to faults;
- that the mechanism was, and probably still is, active in the area of interest since Late Tertiary, as indicated by fluid inclusion studies and the local seismicity;
- that recent generation of hydrocarbons is suggested by geochemical, seismicity and geothermal interpretations;
- that available seismic data points to the possible existence of permeable and porous gas-bearing confined domains of a potentially attractive size.

Wells similar to those proposed are being drilled in many parts of the world ... They are technically difficult but feasible. «

below ground	tectonic unit	stratigraphy	lithology	hydrocarbons	potential reservoir	seals	pressures	drilling problems
	Helvetic Nappes	Tertiary		overthrust			strongly variable under- or over-pressures	losses well-bore stability, differential pressure losses, deviation
1000 m		Cretaceous		○	limestones			
		? Jurassic			○			
2000 m	flysch + molasse	Lower Miocene		overthrust	sandstones		over-pressures	well-bore stability under-compaction fractures shear-zones gas lenses
3000 m								
4000 m		Oligocene						
5000 m				overthrust				
6000 m	autochthonous sedimentary cover	U. Jurassic			limestones sandstones dolomites		hydrostatic to over-pressure	gains or losses of temperature
		Triassic						
7000 m		Permocarb.			○	sandstones		

Test-drilling technically feasible

By then, TGK had identified a number of prospective areas within the concession area for drilling a »farm-out well« – or first exploratory well – to test the Upper Jurassic to Triassic carbonates of the autochthonous sequence, and had proposed a test well of 7'150 m depth at a particular site. An accompanying feasibility study arrived at the conclusion that the well is technically feasible. However, the study also named a few risks apart from the environmentally sensitive terrain, especially well-bore stability in this geologically complex zone, overpressure underneath the Helvetic Nappes, and high temperatures towards the well bottom. A study of the economics of the proposed drilling suggests possibly substantial returns, even if gas prices remained at a low level, provided the drilling really met with a rich reservoir.

The proposed farm-out well of 7'150 m depth, and the structures and conditions likely to be met on the site and around the borehole.

After completion of the NEFF project, TGK has been maintaining all know-how and concessions (despite the liquidation of Swisspetrol due to low gas prices, and the retreat of the foreign partners), and is seeking a technically competent partner willing to co-finance the farm-out well, requiring investments of several dozen million CHF.

Project no. 426

A pressure-wave machine with integrated constant-volume combustion

A novel combustion device for gas turbines was investigated by ABB from 1989 until 1994. It is based on the pressure-wave air compressor, which utilizes the ram-effect of suddenly opening and closing the ends of a long »cell«. The cell is filled with an air/fuel-mixture and ignited in the closed phase. Hence constant volume combustion takes place, promising higher efficiencies and less nitric oxides than conventional constant-pressure combustion. Fundamentals, such as reliable ignition, were studied on a fixed single cell device. Then a 36-cell rotor exhibited a number of unexpected problems, but also indicated possible solutions. In 1994, the project was discontinued, as there appeared to be no market warranting the high research effort still necessary.

***Research targets
research into the
fundamentals of
constant-volume
combustion***

***develop a machine to
the prototype stage,
to be applied as a
combustion chamber
of gas turbines***

The idea of the pressure-wave machine can be traced back a long time. In 1910, the German engineer Burghard patented a cell-rotor similar to the drum of a revolver. If gas suddenly enters a cell (an elongated volume of uniform cross section) a pressure wave is triggered in the air column of the cell, like the sound wave in a whistle. This pressure wave compresses the air in the column and pushes it out the other end, when this is opened at the appropriate time. Several cells are arranged on a wheel and triggered at a certain position. As the wheel rotates, one cell after the other is put into action, and consequently a quasi-continuous flow of pressurized air is produced.

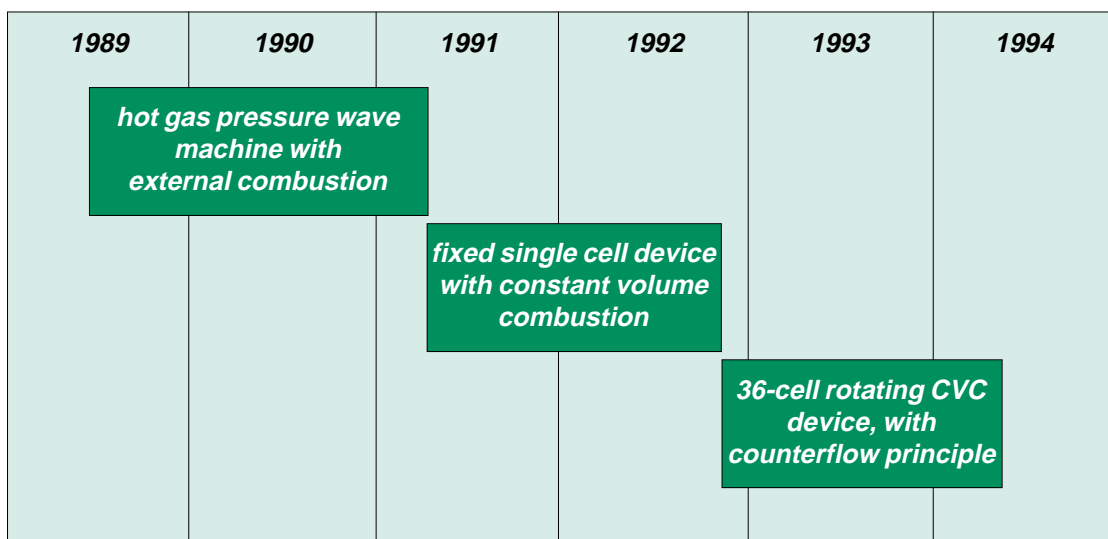
The first successful transformation of this idea into a practical device did not materialize until 1942, when the Brown Boveri Company (BBC) of Switzerland tested such a compressor as the superstage of a gas turbine. However, this device, named COMPREX, was not followed up for another 20 years. Then, in the 1960s, BBC began to develop it further for Diesel engines, encountering numerous physical and technological problems. By the end of the 1980s, the COMPREX had matured into a reliable and economical machine for passenger cars and trucks, being by far superior to the exhaust-gas driven turbo-charger. Due to unfortunate management strategies, BBC, by then ABB, did not reap economic benefits.

***Applications
combustion stage of
gas turbines for elec-
tricity, power, and
co-generation***

***with »helical blading«
also as stand alone
power generator***

Old ideas revived

Also at the end of the 1980s, at BBC/ABB, Baden, the idea of utilizing the principle to supercharge gas turbines was revived, and a device was built. The tests performed from 1989 until 1991 were financially supported by the NEFF. A conventional external combustion chamber delivered the hot exhaust-gas which triggered the pressure wave in the cells. The compressed air emerging from the cells then powered a gas turbine, increasing its efficiency by 17 %, and its specific power



by 25 % compared with conventional operation without the »hot gas pressure wave machine«.

Parallel with this development, another proposal from the past was considered suitable for practical application. In 1948, at the Swiss Federal Institute of Technology Zürich (ETHZ), it had been suggested that the cell be filled from one end with a mixture of air and fuel, the mixture in the closed cell ignited, and then the cell opened at the opposite end allowing the gas to expand. Such an »integrated« combustion, or constant-volume-combustion (CVC), in principle should exhibit some marked advantages over the conventional constant-pressure combustion:

- increased temperature and pressure, resulting in improved thermodynamic efficiency;
- greatly reduced production of nitric oxides (NO_x), thanks to the very short residence time of the combustion gases in the cell (whereas in a conventionally fired gas turbine, nitric oxides increase when efficiency is boosted by raising operating temperature);
- no need for cooling the rotor, as the cells are swept alternately by hot and cold gas.

In order to put this idea into practice, in 1991 ABB commenced a two-phase research project, again supported by the NEFF.

The fixed single cell device ...

The first project phase was aimed at investigating the fundamental parameters of such a CVC-device, such as conditions for reliable ignition. The theoretical promise of low-NO_x was also to be checked.

An arrangement of a fixed single cell with revolving slotted disks acting as shutter valves was chosen on the grounds that a non-moving cell would facilitate the optical observation of ignition and combustion. Furthermore, any modifications necessary could be applied much

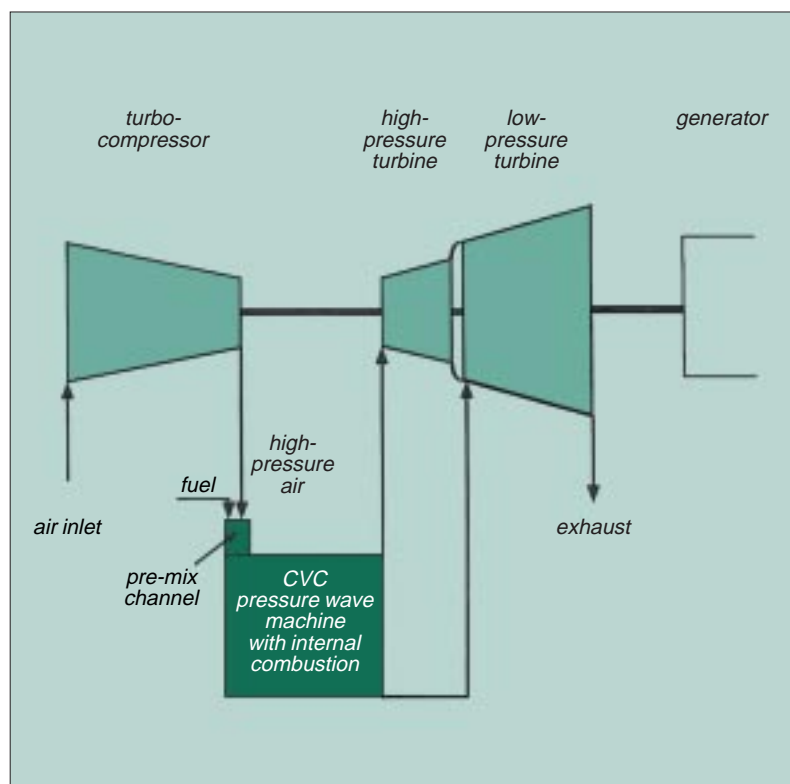
Research work begun in 1988 on the pressure wave machine, fed with hot gas from an external conventional combustion chamber, was supported by the NEFF from 1989. In 1991/92, the first experiments with integrated combustion were undertaken on a fixed single cell. Based on the results of the latter work, in 1992 a 36-cell rotor was designed, and subsequently tested. This device exhibited a number of shortcomings, but also indicated appropriate remedies. However, a new machine was not built, as a marketing survey in 1994 showed that for some time coming there would be no market justifying the huge research effort still necessary.

Findings
CVC was successfully operated with self-sustaining ignition by hot exhaust gas

the pressure rise in the cell was from 2 to 9 bar the low-NO_x potential was validated

for investigations at high pressure, a new revised machine would have been necessary

In the set-up of a gas turbine unit with a CVC pressure wave machine the latter substitutes for the constant pressure combustion chamber of the standard set-up. In both cases, the compressor feeds the combustion with air at a pressure of a few bar.



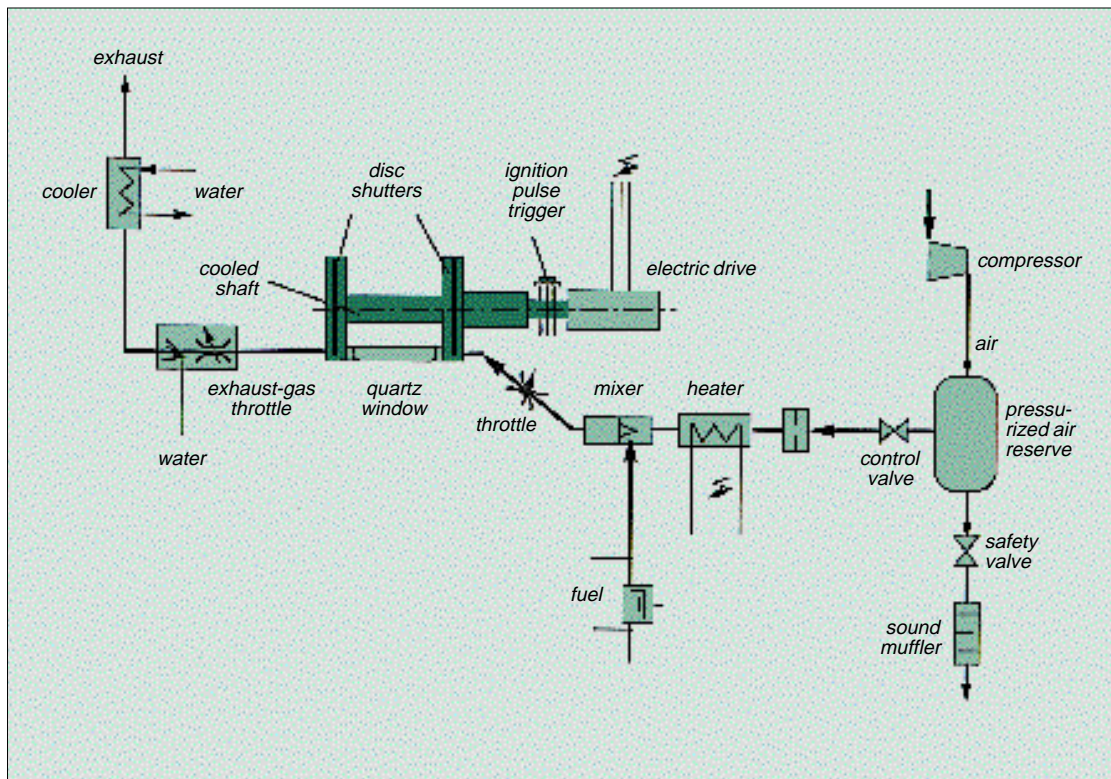
more easily, and overall the device promised to be simpler, because only one input and one output port were required.

The cell was designed according to the experiences gained with the hot gas pressure wave machine. At 165 mm length and 15x15 mm square cross section, the acoustic resonance conditions to generate pressure waves would be met over a wide range of frequencies.

For ignition, three conventional automobile spark plugs were set on the bottom of the cell. Opposing the plugs, pressure sensors were mounted. A quartz-window on the front wall enabled visual observation. Air, supplied by a small compressor, could be pre-heated up to 400 °C, and mixed with fuel – propane – prior to entering the cell. Adjustable position sensors on the shaft of the revolving disks provided the signals to activate the slots to open and close the cell, and the disks were rotated by an electric motor. For minimum leakage of gas out of the spaces between cell and disks, the disks were coated with nickel-graphite, and these layers were ground in situ.

... demonstrating function and low-NOx

The initial series of experiments was designed to search for the optimum concept of ignition. Varying parameters such as the speed of disk-revolution, pressure of the supply air, and ratio of air and fuel, two techniques were found suitable:



- hetero-ignition by spark plugs;
- auto-ignition by hot exhaust gas taken from the previous cell (for these investigations a twin cell was used, with 3 small boreholes in between the pair to let hot gas flow into the next cell).

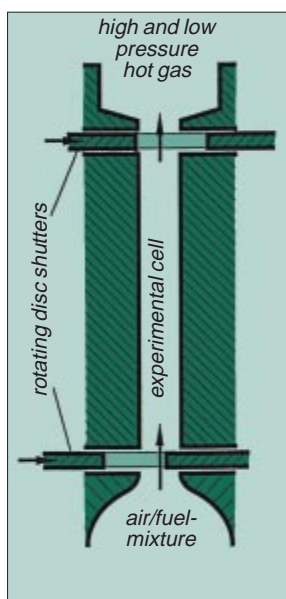
The hetero-ignition was found to function over a wide range of conditions, while the auto-ignition only worked at air-to-fuel ratios above 1.2 and at initial pressures above 3 bar. Hence, the spark plugs were employed during start-up until the attainment of the conditions required for auto-ignition, which then proved to be self-sustaining.

The velocity of combustion in the cell was determined to be between 15 and 44 m/s, which is rather fast, and a safe indication that combustion is turbulent. As in internal combustion engines following the Otto principle, maximum combustion pressures occurred at air-to-fuel ratios below 0.9 that of stoichiometric, i.e. at slightly enriched mixtures. Ratios up to 1.6 were possible. However, even minor deviations of the air-to-fuel ratio, or of the scavenging rate (which is usually 0.8) would cause major changes of combustion temperatures and times.

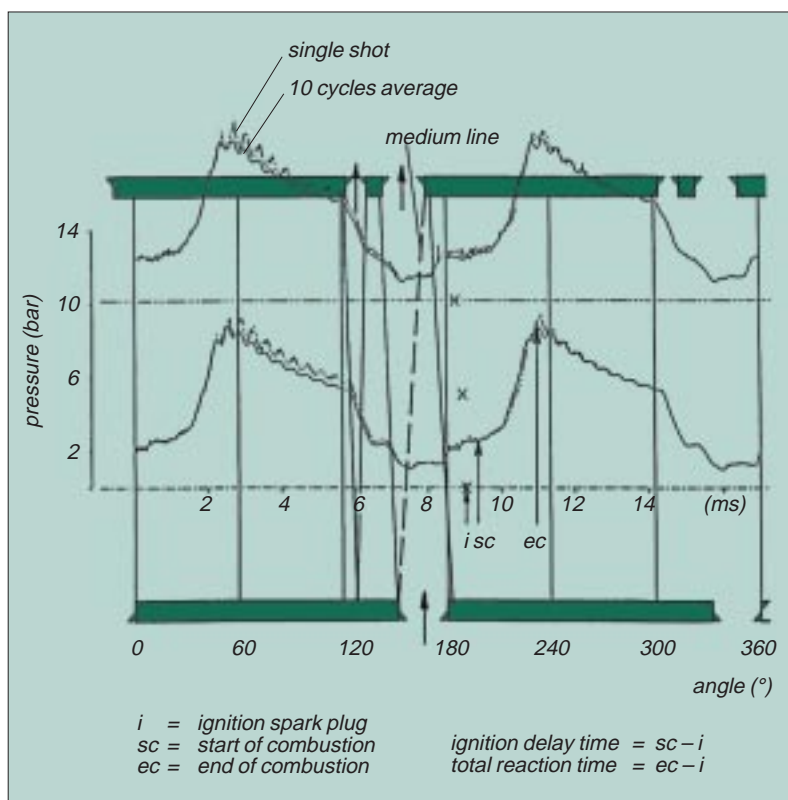
Measurements of the NO_x content in the exhaust gas confirmed the theory, according to which the combustion time – between 1 and 6 ms – is too short to permit the attainment of a nitrogen/oxygen equilibrium. Consequently, NO_x values down to 20 volume-ppm are much lower than any achievable by constant pressure combustion.

Above and below:
The experimental set-up of the fixed single cell device permits variation of pressure and temperature of the air/fuel-mixture, the ratio of air and fuel, the rotational speed of the disks, and the timing of the shutters. The quartz window allows visual observation of the combustion.





Above:
 Schema of the fixed single cell, with disk shutters.



Above right:
 The pressure traces measured at positions 46 and 122 mm in the 165 mm long cell. Ignition was effected by three spark plugs equally spaced over the length of the cell, inlet pressure was 1.5 bar, inlet temperature 23 °C, and shutter speed 3'527 rpm. »Start of combustion« is defined as the onset of a pressure rise above inlet pressure. »End of combustion« is marked by the maximum pressure achieved (approx. 9 bar). Total reaction time, i.e. the time between ignition and end of combustion, is of the order of 2 ms.

The 36-cell rotor with counter-flow-process

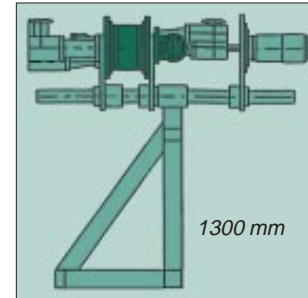
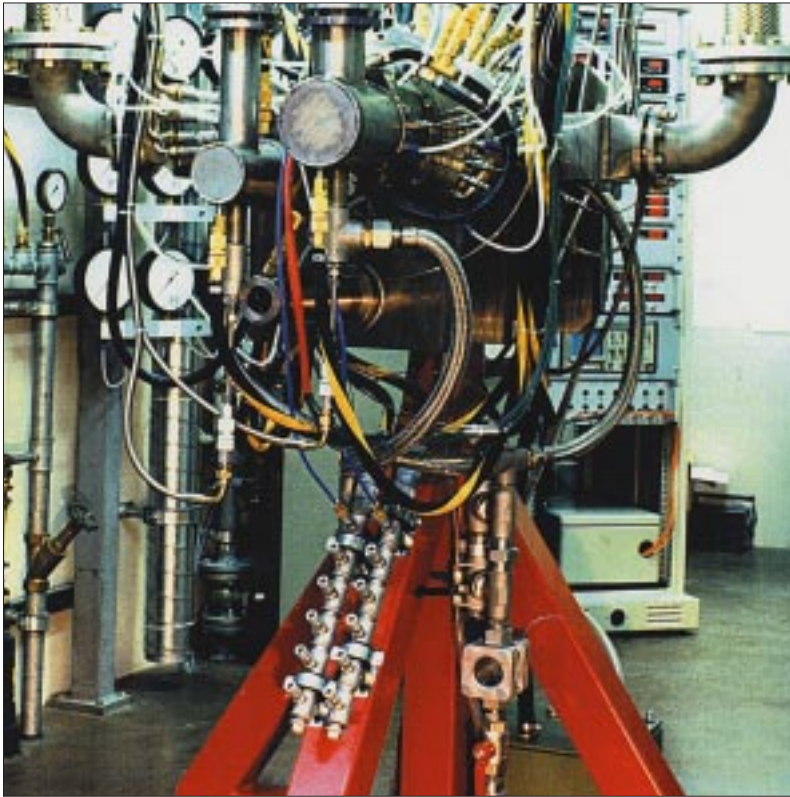
Once the fixed single cell device had demonstrated the viability of the CVC concept, in 1991 the design of a rotating machine with 36 cells was begun. This allowed the testing under conditions closer to those for an industrial machine, including runs at high pressure.

Design guidelines were not only based upon the results gained on the fixed single cell device, but also evolved from theoretical considerations.

In a rotating machine the inlet and outlet ports – for cold air/fuel mixture, high pressure exhaust, low pressure exhaust – can be arranged in two ways. Firstly, co-flow, in which all ports are in line on one side, makes for a strongly non-uniform temperature distribution in the rotor, limiting the temperature of operation, and hence efficiency. Secondly, counter-flow, in which complete sets of inlet and outlet ports are at opposing ends of the rotor, avoids the limitation of co-flow, but evidently requires two cycles per revolution, complicating the design.

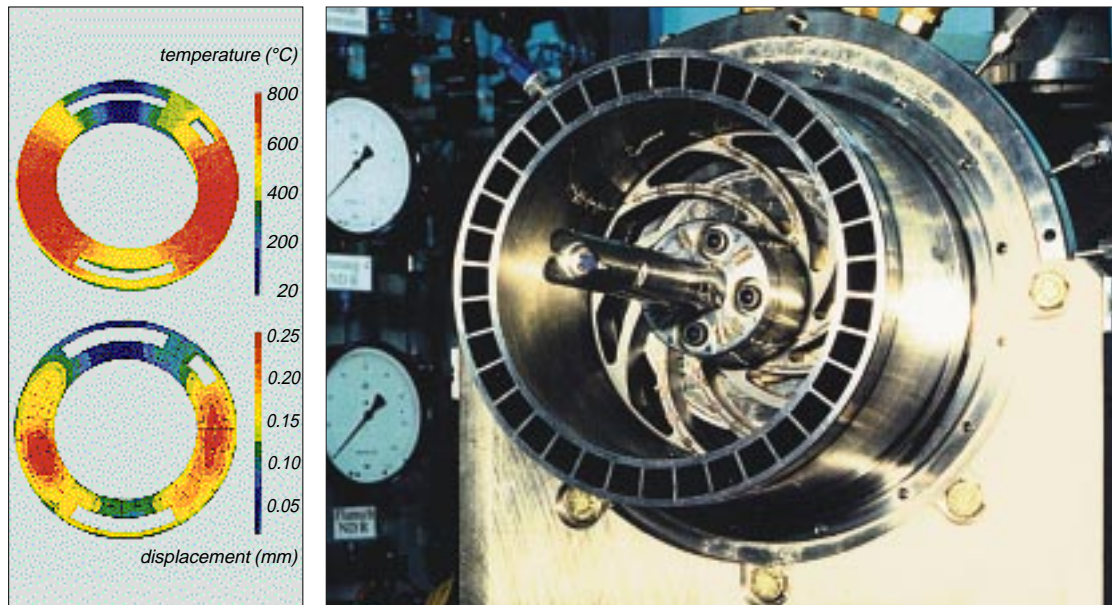
ABB opted for the counter-flow design. To follow the sequence of processes in and around the 36-cell counter-flow rotor, further explanation is now given:

- Immediately outside the inlet-port, air at elevated pressure, such as 2 bar, coming from the compressor is pre-mixed with fuel.



Above and left:
The 36-cell CVC-machine on its support, and fully equipped with measuring gauges. Rotational speeds, mass flows, temperatures, and pressures were monitored, many of them automatically and on-line with digital processing.

- Entering a cell, the incoming mixture faces an opposing compression shock-wave, which was triggered by the closing of the cell at the opposite end. Consequently, the mixture is brought to a halt.
- With the rotor revolving, the inlet port is now closed, and the mixture is ignited. Combustion takes place at constant volume, resulting in a strong rise of both temperature and pressure (both this rise and the combustion itself are three to four times faster than conventional constant-pressure combustion).
- After completion of the CVC, the cell is opened at one end as it passes the high-pressure outlet port. The pressure in the port being lower than that in the cell, an expansion wave is generated, running into the cell and scavenging part of the exhaust gas.
- As the high-pressure outlet closes, the remaining exhaust gas is still at a pressure higher than that in the low-pressure outlet port.
- As soon as the cell faces the low-pressure outlet port (on the opposite side of the high-pressure outlet port), another expansion wave scavenges the remaining exhaust gas.
- Almost simultaneously, the inlet port opens at the opposite end, and a fresh air/fuel mixture enters the cell, sustaining scavenging.



Design and operating data

Above:
As a consequence of its multi-purpose design, the ignition ring is subject to a rather non-uniform temperature distribution (upper figure), with temperatures ranging from 20 °C (dark blue) to 800 °C (dark red). In accordance with this temperature distribution, the axial displacement (lower figure) is inhomogeneous, ranging from slightly negative values (dark blue) to 0.25 mm (dark red). Both figures result from calculations on the basis of a finite element model.

Above right:
The 36-cell rotor, shown without the ignition ring on the front side. The diameter is 200 mm, and the cells have a cross-section of 15x15 mm.

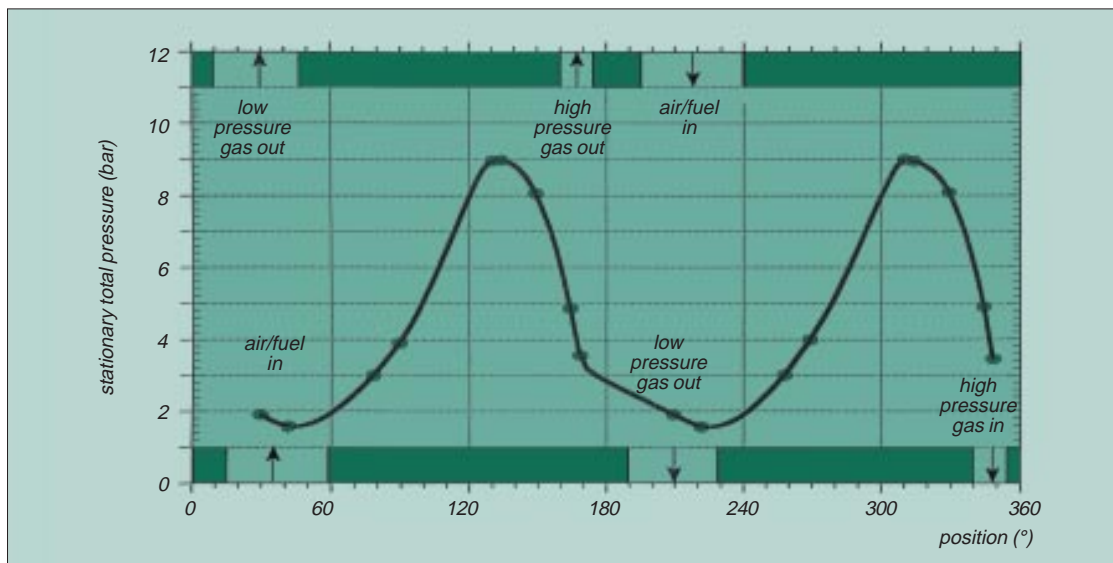
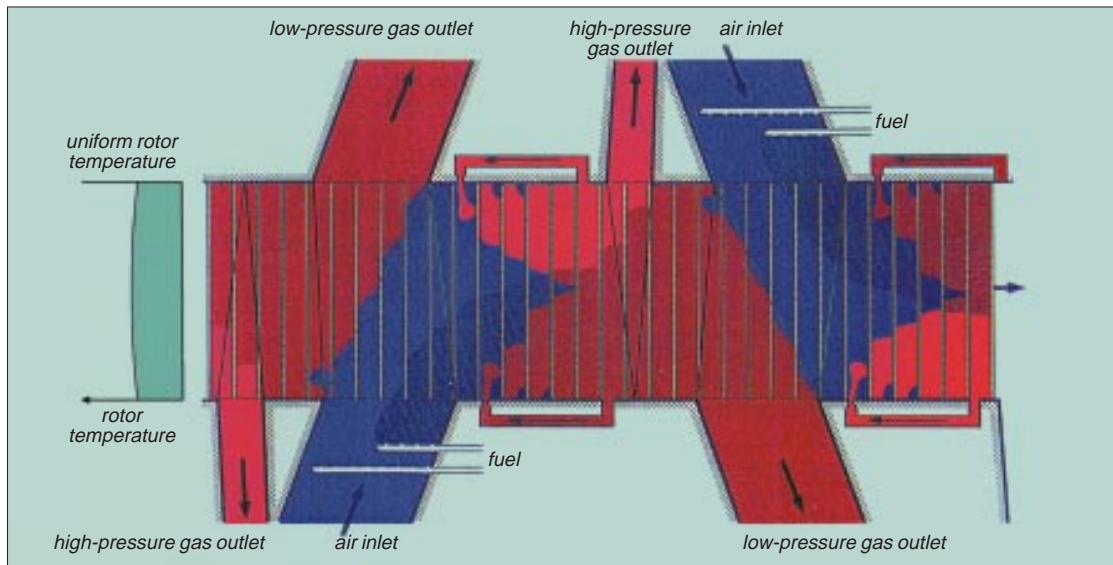
The machine was designed large enough to reliably permit the transfer of the data to a future prototype (which was then foreseen to serve co-generation), but not too large to exclude the use of the existing laboratory facilities. The dimensions of the fixed single cell were retained, i.e. 165 mm length and 15x15 mm cross section. Hence 36 cells were placed on the circumference of a rotor of 200 mm diameter, the wall between the cells being 2 mm thick. The rotor was driven by an electric motor capable of up to 5'000 revolutions per minute.

A stator accommodated all the input and output tubes, the interfaces to both ends of the rotor being ignition rings carrying spark plugs and other ignition devices.

As temperatures around 800 °C were expected in the rotor, it was made of a heat-resistant Nimonic alloy, which has a base of approx. 50 % nickel, and 20 % each of cobalt and chromium, the remainder being molybdenum and titanium. The axial expansion of the rotor when heated from 20 °C to 800 °C is 2.2 mm. To secure the minimum possible clearance between the rotor and the ignition ring, an electro-mechanical device was designed to make the stator follow the expansion of the rotor.

Stratification of the mixture

The experiments, commenced in the spring of 1992, revealed a number of unexpected problems, necessitating numerous modifications and causing delays of the measurement programme. Theoretical



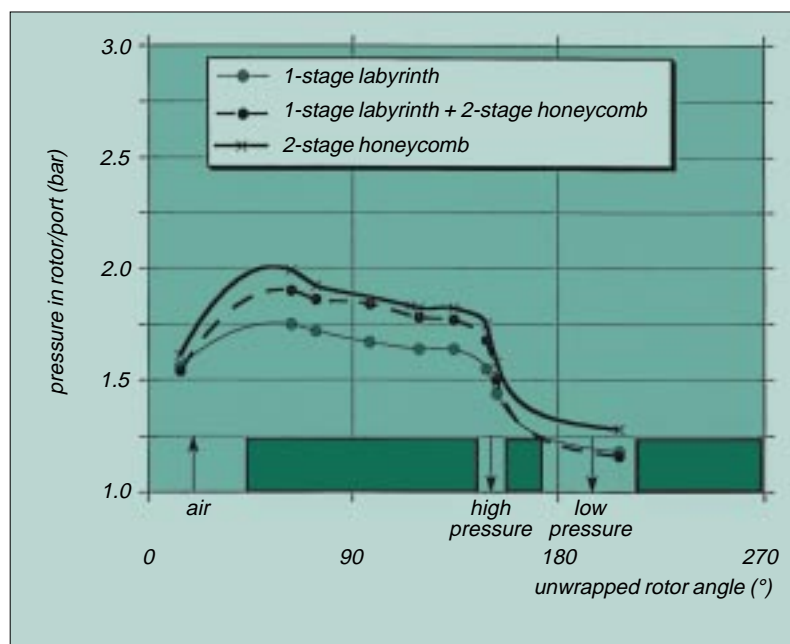
considerations as well as the fixed single cell experiments had shown that direct injection of a fuel into the air-filled cell would produce an inhomogeneous mixture. Combustion then would progress as a diffusion flame: much too slow to be in phase with the pressure waves. The necessary homogeneous mixture was achieved by injection immediately prior to the inlet port, and by using special vortex generators.

In order to scavenge the exhaust gas in one sweep, stratification of the mixture in a cell is necessary. This was obtained by employing four different injection nozzles. Their use revealed that scavenging the exhaust gas from a cell in one single sweep would leave some exhaust gas in the cell, which would only be completely scavenged after two or three sweeps. For complete scavenging prior to the new filling, the

Above:
The counter-flow process in the 36-cell rotor, as evolved in a plane (for description of the process see 2 pages earlier).

Below:
Pressure traces in the cells during the counter-flow process depicted above (rotor speed 2'850 rpm).

Sealing to reduce leakage was the major problem of the 36-cell device. Here the improvement in pressure retention as measured in the rotor and ports is shown, which was achieved with various sealing principles. The measurements were made with air.



sweep should be executed in two steps, one at high and the other at lower pressure (already proven in the hot gas compression wave machine), requiring a stratification of the mixture in the cells.

Various fuels were tried. Natural gas had to be pre-heated to yield satisfactory combustion. Propane as well as oil required the addition of hydrogen to improve inflammability.

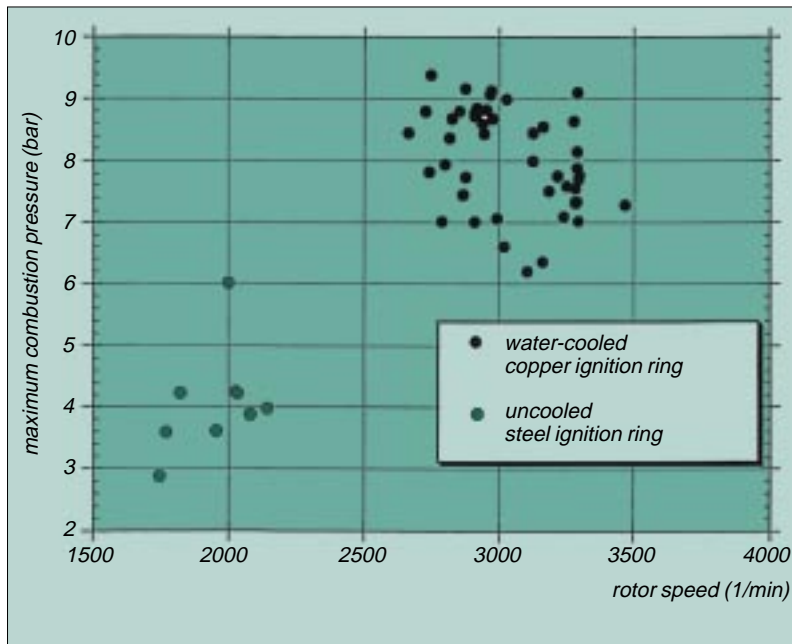
Ignition

The method of ignition used in the 36 cell device, as with its other features, relied on the experiences gained with the fixed single cell: spark plugs for start-up, and auto-ignition by hot gas for continuous operation.

There was one spark plug at each end of a cell, for simultaneous ignition from both ends, and another pair for the second cycle of the counter-flow-system. As the plugs had to serve 36 cells at up to 5'000 revolutions per minute of the rotor, sparking frequency had to be as high as 3'000 Hz (which is ten times the frequency in motor cars), necessitating a special transistorized ignition system. It was triggered by optical sensors on the rotor shaft.

As alternatives to spark plugs, and in their positions ignition burners injecting pressurized air and propane were tried, but did not suffice.

The hot gas for self-sustaining auto-ignition was taken from the end of the combustion zone and conducted outside the rotor to the beginning of this zone, where it was axially injected through boreholes of 2 or 3 mm diameter, from both ends of each cell.



One of the major causes of leakages was the inhomogeneous temperature distribution in the ignition ring, which made it warp. In comparison to an uncooled ring made of steel, considerable improvements could be achieved by machining the ring out of copper and additionally cooling it with water – the maximum combustion pressure rose from an average of 4 bar to an average of 8 bar.

Problem areas

Although fuel injection and ignition finally worked well, tests were restricted to low pressures, at maximum 9 bar, the reason being gas leakages which resulted in misfirings outside the rotor (whereas premature firing occurred inside the cells due to the rotor, for which no cooling had been provided, overheating).

One of the problem areas was the ignition ring. Accommodating the air/fuel inlet as well as high pressure and low pressure outlets, and bordering on two combustion zones, this ring is subject to a rather non-uniform temperature distribution. As a consequence, and despite being manufactured from Inconel, it warped, thus enlarging the gap between rotor and stator. Cooling could have smoothed the temperature distribution, but there was not sufficient space to accommodate water tubes large enough.

The fact that the rotor had been supported by bearings at one end only, and hence had a tendency towards rocking transversely also necessitated a wider gap than designed. In addition, the electro-mechanical adjustment of the gap between rotor and stator had turned out to be much too complicated and sensitive.

In order to at least partly overcome these shortcomings, various seals between rotor and stator were tried. Originally, an abradable coating of nickel-graphite had been plasma-sprayed onto the rotor, following the idea that this seal would rub its own profile. A ring on the rotor, matching a groove in the ignition ring, brought some improvement. Then a two-stage, and finally a five-stage honeycomb seal on the rotor achieved the best results – however not sufficiently to allow high pressure runs.

***Main shortcomings of the 36-cell device,
consequences, and possible remedies
in a new machine***

No collection and removal of leakage gas

Consequence: air/fuel-mixture and hot exhaust gas can meet and mix in the space between rotor and stator, igniting at elevated power.

Remedy: lead away duct for leakage gas

Insufficient cooling of the rotor

Consequence: rotor temperatures too high, air/fuel-mixture can be ignited upon entering the rotor, causing premature firing

Remedy: cooling of the rotor, preferably with compressed air

One-sided suspension of the rotor by one bearing only

Consequence: unstable running of the rotor, increasing axial clearance and leakage

Remedy: suspension of the rotor on both sides

Electronic clearance control too complex and delicate, sensors unreliable

Consequence: too frequent contact and too much leakage

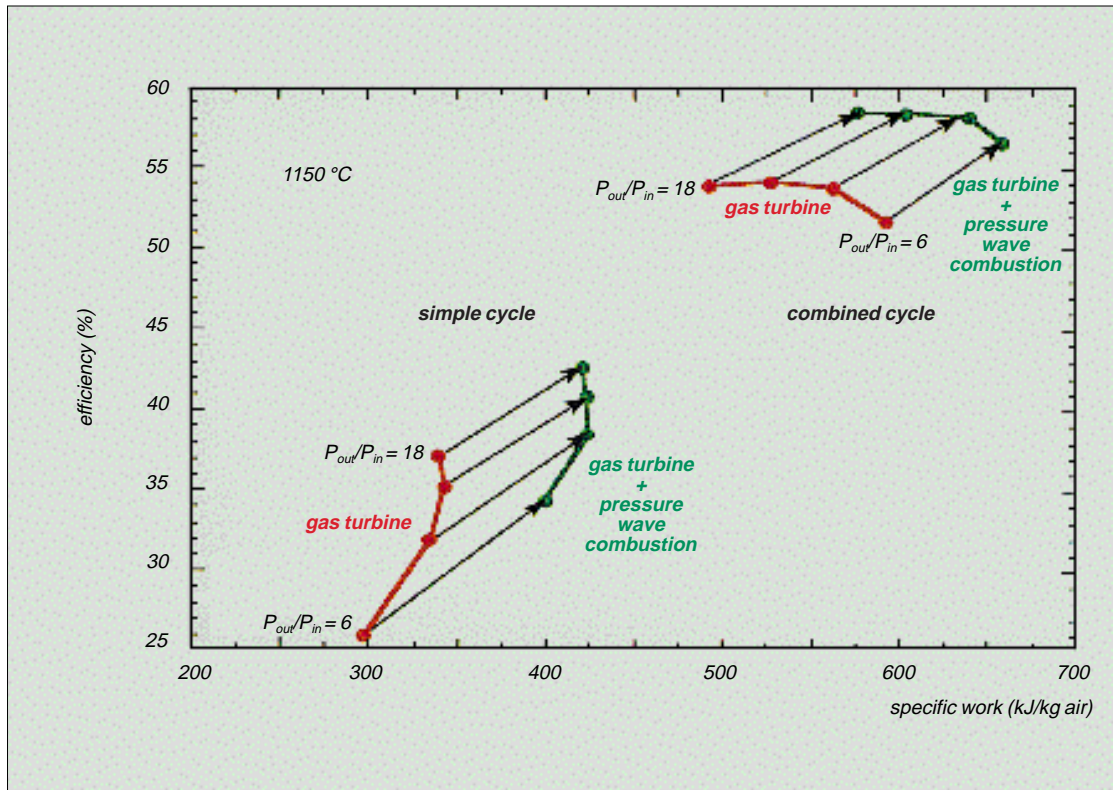
Remedy: control such that stator can follow axial thermal expansion of rotor

Lacking market stops development

At the end of 1994, the project team concluded that the existing pressure wave machine had arrived at its limits. By merely modifying it not much would be gained, and high-pressure testing still would not be possible. For further investigations, a new machine would have to be built, with fundamental improvements as suggested by the above results: cooling of the rotor, rotor bearings at both ends, improved gap-adjustment, better sealing, and possibly a co-flow process to simplify gap control.

At this stage, ABB conducted a market-survey regarding the future prospect of co-generation technologies. One of the aims of the CVC project had been a small CVC fired gas turbine for co-generation. Now this survey revealed that conventional co-generation plants equipped with Diesel or gas engines would remain unbeatable for some time to come with respect to thermodynamic efficiency as well as to economy. Hence, further development of CVC for co-generation could no longer be justified.

However, some novel concepts had spun off in the course of the project. One of them is having curved cells inside the rotor. With such »helical blading«, the expanding exhaust gas should deliver its power directly onto the rotor itself, rendering superfluous the gas turbine. Yet, as developing CVC in this direction would mean an effort much beyond



that for a co-generation machine, ABB put CVC on the shelf – even though work appeared to be much more advanced than that at NASA, the only other institution in the world known for strong activities in this field (directed towards the powering of aircraft).

Apart from the low-NO_x properties, the main attraction of CVC combined with gas turbines is the possible improvement of thermodynamic efficiency and power, whether the gas turbine is operated in a simple cycle for electricity generation only, or in a combined cycle for co-generation of electricity and heat.

Project no. 434

Diffusion-absorption heat pump with a 1.5 coefficient of performance

Backed by over 50 years of experience in the field of gas-fired absorption refrigerators, Hans Stierlin commenced developing a gas-fired diffusion-absorption heat pump, or DAHP, in 1980. His target was a modular device of 3 kW heating power and 1.5 COP. By 1989, prototypes had demonstrated the viability of his design path. Optimization of crucial components was then financed by the NEFF. In 1991, the target was fully met, and subsequently verified at the ETH Zurich. Beginning in 1992, two DAHP were field-tested in combination with gas boilers and outdoor air/brine heat exchangers. The DAHP proved to be a reliable base load heater saving 1/3 of natural gas. Absolute silence and small dimensions make it suitable for room installation. It will be marketed as from 1997.

Research target:
finish the development of a gas-fired diffusion-absorption heat pump (DAHP) in the 3 kW power range
reach a COP of 1.5
design the DAHP for series production

In April, 1989, Hans Stierlin applied to the NEFF for support of his finishing the development of a diffusion-absorption heat pump. The mechanical heat-pump driven by an electrically powered compressor, he wrote, was not really superior to a modern oil- or gas-boiler in terms of primary energy consumption. Whereas the latter achieved coefficients of performance (COP) close to, and – in the case of condensing boilers – even slightly better than 1, the mechanical heat pump did not reach such values. To illustrate this statement, Stierlin gave the following example: raising the temperature by 56 K, mechanical heat pumps average a COP of 2.4, but the electrical energy to drive them arrives at the heat pumps with a COP of 0.32 only – rendering an overall COP of 0.77!

Stierlin suggested a shortcut to the path from primary energy to usable heat by means of a heat pump based on an absorption principle, and powered directly by a gas flame. His own development had already achieved at a COP of around 1, and with the project work in question – mainly optimizations – he hoped to push this value to 1.5. The corresponding savings of primary energy and reductions of CO₂ as well as other hazardous substances would be accompanied by more environmental benefits, like the absence of noise, and use of ammonia as the working fluid instead of fluorinated hydrocarbons.

Applications:
supply of base load for two-mode space heating and hot water, possibly also for cooling, in apartments and family homes

The basis: experience and two phenomena

Hans Stierlin was not a newcomer to this field, his engagement with absorption machines dating back to 1944. He then had built a small absorption freezer, which became the basis of millions of household refrigerators produced by Stierlin's own enterprise »Sibir«. He never ceased experimenting and developing, thereby accumulating – apart from countless patents – a wealth of experience in the complex and

1989	1990	1991	1992	1993	1994
<i>R&D since 1980</i>					
	<i>partial pressure measurement method, optimization of crucial components</i>				
				<i>COP verification, field tests (not NEFF-supported)</i>	

tricky absorption technology.

As from 1980, gradually retiring from management, he devoted his interest more and more to the diffusion-absorption heat pump, or in short form: the DAHP.

Stierlin's absorption refrigerator operates on two fundamental phenomena:

- Firstly, large quantities of ammonia gas are absorbed into cold water at low pressures and can then be driven out again at higher temperatures and pressures.
- Secondly, ammonia vapour is condensed at high pressures and temperatures, and is subsequently evaporated at a lower temperature, both in the presence of an inert gas, and even though the total pressure remains the same. During this evaporation process, large quantities of heat can be taken into the ammonia.

These phenomena are also the basis of the DAHP. To understand this all but simple device, it may serve to have a closer look at the absorption refrigerator first.

The absorption refrigerator

Simplified, the refrigerator consists of an absorber, a heater, a condenser, and a pump. In the condenser, cold water absorbs ammonia, forming a »rich« solution. Then this solution is heated up by means of a gas burner, thereby driving out, or evaporating ammonia, and leaving behind a »poor« solution. The ammonia-vapour now liquefies in the condenser, giving off the heat of condensation. Finally, to complete the cycle, the liquefied ammonia has to be gasified and brought together with the »poor« solution in the absorber. The circulation of solution and ammonia is effected by the pump.

Hans Stierlin had started developing a DAHP in 1980, and by 1989 several prototypes had been built. The NEFF-sponsored project was performed in 1990 and 1991, boosting the DAHP to a stage ready for production. Field tests, and official verification of the 1.5 COP, were carried out beginning in 1992 and supported by the Federal Office of Energy, BEW. In 1996, a leading German manufacturer obtained the first licence to produce and market the 3 kW DAHP.

The resulting DAHP:

3 kW heating power

usable also for cooling

overall COP of 1.5

seasonal performance better than 1.4

saves 1/3 of natural gas

absolutely silent emissions within Swiss limits

suitable for room installation

In more detail, the real system works as follows, with Stierlin avoiding the use of a mechanical pump.

There is a reservoir (see opposing page) containing approx. 1 liter of a »rich« solution: about 65 wt% water, and 35 wt% ammonia. This liquid passes through the liquid heat exchanger, where it is slightly heated, and hence some ammonia is driven out of the solution. This vapour forms bubbles which push columns of liquid up a vertical tube, a bubble pump. Having arrived at the upper, open end of the tube, the liquid falls down and passes through the boiler. Here, the liquid is heated to approx. 180 °C, and more ammonia is driven out, leaving behind a »poor« solution containing about 10 wt% of ammonia. Now the hot »poor« solution advances to the top end of the absorber, passing around the inner tube of the liquid heat exchanger, thereby transferring heat to the incoming »rich« solution.

Hydrogen as the auxiliary gas

When leaving the boiler, the ammonia-vapour has a temperature of approx. 150 °C, and it contains water vapour. The water is condensed by passing the vapour mixture through a rectifier, or water separator, which dissipates heat to the atmosphere thereby lowering its own temperature. In practice, the ammonia vapour now is pure, and enters the condenser at about 70 °C.

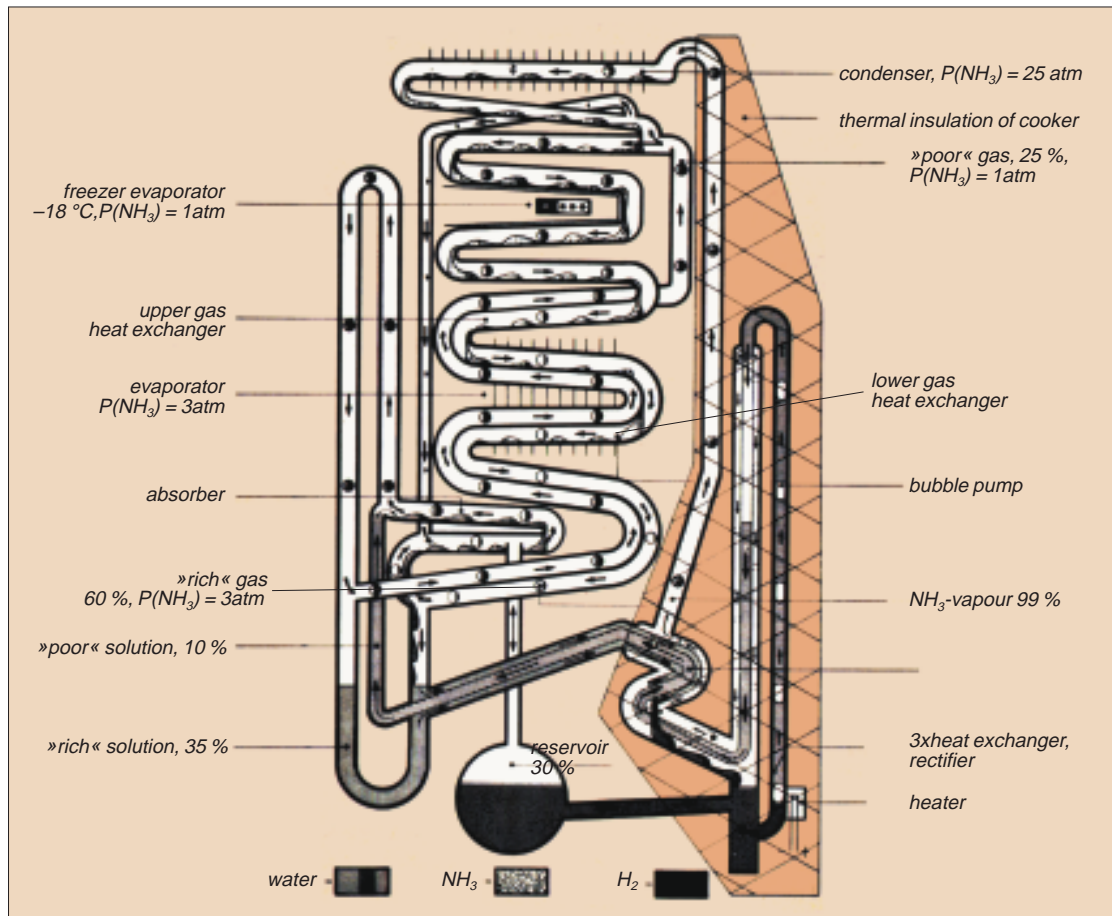
The condenser is a finned tube at room temperature. At this temperature, and at a pressure around 2'500 kPa, the ammonia vapour condenses. The now liquid ammonia passes through the pre-cooler to the tubular coil of the freezer and cabinet evaporators, where it wets the inner surfaces of the tubes.

In the evaporator, hydrogen gas is blown over the wetted surface. As a consequence, the liquid ammonia evaporates into the hydrogen, although the total pressure inside the tubes is also 2'500 kPa. The explanation: at the entrance of the freezer, the ammonia is under a partial pressure of 100 kPa, whereas the partial pressure of the hydrogen is 2'400 kPa. As the ammonia continues to evaporate into the hydrogen, the partial pressure of the ammonia gas continues to rise slowly, and so does the evaporation temperature.

Gas separation by weight

When the hydrogen and the liquid ammonia finally arrive at the cabinet evaporator through the upper gas heat exchanger, the partial pressure of the ammonia has reached 300 kPa, and the partial pressure of the hydrogen has fallen to 2'200 kPa.

In the cabinet evaporator, the remaining liquid ammonia evaporates at a temperature of approx. -5 °C. The mixture of hydrogen and ammonia vapour is much heavier than the almost pure hydrogen. Hence, the vapour mixture drops through the bottom gas heat exchanger to the



bottom of the hydrogen circuit, and arrives at the upper surface of the reservoir. From there, it passes to the bottom of the absorber.

The vapour mixture, rich in ammonia, now meets the »poor« solution coming down the absorber from the boiler. The absorber, having a large surface, maintains a temperature only slightly above room temperature, and the »poor« solution stays relatively cool. The poor solution absorbs the ammonia vapour from the vapour mixture, while the hydrogen remains unaffected in the process.

Finally, almost pure hydrogen leaves the upper end of the absorber. At the bottom end of the absorber, the now »rich« solution returns into the reservoir. The hydrogen gas rises to the evaporator, and the cycle can start all over again.

Scaling problems

The utilizable power – in this case the cooling power – of such a unit is of the order of 20 to 50 W, whereas a heat pump has to have at least 3 kW. However, scaling-up is by no means a simple task, as has been demonstrated by several failed attempts made by renowned com-

Stierlin's gas-fired absorption refrigerator was the basis for the DAHP. This simplified drawing may serve to give an impression of the delicate thermodynamic equilibria between »poor« and »rich« solutions, ammonia vapour, and auxiliary gas. Yet the refrigerator has proven to be extremely reliable, due in part to the absence of any moving parts.

Stierlin's private laboratory at Schlieren near Zurich, where he did all the development work on the DAHP. In the foreground at right, behind the ladder, is a prototype. In the background at left is a poster showing the working scheme of the DAHP.



panies over the years. Furthermore, the COP of Stierlin's refrigerator is much less than 1, while his goal was 1.5.

One of the main problems of scaling-up is the bubble pump, which cannot easily be adapted to the much higher mass flows.

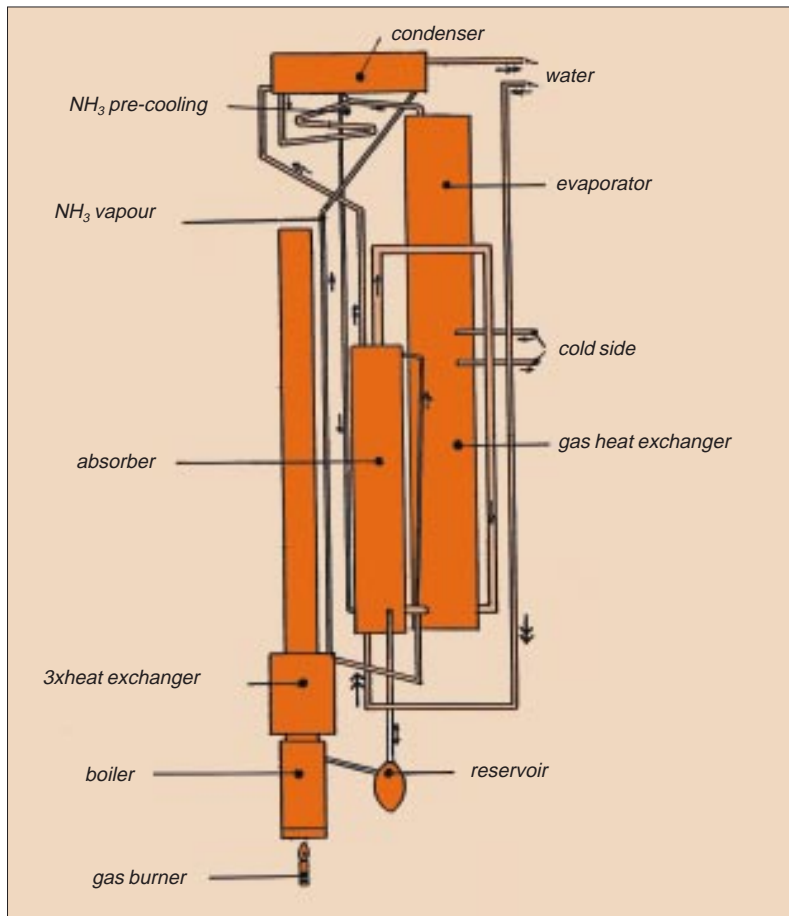
Pumping is also one of the major obstacles in scaling-down the classical absorption refrigerator. This machine, in contrast to Stierlin's refrigerator, employs a mechanical solution pump to overcome the pressure difference between the condenser and the evaporator, which, as mentioned above, is in the order of 2'500 kPa. Large units of up to 1'000 kW cooling power have been built along this line.

This mechanical pump, generally an electrically powered hydraulic membrane pump, is rather noisy and has a rather poor energy efficiency, considerably decreasing the overall COP of the absorption heat pump. To achieve a high COP, the »rich« solution would have to be heated almost to its boiling point, which in turn would create the risk of cavitation.

Milestones towards a DAHP

In 1980, Hans Stierlin decided to develop a DAHP out of his refrigerator, for which he had already designed the so-called 3xboiler in 1971. Instead of a special rectifier, which dissipates almost 1/3 of the heat supplied to the boiler, now there is a counter-flow heat exchanger between the »poor« solution, the »rich« solution, and the vapour leaving the boiler. The »poor« solution coming from the boiler, and the ammonia vapour are being cooled from approx. 180 °C down to less than 100 °C. The heat gained is utilized to drive additional ammonia out of the »rich« solution.

In 1986-87, Stierlin succeeded in reducing heat losses dramatically by a refined design. Now almost all of the rectification heat could be



The circuits of the DAHP:

- **Gas burner and 3xboiler drive ammonia out of the solution.**
- **In the 3xheat exchanger »poor« and »rich« solutions and ammonia vapour exchange heat amongst each other.**
- **In the condenser ammonia vapour liquefies, thereby giving off heat to water, or a heating circuit.**
- **In the evaporator the solution takes in heat from the cold side – from ambient air via a brine circuit.**
- **In the gas heat exchanger, helium gas transports evaporated ammonia to the absorber.**
- **In the absorber, in a counter-flow to the gaseous mixture of ammonia and helium, the »poor« solution becomes »rich«, and pure helium gas returns to the evaporator.**

re-introduced into the process, and consequently the COP of the apparatus was improved by not less than 50 %, arriving at a value of 0.51.

Also in 1971, Stierlin had invented the multiflow evaporator gas heat exchanger, also called 3xheat exchanger. This component splits up the auxiliary gas circuit into a great number of parallel channels. Each upgoing channel is connected at the top to one only downgoing channel, forming a pair. All the pairs are interconnected at the bottom only. Evaporation takes place in each upgoing channel, and therefore each pair has its own driving force. With the total mass of auxiliary gas now evenly distributed over all pairs, enabling nearly perfect heat-exchange, much more powerful units are possible than the original refrigerator, and the overall COP again is increased.

A third milestone towards Stierlin's ambitious COP of 1.5 was his improvement of the bubble pump to achieve a pumping height of more than 1 m. This was done by employing six parallel pumps, each powered by a small atmospheric gas burner of 92 % combustion efficiency.

Heated by a gas flame, the 3xboiler drives ammonia out of the »rich« solution of ammonia in water. The eight bows on the side are the vapour bubble pumps.



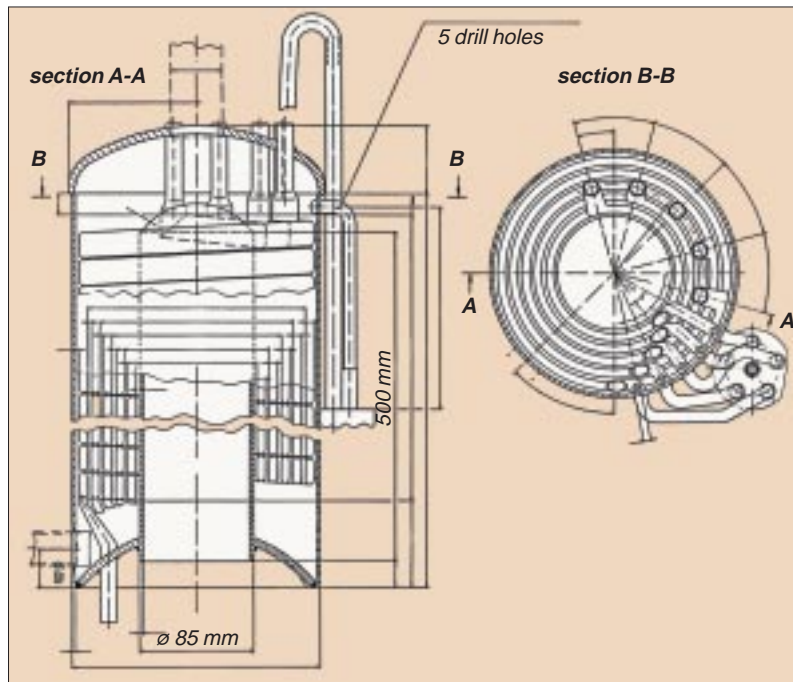
The first prototypes

After all of the above major achievements and some other incremental ones, in 1986 the first prototype DAHPs of 3 kW heating power were built. Stierlin had restricted his machines to this value because just a little less than 1 kg of ammonia is required. This quantity is not subject to regulations in Switzerland, hence a DAHP of the named power could be installed in any place where a gas-fired refrigerator might stand, for example inside an apartment.

With a view to such placements, Stierlin had designed the prototypes to occupy a standing area as small as possible, resulting in 0,14 m² only. On the other hand, he could not avoid the considerable height of 2.3 m of the first prototype, necessary to produce sufficient drive for the gas circulation.

As an auxiliary gas, he used helium instead of hydrogen for the following reason: at the pressure of 2'500 kPa, or 25 bar, a possible leak in the circuit could mean danger of explosion. Experience with the hydrogen-filled absorption refrigerators showed that such leaks in the hermetically sealed circuit consisting mainly of welded steel tubes occur very rarely, but cannot be excluded.

To link the DAHP with an outdoor heat-source like air, on the evaporator side a secondary circuit is integrated with the condensation of a refrigerant or brine, and is connected to an outside heat exchanger which is aerated by some means, for example a ventilator. This secondary system allows a DAHP to be used for cooling purposes, reaching temperatures well below the freezing point.



Top: Looking down into the absorber, where the »poor« solution again enriches itself with ammonia.

Left: Longitudinal and cross sections of the absorber, giving an idea of its complex structure – the result of many years of acquiring know-how in the field of absorption-apparatuses.

Generally, the heating power of 3 kW would not suffice to keep a house warm. Therefore the prototypes already were built in a way to permit an easy connection of two or more units.

Each subsequent prototype had some improvements incorporated as compared to its predecessor, resulting in an ever higher COP. Prototype no. V, built in 1989, arrived at a COP of around 1 – still some way from 1.5. But Stierlin had realized where and how the missing performance could be gained, namely in the absorber and in the evaporator and by optimizing all components – a task neither simple nor cheap. At this stage he – or rather his development company »DAWP Creatherm« – made the application to the NEFF.

Prototype no. VI

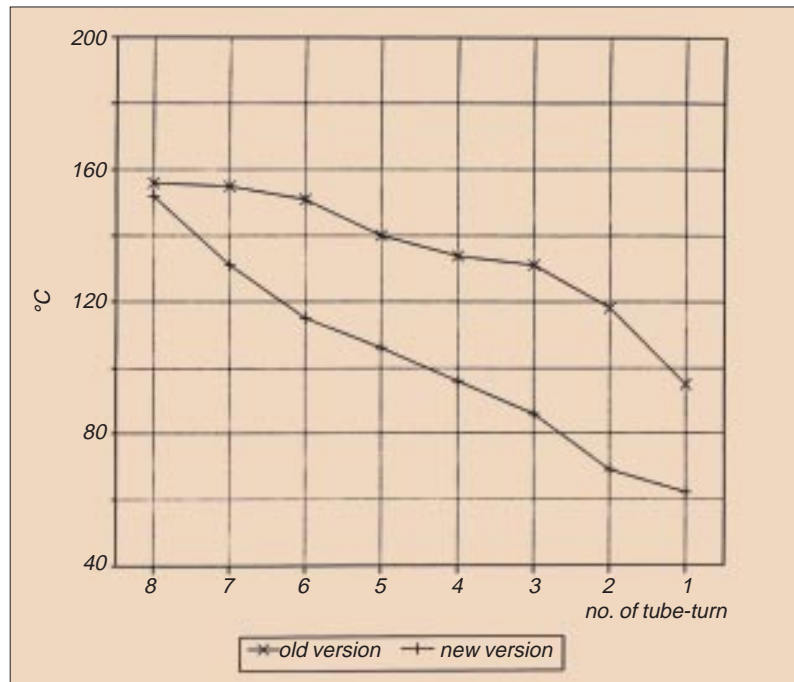
Backed by the NEFF from the beginning of 1990, work concentrated on developing a method to continuously measure partial pressures. The standard procedure had been to take vapour samples out of the circuit and have them analyzed. This is tedious, time consuming, and it perturbs the circuit. The new method is based on determining the evaporation temperature of the gas component to be analyzed. A minute amount of vapour is continuously being extracted from between 3xboiler and condenser. After cooling, this vapour is brought in contact with cooled ammonia. Now the temperature of evaporation is measured, which in this case – no heat being put in – is equal to the boiling temperature and corresponds to the partial pressure.



Top:
The 3xheat exchanger, also referred to as multiflow evaporator gas-heat exchanger, another complex component incorporating enormous know-how. Here »poor« and »rich« solutions and ammonia vapour exchange heat amongst them.

Below:
The heart of the 3xheat exchanger is a tube, encapsulating two flattened tubes. Flattening increases the heat transfer area on both sides.

Above right:
Flattening of the exchange-tubes markedly improved the heat transfer, which can be seen from the much better cooling down of the ammonia-vapour than by the previous design.



The new method enabled Stierlin and his assistants to precisely spot and define the weak points of the earlier prototypes.

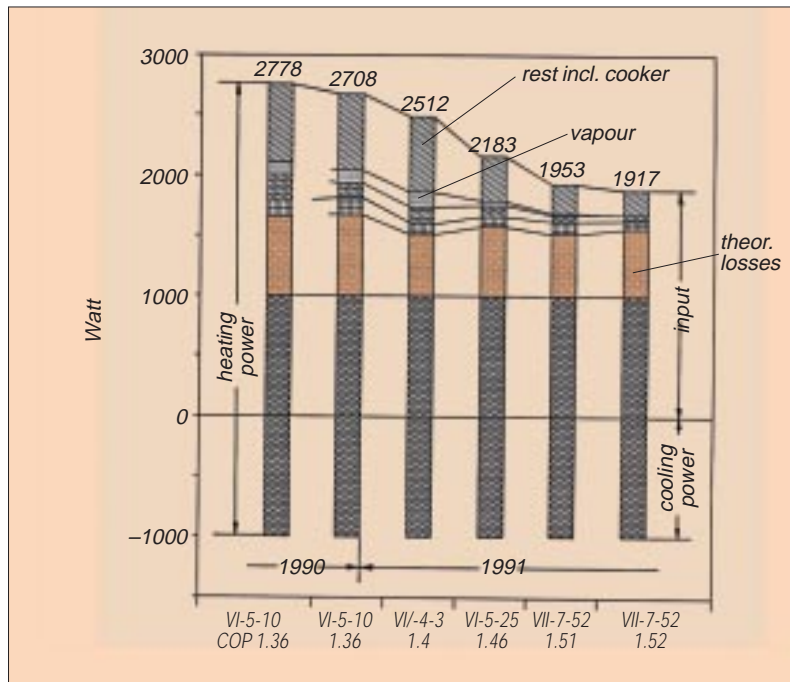
The first result was prototype no. VI, built towards the end of 1990. Here, the absorber consists of five concentric spirals, made of flattened tubes through which the brine of the secondary circuit is flowing. The flattening means that the diffusion paths are shortened, which is of importance. For optimum wetting of the surfaces, the ammonia coming from the condenser, and the »poor« solution from the 3xboiler have to be spread well, because at only a few grams per second, mass flow is very small. Such spreading is now achieved by calibrated jets of approx. 1 mm diameter.

The evaporator was altered in a similar way. Also, the gas heat exchanger was improved upon to increase its efficiency.

Prototype VI achieved a COP of 1.36 in terms of cooling power at the intended temperatures of -3°C on the cold side, and 53°C on the warm side.

However, the gas heat exchanger appeared to be too complicated, and its efficiency was still less than desirable. A new multiflow version, with the gas divided up into many parallel flows and increased surface for heat exchange, boosted prototype VII to a COP of 1.46 in the spring of 1991.

The one serious COP-limiting weakness still remaining was the heat loss from the 3xboiler, amounting to 250 W. After many attempts with various insulating materials, among them vacuum, the Stierlin crew finally succeeded in cutting the heat loss to a mere 50 W by means of a powder insulation. Now, towards the end of 1990, prototype VII sur-



Energy flow diagram of DAHP prototypes investigated in 1990 and 1991. The COP, defined as the ratio of heating power and energy input, was increased in steps, mainly due to improving the energy efficiency of the 3xboiler and the various heat exchangers.

passed the magic value of 1.5 by arriving at 1.52 in terms of cooling power. To the 3 kW cooling power, 2 kW are contributed by burning gas, and 1 kW is taken from the environment. Other achievements, with a view to domestic use, were the reduction of the unit height from 2.3 to 1.93 m, and an overall design geared towards cheap mass production.

Verification of COP 1.5

At this stage, with the project goals reached, the NEFF project had come to an end. Yet there remained some open questions which had arisen from the project work. They mainly concerned the power control of the DAHP, the use of the DAHP for cooling or climatization, and the utilization of other fuels than natural gas.

To officially verify the COP, and for field tests, the Swiss Federal Office of Energy, BEW, granted financial support.

COP-verification was effected at the Swiss Federal Institute of Technology in Zurich in 1993. A DAHP corresponding to prototype no. IX was tested, according to the German DIN standard 33830, at the two states S0W35 and S0W50, S0 being an input temperature of the heat-carrier of 0 °C, W35/50 being the output temperatures of 35 and 50 °C, respectively. To achieve 50 °C, the DAHP was filled with helium as the auxiliary gas under a pressure of 2'500 kPa, and for 35 °C the pressure was lowered to 2'000 kPa.

One of the field tests in a family home near Zurich: In the back at left, in the red casing, the 3 kW DAHP; at right the 14 kW gas boiler, in the centre the measuring equipment, with Hans Stierlin himself operating the PC.



The test report shows that start-up after more than 24 hours of stand-still did not cause any problems. After about 25 minutes the output temperature arrived at 35 °C, and ten minutes later at 50 °C. After 1 1/2 to 2 hours the DAHP had reached a steady state. All runs yielded identical results: at S0W35 a COP of 1.43 for heating, and 1.50 for cooling; at S0W50 1.34 for heating, and 1.42 for cooling, with a maximum power of 3 kW.

At S0W35, CO emissions were clearly below, but NO_x emissions slightly above, the legal limits. At S0W50, both emission values were close to the limits. The testers recommend improvement of the burner, or reduction of the surplus combustion air.

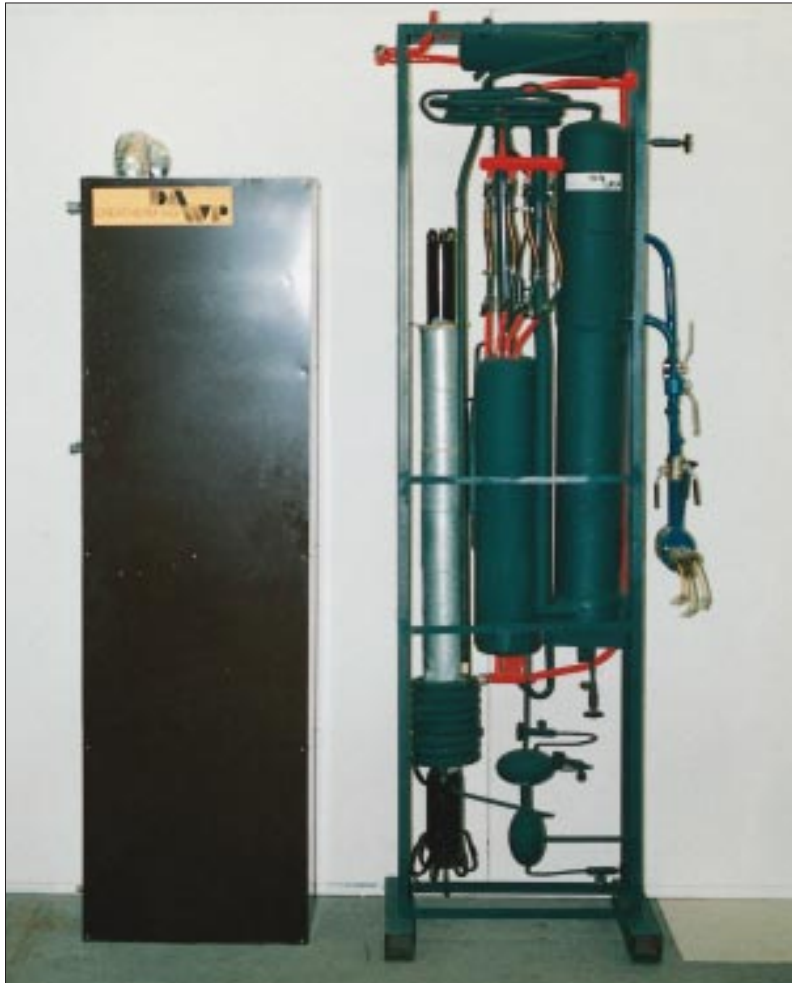
Field tests

For the field tests, two DAHPs of 3.5 kW heating power each were installed in the Zurich region in the autumn of 1992, together with the additional components necessary: air/brine heat exchangers, controls, and measuring instrumentation.

The one DAHP was operated in parallel with a non-condensing natural gas fired boiler of 25 kW, which replaced an old oil-fired boiler. No modifications were applied to the existing central heat distribution system with radiators dating back to 1954. The second DAHP paralleled a condensing gas boiler of 14 kW, feeding a floor heating system. In both cases, apart from the two-mode operation, also single-mode operation of DAHP or boiler could be chosen.

Ambient air served as the outdoor heat source, with an outdoor heat exchanger to the DAHP via a brine circuit.

In practice, a DAHP runs at rather constant power, independent of the temperatures at the source and at the output. Due to the slow start-up from cold, it is best to have it operating continuously. Hence the



Top:
A dummy DAHP installed in a doctor's waiting-room for the purpose of estimating acceptance.

Left:
The production-ready model of the DAHP, as also used in the field-tests. At left is the casing, at right the internals. Total height is 1.93 m, width 53 cm, and depth 24 cm.

control triggered the DAHP as soon as the temperature in the living room fell below a pre-selected value. Should it decrease any further, the boiler would be switched on.

After more than one year of testing, the average COP was found to be 1.42, with peaks of 1.48. Compared to a conventional gas heater, the annual consumption of natural gas for heating purposes is diminished by 400 to 500 m³ per DAHP unit, with a corresponding reduction of CO₂ emissions of 900 to 1'100 kg.

In the summer of 1993, one of the field-installed DAHP was extended into a combined heating and air conditioning system. For cooling, the existing outdoor air/brine heat exchanger was used as the heat sink, while the room to be cooled was equipped with an additional heat exchanger. Despite orientation toward south, the temperature of this room could be kept 10 °C below ambient air. The installations will be continued for long term testing.

In the autumn of 1996, a leading German manufacturer of gas heaters obtained a licence to market the DAHP.

Project no. 442

500 kW photovoltaic power plant PHALK Mont-Soleil

A photovoltaic power plant of 500 kW peak power was planned and built in 1990/91 and put into operation in 1992. At 1270 m altitude in the Jura mountains, it is representative of many possible sites at medium elevation on Swiss mountains. The plant was intended to be a step forward towards the MW range, as an option for the distant future. Hence some novel features were introduced with regard to mounting and positioning of the photovoltaic panels, dc/ac-inverter, and dc high voltage protection (much improved after a dc power-switch failure). Initial experiences show an operation barely inhibited by harsh winter conditions and higher power but somewhat lower annual yield than rated. Mont-Soleil also serves as a Swiss proving ground for new concepts and components.

Design goals:

***nominal peak power
500 kW***

***reduction of overall
cost by careful design
and novel details***

***dc/ac-inverter suitable
for MW range***

***flexibility to serve as
a research field***

To fully comprehend the idea behind this project, one ought to recall that Switzerland has been the world's leading country with respect to photovoltaics application. Though not having an indigenous PV industry producing photovoltaic solar cells and panels, as from the oil crisis of 1973 onwards, Swiss public authorities, industrial enterprises, utilities and individuals have been installing PV plants in ever increasing numbers. In 1990, for example, the cumulated power reached approx. 4 MW, which made for the highest per capita rate in the world. However, the vast majority of these installations belonged to the 1 kW range. And in the USA and elsewhere the first plants in the 100 kW range and above had been built around 1980. Hence, Swiss industry and utilities began seriously thinking about such »real« PV power plants in the mid 1980's, in order to gain experience with what they viewed as a possible option in the distant future.

Ideal site

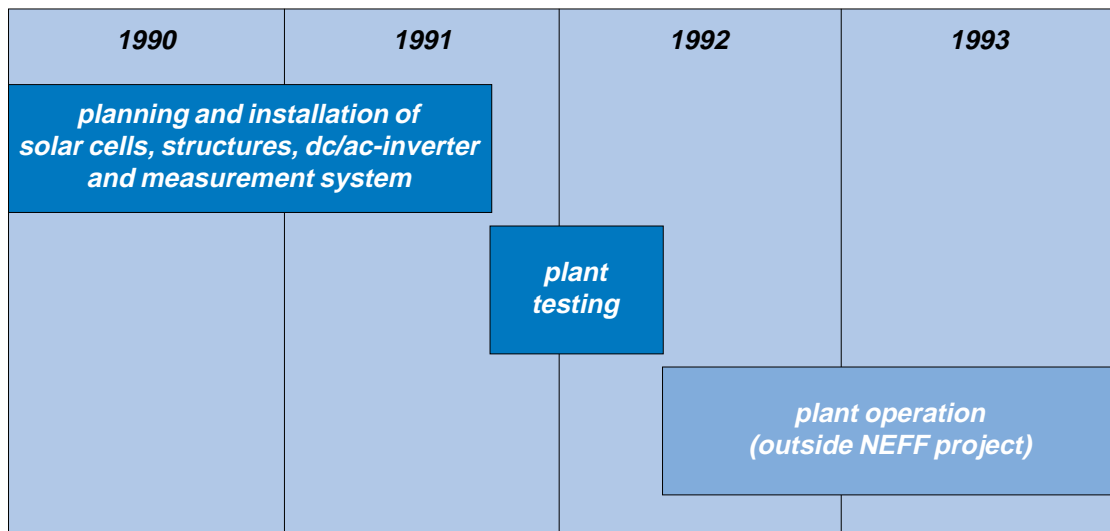
Applications:

***power plants in the
MW range, at medium
altitudes in Swiss
mountains and elsewhere
(in comparable climate)***

***innovative PV components
for export***

In 1986/87 Elektrowatt, a Zürich engineering firm, worked out a site-independent concept for a 500 kW plant, named PHALK 500 (Photovoltaisches Alpines Kraftwerk – Photovoltaic Alpine Power Plant). Requiring a total ground area between 10'000 and 20'000 m², many sites in the Swiss mountains should be found suitable for plants of that size. In 1988, Elektrowatt was joined by Bernische Kraftwerke AG (now BKW Energie AG), one of the leading Swiss utilities, to form a consortium aiming at the realization of the concept. In a first common step, the site was to be chosen along the following criteria:

- representative of $\langle \text{medium altitudes} \rangle$ in Swiss mountains,
- optimum insolation, well above the fog usually covering the lowlands for extended periods during the winter,
- easy access all-year-round by existing roads, and proximity to



existing power lines,

- likelihood of aesthetically satisfying integration into the landscape, and hence of acceptance by population and conservationists.

A site rather close to this ideal was found and selected in that same year, 1988, at 1270 m above sea level on Mont-Soleil in the Jura range, next to the township of Saint-Imier.

Already in the Spring of 1989, the consortium presented a pre-project »Mont-Soleil« to the public. The goals were declared: the planning, construction and operation of a 500 kW PV plant should equip Swiss researchers with know-how necessary to introduce PV plants into utilities in the future and demonstrate the possibility for the Swiss industry to export PV equipment. Furthermore, the plant ought to provide a research field for future developments of systems and components, as well as being a training ground.

By the end of 1989, both the NEFF and the Canton of Berne had granted substantial contributions towards the total cost. Consequently, the project proper commenced on January 1st, 1990. In June of this same year, eleven Swiss utilities and industrial firms joined the consortium.

The first year was devoted to detailed planning, calls for international tenders, and applying for the building permit. With the site classified as agricultural area, the permit was granted as an exception on the condition that the terrain would still be used as a sheep's pasture. And thanks to early and open information of the population, no objections were raised whatsoever.

After some years of preparative work, the project proper commenced in January, 1990, and finished in April, 1993, after the first year of operation. Naturally, plant operation has been continuing since then.

Plant data:

design peak power, 500 kW actual peak, power 560 kW, specific investment cost 17'380 CHF/kW

mean annual output 560'000 kWh (originally envisaged 620'000 kWh)

mean annual availability 99.5 %

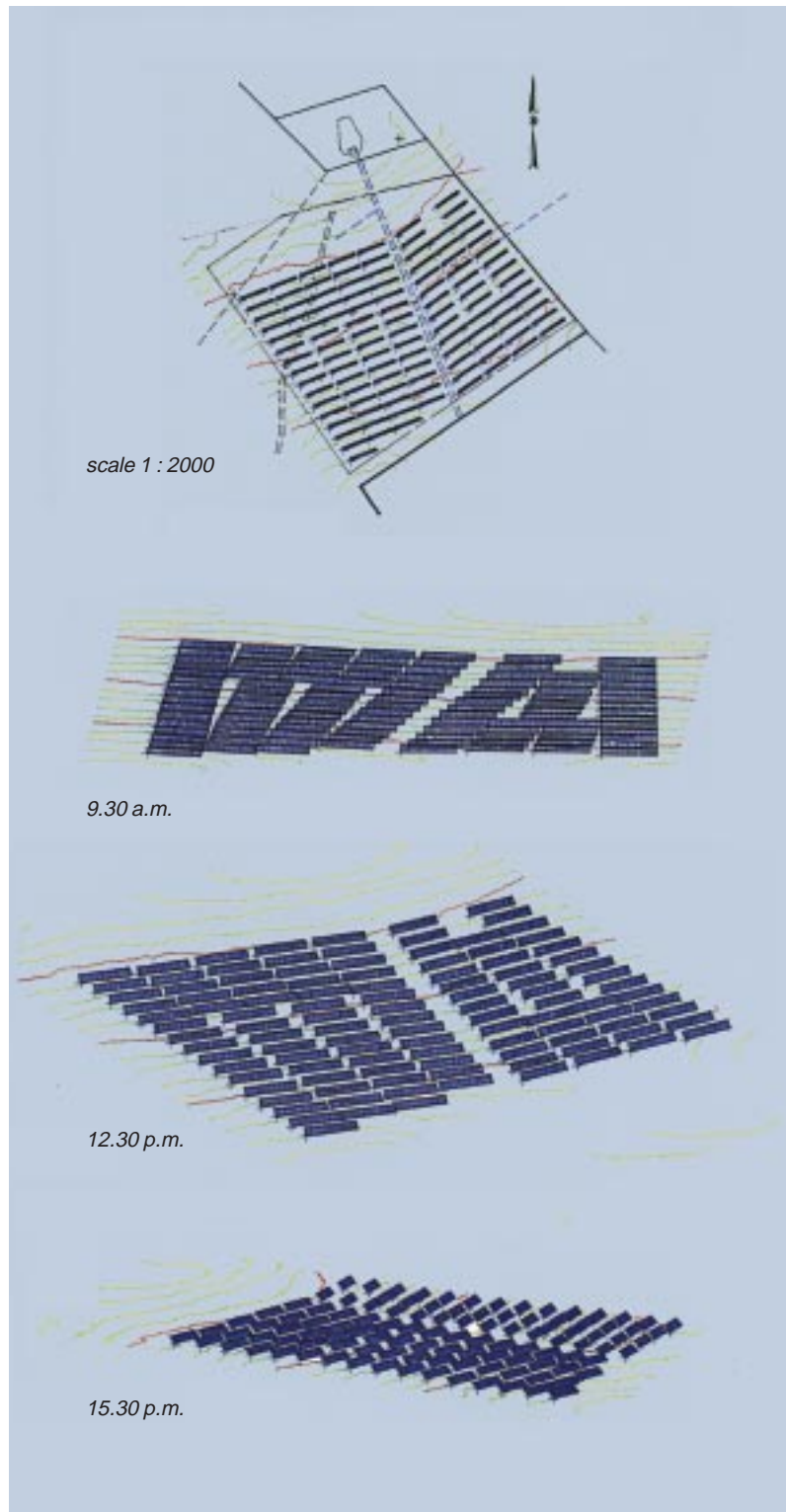
production cost approx. 1.10 CHF/kWh

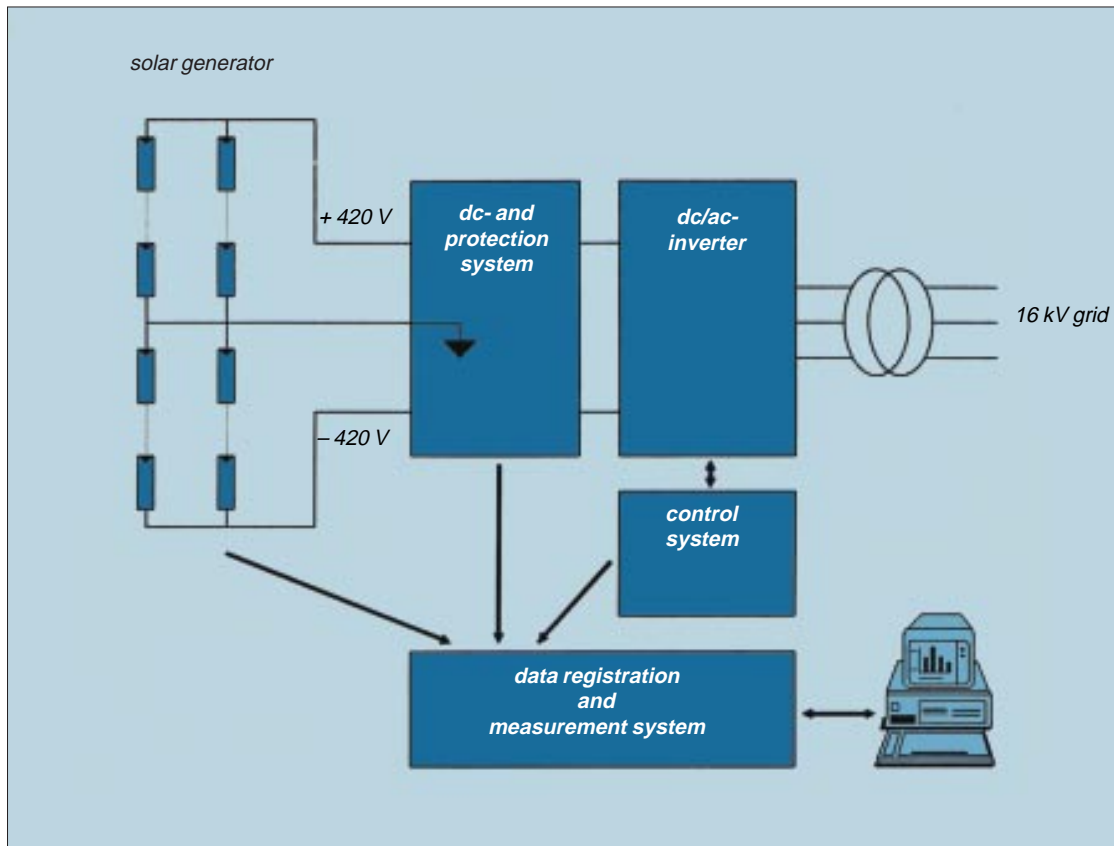
solar cell area 4'000 m² (10'560 modules) 110 cell tables (96 modules) of approx. 5 kW_p each

inclination of tables 50° towards vertical

altitude 1270 m above s.l.

Levelling of the terrain not being permitted, and the inclination towards South being 4° only, avoidance of mutual shadowing of the »tables« at low winter sun was achieved by a novel method. Firstly, the terrain's topography was mapped in detail. Secondly, all mapped points were transferred to CAD for 3-dimensional exposure, and the pre-selected positions of the tables were also digitalized. As a result, CAD allowed viewing of the table array from the sun's position at whatever angle desired. Employing the angles of the shortest winter day (December 21st), mutual shadowing was demonstrated by tables covering other tables. Slightly altering the positions of such tables rendered the optimum placement.





Cell array

Construction was begun in the Spring of 1991. There are three main areas, or components, of the plant showing novel features and hence warranting a closer look: the solar cell arrays, the dc-system, and the dc/ac-inverter.

In order to ensure 500 kW peak power to the 16 kV ac-grid, 10'560 PV modules (Siemens M55 with crystalline cells, guaranteed 53 W_p) were chosen, covering a total surface of approx. 4'000 m², subdivided into 110 »tables« of equal size. Each table comprises 96 modules, rendering approx. 5 kW_p. Electrically, a table has two strings of 48 series-connected modules each, with total peak voltage at 840 V. Table grounding is symmetrical, leaving the poles at + and -420 V.

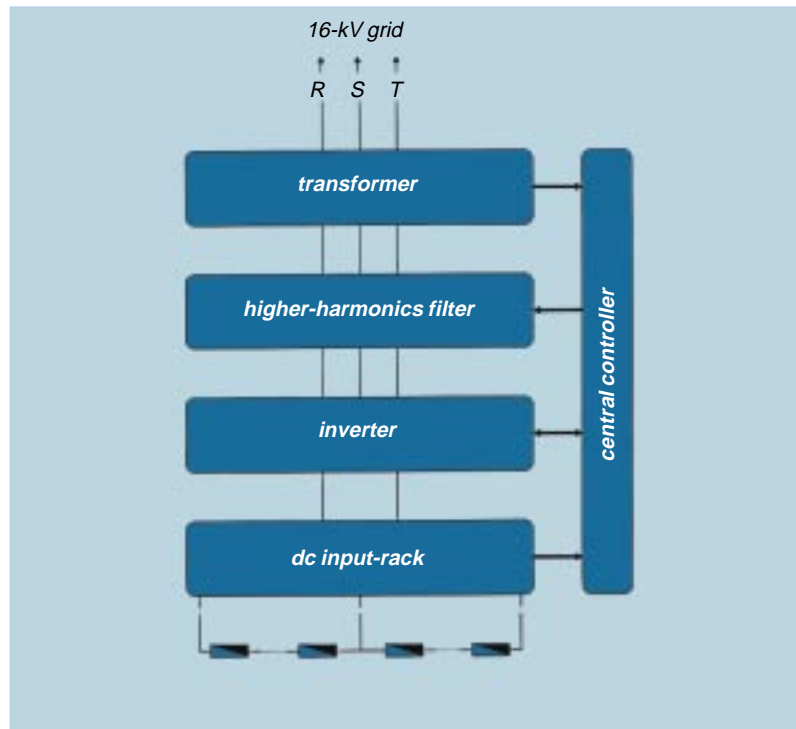
One of the conditions in the building permit was, that the terrain must not be altered in any way. Hence, with levelling impossible, and with the inclination of the terrain being 4° only, the question arose of how to arrange the tables in a manner minimizing shadowing in the short winter days with the sun at a low angle. This was successfully solved by a new method employing CAD.

The basic electrical plan of the plant includes solar generator, dc subsystem and dc protection system, dc/ac-inverter, control system, and data and measurement system.

The central components of the low-frequency dc/ac-inverter are the power electronics, which are controlled by a programmable high speed controller.

The power electronics consist of two 3-phase bridges, each with 6 GTOs (reverse conducting gate turn-off thyristors). These GTOs are switched alternately for high efficiency and low harmonic distortion. The GTOs on the dc side are connected in parallel, whilst on the ac side they act on 2 separate transformers (whose secondaries are connected in series in order to achieve the output voltage of 16 kV). The switching frequency of the GTOs is 5-fold, i.e. 250 Hz, and the switching pattern is aimed at minimum current distortion.

Amongst the functions of the control system are timing of the GTOs ignition pulses, synchronisation of the inverter with the grid, maximum power tracking, surveillance of current, voltage, and temperature limits, control of dc and ac main switches, adjustment of $\cos \phi$, and edition of the most important digital and analogue operation parameters.



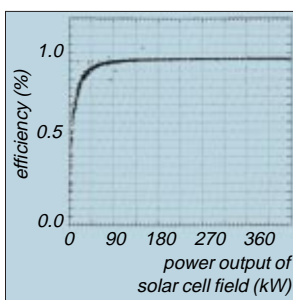
The dc sub-system

Solar cells produce dc, and connecting a large number of modules and tables at relatively high dc voltages is not a trivial problem, also with respect to plant protection and safety. Experience gained elsewhere was taken a step further.

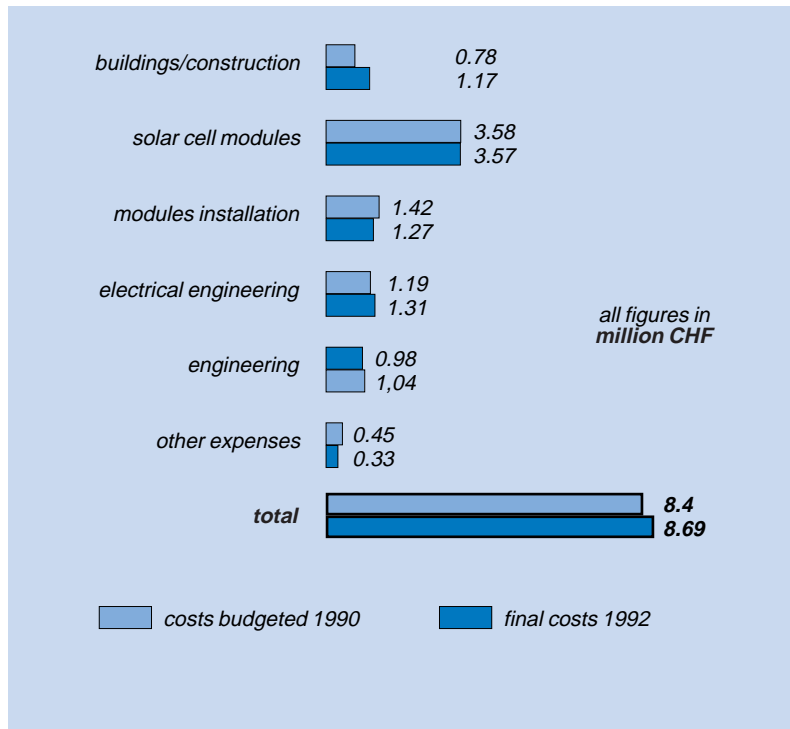
The basic arrangement is simple. There are eleven groups of tables and as many corresponding field distributors. Each distributor contains string diodes, string fuses, and overvoltage protectors (varistors). Connecting cables between distributor and table end in a connecting box at the table, with another set of varistors protecting the table from excess voltages in the connecting cable.

The eleven power cables from the field distributors terminate in a common central dc input rack, with excess voltage drain, fault current detectors and instruments for power measurement. From the input rack, power is conducted to the dc/ac-inverter next to it.

Field distributors as well as the central input rack are each equipped with a power switch, to be able to separate single groups of tables or the entire cell array from the inverter. Shortly after the inauguration of the plant, those switches were to cause problems and, consequently, led to a re-designing of the plant safety (s. further down).



The measured efficiency of the dc/ac-inverter exceeds 95 % above 90 kW dc input power from the solar cell array. To improve efficiency at lower power, it is planned to parallel it with a second, high-frequency pulse width modulated inverter of approx. 100 kW power and high efficiency – together forming a »hybrid« converter.



The overall budget of 8.4 million CHF, as calculated in 1990, finally was exceeded by only 0.29 million, or 3.5 %. Solar cell modules accounted for approx. 42 % of this total cost.

The dc/ac-inverter

With a view to the future, the dc/ac-inverter was to be of a type suitable for PV plants in the MW range. It also was to feature forced commutation, for off-grid employment.

The main characteristics of the solution chosen are the power electronics with GTO-bridges (GTO = reverse conducting gate turn-off thyristor) and a control-system based on a programmable high-speed controller.

In the standard operating mode, dc and ac main switches are open during the night, and only the power electronics are operating. As soon as insolation arrives in the morning at a value sufficient to generate an idle voltage of 900 V, start-up of the system is triggered automatically. The system remains operating as long as insolation exceeds approx. 50 W/m². Descending below that value, commutation of the GTOs is interrupted, but restored as soon as 50 W/m² are exceeded again. The dc and ac main switches, and hence the inverter transformers, too, remain closed all day.

Power and cost

In the spring of 1991, start of the construction work on-site was delayed due to poor weather conditions. In the autumn of that same year, the plant was more or less completed and running-in procedures were begun. Official inauguration took place in April 1992.

To save costs, novel techniques were employed in installing the PV panels. Eight modules each were glued onto a steel sub-frame in a tent on-site to form a »large module«.



Twelve »large modules« each were fixed onto an horizontal steel bar by two screws, making a »table«. Each steel bar is supported by two steel posts (left). The inclination of the tables towards the vertical was chosen to be 50°, which is steeper than implied by the geographical latitude of Mont-Soleil, but renders a higher energy output in winter (39 % of the annual total).



The total installed power – without losses – of the PV field amounts to 560 kW peak power, as guaranteed by the supplier. Test on random samples of modules showed that the guaranteed power is exceeded by some 3 %. Taking into account system and inverter losses, the peak output on the ac-side is slightly higher than the design value of 500 kW.

Total cost amounted to 8.69 million CHF: 0.29 million or 3.5 % more than planned. In terms of specific cost per kW installed, this figure works out to 15'500 CHF at peak power before, and to 17'380 CHF behind the inverter.

The project as supported by the NEFF terminated at the end of April, 1993. During the first year of official operation, starting on April 30, 1992, valuable experience was gained as much from routine operation as by defects and an incident.



Overall, the combination of gluing modules to form »large modules«, simple but wind-resistant steel bars and fixation of the large modules by only two screws offers slight economic advantages in comparison to conventional methods (consisting of framing the modules with aluminum profiles, more elaborate supports and screwing or welding). In particular, the novel procedure saves time with installation and replacement. Gluing modules instead of aluminum framing also saves energy (for primary production of the aluminum) to the amount of one year's electricity production of the Mont-Soleil plant.

Incident teaches a lesson

This incident occurred on May 26, only a few weeks after the inauguration, on a very sunny day. Whilst adjustments were being made on the dc/ac-inverter, the plant was taken off operation, and the entire solar cell array was short-circuited. All of the sudden, a sharp hiss followed by smoke emerged from the central dc input rack. The rack was partly destroyed by fire and the rest made useless by soot.

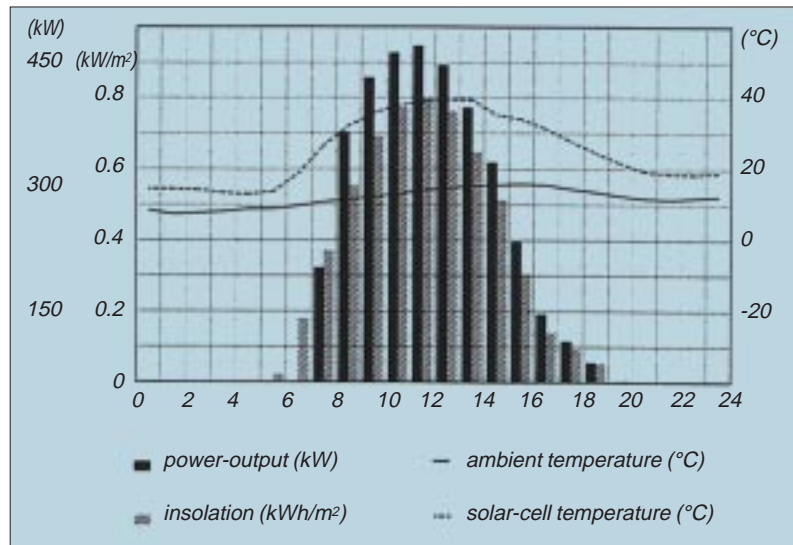
Subsequent analysis revealed that the power switch had been activated automatically by a thermal sensor. Set to a normal minimum triggering current of 80 A, this sensor had sent a signal already at 60 A. The switch duly opened, but with approx. 1'000 V applied across it, an electric arc jumped the switch and caused the fire.

It had been previously noticed that power switches of the same model, supposed to switch groups of »tables« in the PV field, did not properly interrupt under certain conditions. The producer had been summoned to replace them, and new operating rules had been devised (and were naturally being applied on the day of the incident).

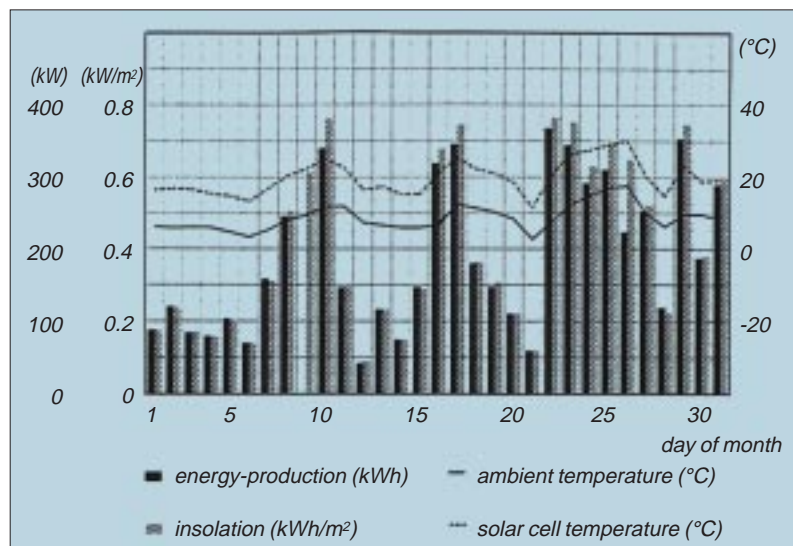
Rather than putting the plant back into operation quickly, it was decided to take the incident as an opportunity to revise the entire concept of protection and safety. Only after one month, two groups of tables were connected directly to the dc main power switch.

It is well known, that detection of faults – like earth shorts, short circuits, and arcs – within the dc part of a PV plant is difficult and complex. This problem arises from the fact, that on the one hand the currents produced vary within a wide range according to insolation, and that on the other hand fault currents are of the same order of magnitude.

Hourly values of insolation, power produced, air and solar cell temperatures on May 10, 1993. Though between 6 and 7 a.m. insolation is already high, no current is yet being produced, because inclination of the solar radiation is unfavourable. In the evening, between 6 and 7 p.m., the incident angle upon the solar cell tables is more advantageous. The maximum power of the day, 470 kW, was registered between 11 and 12 a.m. The hourly values and shape of the envelope are typical for clear sunny days.

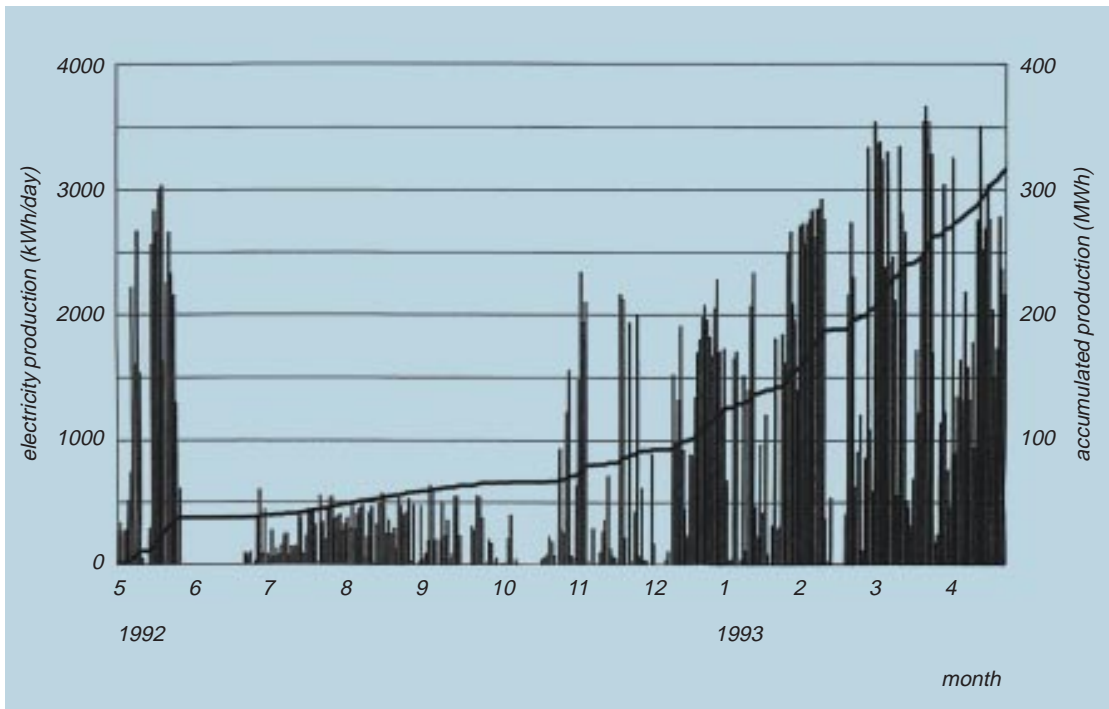


Daily values of insolation, energy-production, air and solar cell temperatures during the month of May, 1993. There were periods of poor sunshine from the 1st until the 7th, from the 11th until the 15th, and again from the 18th until the 21st. The top value of energy production was achieved on the 22nd: 420 kWh.



New concept of protection and safety

Originally the concept had centered on protection in case of lightning strikes. With thunderstorms and lightning strikes being abundant on Mont-Soleil, the protection philosophy rested on the assumption that local damage was unavoidable when lightning would strike the solar cell tables directly. Hence, protection measures to be taken were to inhibit the transfer of excess voltages between tables and table groups via the connecting cables. This was achieved by a relatively narrow-meshed grounding grid, and by excess voltage drains on three levels within the dc sub-system. In addition, for all data lines between PV field and data center, optical fibres were chosen. The revised concept is much more elaborate. Its three main elements are:



- All dc power switches (a new model with three poles), in the field distributors as well as in the central input rack, can be opened electrically in case of a perturbation.
- Such emergency opening is effected either manually or triggered by the grounding detector, the fire alarm system, or prolonged absence of current.
- In case of technical defects and/or fire alarm, immediate warning is transmitted to the operating utility.

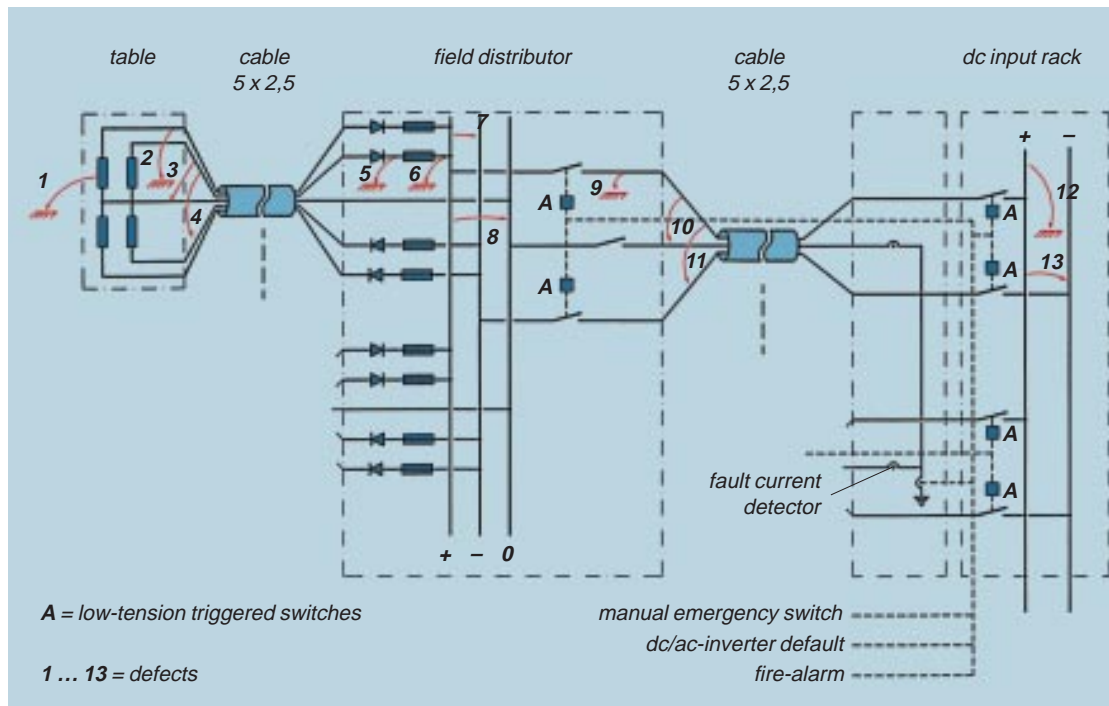
Daily energy production in the period May 1st, 1992, to April 30, 1993. The envelope is not typical for average years, as it includes the shut-down following the incident on May 26th, 1992. From the end of June, 1992, until the end of October, 1992, only two of the eleven tables were producing, energy while the protection-system was being revised. Full operation was taken up again in December, 1992.

More first year experiences

Amongst PV plants of comparable size, Mont-Soleil is the first one exposed to harsh winter conditions in a mountainous environment. Yet, no damages were observed to solar cells or modules.

However, on a few days each winter and in particular conditions, snow or hoar-frost freezes on to the modules during the night, and on the following day even plentiful sunshine would not suffice to melt it if the temperature is too low. Hence the plant cannot operate, an experience typical of PV-installations in the Alps.

Normally, the snow cover on the modules is 15 cm deep at most. It would only remain on cold and sunless days, but melt quickly as soon as the sun re-emerged. Ground clearance of the tables, just 1 m, proved to be sufficient.



The dc part of the revised protection concept, including single tables, field distributors, connecting cables, and central dc input. Apart from diodes, groundings and switches are shown, as well as the points where defects occurred prior to, and including, the incident on May 26, 1992.

In the first few months of operation, several spontaneous shut-downs of the dc/ac-inverter were recorded, all of which could be attributed to perturbing pulses in the auxiliary power supply. A complete remedy was achieved by the installation of filters and by improved grounding. Conversion efficiency is as expected, with more than 95 % from 90 kW upwards, an excellent value in international comparison.

The installed power capacity of 500 kW was surpassed several times during the first year. However, the annual energy production of 563'400 kWh, remained below the rated value of 620'000 kWh computed from peak power and insolation. The main reasons for this:

- The meteorological model employed to compute annual insolation renders values too high.
- Insolation in the winter of 1992/93 (and again 1993/94) was 4 to 8 % below the long term average.
- Certain system losses had been underestimated.
- Though of very high efficiency at high loads, part-load losses of the dc/ac-inverter accumulate substantially over the year, as the plant is performing much of the time at part-load.

In 1996, a production figure of 610'000 kWh was achieved.



Outlook

Some of the above experiences have already been put to use in the design of other PV installations, for example the 3.3 MW plant at Serre in Italy, or the development of PV roofs and facades, where dc safety is an important feature.

From the beginning, Mont-Soleil was also intended to be an R&D facility. The measurement programme accompanying the plant proper has been financially supported by the Swiss Federal Office of Energy (BEW). Amongst research projects already finished or in progress are the development of a simulation model to compare measurements and calculations of plant performance, theoretical studies and modelling of a hybrid dc/ac-inverter, and tests of novel high-efficiency and low-cost solar modules.

The latter project again is financed jointly by the BEW and the Consortium Mont-Soleil. This project is carried out by the Saint-Imier School of Engineering in co-operation with experts from Elektrowatt Engineering.

Last but not least, the energy department of the Swiss Federal Institute of Technology Zürich (ETHZ) found the energy pay-back period of the entire plant to be 6.4 years. Omission of aluminum frames for the modules saved 10 to 20 t of the metal, the primary production of which would consume an entire year's electricity output of Mont-Soleil.

Aerial view of the 500 kW plant Mont-Soleil. The solar cell tables are facing South, i.e. towards the right (where, not visible in the valley, there is the township of Saint-Imier). Winter fog, rather frequent in the lowlands and valleys in this part of Switzerland, rarely rises as high as the plant's altitude of 1170 m above sea level, rendering favourable insolation.

Project no. 451

Fundamentals of low-NO_x burners and boilers with flue gas recirculation

Unexpected problems with low-NO_x burners for domestic heating based on internal flue gas recirculation were experienced when they were launched in Switzerland in the late 1980's. This prompted a joint research project by the Laboratory for Energy Systems (LES) at the Swiss Federal Institute of Technology Zürich (ETHZ) and the industry from 1990 until 1994. The project was aimed at understanding the fundamental processes of internal recirculation. Numerical simulation with an improved combustion model indicated that the temperature of the recirculated gas is the governing parameter for the production of NO_x. This was verified by experiments, which also provided guidelines for the design of burner/boiler-combinations. The model has now become a standard tool.

Research target

gain an understanding of the fundamental processes governing passive internal exhaust gas recirculation

apply this knowledge to reduce NO_x-emissions in burner/boiler-combinations for small domestic heating units

Following the oil crisis of 1973, the Swiss boiler industry successfully embarked on raising the thermodynamic efficiency of their oil and gas burners for domestic heating in order to save energy. Simultaneously, and required by legislation, the oil industry considerably lowered the sulphur content of heating oil. The new standard of »extra light«, containing approx. 1 % sulphur, markedly reduced environmentally harmful sulphur dioxide in the exhaust gas.

One decade later, in the 1980's, nitric oxides (NO_x) emerged as an environmental topic, after having been identified as both contributors to acid rain and predecessors of ozone. Now the previous raising of the burner's thermodynamic efficiency turned out to have added to the NO_x-emissions, as it had been achieved mainly by compacting the flames, and thereby elevating flame temperatures. Such temperatures well exceed 1'500 °C, above which the formation of »thermal NO_x« becomes substantial.

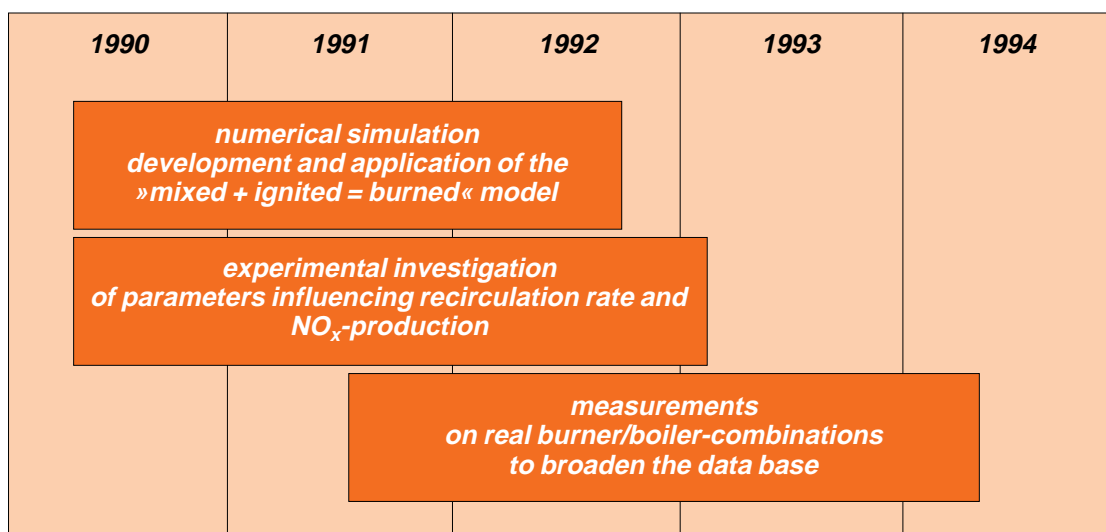
Passive internal recirculation

In this situation, the Swiss engineer Michael May, of Rolle, presented a burner which, though retaining high thermodynamic efficiency, cut NO_x by half. May had introduced »passive internal flue gas recirculation«. Burnt – or »flue« – gas is sucked in from the combustion chamber by the ventilated flow of fresh combustion air, prior to mixing this air with fuel (active external recirculation uses an external tube with an extra ventilator). This has two consequences. Firstly, as the flue gas contains only about 4 % oxygen, the partial pressure of oxygen in the mixture is reduced, retarding combustion. This, in turn, allows for better mixing, and hence the peak temperatures of stoichiometric combustion are lowered. Secondly, having lost part of its heat by radiation prior to re-entering the flame, the flue gas has cooled down and con-

Applications

domestic heating units with oil and natural gas as fuels

especially units of less than 100 kW, as used in family homes and smaller blocks of flats



sequently combustion temperatures are generally decreased.

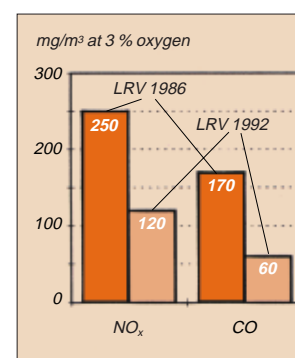
May's development prompted the so-called »Züri-Norm«, to be put into force in 1990 within the Canton of Zürich, more than halving the limiting values for both NO_x and carbon monoxide (CO) as laid down by the Swiss Clean Air Act (LRV) of 1986. In 1992, the Züri-Norm were also to become the standard of the revised Swiss LRV.

The new standards could not possibly be met by the conventional high-efficiency burners. However, within a short time the Swiss industry brought new burners onto the market, which were labelled »blue burners«. In principle following May's solution, they employed internal recirculation. The flue gas is sucked into the flow of fresh combustion air via slots in the burner-tube. Fuel droplets are vaporized in the warm mixture of flue gas and air, and the fuel vapour mixes with the air prior to combustion, finally burning as a blue gas flame. In contrast, in conventional »yellow« burners fuel is burnt in fuel-rich mixtures around the fuel droplet, and soot is formed – resulting in a yellow radiation. The cost of external recirculation would be prohibitive for application in domestic heating units of less than 100 kW.

After the first commercially produced blue burners had been installed, some unexpected problems occurred:

- When combined with different boilers, identical burners showed vastly differing emissions of NO_x (for economical reasons it is not possible to specifically adapt boilers to certain burners).
- The burners showed instabilities during start-up.
- Certain boilers developed cracks.

Started in the spring of 1990, the project was divided into three parts, which were run more or less in parallel. The last measurements were performed in the spring of 1994.



Swiss emission limits for NO_x and CO were first imposed as from 1986. As from 1992, these limits were reduced to less than half.

Nitric Oxides

»Nitric oxides« is a common term for a number of chemical compounds consisting of nitrogen and oxygen: nitrogen monoxide (NO), nitrogen dioxide (NO₂) and di-nitrogen oxide (N₂O). In environmental sciences, they often are summed up as NO_x. NO and NO₂ are generated when combustion is effected with air as the oxidant (air contains 77 % nitrogen and 21 % oxygen):

- »Thermal« NO_x is formed by the chemical reaction between atmospheric nitrogen and oxygen above temperatures of 1'300 °C. Towards higher temperatures, the formation rate increases steeply.
- »Fuel«-NO_x is produced already at temperatures around 600 °C by the reaction of atmospheric oxygen and the nitrogen which is chemically bound to the fuel.
- »Prompt«NO, formed in the reaction zone due to the presence of hydrocarbon radicals, reaction time is in the order of 10-4 s.

For long, NO_x were not realized to be harmful in the environment. Today they are recognized as air pollutants:

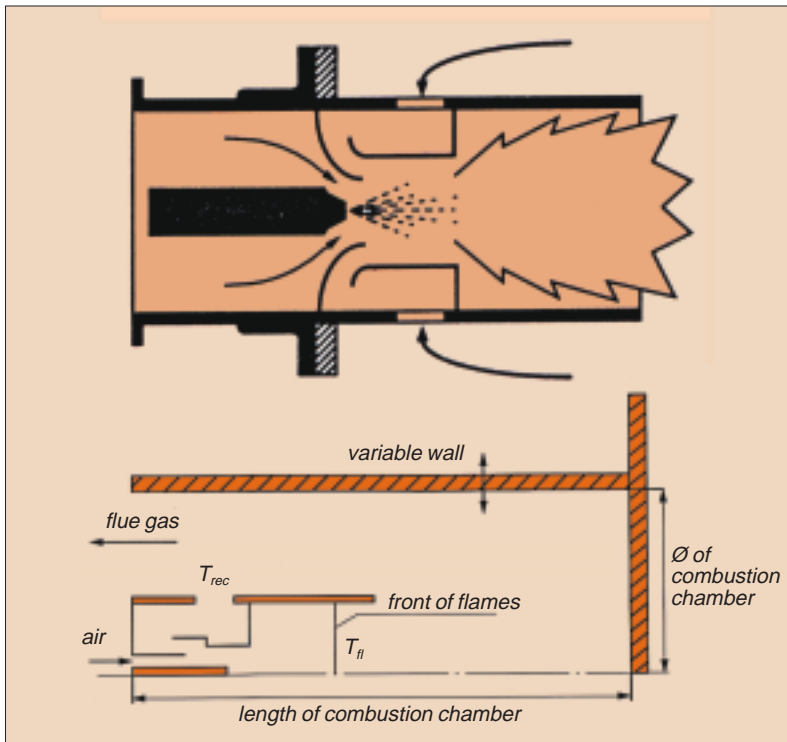
- NO in the atmosphere is transformed to NO₂ within hours or days.
 - NO₂, a reddish-brown toxic gas, can affect the bronchial tract after long exposure at concentrations above 150 mg/m³.
 - In the sun, and in presence of hydrocarbons, NO₂ is transformed into ozone.
 - With atmospheric water-vapour, NO₂ reacts to nitric acid, a main constituent of acid rain.
 - N₂O, a very stable gas, is generated in the soil and released into the atmosphere by agricultural activities and by making arable tropical forests. Contributes to the greenhouse effect.
- In view of these properties, and the enormous amounts produced, in the 1980's many countries have introduced legislation limiting the NO_x-content of exhaust gases.

Numerical simulation

Already in the spring of 1990, experts from industry and the Laboratory for Energy Systems (LES) at the Swiss Institute of Technology Zürich (ETHZ) met to plan a research project. It was geared towards clarifying the causes of the above problems, as well as gaining fundamental knowledge with regard to the combustion of fossil fuels in small domestic heating units at minimum emissions. The project, financially supported by the NEFF, was to consist of three parts: a numerical simulation, an experimental investigation of the parameters influencing NO_x emissions, and measurements on a number of burner/boiler combinations.

Numerical simulation has been used to study the details of the burner/boiler interaction, however, the models presently available do not yet allow to directly predict NO_x emissions. The LES already had successfully applied the »mixed = burned« model, which is widely used internationally, for simulating other combustion processes.

This model is based on the assumption that combustion takes place immediately when fuel and air are mixed (i.e. the reaction rate is infinite). This is justified in the case of simple jet diffusion flames (combustion air and fuel are conducted into the combustion chamber separately and mixed by diffusion), where the flame is stabilized at the burner's rim, which is where the mixing commences. In recirculation burners, however, the points of mixing and flame stabilization are separated, and hence the model »mixed = burned« leads to a result



Top:
 Schema of a burner with passive internal exhaust gas recirculation. The exhaust gas is sucked from the combustion chamber into the burner-tube by the flow of combustion air, which is driven by a ventilator.

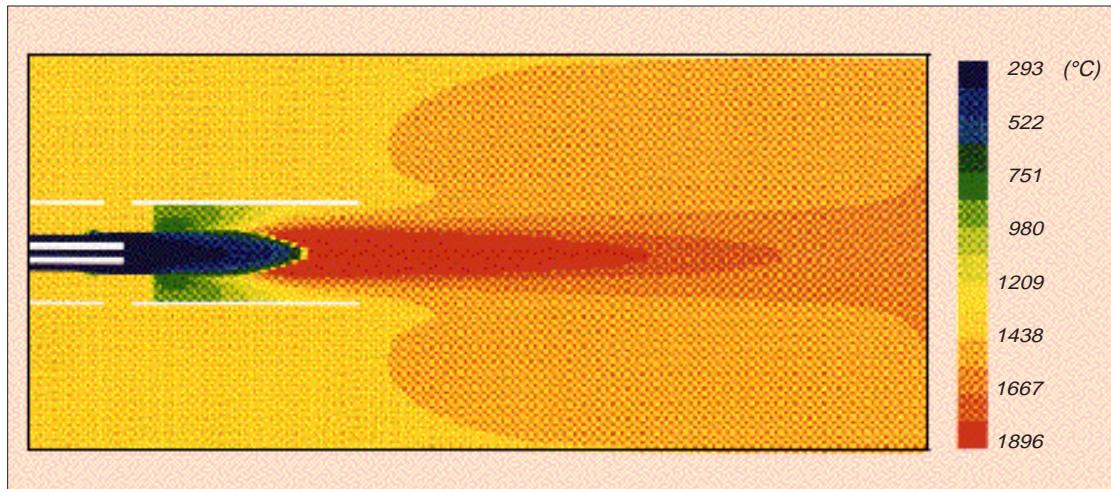
Below:
 Schema of the above burner for the purpose of describing it in terms of the »mixed + ignited = burned« model.

entirely wrong: the flame is predicted to blow out from the slots, when in reality the flue gas is sucked in.

This failure of the model stems from the fact that it does not take into account other possible states than »mixed = burned«. For example, in a recirculation burner there obviously are zones where there is mixture, and yet local flow prevents ignition. Consequently, at LES the model was modified by demanding that in a mixed element the ignition temperature has to be reached in order for burning to occur. Any modelling of chemical processes of the burning, however, was excluded, in order not to complicate the model too much, and to save computing time.

Hence the modified model »mixed + ignited = burned« is merely a model of energy release. Though reality is much more complex, and combustion depends upon a number of other parameters, the results prove that the major factors, which are of importance for the description of the burner/boiler interaction, are accounted for:

- The flame front can be predicted not only qualitatively, but, depending upon the accuracy required, also quantitatively.
- From the velocity- and temperature fields thus determined, the absolute value of the recirculation rate (RR) can be calculated (comparisons with measurements as described below put the error to a few percent).



Parameter studies

The temperature field as calculated by means of the model »mixed + ignited = burned«. The temperatures in the combustion chamber, or boiler, away from the axis of the burner tube are also those of the recirculated gas.

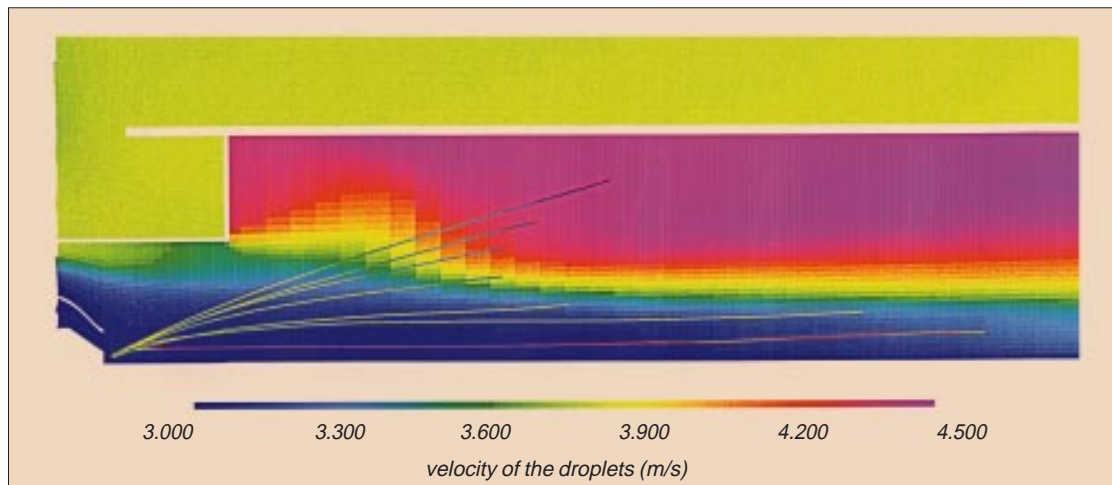
Already at this point, the model »mixed + ignited = burned« is a valuable tool for future burner/boiler developments. But LES took it further in search of answers to the question: which parameters determine the RR? The effects of independently varying only one parameter, such as the difference in pressure or the temperature or velocity of the combustion air, cannot be evaluated in a real physical experiment, as the parameters are all interdependent. In an artificial numerical experiment, however, parameter values can be chosen independent from each other – the great benefit of numerical simulation.

In the LES numerical study, various geometric, fluid and thermodynamical parameters were assumed constant, and then the dependent parameters were determined via the simulation of the velocity field. For example, for given diameters of the combustion chamber (values between 120 and 500 mm), the temperature of the recirculated gas was varied from 293 K to 1'500 K. The result was a strong dependency of the RR on the temperature of the recirculated gas, whereas the diameter as well as the length of the combustion chamber are of negligible influence. Another result of importance: the closer the flame front to the recirculation slots, the lower the RR.

The conclusions for practical design aiming at minimum NO_x (in addition to the experience that any increase of the RR also reduces NO_x): the combustion chamber ought to have a certain length (the usual length of 900 mm is quite sufficient), and the combustion temperature ought to be kept low.

Influences on the Recirculation Rate

The second task of the project was an experimental investigation of various parameters influencing NO_x emissions.



A study of the influence of the fuel was performed on a test rig at the LES. Here, under equal conditions, oil produced twice the amount of NO_x than gas. This large difference can be explained only in part by the nitrogen content of the oil alone, which on average is 160 mg/kg, contributing about 1/3 to the flue gas NO_x (whereas the N-content of natural gas is zero). The other part of the difference is due to the flame temperature of the oil, which is roughly 80 K higher than that of gas. Being 100 %, the conversion rate of fuel nitrogen into NO_x of the blue burner is much higher than that of the yellow burner, which is only 60 %. Hence the blue burner's advantage of a lower production of thermal NO_x is outweighed when the nitrogen content of the fuel is high.

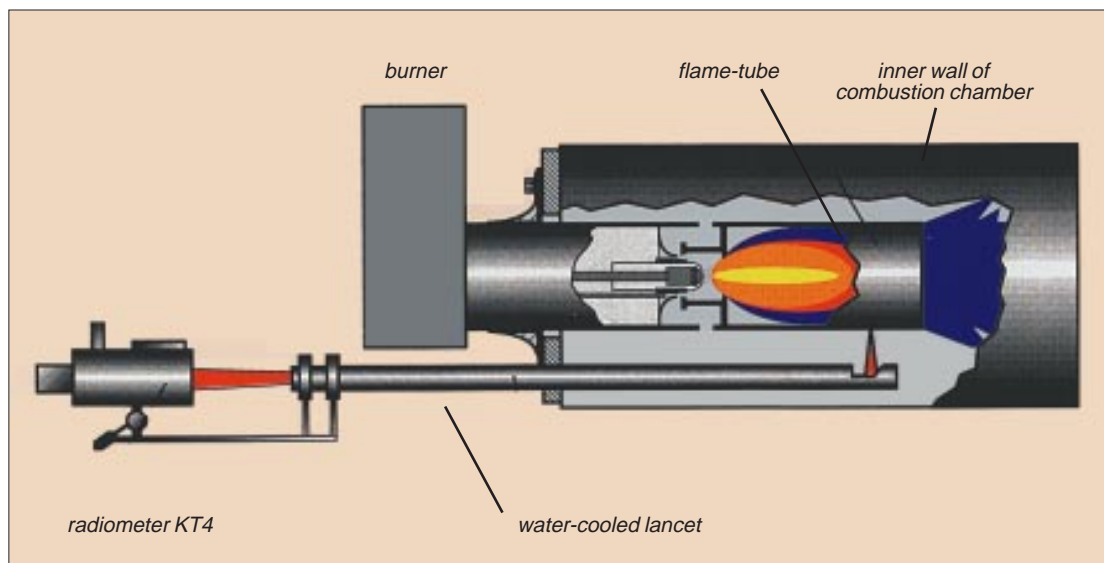
An advanced simulation of the oil combustion process, including detailed motion of droplets and calculation of evaporation. Such simulations permit insights into the highly complex physical phenomena taking place in a domestic oil burner.

Any influences upon the emissions by the »environment«, for example pressure, humidity and temperature of the combustion air, were investigated on selected burner/boiler-combinations at the LES as well as in industrial laboratories.

To vary humidity and temperature, an air conditioning unit was used in the LES-laboratory. As expected, lowering the humidity resulted in higher flame temperatures, and these in turn increased the NO_x. Varying the temperature of the combustion air had no significant influence, which can be ascribed to compensating effects of RR.

Changing air pressure in the laboratory would have been too laborious. Therefore, a test rig was mounted on a truck and driven to heights between 400 and 1'600 m above sea level in the Swiss mountains. A complete measurement-cycle on any burner/boiler-combination was performed on the same day, in order to have equal atmospheric conditions. At constant air-to-fuel-ratio, NO_x were found to decrease by 10 % per 1'000 m gain of altitude, whereas CO increased by approx. the same rate.

In a nutshell, all these measurements proved, that the main parameters influencing NO_x-emissions are the conversion rate of the fuel-nitrogen, the air-to-fuel-ratio, and the temperature in the combustion chamber – all of which also determine the RR.



Burner/Boiler-Combinations

For the radiation measurements, a special rig was developed at the LES, employing a water-cooled lancet which allows the positioning of a mirror reflecting radiation to the radiometer inside the combustion chamber.

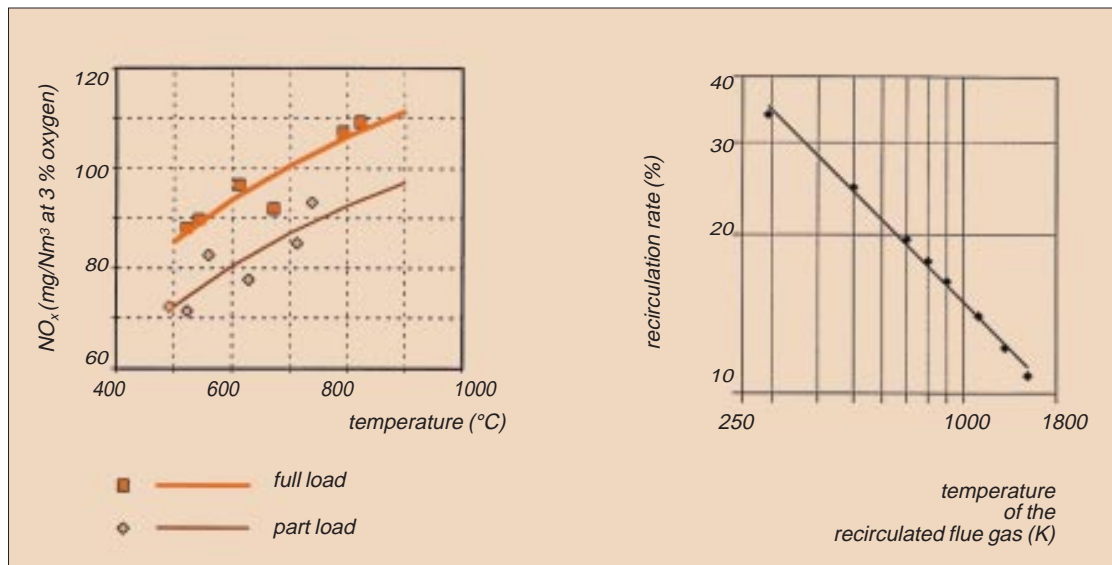
To broaden the data base on real burner/boiler-combinations, a total of 24 such plants were tested, once more at the LES as well as in industrial laboratories. Only blue-burners were chosen, fuelled by extra light heating oil with a nitrogen content of 154 mg/kg, and the oxygen content of the exhaust gas was between 2 and 5 %.

An initial series of measurements revealed that the dependency of NO_x emissions on the pressure in the combustion chamber was negligible, and hence this specific investigation could be dropped, halving the total measurement effort. When the same burner was combined with different boilers, differences in NO_x emissions as much as 40 % were recorded, but no general rules could be established.

Then the numerical simulation results were obtained, showing that the temperature of the recirculated exhaust gas, which is the same as that of the combustion chamber, is the major parameter determining NO_x emissions. This is impressively confirmed by the experimental checks. And hence also the differing emissions of the previous measurements could be explained, as the temperature in the combustion chambers had varied between 400 and 900 °C.

The causes of cracks

To trace the causes of the cracks reported in certain boilers combined with blue burners, LES undertook radiation measurements inside a boiler. It was found that approx. 1/4 of the energy released by the combustion is transferred to the boiler walls by radiation. The burner head itself contributes little to this radiation. The radiation field in the combustion chamber is dominated by the radiation re-emitted by the non-cooled back wall.



Burners which produce a flame parallel to the horizontal walls of the boiler-cylinder make for a very hot back wall. More than 1000 °C was measured. This, however, is of advantage in so far as its radiated heat is distributed more equally over the water-cooled cylinder walls, hence not generating any steep temperature gradients. It could be shown, that the cracks had occurred in combinations with burners producing conical flames of wide aperture. Such flames apparently touch the cylinder walls directly, causing steep gradients and cracks.

Recommendations

The project work was finished by early 1994. Its results were concurrently put to use in the industry. The most important recommendations:

- To achieve minimum emissions of NO_x, the recirculation rate (RR) of exhaust gas ought to be as high as possible. An upper limit is imposed by increasing CO emissions and by burner instability.
- For minimum emissions, the combustion temperature must be kept low.
- The burner should produce flames parallel to the boiler-walls. The tools developed in the project have also become standard for the the design and further development of blue-burners and adapted boilers:
- Numerical simulation according to the »mixed + ignited = burned« model allows the calculation of the temperature and velocity fields in the burner and combustion chamber.
- Simulation also permits the quantitative prediction of the RR.

The most important result of the project, found and expressed in two different ways, both diagrams showing the same end result:

At the right, the NO_x emissions as a function of the temperature of the recirculated exhaust gas, as experimentally determined – the higher the temperature, the higher the emissions.

At the left, the recirculation rate (RR) as a function of the temperature of the recirculated exhaust gas, as determined by the »mixed + ignited = burned« model – the higher the temperature, the smaller the RR.

Project no. 469

Ecomobile »Hybrid III« – a concept reducing fuel consumption and emissions

From 1990 to 1996, a hybrid vehicle drive train was developed at the Swiss Federal Institute of Technology Zürich to the stage of being commercially producible. The hybrid comprises a gasoline engine with catalyzer, an electric motor/generator with battery, a flywheel, and a Continuously Variable Transmission. Novel research was required to realize some of these components or their details, and the auxiliary systems. The complexity of this concept necessitates a complex control, which was elaborated by means of numerical simulation and measurements. The intermittent driving mode for low and medium speeds, with the flywheel being periodically charged by the gasoline engine, saves up to 50 % fuel. In emission-free zones the electric motor takes over.

Research target

minimize fuel consumption and reduce emissions of today's passenger cars by today's technology

design based on a hybrid concept involving a small gasoline engine, a Continuously Variable Transmission, an electric machine, and a flywheel

Applications

all types of small to medium road vehicles, especially light-weight passenger cars

for use on the highway as well as in emission-free zones

The Laboratory for Combustion Engines and Combustion Technology, LVV, at the Swiss Federal Institute of Technology Zürich, ETHZ, has been engaged in road vehicle drives since 1985. In that year, LVV started a research project named »Otto 2000«, aimed at a low-consumption, low-emission passenger car seating five persons. This project had been motivated by a study carried out by LVV-students, which unveiled the mean power demand of the average passenger car in city traffic to be a mere 2.5 kW. At the LVV the gross over-motorization of modern cars that this implied was viewed upon as offering an enormous potential for reducing fuel consumption and emissions. »Otto« stood for a gasoline engine, as at the LVV diesel engines were considered unlikely to be able to meet future emissions standards. The solution finally suggested in the project was a mechanically super-charged Otto-engine in combination with a three-way-catalyzer.

The challenge of »Hybrid III«

Beyond that the project work had also indicated ways to further reduce fuel consumption and emissions, namely a hybrid concept:

- At reduced power demand, the car is driven by a flywheel, which in turn is powered by an engine or an electric motor.
- At high power demand, the flywheel can be disconnected from the drive train.
- Both devices transmit their power to the car's wheels via a Continuously Variable Transmission (CVT).

Clearly, such a complex arrangement would pose a number of problems, but – according to LVV extrapolations – also promised an overall efficiency of 24 % (against 13 % of today's production cars).

Taking on this challenge, in 1990 the LVV initiated a research project »Hybrid III«. Additional motivation was drawn from the expectation that by the end of the 1990's emission limits in many countries would be

1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996
conceptual studies, design and construction of components						
			installation of test-rigs, measurements on single components			
					tests of the assembled hardware, verification of mathematical models	

modelled on those of California, perhaps accompanied by limitations of fuel consumption. Possibly, such future values could no longer be attained by conventional engine technology despite exhaust gas after-treatment. Furthermore, sooner or later emission-free inner-city zones have to be expected. Hence, the automotive industry is forced to search for new concepts.

The LVV set itself the high target of exploring the limits of today's technology, which excludes light-weight cars for the reason that they are not standard yet. Basic planning at LVV also considered any reduction of acceleration potential to be unacceptable to the motorized public. Consequently, in aiming at the lowest achievable fuel consumption, part-loading of the gasoline engine had to be avoided due to its low efficiency in this regime. This automatically leads to operating the engine continuously at full load. At lower power demand, the car is powered by a flywheel at full load (Duty Cycle Operation, DCO). The flywheel would be periodically charged by the gasoline engine, hence DCO should save fuel in comparison to the engine at part load operation. The vehicle speed is controlled by the CVT.

Considering future zero-emission zones, the LVV added an electric machine. To save weight, this motor ought to have little power (however, sufficient for urban traffic), requiring a relatively small and hence lightweight battery only. Should more power be demanded for a limited period during zero-emission operation, this would be delivered by the flywheel.

Interdisciplinary work

Clearly, with all these components the hybrid-concept had entered into new dimensions of complexity, involving mechanical and electrical engineering, information and control technology, thermodynamics, chemistry, and systems technology – a truly interdisciplinary project.

When the project was started in the autumn of 1990, the concept had to first be elaborated in detail, and in parallel components were designed and constructed. Beginning in mid-1993, tests of the single components were undertaken on specially designed stationary and dynamic test-rigs. During 1996, tests were carried out on the fully assembled drive-train. The measurements made served to check the validity of the numerical simulations, particularly for the controls and driving strategies.

The result

power-train:

- gasoline engine
- electric motor-generator
- flywheel
- CVT

auxiliary systems:

- catalyzer-management
- heat-management
- battery-management

fuel consumption:

- ≤ 60 % of today's cars
- low emissions

Hybrid concepts

In automobile-technology, »hybrid« (from the Latin hybrida, meaning mongrel) stands for any driving concept employing more than one source of driving power. In particular, combinations of a conventional piston-engine, Otto or Diesel, and an electric motor are referred to as hybrids. The underlying idea is to compensate for the shortcomings of the one system by the advantages of the other, and vice versa – e.g. a fuel engine provides the usual range on the highway, whereas the electric motor allows operation at zero emission in urban areas. The higher price of hybrids, due to their being technically more complex than conventional one-engine concepts, has to be justified by their merits.

Generally, two hybrid concepts are distinguished:

- Series hybrids, as favoured in Japan and in the USA, are electric vehicles employing a rather strong electric motor and a small fuel engine serving as a range extender by driving a generator. The latter charges

the battery or provides additional power, e.g. for acceleration. Main advantages: The fuel engine (which also can be a gas turbine) is always operating at the point of maximum efficiency, and the design is relatively simple (no mechanical connection between electric and fuel engines).

- In a parallel hybrid, either the fuel engine, or the electric motor, or an additional flywheel, or combinations of those sources, power the drive-wheels. Main advantages: depending upon the road or traffic situation, the most efficient engine, or combination of sources, is selected; the overall efficiency exceeds that of the series hybrid, and the battery can be smaller and hence lighter. The mechanical connections as well as the complex electronic control make the concept much more elaborate than a series hybrid.

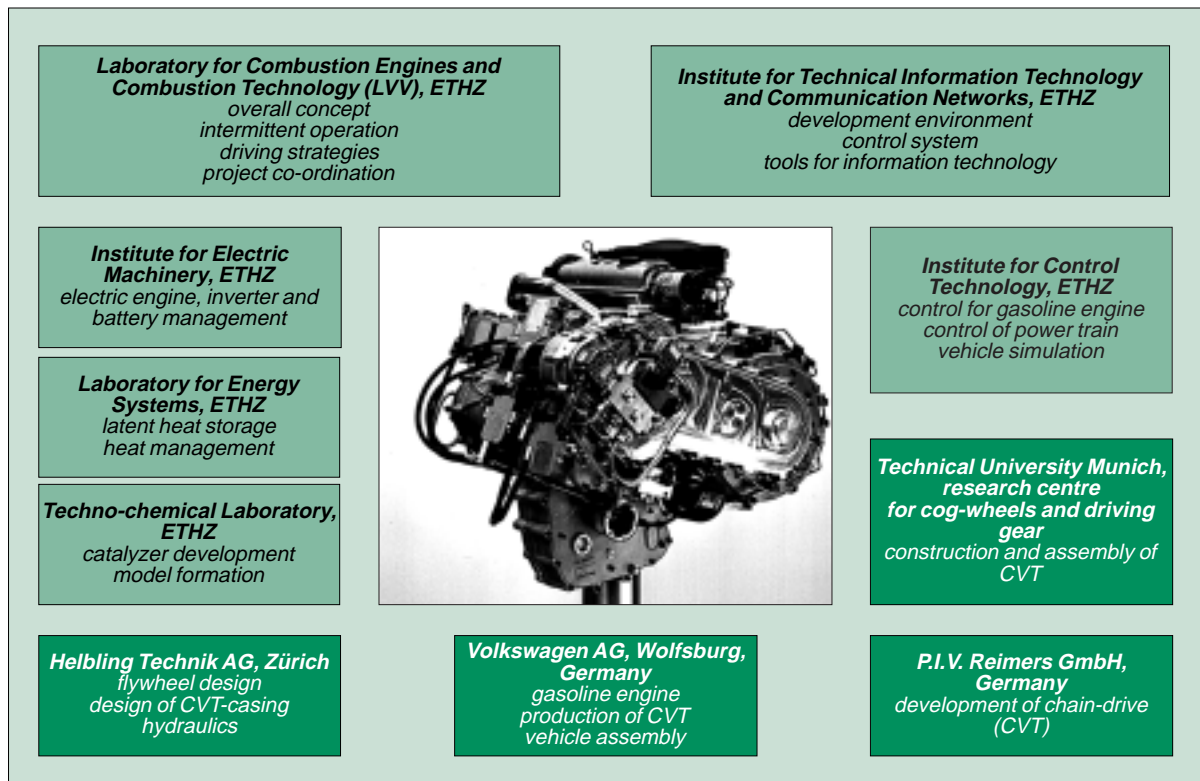
Consequently, the LVV joined forces with no less than seven more institutes at the ETHZ as well as with the Technical University of Munich, Germany, Swiss and German engineering companies, and a German car manufacturer. This large number of participants was matched by the number of financial donors, amongst which the NEFF contributed the major part.

To structure the project in accordance with the disciplines involved, the project was divided into nine sub-projects, co-ordinated by the LVV. The first years, from the autumn of 1990 until mid-1994, were devoted to conceptual work and construction. By 1993, tests of components could be started, and by 1995 the power-train was assembled and ready for subsequent testing. Numerical simulation was developed and verified in parallel to the hardware.

The detailed concept of the Hybrid III

In the early conceptual phase, the concept of the hybrid, including its operating modes, was laid down in detail:

- On the highway, or driving at high power demand, the car is powered by the gasoline engine only. This engine is running at full load at the point of maximum efficiency.
- To decouple the engine's speed from the car's speed in order to adjust the speed of the car to the driver's intentions, a Continuously



Variable Transmission (CVT) of a very wide transmission range must be employed.

- In emission-free zones, the car is powered by the electric motor only, which draws power from the battery. Peak demands of power, for example for brief accelerations, are covered by the flywheel.
- Outside emission-free zones, where power demand is low, DCO is the choice. The flywheel is charged by the gasoline engine, then the car is powered by the flywheel via the CVT, until the flywheel runs out of kinetic energy, and is charged again by the gasoline engine. The engine is switched on and off only for charging the flywheel.

To make the main components – gasoline engine, electric machine, flywheel, and CVT – fulfil their functions, it was recognized that a number of auxiliary systems would be necessary, which would also enter into fields beyond traditional technologies.

The number and variety of institutes and industrial partners taking part in the project reflect its complexity. For reasons of efficiency and transparency, the project was split up into sub-projects co-ordinated by the LVV (Laboratory for Combustion Engines and Combustion Technology at the Swiss Federal Institute of Technology Zürich, ETHZ).

The flywheel system

Choosing the components of the flywheel unit also meant opting for three clutches along the same shaft:

- clutch no. 1 connecting the gasoline engine with the unit made up of flywheel and electric machine,
- clutch no. 2 connecting the power-train and the gearbox, and
- clutch no. 3 serving to disconnect the flywheel from the junction-

shaft when the gasoline engine is operating in the highway mode. With very little space available along the flywheel unit, new solutions had to be found for the location and operation of the clutch.

Another basic consideration concerned the inertia. In the DCO, the gasoline engine should start as quickly as possible. This is supported by reducing its inertia, for example by decoupling the standard flywheel. However, now the extremely oscillating torque of the crankshaft would endanger the flywheel system. Therefore, the clutches had to be re-designed in order to cope with the additional torque.

The LVV opted for the gasoline engine, as opposed to a diesel engine, due to its smaller inertia and lower compression pressure at start-up. These characteristics would benefit the intermittent mode, whereas in the highway mode a gasoline engine at permanent full load would have an efficiency comparable to that of an IDI diesel engine.

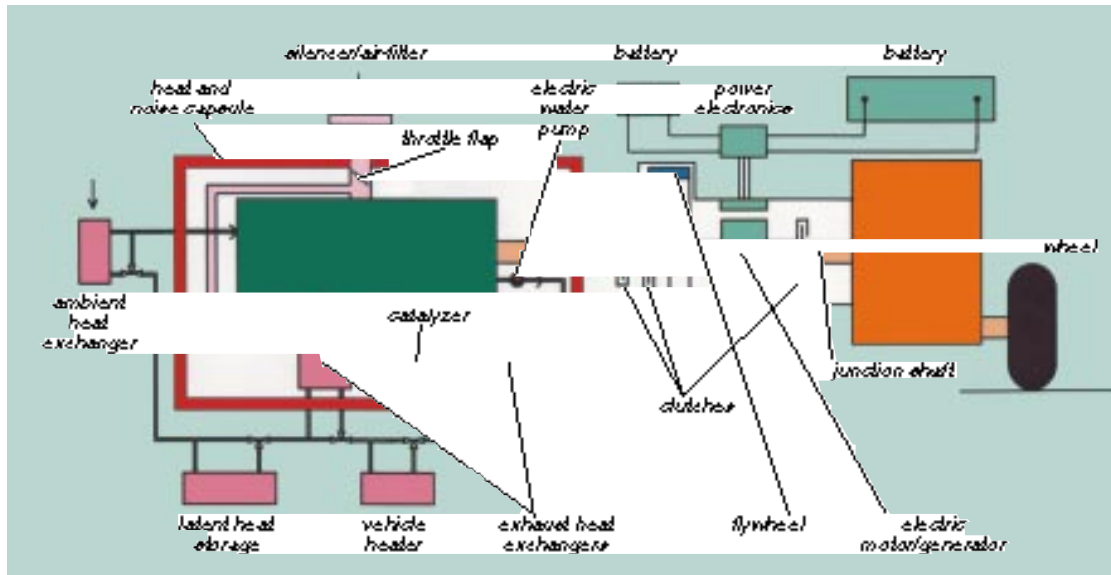
Gasoline engine and catalyzer

A gasoline engine ideally suited for DCO should be specially designed, according to the LVV. Yet, for a research project it would suffice to modify a production engine. A small engine with port injection – 1,3 l volume, 4 cylinders, 55 kW power – mass-produced by the German industrial partner was chosen and modified:

- The series flywheel was taken off.
- A special electronic ignition and injection system, employing a VLSI-chip, was developed, ensuring individual cylinder calculations. An adapted ignition coil system offers a quick start.
- An injection control was designed to render a basic stoichiometric air/fuel mixture, or $\lambda = 1$, over the entire operation range. This value provides for optimum efficiency at full load, and over a wide range of engine speeds (thereby resulting in a slightly reduced torque).
- An engine/catalyzer-management is aimed at minimizing the emissions.

This engine/catalyzer-management was designed to solve the basic catalyzer problem as well as the specific problems of the operating modes of the hybrid vehicle. A test rig using synthetic exhaust-gas was built, in particular for simulating the DCO in order to find suitable strategies for the superimposed λ -control.

The basic problem of the automobile catalyzer is posed by its insufficient conversion rate as long as it has not reached temperatures around 300 °C. In today's cars this may take up to five minutes. Twin catalyzers, of which one is designed for low triggering temperatures to serve during the start-up period, reduce the problem, but cannot solve it. This problem is enhanced by the DCO, as the catalyzer would hardly reach the necessary temperatures within the brief period – a few seconds – of charging the flywheel, and certainly would cool below those temperatures during the much longer standstill of the gasoline engine.



Furthermore, at each start exhaust gas – mainly unburnt hydrocarbons and CO – sweeps the catalyzer, followed by a burst of air when the engine switches off. The air burst results in a high oxygen concentration in the catalyzer, which in turn is responsible for a low conversion rate of nitric oxides arriving at the beginning of the next sweep of exhaust gas. Even worse, experiments on the test rig demonstrated that this conversion rate remains low during the entire exhaust gas sweep.

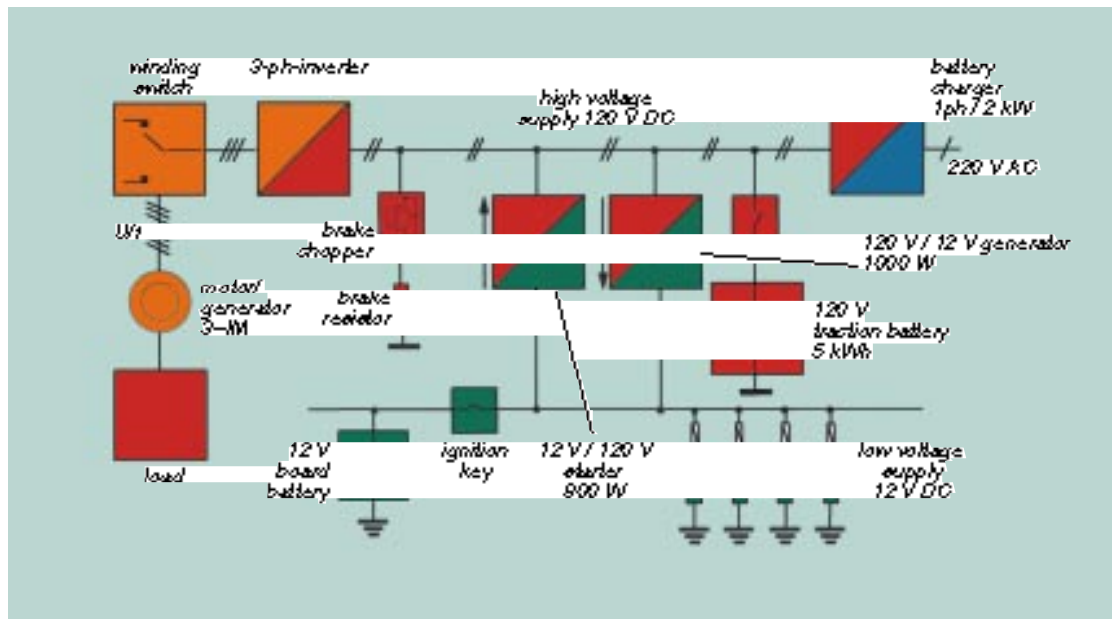
A remedy was found by slightly varying λ . At the beginning of the exhaust gas sweep, a rich mixture ($\lambda < 1$) is produced, which reduces the oxygen reserve in the catalyzer, and hence the following nitric oxides are better converted. After this start, λ is controlled to oscillate within the range $1 \pm 0,05$. Such slight oscillations were found to reduce the triggering temperature of the catalyzer, in conjunction with catalyzer materials containing cerium.

For this control, in addition to the usual λ -probe upstream of the catalyzer, a second λ -probe downstream is employed.

To solve the basic temperature problem, the catalyzer is heated. Experiments were performed with a latent heat storage system, using substances having phase changes around 300 °C. However, as this path proved to be rather tedious, it was finally abandoned in favour of an electric heater. This increases energy consumption, but is a must in view of emission reduction. New developments in catalyzer technology point towards ways to omit the heater.

Controlling λ around the value of 1 also means that the exhaust gas is so hot at full power that it damages the catalyzer. Therefore, the exhaust has to be cooled prior to entering the catalyzer. This is effected by a heat exchanger connected to the cooling circuit of the gasoline engine.

Schematic of the planned Hybrid III power-train and its auxiliary systems.



The electric components

Schema of the electricity supply within the Hybrid III system. The motor/generator is powered by the gasoline engine. There are two batteries, one feeding the board-grid, the second powering the electric machine when it works as a motor.

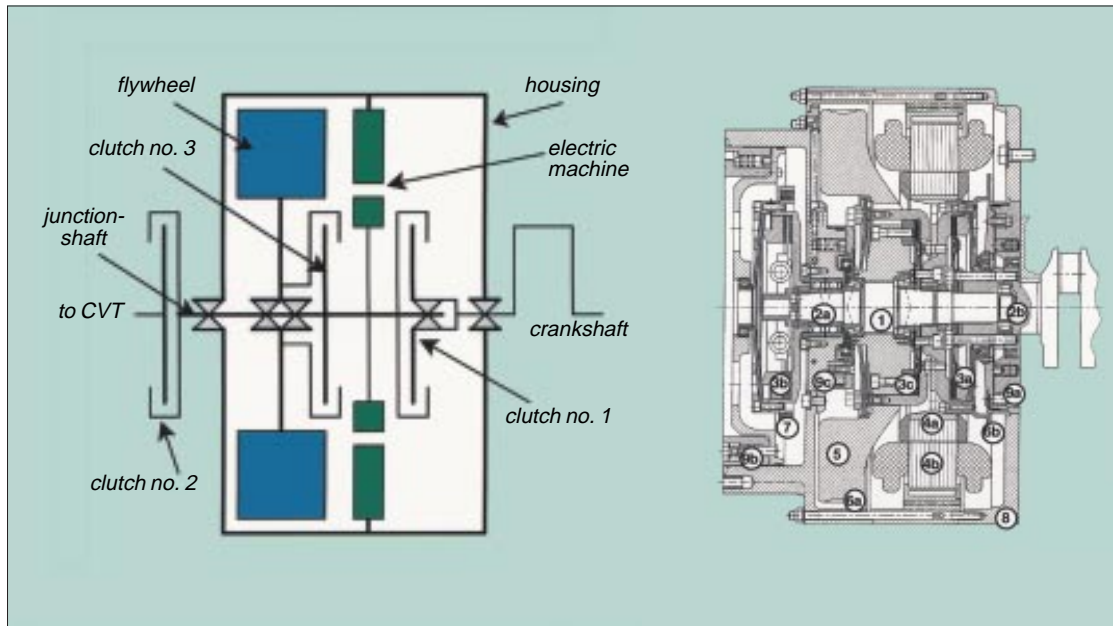
The electric machine, a motor/generator, has to serve four purposes, for which the design characteristics were laid down as follows:

- As a motor it has to develop 6 kW of power and 5.2 Nm of torque at 1'800 rpm.
- As a generator charging the battery, the maximum power demanded is a low 1.2 kW, but the torque a high 32 Nm, both at 1'800 rpm.
- As a no-wear brake, 16 kW of power and 25.5 Nm of torque is required at 6'000 rpm.
- The motor is also used as a starting device for the engine by first speeding up the flywheel.

Another requirement was the accommodation of the electric machine within the flywheel unit, to be compatible with the German manufacturer's car fleet for further integration in an existing vehicle. With respect to energy efficiency, this meant an unfavourable ratio of diameter to width. Also, today's series generators at 20 % load – the range of the Hybrid III electric machine in the motor mode – are rather inefficient. As a consequence, a machine exhibiting very high efficiency at part load, too, had to be designed.

For choosing the electric concept, a multitude of machine types were compared. Due to the required speeds of up to 6'000 rpm, the rotor should not comprise permanent magnets, as these would induce braking power on the flywheel operating. DC-motors, for example, were beyond consideration due to the high friction of their brushes.

Finally, the asynchronous type was selected, and three models each of the stator and the rotor were built. The stators differed in their wiring, whereas two of the rotors were equal, and the third carried additional magnets. Measurements revealed that the combinations with



the rotor incorporating additional magnets performed best, showing efficiencies of up to 92 % at 6 kW power. To recharge the dc-battery, or draw dc from it, a 3-phase inverter was developed.

At 5 kWh, the battery capacity was defined for a driving range of 20 km only; today's standard electric vehicles have batteries of up to 30 kWh. The nickel/metal-hydride type was preferred to nickel/cadmium on the grounds of its superior energy and power densities as well as the absence of toxic metals. During a full year of measurements on a specially designed test rig, a novel charging procedure featuring shock discharges was developed. This resulted in lower cell-temperatures, which in turn means an increased number of cycles, and hence an extended life span.

The flywheel system, incorporating the flywheel, the electric machine, and three clutches, all on one junction shaft: at the left, schematic, at the right, constructional drawing.

Flywheel and CVT

A number of basic considerations determined the design and the dimensioning of the flywheel:

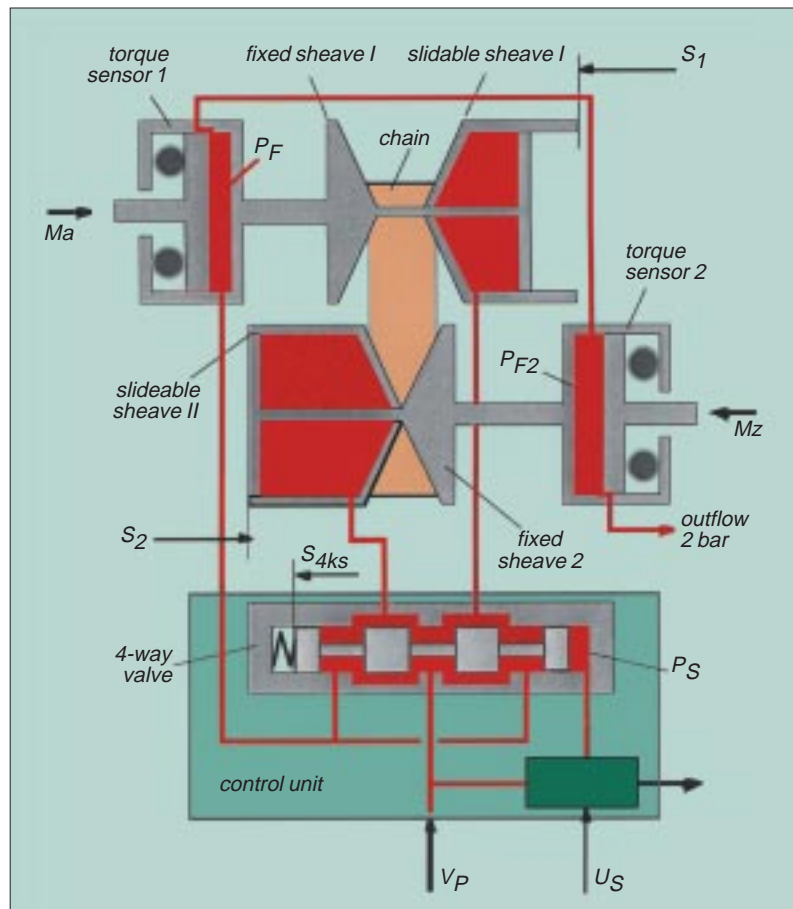
- Its speed had to be equal to that of the gasoline engine's crankshaft, for otherwise this engine's oscillating torque would endanger any means of mechanical speed increase.
- This relatively low speed would mean lower energy storing capacity, but on the other hand would not require high strength materials and safety housings, and also would keep energy losses due to friction in the bearings and air drag low (the mechanical connection to the shaft ruled out vacuum).



The flywheel (left), and attached to it the rotor of the electric machine (left), and the clutch (right) between the flywheel and the CVT.

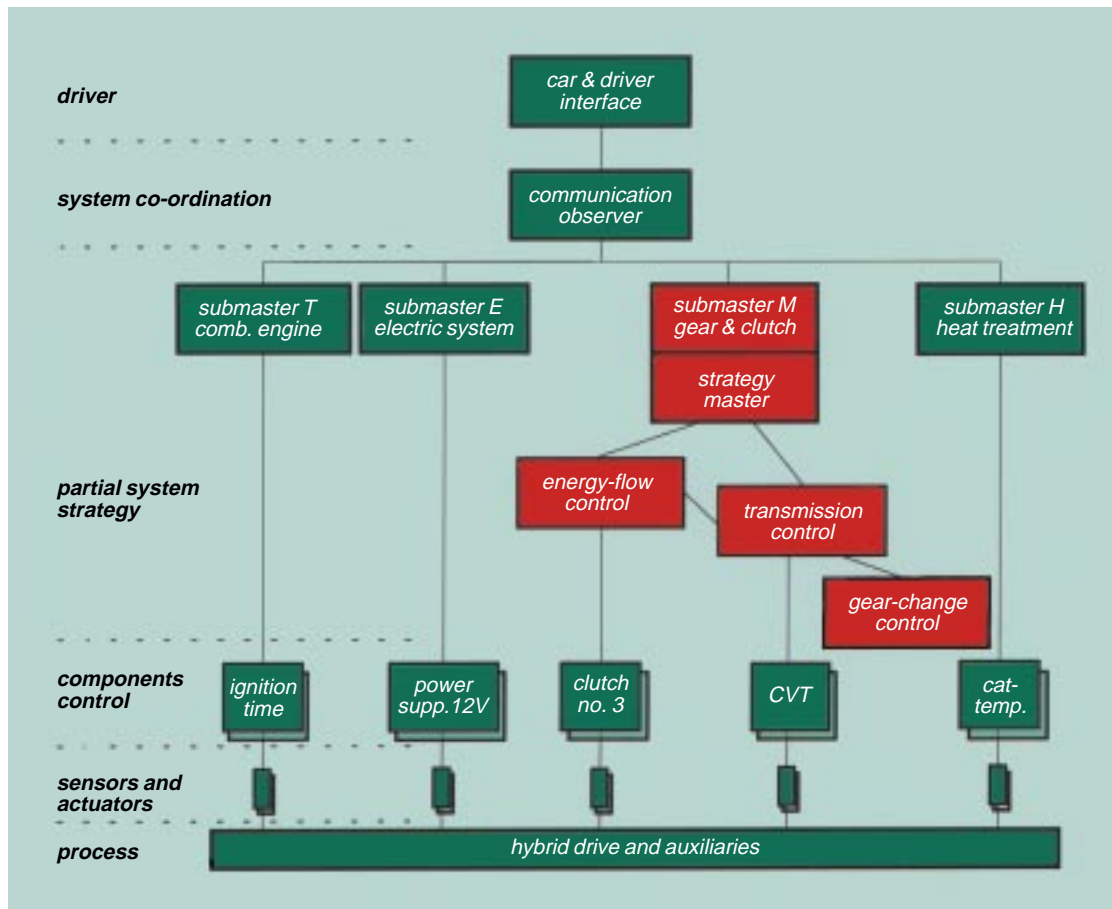
Schema of the chain-converter, the core of the Continuously Variable Transmission (CVT):

- There are two sets of pulleys, each pair consisting of a fixed and a slideable sheave.
- A chain runs over both sets.
- The moving sheaves are hydraulically connected to the hydraulics control.
- The input and the output torque are transferred to the sets by torque-probes.
- The torque transmitted by the chain from one set to the other is measured hydraulically. It generates the basic pressure within the hydraulic control.
- This basic pressure, together with the control pressure and the volume flow-rate of the hydraulic pump determines the pressure exerted on the moving sheaves.
- According to the pressure ratio, the distance of the sheaves in one set is different from the other pulley, hence the radius »seen« by the chain is different, so the transmission ratio can be varied continuously.



- The flywheel ought to have a storing capacity of around 250 kJ, corresponding to braking a small car from 70 km/h down to a standstill. Compromising between all these conditions and several more, like the influences of mass and inertial forces on the car, the flywheel was chosen to be 408 mm in diameter and 48 mm in width, which results in 49 kg of forged steel, contained in a cast aluminum-housing of 450 mm diameter and 300 mm length. Thus the wheel is narrower and has a greater diameter than the ideal dimensions.

Today, there are already CVTs in use in some small production cars. Based on a chain transmitting the torque between two pulleys of variable diameter, thus allowing continuous variation of the transmission ratio, these CVTs are unsuitable for an eco-mobile like Hybrid III: their range (1:5 against 1:20 as required) as well as their efficiency are far too limited. Hence a novel design was executed along the »i²«-arrangement of the pulleys, known since 1980 but never realized. The classical part of this arrangement comprises toothed wheels and jaw clutches to shift between reverse and creeping gears, as well as from slow to fast driving gears. Three hydraulic circuits feed the chain drive, the lubrication, and the servo-drives.



Driving strategies, and numerical simulation

Corresponding with the complexity of the power-train and its auxiliary systems, the common control is also much more complex than that in an ordinary vehicle. As the components were developed at different institutes, the controls of each single component as well as the common control were given the same modular structure to fit together.

The prime task of the common control is to ensure co-ordination of all components, taking into account that the driver's intentions have to be implemented while respecting the limitations set by the hardware and minimizing fuel consumption.

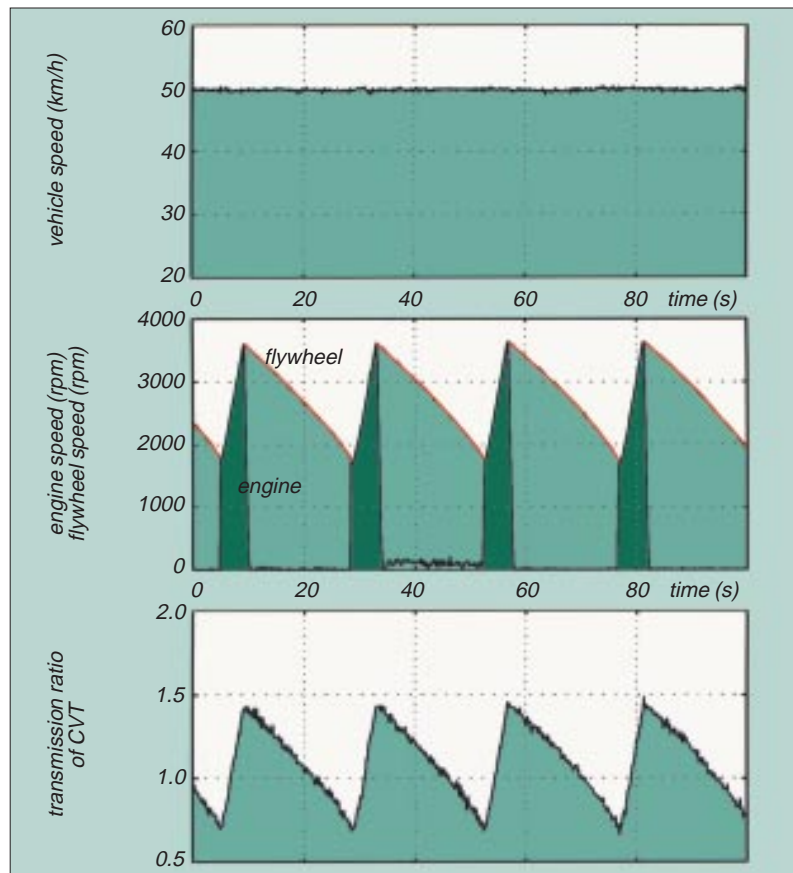
These requirements can be fulfilled by an optimum driving, or operating strategy. To find this strategy, all the possible driving modes – combinations of gasoline engine, electric machine, flywheel, and CVT – have to be evaluated to sort out those modes which meet the above conditions. This evaluation was performed by both numerical simulation and test-runs.

For numerical simulation, the vehicle was represented by a non-linear dynamic model. To formulate the control strategy, the method

Systems structure of the driving strategy, from the top to the bottom of the hierarchy:

- *At the driver's level, the »car & driver interface«. The driver selects mode and gears, he can actuate the accelerating pedal and the recuperation pedal.*
- *At the level of system co-ordination, the »communication observer« synchronises the distribution of the driver's selections onto the sub-systems.*
- *At the level of the sub-systems, the strategy-master determines the driving mode (e.g. DCO or electric), activating the corresponding components.*

Verification of the numerical simulation of the DCO. At a constant vehicle-speed of 50 km/h (upper curve) on an even surface the speeds of both flywheel and crankshaft of the gasoline engine vary periodically. Within about 6 s the engine accelerates the flywheel to 3'600 rpm, then is switched off, and the flywheel only supplies the power to the vehicle's wheels via the CVT. After approx. 25 s the flywheel's speed has dropped to 1'800 rpm, at which point the gasoline engine is switched on again, starting another cycle.

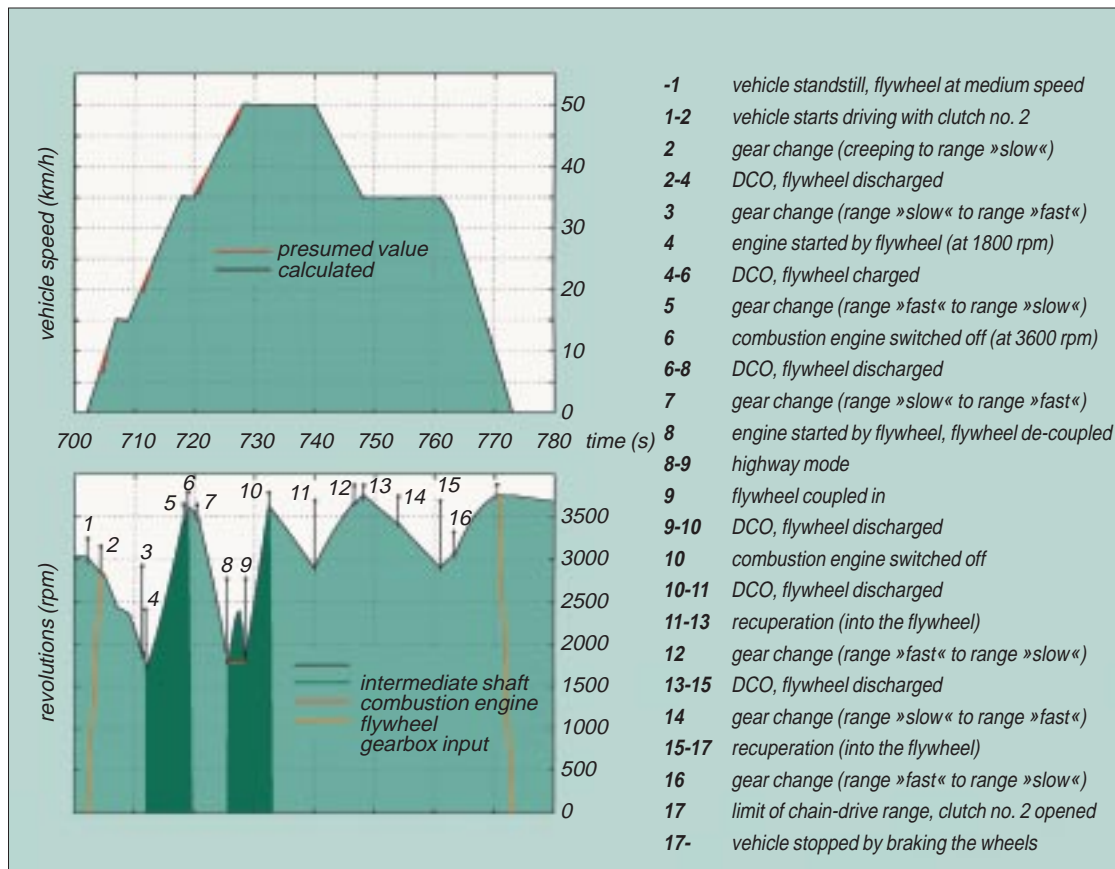


CIP (Communicating Interacting Processes) was used. The driving strategy comprises two hierarchical levels:

- On the upper level, the driver selects the operating mode via accelerator pedal, gear shift, and recuperation lever.
- On the second level, all the components of the power-train are coordinated.

The general conclusion that was drawn and incorporated into the control: the DCO should only be selected as long as the power demand is not larger than the engine's full load at the above defined triggering speed.

The control strategy can only be applied within a powerful network of sophisticated and flexible process interface signal processing, and by communication between sub-tasks. For this purpose, a transputer based network was developed, which can be adapted dependent on the different sub-systems to be controlled. For the input/output-task, a VME-bus is integrated, and the signals are preprocessed locally. Three classes of signals are handled, ranging from 1 kHz down to 10 Hz sampling frequency. The control system is designed to be powered by the car's 12 V dc supply.



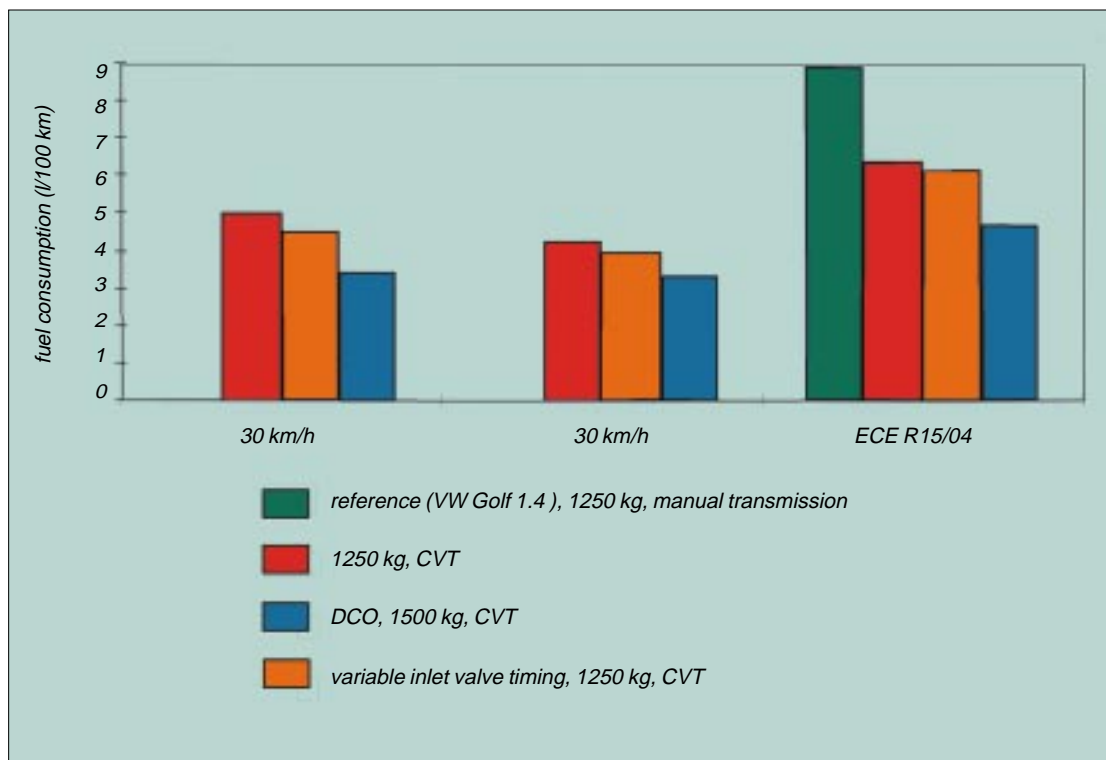
Test-rigs

To verify the numerical simulation, four test-rigs were built. The electric machine and the transmission each have been tested on a components test bed.

The third test-rig was designed for stationary measurements of the gasoline engine and the attached flywheel unit. Performed at constant engine power, these measurements revealed a specific consumption between 3 and 9 % above the calculated potential, with the highest deviations at low power. This behaviour can be explained by compromises which were made integrating the three clutches, and thus increasing the air drag of the unit.

Emissions of CO and NO_x were also higher than at standard operation. In the case of the NO_x this was expected, due to the operation under full load. The explanation of the surplus CO: during the standstill of the engine, part of the film on the cylinder-wall evaporates, using up part of the oxygen-reserve in the catalyzer (deposited here by the air-burst at the engine switch-off), which then is lacking for the conversion of the CO after restarting the engine.

Result of the numerical simulation of the ECE-15/04 city-cycle in the driving mode V, i.e. »gasoline engine«. The upper diagram shows the vehicle's speed as laid down by the cycle. In the lower diagram the speeds of the junction shaft, gasoline engine, flywheel, and CVT-input. The simulation is in very good agreement with measurements performed on the dynamic test-rig.



Fuel savings potential of the Hybrid III in the intermittent mode, in comparison to two other concepts for increasing the efficiency, namely variable inlet valve timing and throttling, each combined with a CVT. The variable inlet valve timing is a theoretical study only, performed without considering its practical realization.

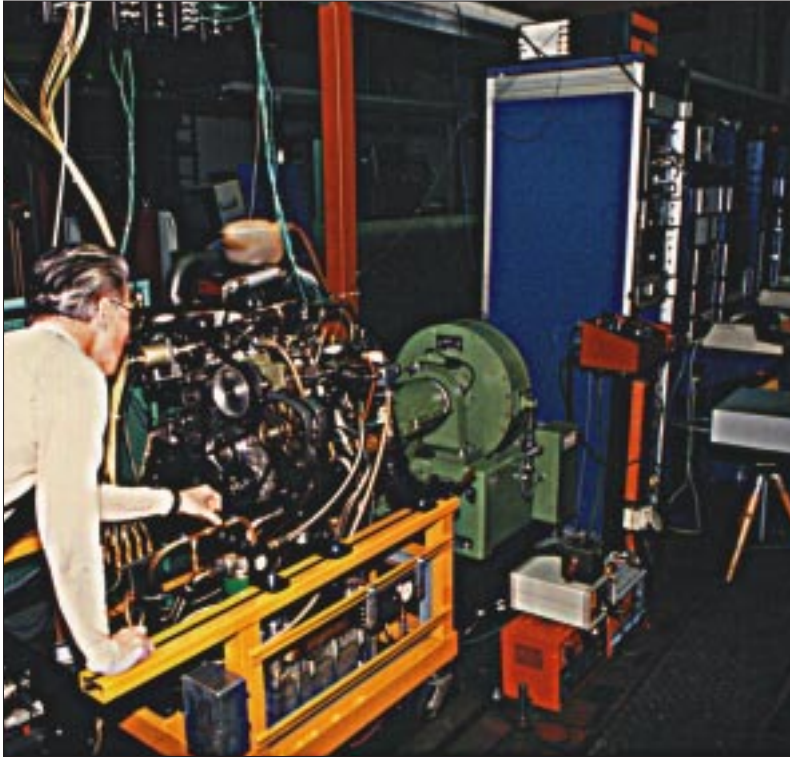
The fourth test-rig was destined for dynamic measurements, i.e. imitations of runs on the road. Amongst others, the ECE-15/04 cycle was performed. Whereas a comparable production car of 1995, equipped with the same engine, consumes 8.9 l/100 km in this inner city-cycle, Hybrid III saves 50 % on that value considering an additional load of 350 kg due to components and battery (a hybrid lightweight car would consume even much less).

Unforeseen problems, and transfer into a product

There was a strong feed-back, in so far as the test results helped to improve the models for the numerical simulation. It also could be demonstrated that the optimization of the entire power-train yields a better overall efficiency than optimizing single components.

In the course of the project, its volume and duration grew far beyond the original intentions, mainly due to unforeseen problems. A few examples:

- The power-train was subject to strong torsional vibrations, which required a change of the design. The electric machine, initially placed between the second clutch and the flywheel, had to be shifted to the other side of the flywheel, near the gasoline engine's crankshaft. The clutches needed reinforcements.



The test rig for static measurements at the LVV, where the characteristics of various engines at constant speed can be compared. At the left an engine is under test, at the right is the measuring electronics.

- The CVT proved to be much more difficult to design and to construct than expected.
- The development of driving strategies, too, took more efforts than thought.
- A problem encountered in connection with the control was the reliability of signals from the numerous sensors for speed and angles. To solve it, a special evaluation software had to be created.

When the project finally was concluded in the summer of 1996, the Hybrid III concept had come very close to being transferable into production. This is shown by the intentions of the German automobile partner in the project to realize a prototype van incorporating a drive train along this concept in 1997.

Project no. 489

Improving accuracy of Acoustic Discharge Measurement in hydropower conduits

In hydroelectric plants, flow rates ought to be known to a high precision. Lately, Acoustic Discharge Measurement (ADM) has been replacing conventional methods on the merits of higher accuracy and considerable time savings for installations. A research project, performed jointly at the Swiss Federal Institutes of Technology at Zurich and Lausanne, is aimed at determining the measurement accuracy of ADM. By experiments, numerical simulations and field measurements, it was shown that ADM is superior, especially in difficult conditions. In due course, ADM was further improved by a computer-controlled theodolite system, refined integration of turbulent and disturbed flow velocity profiles, and estimates of the influence of protrusions into the conduits.

Research target:

tools for estimating the measurement precision already in planning of ADM

tools for reliable scientific error analysis of field measurements

reduction of effort and time in preparing and executing ADM

In the Spring of 1995, the hydroelectric plant at Martina-Pradella, in the Swiss canton Grisons, was inaugurated. Naturally, there was a need to determine precisely the discharge, or flow rate of water into the two Francis turbines, in order to calculate their efficiency as well as to have a base for the payment of water licenses. Conventional measurement by means of the propeller-type current meter, installed in a conduit, would have meant shutting down the plant for three weeks – a costly undertaking. Furthermore, any repeat measurements at a later time would have necessitated the same procedure. Therefore, the novel method of Acoustic Discharge Measurement, or ADM, was chosen. Moreover, the Swiss supplier of the USA-made equipment guaranteed a measurement error not exceeding 1 %, which would be less than the error of conventional methods.

Unfavourable conditions

ADM, based on an ultrasonics principle, had been gaining ground worldwide in recent years, but the application in conditions as unfavourable as those at Martina-Pradella was a premiere in Switzerland. Usually, the transducers ought to be mounted downstream in a straight conduit which has a length at least ten times the diameter, in order to ensure a fully developed turbulent flow profile. At Martina-Pradella, however, the only suitable place was in a rather short length of only a few meters against a conduit diameter of 2.70 m, between an upstream bifurcation and a sharp bend immediately followed by the turbine inlet valve. In view of such extreme conditions, an 8-path 2-plane ADM system was selected – 16 ultrasonic transducers installed in two planes at different angles, with four pairs of transducers in each plane, and all pairs of a plane marking parallel acoustic paths.

Applications:

precise measurement of flow rates in hydropower plants

a basis for determining turbine efficiency

1992	1993	1994	1995	1996
development of tools: theoretical, experimental, numerical simulation				
		application of the tools in hydraulic power plant measurements		
			further refinements of the tools (only partly NEFF-supported)	

Installation and measurements were a joint venture of two Swiss engineering companies and the Institute of Energy Technology, IET, at the Swiss Federal Institute of Technology Zürich (ETHZ). The IET also carried out a detailed calculation of measurement errors, as part of a NEFF-sponsored research project in which the IET was partnered by the Institute for Hydraulic Machines and Fluid Mechanics, IMHEF, at the Swiss Federal Institute of Technology Lausanne (EPFL). The project was intended to produce tools permitting ADM users to pre-estimate the accuracy of ADM in individual installations.

The error estimate at Martina-Pradella resulted in an overall error of $\pm 1.0\%$, demonstrating that ADM can yield precise data even in unfavourable circumstances.

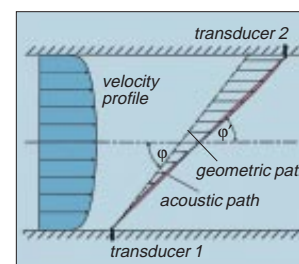
The project was commenced in April, 1992. In the first phase mathematical and numerical methods were developed to calculate the margins of error in ADM, and experiments were performed to check these results. Beginning in the autumn of 1993, in the second project phase, the new methods were applied in the field. Continuing research is aimed at further improvements and answers to some questions still open.

The ADM principle

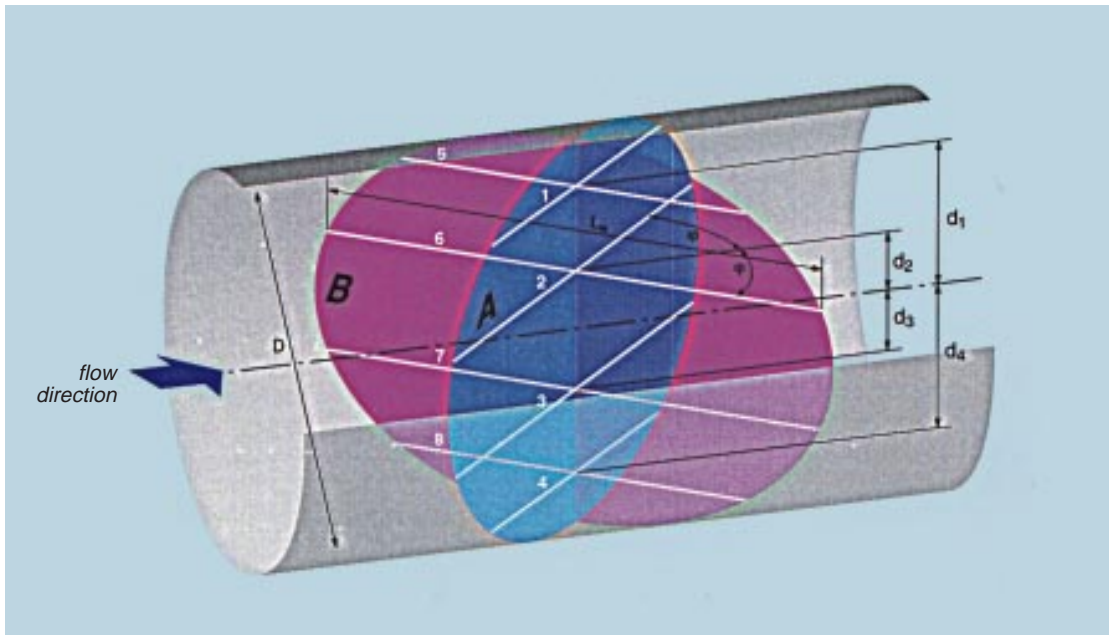
In order to follow the experimental, theoretical, and mathematical project work underlying this result, it may serve to review the principle of ADM.

An ultrasonic transducer, mounted on the inside of the conduit, emits a signal. Propagating diagonally through the water in the flow direction, the signal arrives at a transducer on the opposite side of the conduit. If the water were at a standstill, the propagation of the signal would be along the straight path connecting the two transducers. However, the water flowing in the axial direction »carries« the signal, depending upon the local velocity of the water, and hence the signal follows a curved »acoustic path«.

The time required by the signal to arrive at the opposite side is determined by the sound velocity in the water and by the flow velocity. The sound velocity, whose measurement meets with considerable imprecision, is eliminated by measuring in the downstream as well as



ADM is based on the »carrying« of the acoustic signal by a flowing fluid. Hence the signal emitted by transducer 1 at a certain angle ϕ is received by transducer 2 at a different angle ϕ' . This angular deflection, and the shape of the acoustic path, depend upon the velocity profile, i.e. the velocity distribution in the conduit.



For accurate ADM in conduits with distorted velocity profiles, 8 paths are the choice, grouped in 4 paths each in 2 planes. In the above case, the 16 transducers are mounted in a way to yield all paths horizontal. Geometrical path lengths and angles as well as distances of the paths from the conduit axis have to be determined with high accuracy.

the upstream direction. Then, from the geometry of the instrumentation, and from the electronically measured propagation time, the mean velocity of the water can be calculated.

Mathematically ADM can be described by a superposition of the acoustic signal onto the flow field at any point of the acoustic path. The overall transit time then is determined by a numerical integration along the curved acoustic path.

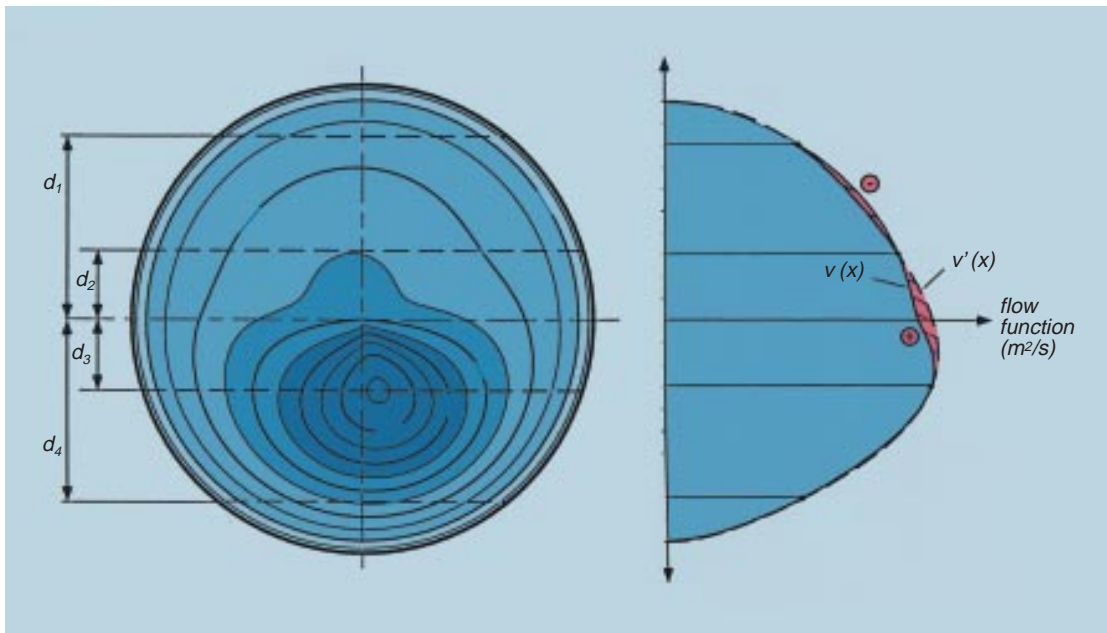
Being unsuitable for field measurements, this numerical procedure may be replaced by a simplified calculation based upon an approximated linear acoustic path without a loss of accuracy, as proven by a numerical study at the IET.

With this simplification, one arrives at an equation presenting the mean flow velocity along the acoustic path as a simple function of distance, path angle, and the transit times. On this equation rest all ADM systems based on the measurement of the transit time.

Over the last years, ADM systems with more than one acoustic path have found widespread application for the reason that the more acoustic paths are used, the more information on the flow profile is gained, and the more precise the ADM will be.

Integration errors

This gain of precision was demonstrated by numerical studies of disturbed turbulent flow conditions like those in Martina-Pradella, where one-path ADM systems had performed very poorly. Here the transducers had to be installed immediately behind a bifurcation, which is preceded by a 90° bend. Hence, the velocity profile was likely to be heavily distorted and to comprise strong non-axial components.



Under these assumptions, the numerical studies of a single-path ADM system yielded measurement uncertainties as large as $\pm 5\%$.

For this reason, an 8-path 2-plane ADM system was chosen. This comprises 4 pairs of transducers arranged at the same angle towards the axis and spaced over the conduit cross section, and another 4 pairs at a different angle opposing the water flow. As a result, non-axial components are also registered, especially those near the conduit wall.

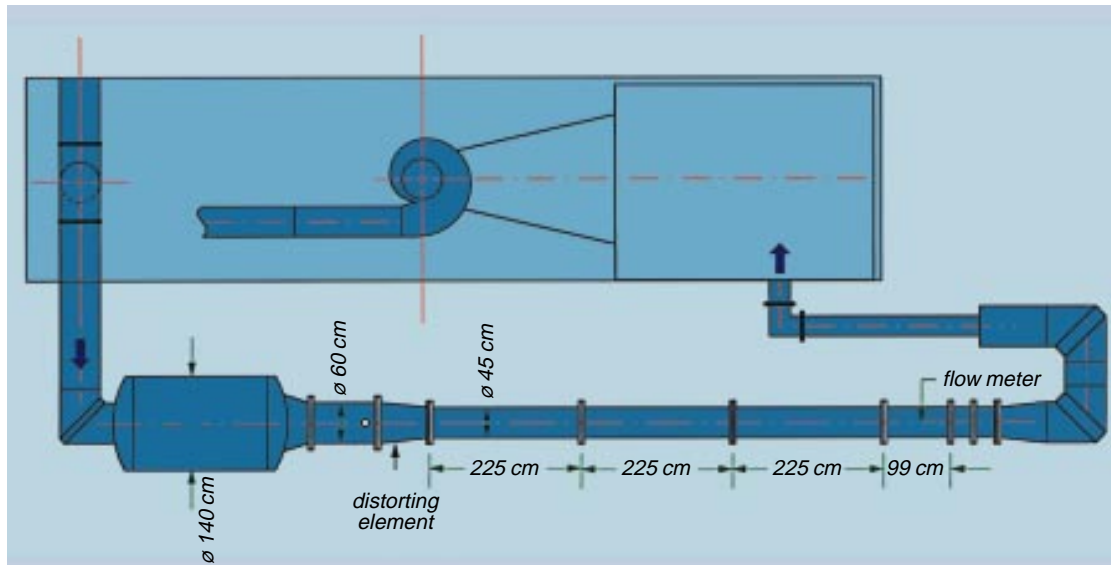
Measurements now result in 8 velocity values along distinct paths within the conduit, posing the task of reconstructing the entire velocity profile by interpolation between the measured points, in order to be able to compute the flow rate by integration over this surface.

OWICS (Optimal Weighted Integration for Circular Sections)

An international standard, IEC 41/1991 Appendix J, prescribes the use of the Gauss-Jacobi integration method which is based on the summation of the weighted path readings. One of the drawbacks of this method is the fact that the symmetrical flow profiles typically found after very long straights, the so-called fully developed turbulent flow profiles, are not integrated accurately. At the IET, numerical simulations based on logarithmic velocity distributions yielded integration errors due to the Gauss-Jacobi method of up to $\pm 0.25\%$.

However, not only measurements in fully developed, but also in distorted turbulent flow profiles are affected by this error. In order to improve upon the integration, an optimized integration method named OWICS (Optimal Weighted Integration for Circular Sections) was developed by IET.

Example of a distorted flow profile in a circular conduit, as accurately described by polynomials. At left, the velocity distribution as seen in the axial direction; at right, the »true« flow function as obtained by multiplying the mean velocities in horizontal cross-sectional planes by their width. The total reference flow is computed by integrating the true flow function. Using the »measured« mean velocities at the path elevations d_1 to d_4 , the Gauss-Jacobi integration method was simulated, which is based on polynomial interpolation of the true function. The area between the measured »true« curve and the interpolated one represents the measurement error which – for real installations – typically is the most important contribution to the total measurement error of the ADM.

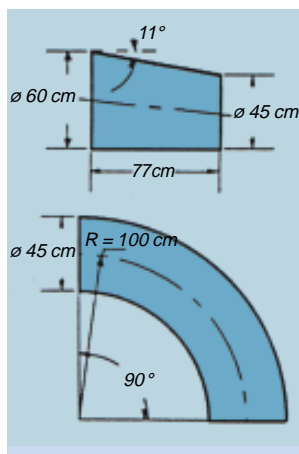


The test rig at the IMHEF in Lausanne. Upstream of the metering section, distorting conduit elements can be inserted, and the length of the straight can be varied in order to achieve a more or less symmetric flow profile (as a rule of thumb, after a distance twenty times the diameter, full symmetry is arrived at).

Mathematically comparable to the Gauss-Jacobi method, the path weights are not fixed, but calculated depending upon the distance between the single acoustic paths, allowing for the correction of path misalignments. Retaining exactly the same path positions, it is also possible to apply the method to existing ADM installations.

Compared to the Gauss-Jacobi method, OWICS reduces integration errors by about 0.2 %, i.e. to approximately ± 0.05 %, over the entire range of fully developed flow profiles observed in hydraulic power plants.

Experimental check

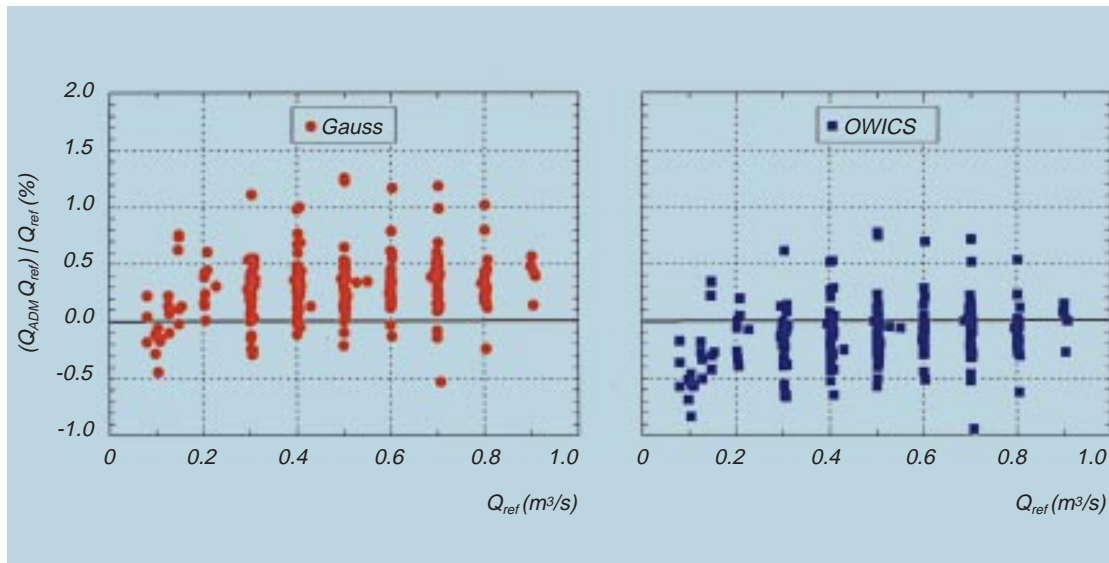


Two out of a number of distorting elements – an eccentric cone (top) and a pipe-elbow.

In order to check the accuracy of OWICS, especially in case of heavily distorted flow profiles, a special test rig was built at the IMHEF to precisely measure velocity profiles downstream of typical flow-distorting conduit elements.

Flow rate reference is provided by an electromagnetic device, calibrated monthly to a precision of ± 0.01 % by comparison with the discharge of a water basin. Local flow velocities are measured by means of a 5-hole probe and a laser velocimeter. Interchangeable pipes allow to modify the distance between the perturbation and the ADM section. The ADM system (»Accusonic 740«) with 8 paths and 2 crossed planes permits the acoustic paths to be varied between horizontal and vertical.

Amongst a dozen perturbations investigated, the most important were pipe-elbows with angles of 45° and 90°, 1000 mm radius of curvature and 450 mm diameter; concentric and eccentric cones reducing the pipe diameter from 600 to 450 mm; and a swirl generator employing vanes protruding into the conduit.



In total, more than 400 measurements were performed, with flow rates varying between 0.2 and 0.9 m³/s, or mean flow velocities between 1.1 and 5.8 m/s. The corresponding Reynolds numbers Re , the dimensionless parameter characterizing fluid flow, were up to 2.6×10^6 , which covers the lower range of Re observed in hydropower conduits.

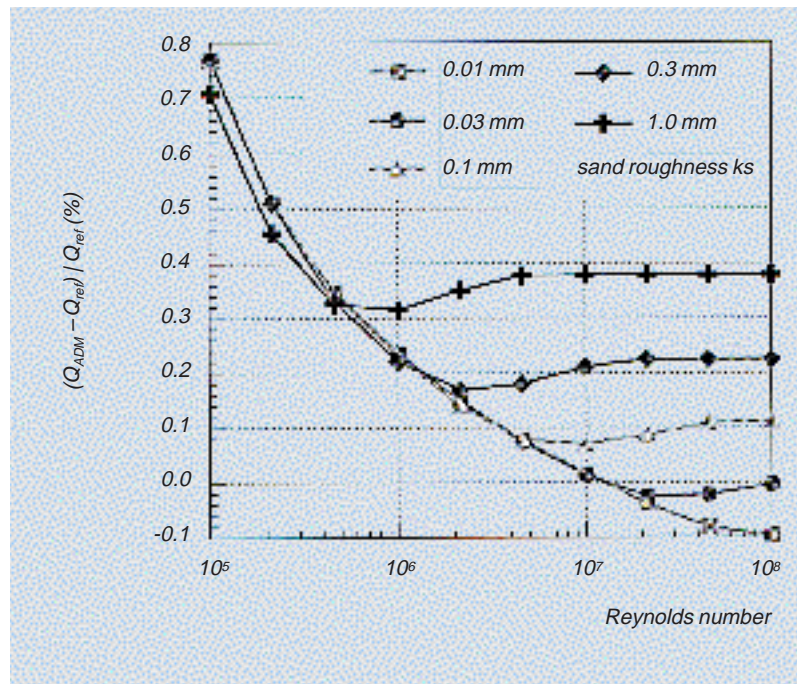
To evaluate ADM readings, the Gauss-Jacobi method as well as OWICS were applied. Even in case of severely distorted flow profiles, the maximum relative integration error amounted to only 1.25 % with Gauss-Jacobi integration, and 1 % with OWICS. The latter value represents the upper limit to be expected with the 8-path ADM. Assuming a normal probability distribution and a 95 % confidence level, the above errors amount to 0.3 ± 0.6 % employing Gauss-Jacobi, and 0.13 ± 0.6 % employing OWICS.

In all cases, OWICS proved to be superior, which can be ascribed to the lower bias error. In less demanding conditions, i.e. with undistorted but otherwise fully developed turbulent flow, even smaller errors can be expected.

So far, the ADM theory of calculation is based upon the assumption that the transducers do not interfere with the water flow. In reality, transducers can protrude up to 5 cm into the conduits. As a consequence, the lower flow velocities in the boundary layer along the walls of the conduit are off the acoustic paths. This neglect should result in an overestimation of the flow rate.

At the IMHEF, all flow-rate measurements were evaluated applying two integration methods: in all cases, the Gauss-Jacobi method (left) yielded higher maximum errors than the OWICS method (right) developed by the IET, ± 1.25 % against 1.0 %. The measurement error is conventionally defined as the difference between the flow-rate as measured by ADM (Q_{ADM}) and that by the calibrated reference method (Q_{ref}), divided by the latter.

The measurement uncertainties due to the protrusion of a transducer in a conduit of 2.5 m diameter, as determined by the IET, demonstrate a dependency upon the Reynolds number as well as on the sand roughness »ks« of the conduit wall. For narrow conduits, the uncertainties increase considerably.



Protrusion effects

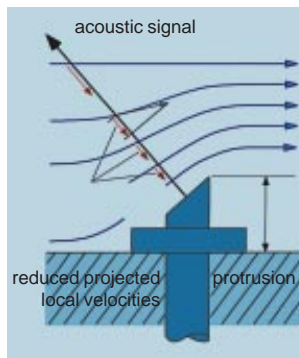
Additionally, IET had found statistical evidence for a second protrusion effect, namely the local distortion of the velocity profile around the transducer. This distortion should reduce the mean path velocity, and thus partly compensate for the first protrusion effect, i.e. the neglect of the boundary layer.

To verify these protrusion effects, IET and IMHEF devoted part of the project to a study of the commonly used »Accusonic 7600« feed-through transducer, comprising laboratory experiments and numerical calculations.

To calculate the local flow field around the protruding part of the transducer, the software package TASCflow was used, a commercial program for solving fluid flow problems on a 3-dimensional finite volume solver. With TASCgrid, the built-in grid generator module, only the relevant details of the transducers were included, and the transducers were modelled both upstream and downstream of the flow meter section. Conduits of 1 and 2 m diameter were considered, with mean flow velocities of 1, 2, and 5 m/s. A total of 70'000 grid points were ascribed to the transducer and its immediate environment.

Computation revealed a recirculating zone in the wake of the transducer, large enough to affect the acoustic signal. This clearly confirmed the presence of the second protrusion effect.

The results also showed that this effect is barely influenced by the conduit diameter and by the flow velocity. Using this, IET simulated measurements with the 8-path ADM and protruding transducers over the full range of Reynolds numbers and wall roughness found in hydro-

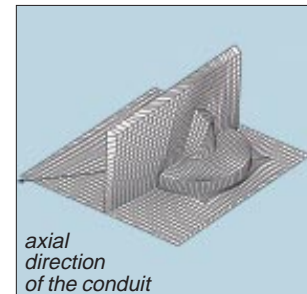


A transducer protruding into the conduit causes two effects which are sources of measurement errors. First, the boundary layer close to the conduit wall is not penetrated by the acoustic signal. Second, the velocity profile around the transducer is distorted.



The 3D theodolite surveying system comprises two electronic theodolites, a personal computer for commanding and evaluation, and an etalon – all shown here ready for use inside a steel conduit. The main advantages compared to the traditional survey procedure are negligible installation errors, accomplishment of the entire survey within one day by one or two persons, and an accurate check on previous measurements.

electric plants, both in hydraulically smooth and rough conduits. Finally, the measurement error was calculated for fully developed turbulent velocity profiles, as a function of conduit diameter, wall roughness, and Reynolds number. The result: for conduits smaller than 2 m in diameter, or when the mean velocities is below 0.1 m/s, the expected error due to protrusion of the transducers may exceed $\pm 0.5\%$, but for typical ADM-installations the error is significantly smaller.



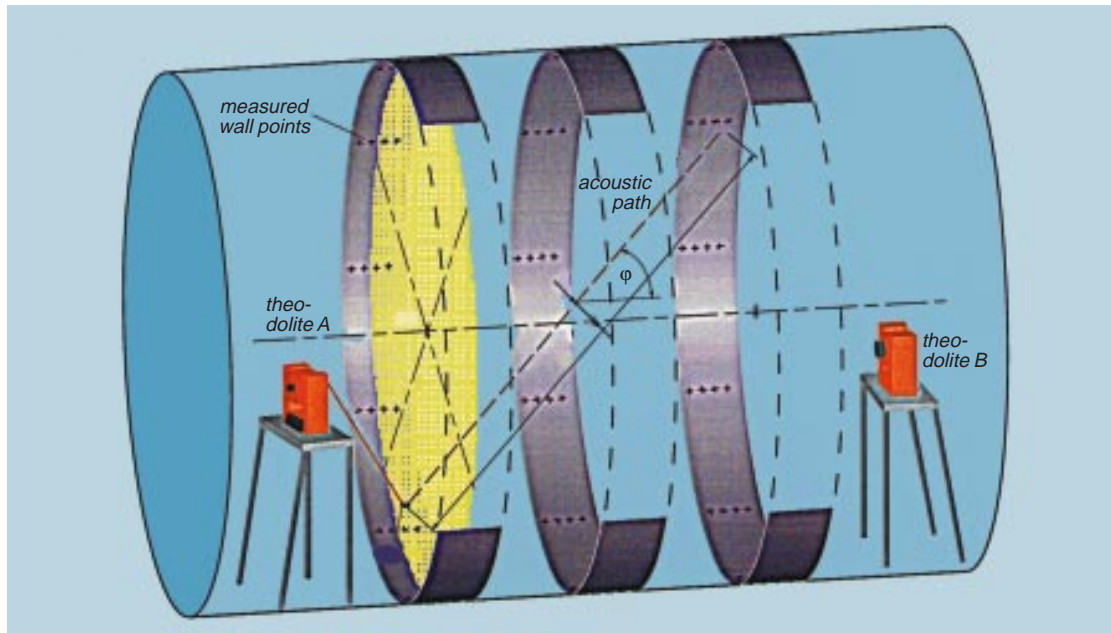
The 3D theodolite survey system

Integration errors, and errors due to the protrusion effects, account only for one part of the inaccuracies inherent to ADM. The other part derives from geometrical imprecisions in transducer installation, and measurements of conduit diameter including conduit eccentricity.

While installing the transducers, a series of both distance and angle measurements in space have to be performed. To achieve the desirable accuracy of the ADM of $\pm 0.5\%$, the standard deviation of those geometrical measurements must be less than 0.02 %, or 2 mm in 10 m, even in difficult conditions. Such accuracy is not readily arrived at by conventional installation methods employing classical instruments like meter tapes, especially in large conduits. As for the precision of time measurement, the electronic devices used in ADM are so precise that any conceivable errors are negligible.

The protruding part of a transducer as modelled by 70'000 grid points, with the grid divided into three blocks:

- *To save grid points, only a radial 90° section of the conduit is formed by approximately 10'000 points (not shown).*
- *The transducer proper is composed of four individual grids, totalling about 50'000 points.*
- *Due to the higher gradients in the wake of the transducer, the immediate vicinity of the transducer is refined locally by 10'000 points.*



To determine the cross section of circular conduits by means of the 3D theodolite survey system, one theodolite each is placed upstream and downstream, of the section to be measured. After having generated a coordinate system by means of an etalon, points on the wall are surveyed within »rings« along the conduit. From each ring-set of data, the cross section is then computed.

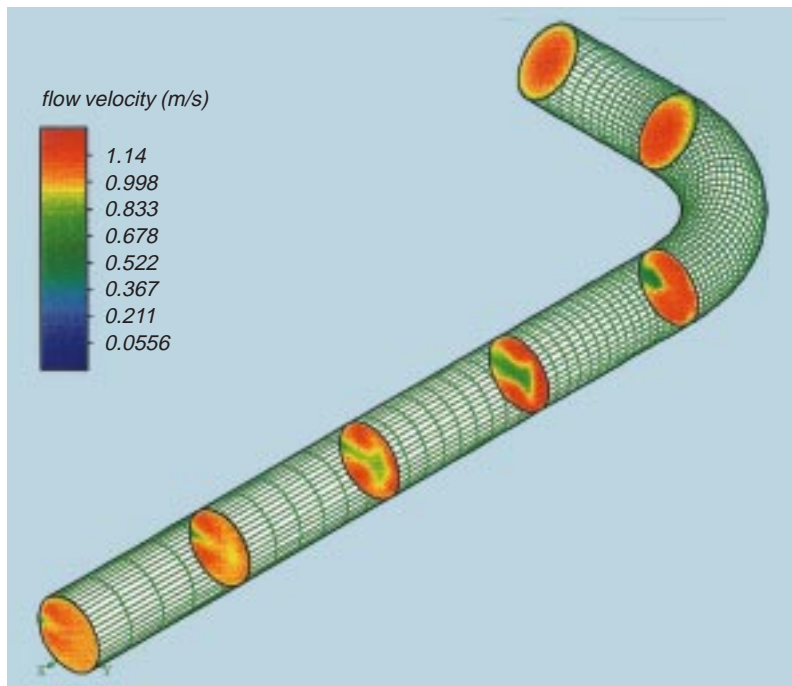
In order to make installation precision live up to the newly developed methods for reducing errors due to integration and protrusion, IET designed a survey system based on two electronic theodolites (»Geodimeter 520 SN«), which are remote-controlled from a personal computer via a serial interface. Their standard deviation of 2 arc-seconds, corresponding to 0.075 m in 10 m, is sufficient for the task.

Once the theodolites have been positioned, a local 3-dimensional co-ordinate system is generated with the aid of an industrial etalon. This is a stiff metal tube carrying 6 steel cones, which are calibrated to a precision better than 0.01 mm. By measuring a new point in space, for example on the conduit wall, the over-determination of the system increases. To calculate the co-ordinates of the measured points, one finally arrives at a system of 40 to 100 non-linear equations containing 20 to 50 unknown parameters. Computation follows the method of least squares.

After many tests, e.g. at Martina-Pradella, field inauguration of the system took place in 1995, at the hydraulic power plant of Simmenfluh, where the eccentricity of a concrete conduit had to be determined. An 8-path ADM was installed. In each of three sections of the conduit, 60 to 80 points on the walls were taken. Then from groups of 5 points each, the cross section was computed by interpolation. The eccentricity was found to be 3.5 %.

Using the acquired geometrical data, the installation error of the ADM was numerically simulated employing the conventional method: the eccentricity would have introduced an additional measurement uncertainty of ± 0.22 %.

Of importance, too, is the experience that the survey procedure with the 3D theodolite system took one day only.



One of the tools developed in the course of the NEFF project is the numerical simulation of distorted flow profiles. In this case, measurements at the IMHEF of the flow behind a 90° knee in a circular conduit of 450 mm diameter and a flow rate of 0.4 m³/s were simulated. Clearly, and in agreement with measurements, the symmetrical profile (with lower velocities along the walls) upstream of the knee becomes severely asymmetrical downstream, and then slowly returns to symmetry.

Some open questions

By the end of 1995, when it had come to an end, the NEFF-project had proven that 8-path ADM offers very good reproducibility, and low measurement error, which as a rule is better than $\pm 0.5\%$, and at worst – in difficult conditions like at Martina-Pradella – does not exceed 1%.

Research has been continued to answer the remaining questions. For example, with regard to the protrusion effects, so far it has been tacitly assumed that the acoustic signal emerges and is received in the exact centre of the transducer face. If this were not the case, the path would be different from the one upon the integration is based, and hence measurement precision would be affected.

Project no. 496

Urban district heating with heat pumps utilizing thermal energy from Swiss lakes

It is known that heat pumps can utilize lakes and rivers as sources of thermal energy for district heating. But what is the optimum temperature level for existing heating circuits in older buildings, and should local heat pumps serve for temperature boosting? What would be the realistic potential in Switzerland, the cost, and the reduction of CO₂ emissions? The answers were sought by the Swiss Federal Institute of Technology Lausanne, from 1992 until 1994. The best overall solution is central heat pumps combined with either a fossil-fuelled boiler or a co-generating gas turbine. This offers temperatures near 70 °C which suffice for 85 % of urban buildings, costs comparable to those of fossil fuels, a potential to supply of up to 2 million Swiss, and a substantial reduction of CO₂ emissions.

Project target:

quantify the potential of Swiss lakes for urban heating

suggest suitable technologies for utilization

develop methods to optimize central heating plants and networks

develop methods to calculate costs and environmental benefits

If the temperatures of the 20 biggest lakes of Switzerland were lowered by 1 K each, the corresponding thermal energy would amount to approx. 400'000 TJ – which is also the total annual heating demand of the country. However, though most interesting in view of reducing energy-imports and environmental impacts, this potential is of rather theoretical nature, as it does not take costs into account. And many more questions are left open, for example, which district heating system based on heat pumps would be the most suitable. Beyond question, the heat pump is the only machine capable of exploiting the thermal energy at a temperature as low as that of lakes and rivers.

Inspired by the above figure, which had been estimated elsewhere in the 1980's, the Laboratoire d'Énergétique Industrielle (LENI), and the neighbouring Laboratoire des Systèmes Énergétiques (LASEN) at the Swiss Federal Institute of Technology Lausanne ventured upon answering the open questions. Supported by the NEFF, they aimed at developing a general methodology for determining the heating potential of the lakes that can be realistically obtained while respecting economical and ecological constraints, and demonstrating this methodology in a particular case.

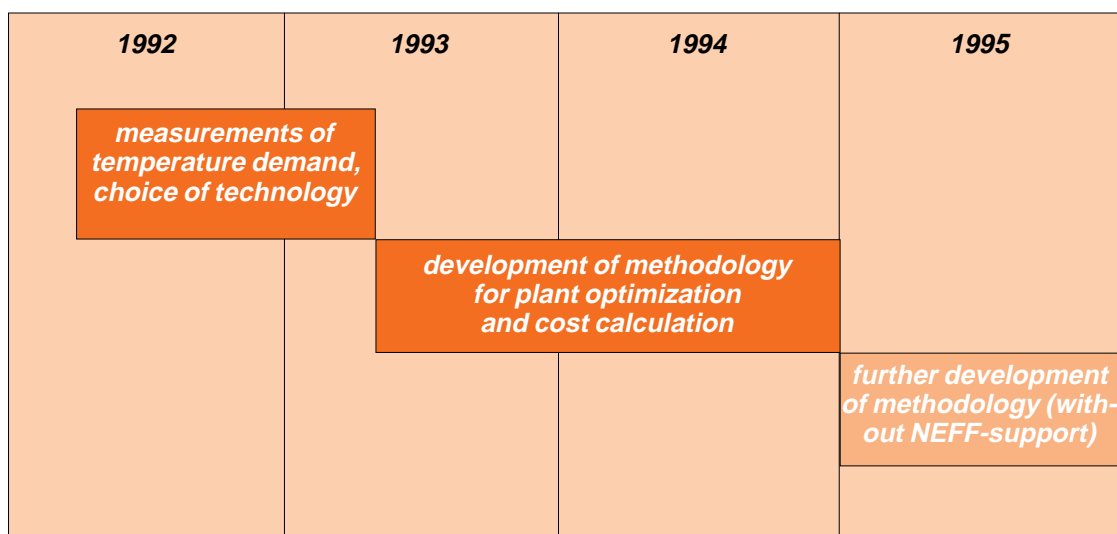
The question of the temperature level

Applications:

district heating of densely populated urban areas close to lakes and rivers, in Switzerland and elsewhere

Work began in 1992. The first phase of the project centered around temperature. Could the output temperature of heat pumps and the temperature level in the networks of conventional district heating (which are designed to satisfy existing heating circuits with radiators in older buildings) be brought to converge?

On the one hand, the temperatures of the sources, i.e. Swiss lakes or rivers, are as low as 5 °C, as shown by measurements in the Lake of Geneva. There, in mid-winter, 6 °C was recorded at 5 m depth and 5 °C at 31 m, while during the summer the corresponding values are



21 °C and 10 °C, respectively. Modern heat pumps manage to transfer thermal energy from these temperatures to approx. 65 °C with reasonable efficiency (the achievable efficiency of such a transfer decreases as the temperature difference between the source and the output increases). Higher output temperatures are possible, but the technological and financial effort renders it less attractive.

On the other hand, conventional district heating systems operate at temperatures as high as 130 °C. Moreover, in this context densely populated urban districts with a high percentage of older buildings must also be considered.

Hence the question had to be posed as to whether 130 °C is really necessary, the more so as in the past heating systems in buildings used to be designed with a large safety margin. With no well documented data existing in Switzerland, LENI and LASEN set out for a screening of a representative sample of older buildings. In the winter of 1992/93, 30 buildings in Ouchy, a suburb of Lausanne, and some more in the city of Geneva, were thus instrumented.

70 °C sufficient for 85 % of buildings

The result: 85 % of those buildings could well be heated with water at 70 °C and less, at outdoor temperatures as low as -10 °C. Only 15 % of the buildings require higher temperatures. Hence it should be possible to supply most parts of Swiss urban areas by district heating based on heat pumps utilizing thermal energy from nearby lakes and rivers.

On the basis of these findings, the total heat rate demanded by Ouchy, comprising approx. 800 large buildings, which are mainly dwellings, was calculated to be 57 MW, including preparation of hot water. The total annual demand for heating energy, again including hot water supply, amounted to 572 TJ or 159 GWh.

The first project year, from mid-1992 until mid-1993, was devoted to measuring the real temperature demand of heating systems in older buildings. Then, on the basis of these findings and the plausible configurations of district heating systems, two methods for the optimization of such configurations were developed in all respects.

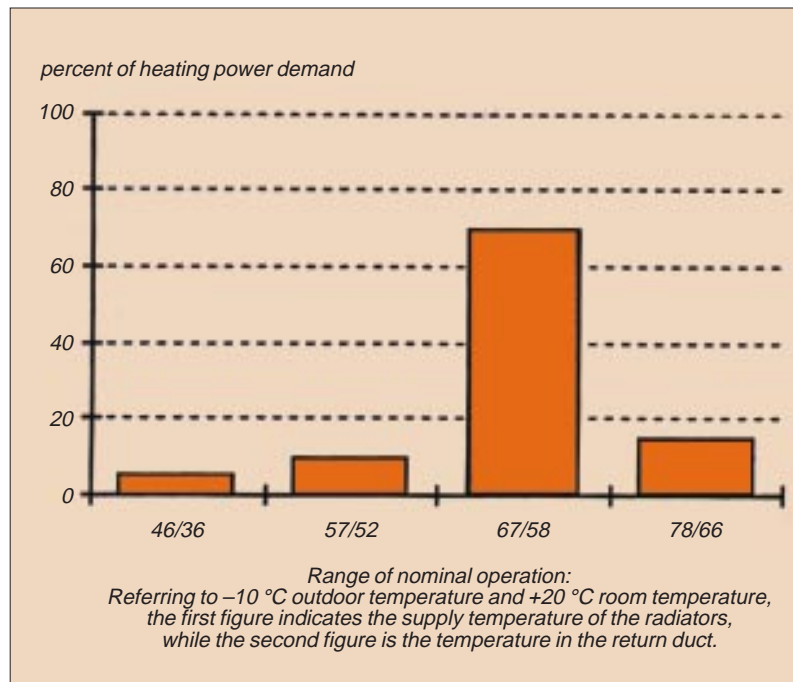
Findings:

best solution energy-wise: medium temperature of the network, local heat pumps for high-temperature users

best solutions economically and ecologically: central electrical heat pumps with fossil-fuelled boiler or with co-generating gas turbine

potential in Switzerland: 2 million inhabitants, up to 1/4 of total heating demand, 14 % less overall CO₂ emissions

Probing a representative sample of 30 buildings in the Lausanne suburb of Ouchy for the temperature necessary to heat them to 20 °C (when the outdoor temperature is -10 °C): 85 % of all buildings require a flow temperature from the central heating plant of less than 70 °C, hence they all could be supplied from heat pumps; only 15 % need higher temperatures. Measurements in the city of Geneva confirmed this result.



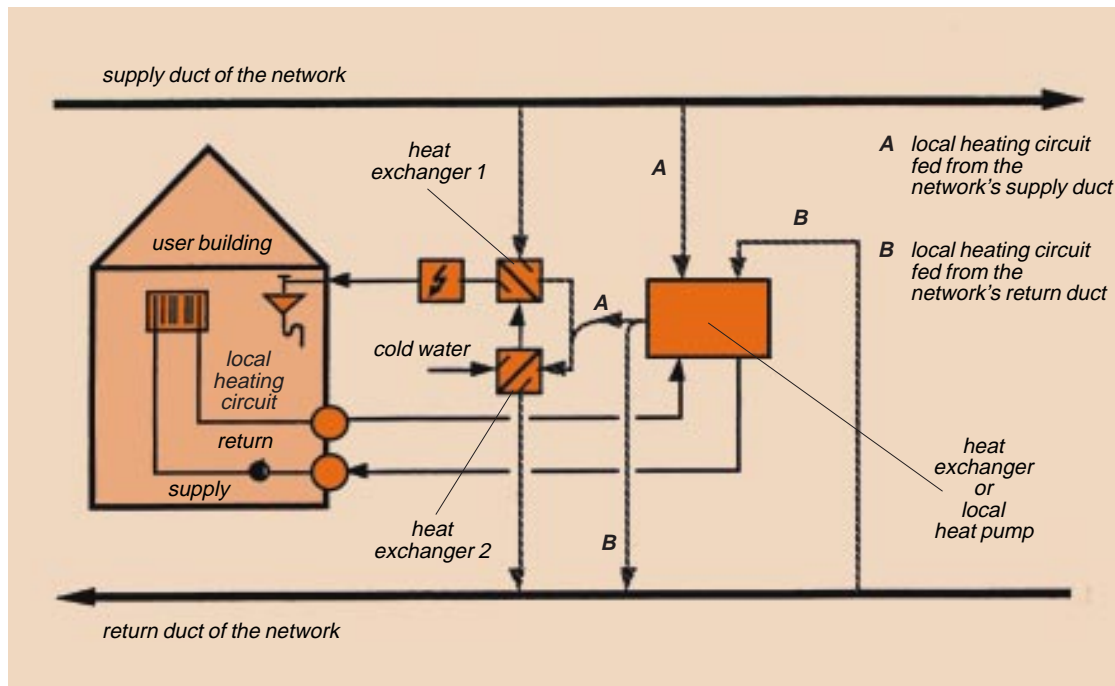
The quest for the best technology

The next questions related to choosing the configuration that rendered the minimum energy cost at acceptable environmental standards: Which type of heat pump should be used in the central heating plant: stand-alone or in combination with other machines? Which configuration of supply and return ducts should be considered for the network? Which equipment should be selected for the users?

The components to be considered for selection exist in a multitude of types and sizes on the market. For the central heating plant, LENI/LASEN opted for vapour compression heat pumps, as the absorption types appeared not flexible or mature enough. Compressors for all sizes of heat pumps are available on the market, powered by electric, diesel, or gas motors, including gas turbines. For temperatures above 70 °C, oil or gas fired boilers were also taken into account.

As for the network, an alternative to the classical single supply and return tube was considered, namely two parallel tubes both for supply and return duct. In summer, the first tube could provide hot water, whereas the second tube could serve to carry cold water for cooling needs at the users.

Ideally, the network temperature should not be chosen to suit the peak demand of those 15 % users above 70 °C. Accordingly, installation of decentralized heat pumps at those users might be an alternative, locally raising the temperature of the building's heating water to the required level. In such a case, the heat pump at the users could be supplied either by the supply or by the return duct. Standard



equipment at the users not requiring local heat pumps would be conventional heat exchangers.

Altogether, 16 configurations were divided into three groups:

- group 1: central heating plant comprising heat pumps and a fossil-fuelled boiler, the latter elevating the temperature beyond 70 °C;
- group 2: like group 1, but in addition a co-generating gas turbine;
- group 3: »innovative« solutions in which the 15 % of buildings demanding temperatures above 70 °C were retrofitted to reduce their demand level to 70 °C or less, thereby making superfluous the boiler in the central heating plant.

For reasons of comparison, a fourth group was defined, with the central heating plant being conventionally equipped with boilers only.

Thermo-economic optimization

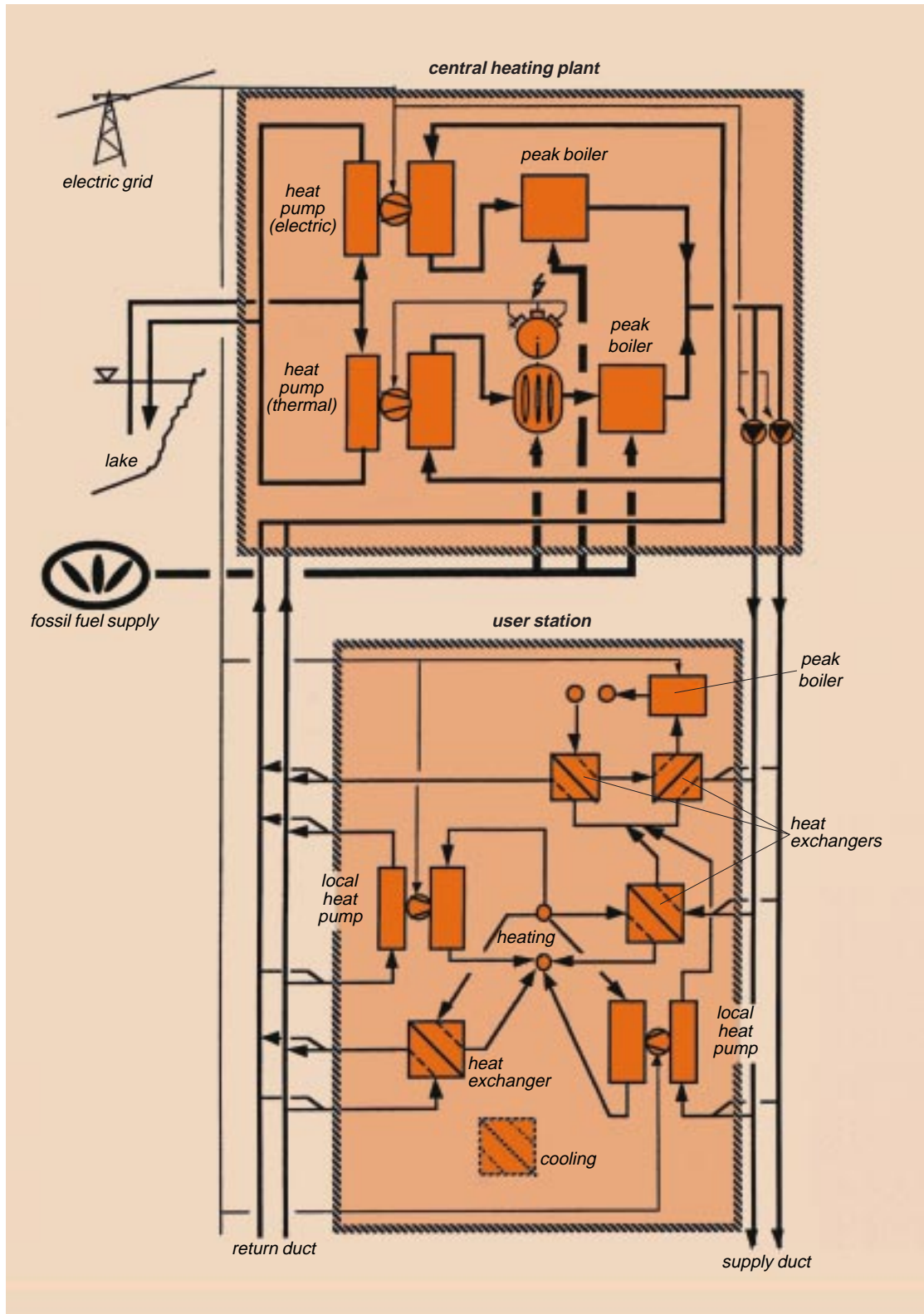
Each of these 16 configurations represents a wide variety of components and hence of technological and economic criteria. To find out the »best« configuration, ecological as well as social criteria have to be taken into consideration, like global warming effects or landscape protection. Hence, the task poses a multi-criteria problem. The Lausanne researchers opted for an approach employing two complementary methods.

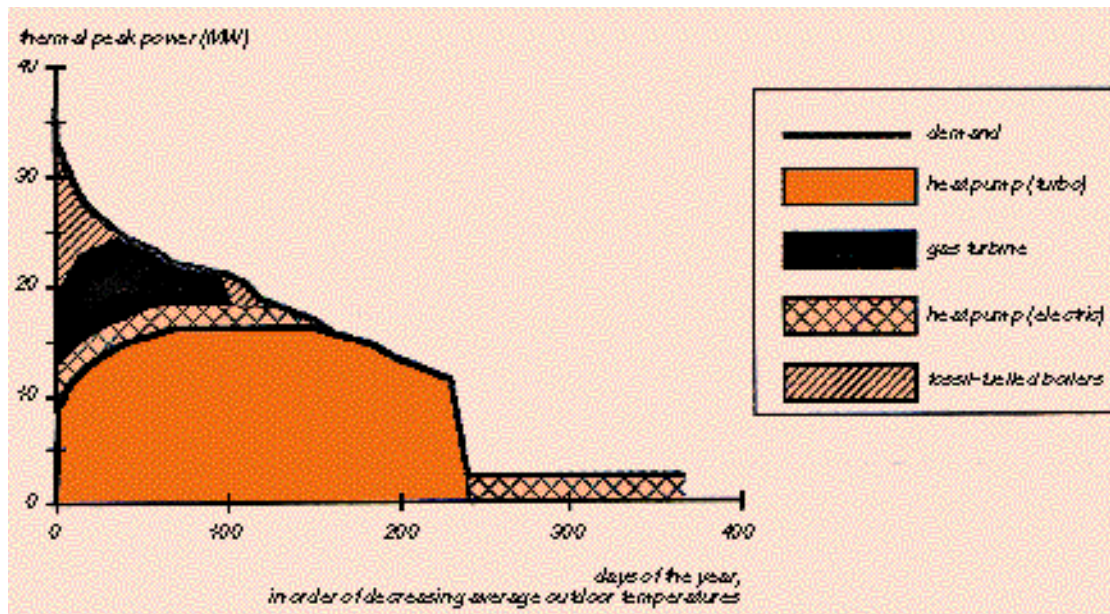
Method A, developed by LENI, is aimed at a thermo-economic optimization, including the external costs of emissions. In terms of mathematics: search for an optimum solution within a continuous space by minimizing a target function, respecting constraints in

Model of a user station, showing all cases considered in the project:

- hot water being prepared in a heat exchanger, which is fed either from the supply duct or from the return duct of the network;
- space heating supplied via a heat exchanger, which is fed either from the supply duct or from the return duct of the network;
- space heating supplied via a local heat pump, elevating the temperature of the network, and taking heat either from the supply duct or from the return duct of the network.

Two ducts in each direction were also considered (only one shown here); in summer, one duct could serve for cooling, while the other one could supply hot water.





monetary or physical units. In terms of ordinary language: which configuration will require the least input of primary energy, satisfy certain environmental standards, and yet render the minimum cost of the heat produced?

This method A was elaborated to a stage where configurations comprising simplified central heating plants and two types of user could be dealt with, thus demonstrating the potential of the method. These initial attempts resulted in a preference for configurations with medium temperature level in the network, while high temperatures are provided by local heat pumps at the users.

The multi-criteria analysis

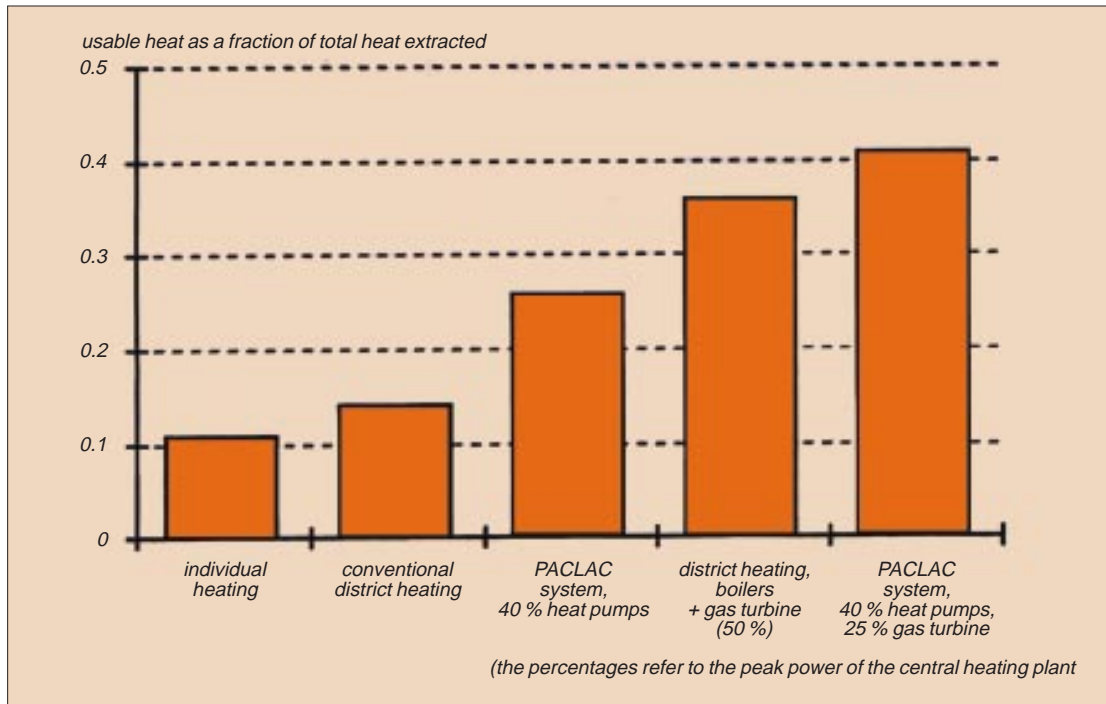
Method B, a task undertaken by LASEN, is the multi-criteria analysis proper meant to further evaluate the best configurations identified by method A, with respect to less quantifiable additional criteria, like social and aesthetic aspects. In the absence of full solutions from method A, method B was applied to the following preset cases. A demand situation like the one at Ouchy was chosen, and an increase of energy prices was assumed, arriving at an additional 90 % for fossil fuels and 30 % for electricity, in the year 2010. Here, two configurations emerge as winners:

- central heating plant with electrically driven heat pumps and fossil-fuelled boiler, with the heat pumps supplying 40 to 50 % of total heating power;
- central heating plant with co-generating gas turbine, the electricity produced being used to power heat pumps; the heat pumps provide approx. 40 % and the gas turbine 25 % of the total heating power.

The operating mode of a configuration of 40 MW thermal peak power:

- one turbo-compressor heat pump of 16 MW thermal capacity is assigned 1st priority;
- two smaller heat pumps supply peak demand in winter, all heat required in summer, or all heat in winter when outdoor temperatures exceed 13 °C; they are assigned 2nd and 3rd priorities;
- one gas turbine capable of heat rates between 4.8 and 11 MW, serving to adjust output to the demand;
- one fossil-fuelled boiler of 40 MW thermal capacity, to assure full peak demand in case all other equipment would fail; lowest priority.

*Left page:
The optimization model representing all conceivable components – here in the winter mode, i.e. for heating and hot water supply.*



All configurations with heat pumps are more energy efficient than heating by individual fossil-fuelled boilers, and best are the combinations with co-generating gas turbines – shown here in terms of exergy, or usable energy. The percentage values given refer to the peak power of the central heating plant.

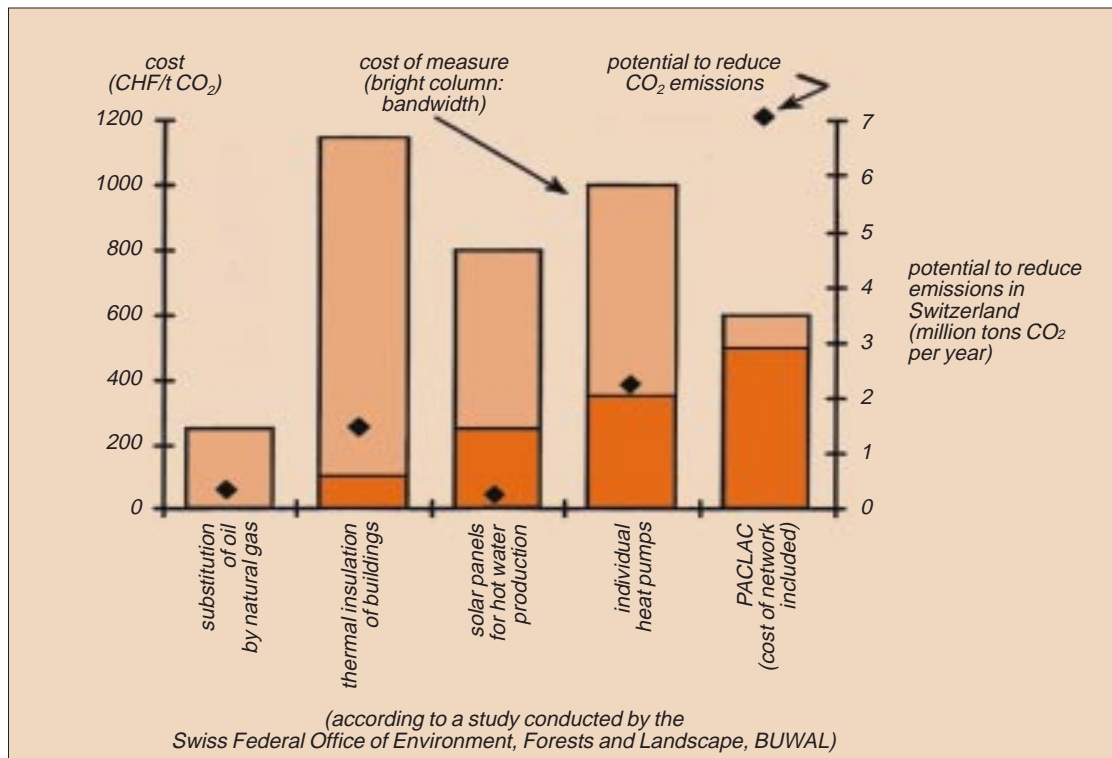
Heat costs per kWh are between 0.07 and 0.11 CHF, as compared to 0.095 CHF for individual heating, all projected to the year 2010. The lowest costs apply to the configuration including the gas turbine, because here surplus electricity can be sold. The »innovative« configurations would be the most expensive.

Great potential, and environmental benefits

For the latter two solutions the savings of primary energy compared to individual conventional heating amount to approx. 40 % (the other configurations lie between this value and 10 % savings).

Extrapolating the corresponding reduction of CO₂ emissions to the »realistic« potential of heating the dwellings of 2 million people yields 7 million tons per year, or 30 % of the present emissions from heating systems, or 14 % of all Swiss CO₂ emissions – thanks to the »clean« heat extracted from lakes or rivers, and to the use of natural gas to power the gas turbine.

This »realistic« potential was arrived at by assuming a heating power density of 30 MW per km² and more (which is characteristic for densely populated urban areas like Ouchy) and agglomerations of at least 15'000 inhabitants. Furthermore, these agglomerations had to be within a 10 km distance from a big lake. On this basis, LENI/LASEN qualified 30 places throughout Switzerland, with a total of 2 million



inhabitants (including also the rivers Rhine, Rhone, and Aare would add on one more million). Depending upon the configuration, the total annual heating energy supplied for those 2 million people would amount to 25'000 to 100'000 TJ, or 1/16 to 1/4 of the country's demand.

With the NEFF project concluded at the end of 1994, development of the thermo-economic (also referred to as »environomic«) analysis method A has been continued within the international programme »Alliance for Global Sustainability«. The target is a methodology to determine the optimum configuration for any demand situation.

Regarding the specific cost (CHF per ton) of measures taken to reduce CO₂ emissions, PACLAC takes a medium rank. However, its potential of such reduction, extrapolated for Switzerland, at 7 million tons per year (i.e. 14% of the total CO₂ emissions) by far exceeds all other measures.

Project no. 497

Numerical simulation of electromagnetic processes, especially induction heating

Increasingly complex models to numerically simulate industrial induction heating processes have been developed by the Department of Mathematics at the Swiss Federal Institute of Technology in Lausanne. They are aimed at predicting the time-dependent temperature field inside the workpiece, in order to optimize processes and improve equipment design, thereby saving energy and cost. Starting off with 1-dimensional axi-symmetric geometries, modelling has culminated in the description of the stream hardening of ferromagnetic steel with moving induction coil. Agreement with measurements is excellent. The easy-to-handle 2-dimensional model is already used in industry, permitting a quick and cheap approach to many induction heating problems.

Design goals:

mathematical models of induction heating systems, and codes to numerically solve these models

used to optimize both equipment design and processes

in order to save time and cost by replacing and/or reducing tedious and inaccurate experimenting

Applications:

industrial induction heating operations:

metal preheating, forging, quenching, surface hardening and coating, melting or stirring in electromagnetic crucibles

There are good reasons for the use of induction heating in industry. The processes are clean, as they employ electricity. They are fast, requiring of the order of a few seconds per workpiece, which meets the ever growing demand for higher production output. And they save energy – warming up one ton of steel from ambient temperature to 1'200 °C consumes about 1'600 kWh, if effected with oil or gas, but only 430 kWh with induction heating. Consequently, induction heating has been increasingly applied in industry in the last years for a growing variety of metal heat treatments. To classical induction operations like preheating, forging, and brazing, novel processes have been added like surface coating and hardening, melting and stirring in electromagnetic crucibles (or bonding aluminum caps onto yoghurt beakers).

Example: stream quenching of steel

One of these new procedures, the stream quenching of steel, may serve to illustrate the principle of induction heating as well as the spectrum of possible metal treatments:

- An induction coil is placed around the vertical workpiece to be hardened and moved along it. The velocity is a few mm/s.
- Voltage of high frequency, in the order of 10'000 Hz, is applied to the coil, making (due to the low electrical resistance) a strong alternating current flow through the coil. This current in turn generates a strong surrounding magnetic field at the same frequency.
- This magnetic field induces eddy currents in the metallic workpiece. The »eddies« flow mainly in a thin layer, typically less than 1 mm thick, near the surface (due to the »skin effect«, caused by self induction at high frequencies).
- Because of the electrical resistance of the workpiece metal, the eddies are quickly dissipated according to Ohm's Law, their energy being converted into heat.

1991	1992	1993	1994	1995	1996
development of models and numerical codes for stationary simple geometries					
		simulation of the stream quenching of steel			
					graphic interfaces, microwave model

- Within the skin depth of the workpiece, this heat makes the temperature rise to more than 800 °C, affecting the microstructure of the steel. The ferrite originally present has now transformed into austenite, which is thermodynamically more stable at this temperature.
- The moving induction coil is followed by a moving water shower, suddenly cooling – »quenching« – the workpiece, which causes another change of its microstructure, this time from austenite to martensite, which is much harder than the original ferrite.

As a result, in a zone corresponding more or less to the skin depth of the eddy currents, the workpiece was hardened within a few seconds, while the inside structure has remained unaffected and therefore ductile. Overall, the workpiece has retained its ductility.

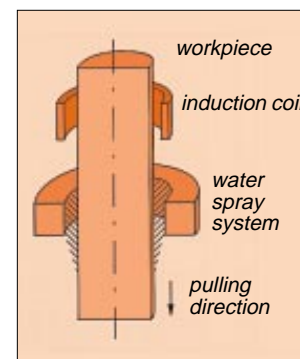
Part I of the project, in 1991/92, resulted in models and codes for simulating stationary induction heating with simple setup geometries. Part II, 1993-95, extended simulation to steel stream quenching, accounting for movement of the setup and for microstructural changes. Part III aimed at improved handling of the codes, extending them to three dimensions, and modelling microwave technologies.

The need for simulation

The above description is derived from a large number of experiments involving temperature measurements and materials analyses. However, since 1995 the precise simulation of stream quenching has been carried out by the Chair of Numerical Analysis and Simulation (CNAS) within the Department of Mathematics, together with the Laboratory of Physical Metallurgy (LMPH) within the Department of Materials, both at the Swiss Federal Institute of Technology Lausanne (EPFL).

This numerical simulation was arrived at in an evolutionary process, surmounting a number of mathematical obstacles. Although induction heating may appear simple both in principle and technically, its mathematical description, and especially the numerical solution, is all but trivial and straightforward.

The motivation to tackle the problem mathematically came from industry's need to optimize induction heating processes, be it with respect to saving energy saving or accelerating throughput. What should be the voltage in the induction coil, the number of its turns, and its



Schema of the stream quenching of steel: a cylindrical workpiece is first induction-heated and then quenched by spraying water.

velocity in order to yield the best results? What one wants to know finally is the temperature field, i.e. the temperature at any point in the workpiece at any moment during the process. Naturally, this can be determined by experiment. But then, a whole series of measurements has to be undertaken, one run for every single phase of the process, and at many points in the workpiece. This is extremely time-consuming, as after each run the entire equipment has to be allowed to cool down to ambient temperature, which may take many hours. In short, measurements are very expensive.

The mathematicians at Lausanne had gained an initial experience in tackling the simulation of induction heating when they had dealt with a problem of the aluminum industry in the late 1980s. Simulation models had been developed worldwide, especially in France and in the USA. However, only »electromagnetic« solvers dealing with eddy currents had been created, while »integrated« solvers accounting also for heat and microstructure were necessary.

In order to pursue its own ideas, the CNAS started collaboration with AMYSA Yverdon SA, a manufacturer of induction heating equipment, and together they applied to the NEFF for financial assistance on the ground that energy saving was one of the main aims.

The mathematical model

Assistance being granted, project work was commenced in May 1991. The aim was to simulate the evolution of the temperature field in setups comprising induction coils and workpieces much simpler than those used in stream quenching: no coil movement and a workpiece cross section which is constant and also much smaller than the length of the workpiece or coil. Under these conditions, which are applicable to many practical cases, the magnetic field generated by the coil can be assumed to be perpendicular to the plane of the longitudinal section through the setup. This, in turn, considerably simplifies the electromagnetic or »eddy current« model.

This purely mathematical model is a set of equations, formulated on cartesian co-ordinates and based on Maxwell's equation (relating the oscillating current in the induction coil and the eddy currents in the workpiece via the magnetic field generated by the induction coil) and Ohm's Law (relating current and electrical resistance in the workpiece with the power dissipated and converted into heat).

Some simplification of Maxwell's equations is achieved by assuming that the magnetic field between coil and workpiece is constant, and that the field is zero outside the induction setup. Furthermore, neglecting any surface currents on the workpiece makes the magnetic field continuous across the boundaries of the conductors. Another assumption further simplifies the mathematical task, namely, that there is no thermal interaction between the coil and the workpiece (which in practice is assured by water cooling of the workpiece).

The two equations have to be coupled to yield the source term for the heat equation. This equation describes the generation, propagation and distribution of heat in the workpiece, and when solved renders the temperature field. Propagation is effected by diffusion from the zone of eddy currents (defined by the skin depth) near the surface towards the interior of the workpiece.

Coupling of Maxwell's and Ohm's equations, though, involves nonlinearities of two kinds:

- The heat source term is proportional to the square of the eddy current density (which circumstance also makes for large temperature changes following small voltage changes).
- The physical properties of the workpiece – like electrical resistance, thermal conductivity and magnetic susceptibility – depend upon the temperature, and in the case of ferromagnetic materials the induction law is also non-linear.

Additional mathematical difficulties are posed by the non-sinusoidal voltages frequently used in industry, by ferromagnetic materials with the Curie point (above which temperature ferromagnetism disappears) representing a singularity in Maxwell's equation, and by the fact that the two phenomena of eddy current generation and heat propagation have widely differing time scales.

The numerical code

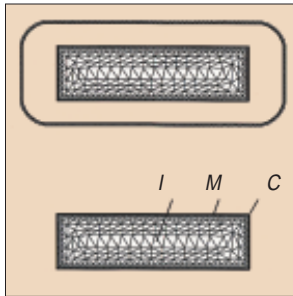
As a consequence, a straightforward solution of the heat equation is not possible. One has to resort to a numerical solution, which in turn requires a specialized numerical algorithm, the »simulation software«.

At first, an enmeshment defining the physical geometry of the workpiece and coil has to be chosen. A »boundary element/finite element formulation« was selected, mainly for the reason that this approach enables the simulation of cases when the inductors move with respect to the workpieces without the need for remeshing.

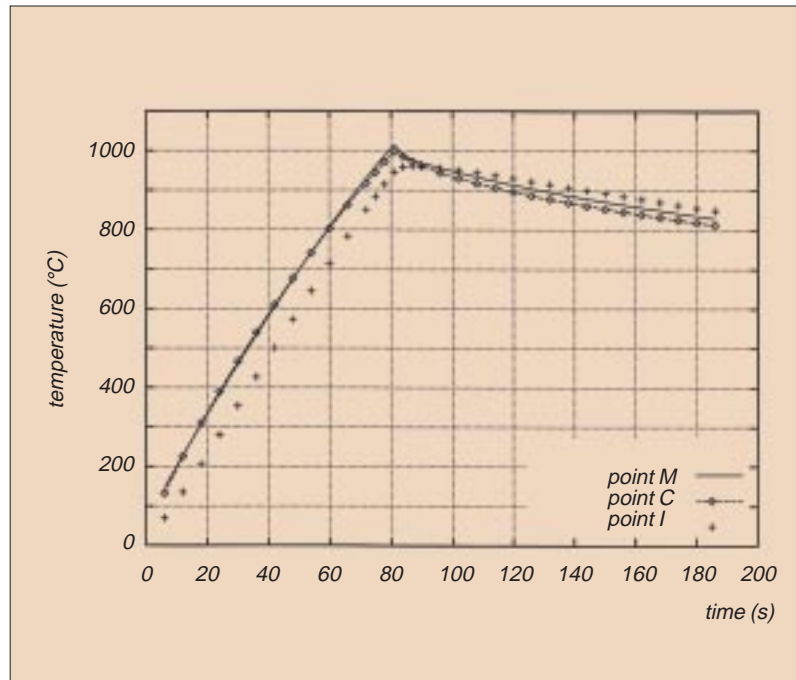
Next, the different time scales have to be taken into account. Whereas the electromagnetic terms are determined by the frequency of the voltage and hence are of the order of 5 kHz to 200 kHz, or 0.0001 s^{-1} , temperature variations are determined by heat diffusion and are therefore expected to be on a time scale of seconds. Thus it is expected that the temperature field reacts to the mean value of the magnetic field, or the power density in the workpiece.

Consequently, a »double stepsize« algorithm was devised, decoupling the electromagnetic and the heat equations:

- First, the magnetic field equation is solved for the given initial conditions. The result is assumed to be valid for a small timestep (there are several steps per voltage period), within which there is no marked increase in temperature. An oscillating solution is obtained for a time scale much less than one second.
- Then the heat equation is involved using a large timestep (of the order of one second).



Above:
The cross section of the setup used for one of the comparisons, and the location of the thermocouples on and in the workpiece.



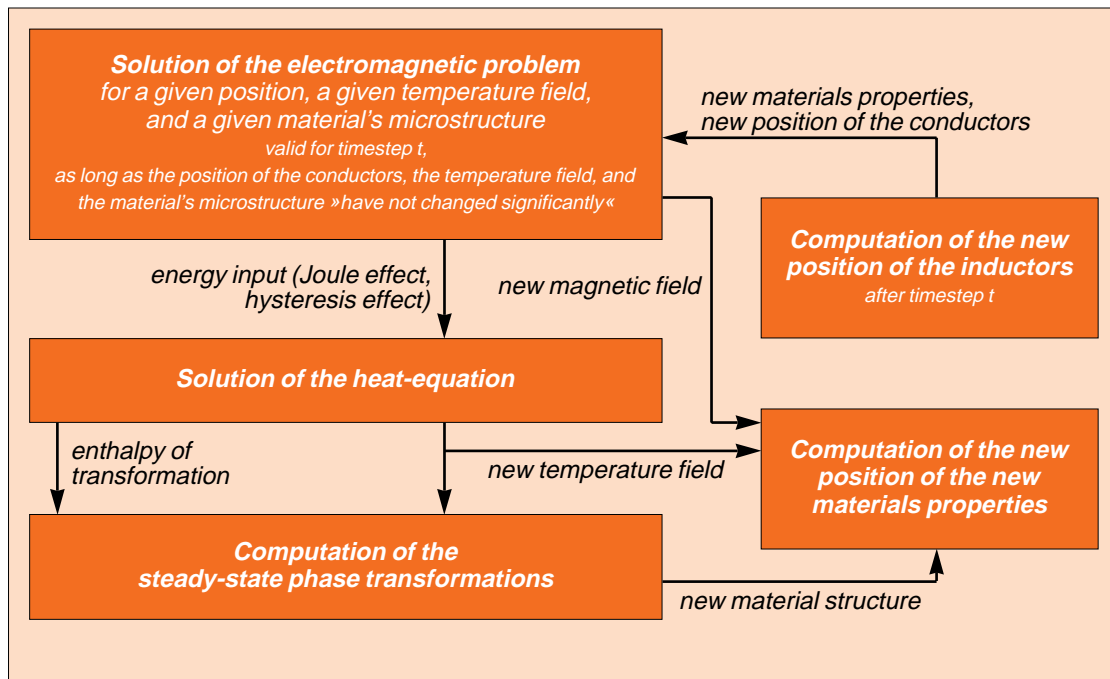
Above right:
Temperature evolution curves at the measurement points obtained by numerical simulation (after excellent agreement between experiment and simulation had been verified). The simulation shows the best moment for performing a forging process, namely at the time when the temperature difference between the three points is minimum, i.e. temperatures at the surface, i.e. temperatures at the surface and in the center of the workpiece are equal within the accuracy of ± 10 °C. This moment occurs 10 s after the voltage turnoff, i.e. the end of the heating period, or 90 s after start.

- The rapidly varying source term in the heat equation is replaced by the averaged value over one period, computed on the basis of the previously obtained oscillating magnetic field. The solution of the heat equation yields a new temperature field.
- Next, the physical properties of the conductors are updated, respecting the new temperature values at the mesh points.
- The magnetic field equation is then solved again, and the entire procedure is repeated as many times as necessary to arrive at precise results.
- Ferromagnetic material-based workpieces can be taken into account by the harmonic average of the magnetic susceptibility.

Experimental comparisons

The validity of this model was tested by comparing it with experiments performed at AMYSA Yverdon with non-ferromagnetic as well as with ferromagnetic steels. For the setup, copper induction coils of 25 turns and 530 mm length were used, with circular or rectangular cross sections of diameters or widths up to 100 mm. The workpieces were of rectangular cross section. Voltages ranged between 160 and 300 V and the frequency was close to 10'000 Hz.

Type K thermocouples Ni/Cr vs. Ni/Al of 0.2 mm diameter were welded onto the surface of the workpieces or inserted into drilled holes of 0.5 mm diameter. Short heating times resulted from high power of the



The structure of the simulation software – resulting from the collaboration of CNAS and LMPM – for stream quenching, accounting for movement and for microstructural changes in the workpiece material.

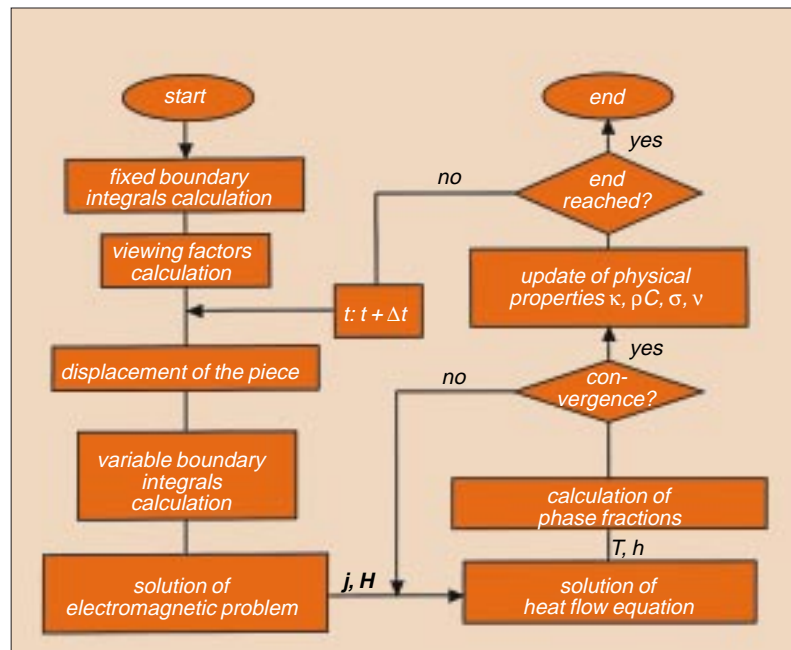
order of 50 kW, with corresponding currents in the coils up to 1'000 A. This in turn caused high temperature gradients inside the workpieces due to the low thermal conductivity of the steels used, and consequently the measurement precision was only ± 10 °C.

The main issue in the comparison between theory and experiment is the choice of the input data for the numerical code. Choosing the voltage is especially delicate, because the mathematical model is a simplification of reality by assuming a coil of one single »very long« turn. Therefore the voltage was fitted at one of the measurement-points by adjusting the numerical simulation to match the temperature measured (a practice widely used in numerical simulation).

Having done so, the simulated temperature field in the workpiece as well as its evolution over the heating and cooling periods of the experimental runs are in excellent agreement. Hence, one single measurement of the temperature at a given point in the workpiece at a given time permits an accurate prediction of the thermal behaviour at any point of the workpiece during the entire process of induction heating.

This simulation code, assuming constant cross section of the workpiece, and an inductor much longer than the workpiece, requires calculations in two dimensions and was named »2-D« accordingly. If, in addition, the whole setup is of axial symmetry, the code is much simplified and requires much less time consuming calculations in one dimension only, and hence is named »1-D«.

The flow chart of the stream quenching simulation program starts off with integrating the electromagnetic equations at fixed boundaries. Then the displacement of the workpiece is introduced, necessitating integration at variable boundaries. The solution of the electromagnetic problem yields the source term for the heat flow equation. After taking into account structural changes within the steel, convergence is checked, and finally the physical properties of the steel are updated.

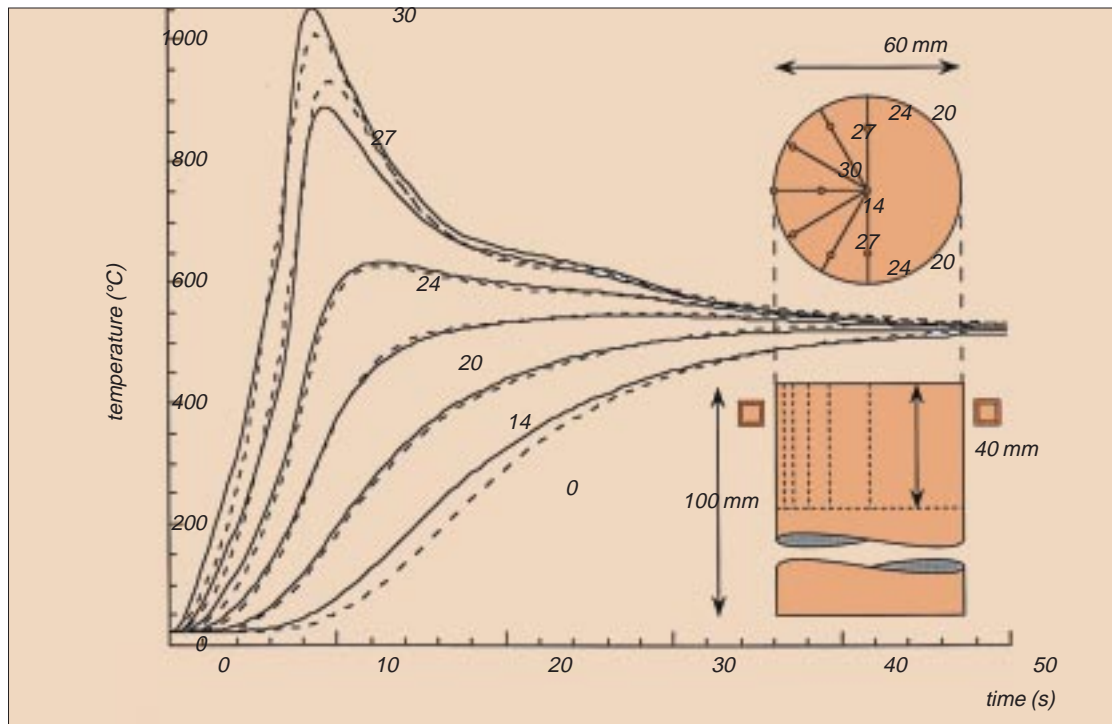


Towards higher complexity

Having arrived at these results, in 1993, the CNAS felt experienced enough to venture into the much more complex case of stream quenching of steel. Backed by a grant from the Swiss Federal Commission for Technology and Innovation (KTI), this project supplement commenced in the spring of 1994, aiming at a complete induction heating simulation code, more precisely a »comprehensive micro-macroscopic description of continuous hardening of 3-dimensional axisymmetric steel components«. That is to say, that macroscopic calculations based on the 1-D code were to be coupled with a microscopic model describing the solid state phase transformations, e.g. from ferrite to austenite, occurring during heating and cooling.

To incorporate the relative movement of the coil and the workpiece, a new enmeshment of the coil/workpiece/air setup was constructed. Inductor and workpiece are enmeshed with finite elements, whereas boundary elements are used for the solution of the electromagnetic equations in the ambient air. This permits the inductor to be moved without remeshing. The procedure of numerically solving the problem initially remains the same as in the case of code »2-D«.

- Firstly the heat equation for the workpiece is solved, using the finite elements just mentioned, for a timestep during which the physical properties have not changed significantly.
- Next, the microstructure model computes the steady-state phase changes. The latent heat released by these transformations is accounted for by a micro-enthalpy method (this part of the project was carried out at the LMPH with the support of the KTI).



- Then the solution of both the heat and microstructure models is obtained in an iterative way. Data regarding temperature, microstructures and magnetic field are then used to update the values of the physical properties of inductor and workpiece.
- If the inductor moves, its position after the timestep is then computed. Now the whole procedure can be repeated, starting from a new electromagnetic computation, as many times as necessary to arrive at a precise simulation.

Comparisons between numerical simulation and experiments were performed as in the case of the code 2-D. Agreement is very good.

Industrial applications

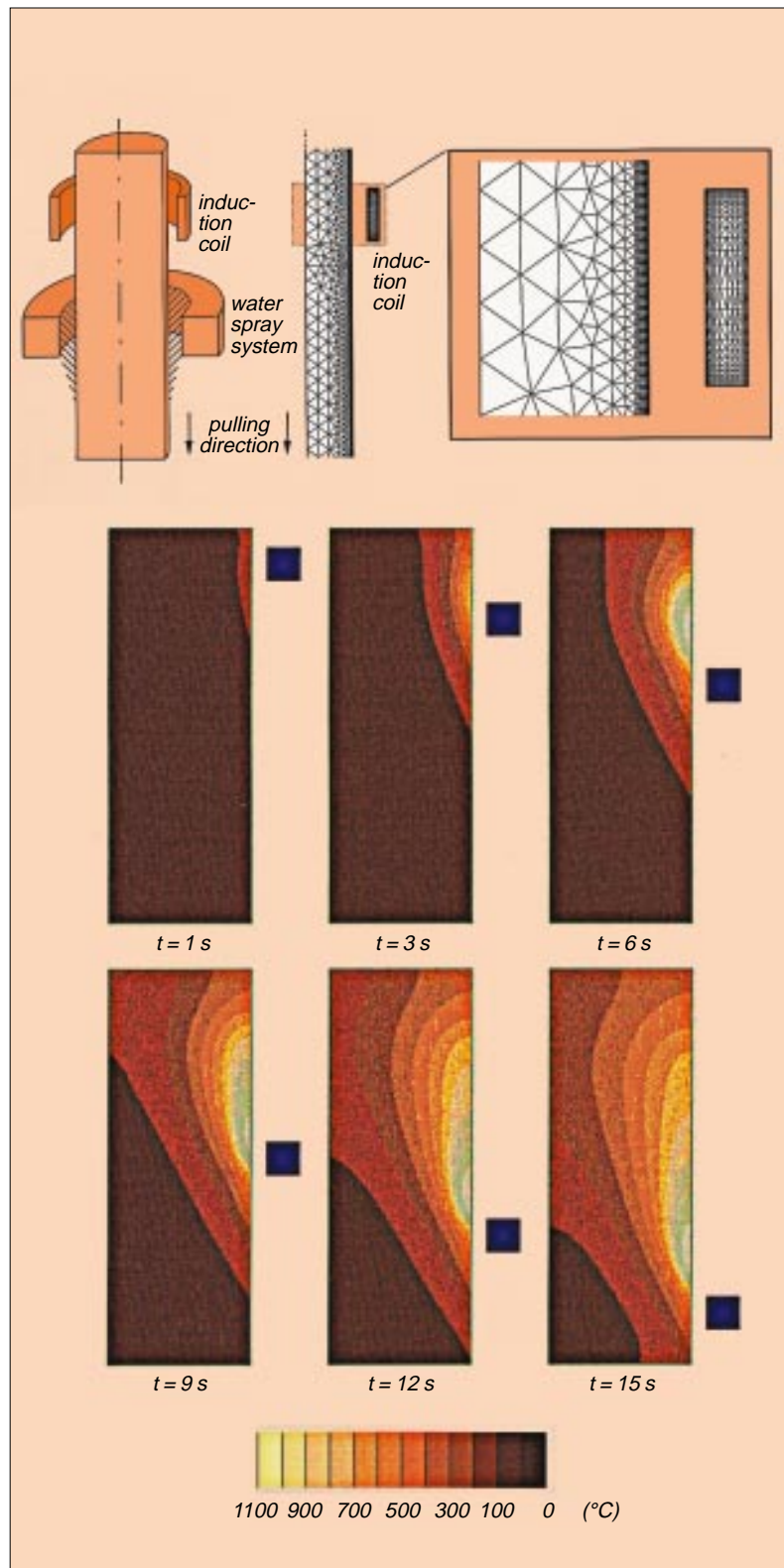
The software for the simulation of the stream quenching of steel was named code »axi-2«. After the successful validation, it was provided with a user-friendly input-output interface, and is now commercially distributed.

Code »1-D«, originally not intended for industrial practice, has found immediate and widespread use in industry, on the merits of its easy and quick handling. It has proven to be a valuable tool for a first approximation to induction heating problems, all the more as computer time is of the order of a few minutes only. Codes »2-D« and »axi-2« require CPU-times of several hours, rendering their use much more

Stream quenching of steel – a comparison between simulation and experiment, including the heating phase lasting 10 s. Voltage applied to the induction coil was 40 V at 10 kHz, the pulling-speed of the coil 5 mm/s. The dashed lines represent the temperature evolution as measured by thermocouples in the CK45-steel cylinder of 60 mm diameter and 100 mm length. The numbers of the thermocouples indicate their radial distance in mm. The continuous lines are the corresponding results of the simulation. It can be clearly seen that the temperature in the axis of the cylinder rises much more slowly than that on and near the surface, indicating that there is a marked skin effect, and heat flow towards the axis is by diffusion.

A complete numerical simulation of stream heating with a workpiece in the shape of a cylinder made of CK45 steel, of 100 mm length and 60 mm diameter (the same as on the previous page). A sinusoidal alternating voltage at a frequency of 10 kHz was applied to an induction coil of toroidal cross section. After the onset of the heating, the coil was held for 0.8 s at a distance 5 mm below the upper end of the workpiece, then moved downwards for 16 s at a velocity of 5 mm/s, and finally again held 5 mm above the lower end for 0.8 s. Then the voltage was switched off.

The upper figure shows a longitudinal section of the setup. The workpiece and the induction coil are enmeshed with finite elements, and a boundary element formulation provides for the coupling between these two conductors. The lower figures depict the temperature field in the right half of the workpiece at different times during the heating run. The position of the induction coil is indicated by the square at the right of each figure. After an initial warming-up period of approx. 3 s, the temperature at the surface reaches a maximum of more than 1100 °C, and this »hot spot« follows the induction coil as it moves downwards. Simultaneously, heat penetrates into the interior of the workpiece by diffusion.





Industrial induction heating machine designed according to the findings of the NEFF project. Right of the centre is the induction furnace proper, in which the induction coils move vertically. At the right, and in the left background, is the electronic control of the machine. In the foreground at left are workpieces prepared for induction treatment.

time-consuming (and necessitating building a mesh which may require several days work by highly qualified personnel). Yet they are superior to all other codes developed elsewhere and intended for marketing.

A third part of the project, successfully run in 1996, and again supported by the NEFF, was partly aimed at improving marketability of the Lausanne codes partly at extending the range of application to microwave heating.

Codes »1-D« and »2-D« were re-written in the language »C++« using an object-oriented approach, and provided with graphical interfaces, both for easier handling even by untrained personnel.

At the start of the project, the aim was to design tailored software for AMYSA. At the end, the software developed proved to be of general utility, and is on sale through Calcom SA (a spin-off company of the EPFL) which also performed the adaptation to industrial needs.

Furthermore, work has been commenced on developing a fully 3-dimensional simulation model and code, based on a completely new physical approach.

For the simulation of the novel microwave technology called RIMM a mathematical model was devised, and the numerical solution code was based on the code »2-D«. RIMM, Resonance Interference Microwave Method, allows microwaves to be concentrated onto a selected region. Three to four times more energy efficient than standard microwave technologies, RIMM is applied mainly for pasteurisation and sterilisation in the food industry and in medicine.

Project no. 500

A novel solid oxide fuel cell system for co-generation of electricity and heat

A thermally self-sustaining fuel cell system for co-generation is the goal of a research project carried out at Sulzer Innotec, Winterthur, commenced in 1991. Novel features are a circular, flat ceramic ZrO_2 -electrolyte in the stack repeat element, integrated heat exchangers, and fuel and air ducts common to all elements. A system in the 1 kW range operating at about 900 °C was first tested in 1993, with hydrogen as a fuel. Further work, aimed at a 7 kW laboratory system, centered on improving cell performance and scaling-up. For operation on natural gas, a steam reformer was developed. The main challenges encountered were metal/ceramic bonding at the electrodes, degradation of power density, and brittleness of the ceramic.

Research aim:

laboratory prototypes of a heat exchanger integrated fuel cell system, with solid oxide electrolyte

natural gas as fuel

co-generation of electricity and heat power in the kW range

Like many highly industrialized countries, Switzerland has also been engaged in R+D on fuel cells for some years. The reasons for such efforts are the same everywhere. Fuel cells are regarded as having high potential as small- and medium-sized generators of electricity and heat. Not having any moving parts and, therefore, being noiseless, and exhibiting low gaseous emissions relative to their high fuel utilization, they conform with environmental protection. And, last but not least, they can be run on natural gas.

However, as attractive as these features may be, there are two major obstacles. Firstly, basic materials pose some problems. Secondly, the investment costs of the few existing prototypes as well as of those projected are far from being economical.

In Switzerland, several R+D projects on electro-chemical elements have been performed at universities and in industry, co-ordinated by the Swiss Federal Department of Energy. The major systems project, named HEXIS, was commenced in 1991 by Sulzer Innotec at Winterthur with the financial support of the NEFF. It is based on novel design ideas.

Applications:

co-generation in small- and medium-sized units, up to approx. 200 kW

alternative to conventional co-generation plants

Five basic types

Prior to expanding on these ideas, it may serve to briefly recall the state of the art. A fuel-cell converts the chemical energy of a fuel into electricity and heat by »flame-less« oxidation with oxygen from the air.

To achieve this, air and fuel are separated from each other by an electrolyte, a material permeable to ionized molecules of one of the two reactants. When air and fuel are heated to the reaction temperature, these ions diffuse through the electrolyte and, arriving on the other side of the electrolyte, combine with the reaction partner.

The products of the reaction are molecules of new chemical compounds, as well as heat and those electrons which were carried over by the ionized molecules and freed by the reaction. Free electrons on

1991	1992	1993	1994	1995	1996
establishing the HEXIS principle tests and choice of cells first runs of 1 kW laboratory system (fuel = hydrogen)					
			7 kW lab prototype with integrated start- up burner and natural gas pre-reformer		
				project continued without NEFF-support	

the reaction side of the electrolyte, and the lack of these same electrons on the air side, give rise to an electric dc voltage between the two sides. If connected by an electrical conductor, a direct current will flow.

Ever since the discovery of this principle by the Englishman William Grove in 1839, generations of scientists have been attempting to utilize it for the generation of electricity. A vast number of electrolytes and fuels have been tried. However, the first practical fuel cells were developed only after World War II in the USA, when vibration-free generators were sought for submarines. Later on, fuel cells were built for applications in space flight.

Today, five basic types of fuel cell are known, distinguished by electrolyte and operating temperature.

- In alkaline fuel cells, caustic lye serves as the electrolyte and hydrogen as the fuel. Operating temperature is below 100 °C.
- In the same temperature range the solid-polymer-cell is operated, where an artificial polymer lets positively charged hydrogen ions (protons) pass from the fuel to the air side.
- Phosphoric acid cells have exactly this acid as the electrolyte and hydrogen as the fuel, temperature around 200 °C.
- In molten carbonate cells a liquid salt, e.g. potassium carbonate, is the electrolyte, at approximately 650 °C, letting oxygen ions pass to the fuel side.
- Solid oxide fuel cells, usually abbreviated SOFC, operate between 800 and 1000 °C with a ceramic (the »solid oxide«) electrolyte, usually ZrO₂.

Each type has its merits and specific field of application. Phosphoric acid cell prototype plants of several MW have been undergoing practice tests in recent years – e.g., a unit of 200 kW electric output is being operated by the municipal utility of Geneva, Switzerland.

The voltage delivered by all cell types is of the order of 1 V. For higher voltages and for reasonable power, many cells have to be connected in series and/or in parallel.

In the first phase of the project, from the beginning of 1991 until the end of 1993, the key elements of the HEXIS system were developed, especially the various types of electrochemical ceramic cells. Towards the end of 1993, the first laboratory system with a design power of 1 kW was tested. The experiences gained provided a valuable basis for the continuing work, running until June 1995, when the NEFF project was concluded. This second phase was aimed at a 7 kW prototype, necessitating mainly improvements and a scaling-up of the cells.

**Characteristic data
of typical SOFC:**

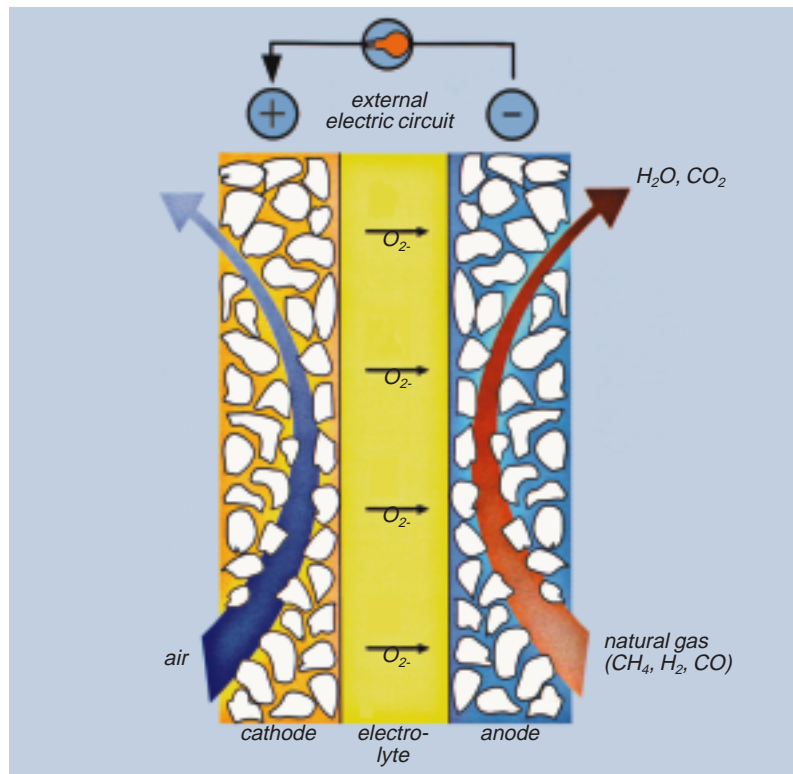
**operating temp.
920 °C**

**current density
0.25 A/cm²**

**cell voltage
0.70 V (dc)**

In SOFC, the electrolyte is a very thin – of the order of 0.1 mm – ceramic, usually ZrO_2 . This membrane in the shape of a tube or a disc, is covered on both sides by porous electrodes. Oxygen is continuously entering the cathode side. Due to the operating temperature above 800 °C, oxygen in the pores is ionized, i.e. an oxygen atom acquires two additional, negatively charged electrons. The property of ZrO_2 now utilized is to conduct only oxygen ions from the cathode to the anode side due to the difference between partial oxygen pressures on either side. At the anode, oxygen ions react with fuel molecules. Usually the fuel is hydrogen. Then one oxygen ion reacts with two hydrogen atoms to form a water molecule. This reaction liberates the two electrons carried over from the cathode side. Whilst the cathode is left depleted of electrons, there are excess electrons at the anode now – and a dc voltage of approx. 1 V exists across the membrane. Connecting the electrodes with a conductor makes a direct current flow.

The voltage is independent of the membrane area, whereas the current increases linearly with this area. With natural gas or pure methane as a fuel, CO_2 is formed in addition to water.



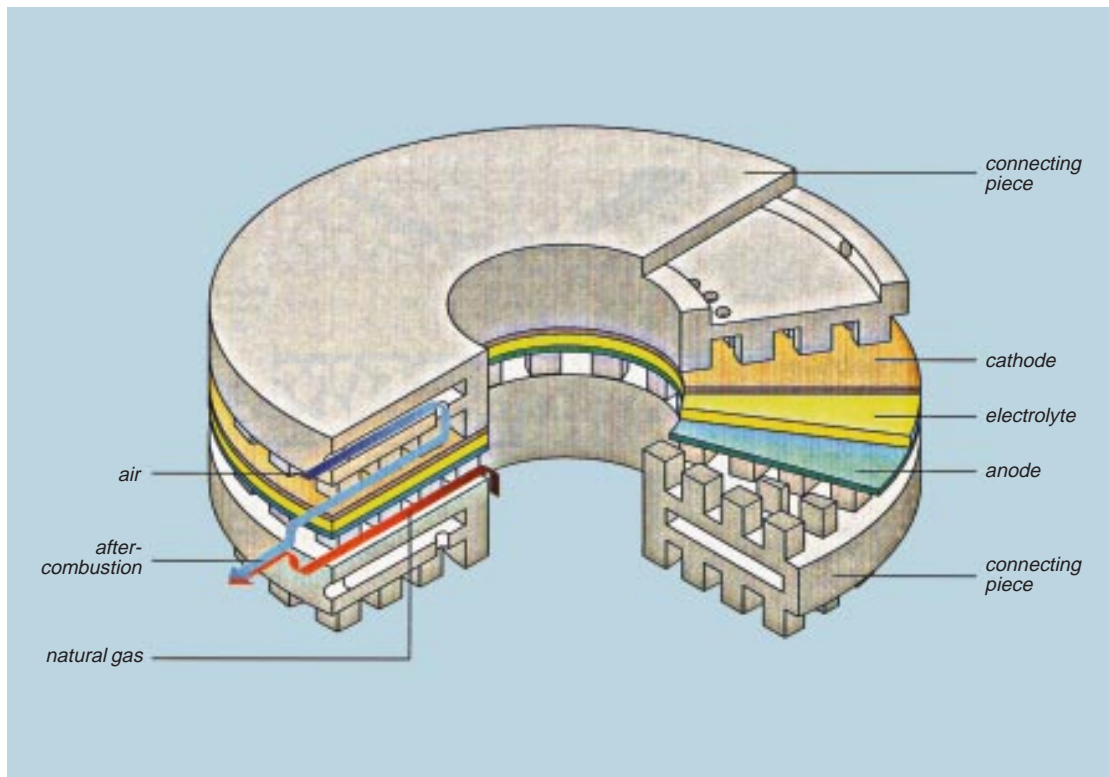
The HEXIS principle

The Swiss HEXIS project uses SOFC, operating on natural gas as a fuel and air as an oxygen supplier. HEXIS is a complete system, generating electricity as well as heat. The heat can be used on-site and the dc electricity is converted into ac power, which can be utilized also on-site or fed into the local grid.

SOFC rely on solid oxide electrolytes so thin that these are usually referred to as membranes. Whereas some SOFC designs employ tubular or undulated membranes, flat discs were chosen for HEXIS on the grounds that such discs can easily be stacked to connect the cells in series.

HEXIS stands for »Heat Exchanger Integrated Stack«, meaning that each repeat cell of the stack is multifunctional in the following senses:

- It comprises the electrochemical cell proper, i.e. the ZrO_2 -disc coated with an electrode on either side, and with current collectors attached to the coatings.
- A built-in heat exchanger serves to transfer heat of the reaction directly to the incoming air.
- The cell also contains an afterburner for the reaction products, i.e. the exhaust gas.



In comparison to other designs, the HEXIS principle promises a number of advantages. Most importantly, this design reduces thermal stresses in the ceramic elements and diminishes the mass flow of cooling air. As a consequence, manufacturing cost should also be lowered.

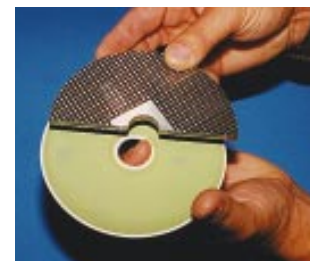
Above:
An open-cut stack of two repeat cells shows their series connection. Stack power of the order of several kW can only be achieved by connecting many cells.

Materials problems

In view of experiences made elsewhere, at Winterthur the bonding of the metallic current collectors to the ceramic electrodes was considered to be the most critical issue from the beginning. Seals suitable for operating temperatures above 900 °C were expected to be another delicate point.

Both problems were to be tackled by means of a comprehensive materials research and development programme at Sulzer, whereas manufacturing the cells including electrodes was left to three industrial partners specializing in ceramics, located in Switzerland, the Netherlands, and in the USA.

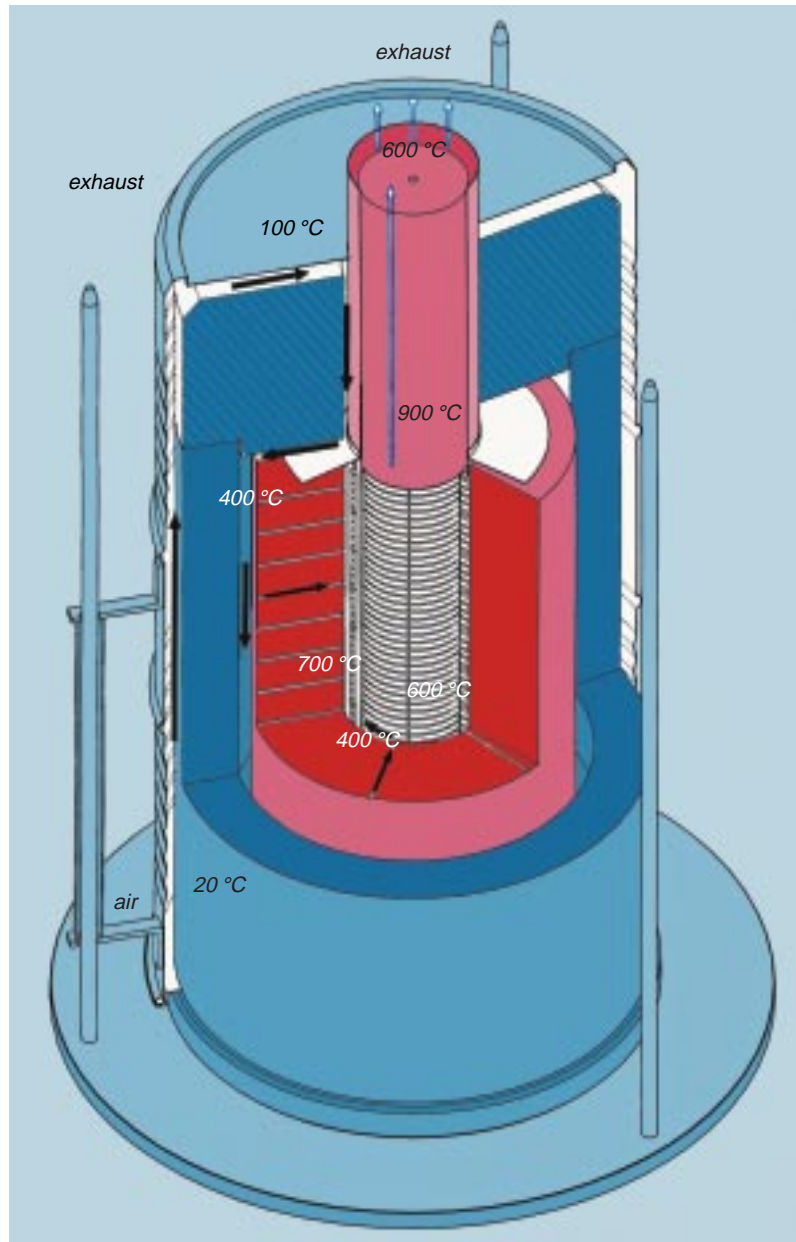
As the first goal, a laboratory system in the 1 kW range was set to be reached by the end of 1993. For practical reasons, hydrogen was chosen as the fuel.



A repeat cell, comprising the ceramic membrane (green) incorporating the electrodes, and the plate containing channels for fuel supply and output of reaction products.



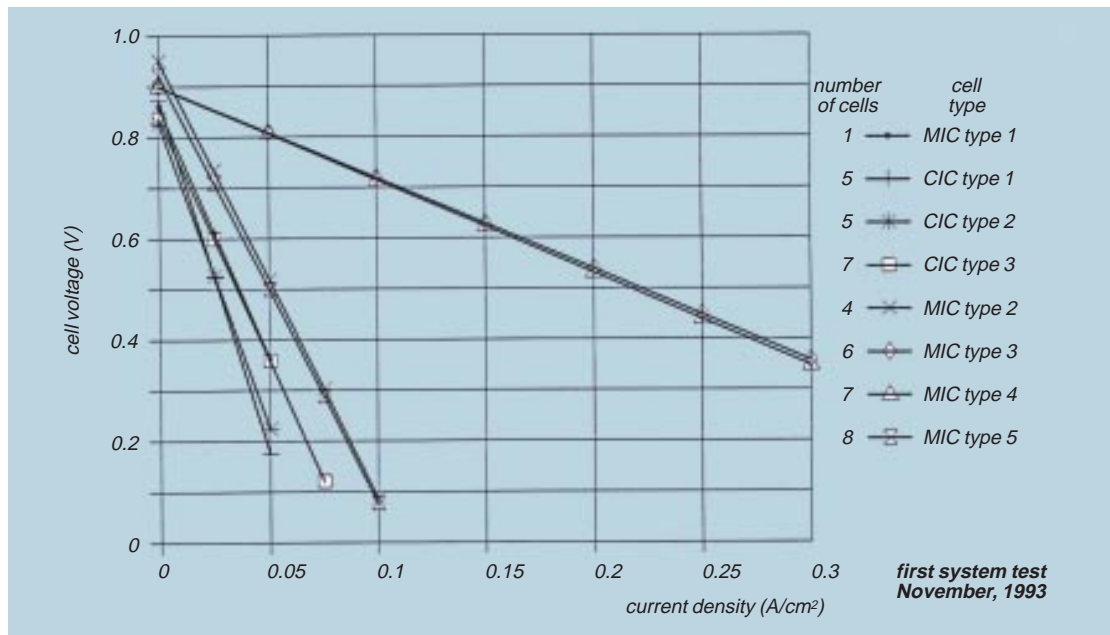
Above:
 HEXIS test laboratory in Winterthur. On the left the thermally insulated cylindrical casing of the 43 cell stack. On the right, electronic controls and measurement equipment.



Right:
 Sectional view of the 1 kW laboratory system, showing the pre-heating of the combustion air. The cell stack is embedded in a thermal insulation, only leaving space for the air ducts. Air of ambient temperature (20 °C) enters the casing. On its long way through the ducts to the centre of the stack, and prior to entering the cells, this air is heated up to 700 °C.

The system was to be based on discs comprising 100 cm² of active area. Initial steps, naturally, were undertaken with much smaller elements, in order to define suitable materials (apart from the ZrO₂) and geometries.

On average, the power density of the small test elements was approx. 1.0 kW/m². This value was also assumed for the 43 elements which were joined to form the first test stack towards the end of 1993. Hence, with each element having 120 mm diameter and 100 cm² of active area, a total electric power of 400 W was expected.



The 1 kW stack

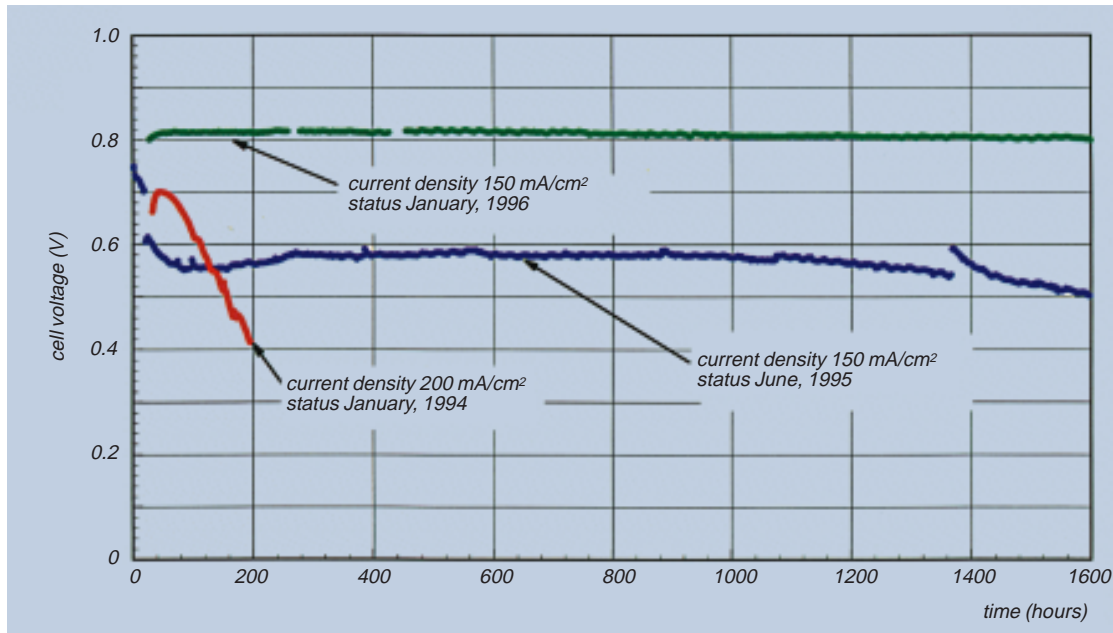
The various cells installed in this stack showed vastly different performances. While some cell types reached power levels far above the expected average, others did not function at all. An extrapolation on the basis of the best cells would have resulted in a power of about 570 W. Yet, the actual value was only 120 W.

However, the reasons for the poor performance of some of the cells could be localized, and correction measures were initiated. The main reasons were inhibited flow of air and fuel, rapid degradation of approx. 1% in 100 hours, and mechanical stresses caused by a rather inhomogeneous temperature distribution within the stack. It became clear that there was need for optimization of the central seal, gas channel geometry, and the current collector on the fuel side electrode.

Nevertheless, as the overall result of the project finished at the end of 1993, a thermally self-sustaining operation had been demonstrated, both with pure hydrogen and with externally reformed methane as fuels. And a section of 12 cells out of the 43 had performed well, with the MIC type by far superior to the CIC type.

Another important result was the development of a start-up procedure. An SOFC stack must be heated to 800 °C prior to becoming operative. In the 1 kW system, an electric heater is employed to preheat the incoming air and fuel to 600 °C in heat exchangers. Further heating up to operating temperatures is effected by feeding the cells with a varying mixture of hydrogen and nitrogen. In order to avoid temperature gradients in the stack being too high, the entire procedure is extended to several hours.

The stack of the first 1 kW system was assembled from 43 cells of various types, differing mainly by the techniques and materials for bonding current collectors to the ceramic electrodes. The graph of voltage vs. current density demonstrates clearly that only cells MIC type 3 and type 4 exhibit power values around 1 kW/m² as expected from prior tests of small elements (the coarse calculation: at 0.5 V the current density is 0.2 A/cm²; the active area of the cells being 100 cm², the current is 20 A; power = current x voltage = 10 W / 100 cm², or 1000 W/m²).



Towards a 7 kW prototype

The problem of degradation of the cell-voltage, or power density, in time was tackled mainly by development of various coatings of the current collectors. The diagram demonstrates the progress achieved from January 1994, until June 1996.

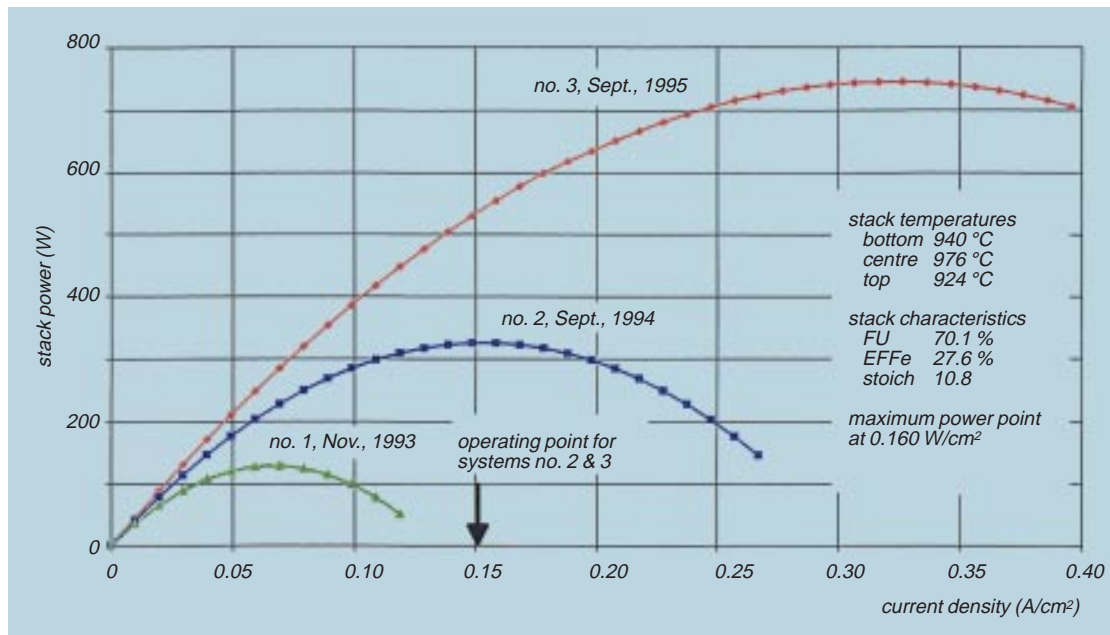
Measurements were made on cells of 120 mm diameter and 100 cm² active area, at 920 °C, with humidified hydrogen as a fuel, and air as the oxidant. As the current collector material Plansee Cr-5Fe-1Y2O3 Alloy was used.

In January 1994, another part of the project was once more supported by the NEFF, now aiming at a HEXIS laboratory prototype in the 7 kW range, with integrated start-up burner and reforming of the natural gas. This prototype was to be based on the design of the 1 kW stack, but with the disc diameter enlarged to 200 mm. With the lessons taught by this enlarged disc in mind, the new project was subdivided into seven parts.

Part I concentrated on improving cell performance. Enhanced efforts by the ceramics partners succeeded in producing 200 mm membranes 0.13 mm thick. They reproducibly rendered a maximum electrical efficiency of 37 % and a fuel utilization of 80 %. Current connectors were much improved by novel geometries and coating materials. In this way degradation could be reduced considerably. Yet the problem remains that the discs are very brittle, which – at least for the time being – limits their diameter to 200 mm.

Part II was devoted to boosting the performance of the stack, now containing 100 repeat-elements of 200 mm diameter. After numerous experiments, temperature differences along the stack could be reduced to less than 100 °C, the maximum temperature being 960 °C. Then, by the aid of a specially developed computer programme, the axial supply channel for the fuel was found to be too narrow, and consequently was enlarged from 20 to 30 mm diameter.

Tests on groups of repeat elements demonstrated that the same specific power and equal fuel utilization can be achieved with either hydrogen or natural gas as a fuel. For reasons of simplicity, hydrogen was adopted for further testing.



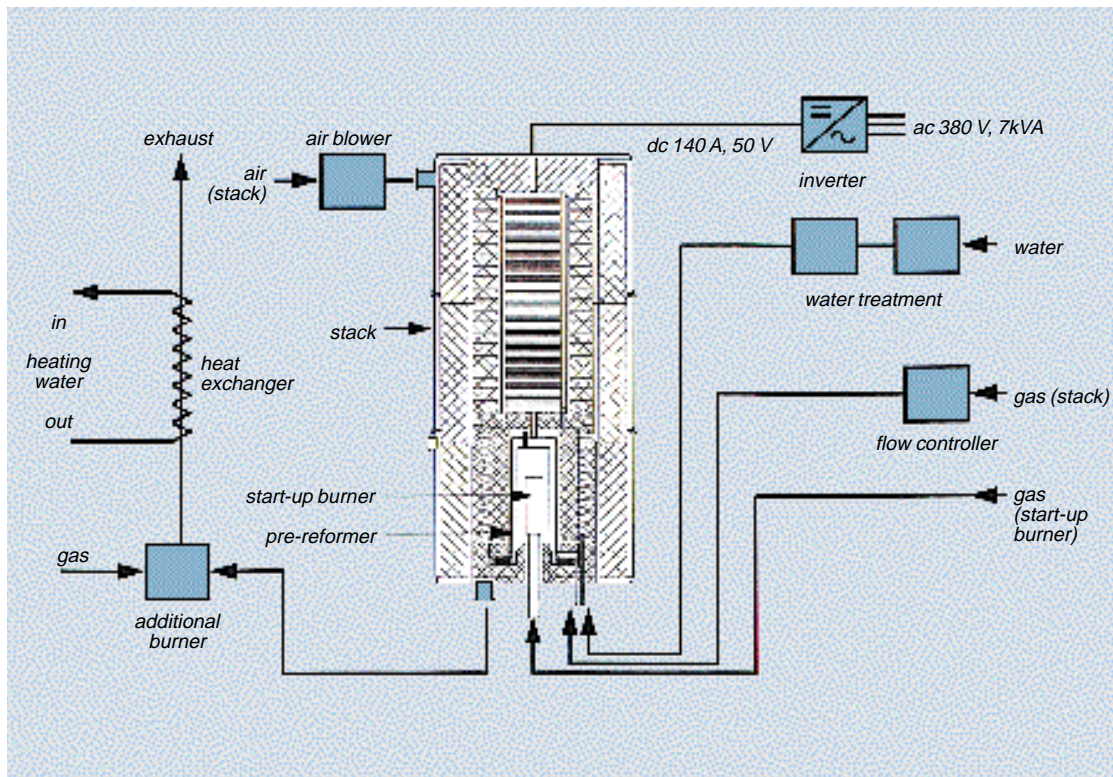
New solid oxides?

With a view to commercial fuel cell plants of any cell type, the development of a versatile 7.5 kVA dc/ac-inverter was taken up in 1994 as part III of the project. It produces 3-phase ac at 400 V and 50 Hz, synchronized with the mains frequency. The inverter is controlled via a micro-controller triggered by either input current, input voltage, or input power. This work was carried out by a development partner experienced in the field of inverters for solar energy.

Part IV is also forward-looking, dealing with materials development for coming SOFC generations. As mentioned earlier, a major source of problems of SOFC has been the high operating temperature above 900 °C, necessitated by the properties of standard ZrO₂-ceramics. Brazing alloys for the current collectors which are suitable for such temperatures are very expensive. At operating temperatures some 200 °C lower, inexpensive and commercially readily available metals could be used.

Hence part IV is dedicated to searching for membrane materials in this region which yield the same specific power density as ZrO₂ at these lower temperatures. A Swiss research programme has resulted in such materials and cells. However, scaling-up of those cells of 35 mm diameter has proven to be rather difficult and time-consuming. Hence, the first generation of SOFC prototypes will be operating using standard and proven materials.

The first test of the 1 kW laboratory system, performed in November 1993, was rather disappointing with respect to stack power, the main reason being a majority of weak cells in the stack. The graph of stack power vs. current density depicts the progress made until September 1995. Maximum electric efficiency is achieved at a fuel mass-flow per cell of 2.5 g/h. Raising mass-flow above this value increases electrical power, but decreases electric efficiency and cell voltage. Data of run no. 3: 47 cells, active area per cell 101 cm², hydrogen fuel supplied at a rate of 80 g/h, air at 20.8 kg/h, fuel utilization 70.1 %, electric efficiency 27.6 %, maximum power point at 0.160 W/cm².



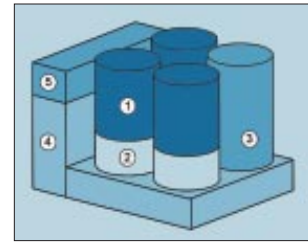
Gas reformer and pre-heater

Schema of the 7 kW prototype, showing all feeding and product lines and corresponding controls. Control of the system is achieved by an SPS, Eurotherm controllers, and a computer. Later on, in field tests, control will be simplified, as soon as consumer demand and demand characteristics are known. SOFC units then should produce electricity and heat on demand.

Part V, the development of sub-systems for thermally autonomous operation on natural gas, required the designing and testing of a laboratory system with integrated gas reformer and pre-heater. Whereas in the 1 kW prototype an electric heater had been employed, »autonomy« now called for natural gas.

Firstly, a small integrated reformer was built and tested. The purpose of the reformer is to convert natural gas, i.e. mainly methane, into a mixture of hydrogen and carbon monoxide, in order to avoid carbonisation in the fuel ducts to the cells. On this basis, a module sized for the 7 kW prototype was designed. The natural gas is mixed with water vapour. It then enters an annular space which is coated with catalysts, and heated from the outside; here the reforming takes place.

To start the system, the start-up reformer heater is switched on. Geometrically adapted to the annular space, it is powered by natural gas. Simultaneously, a heat exchanger warms up the air going into the stack. Both heated reformer fuel and air slowly raise the temperature of the stack to the operating temperature. Once the entire stack is operational, the gas heaters are switched off, and the process has become thermally autonomous.



Above:
A future HEXIS system in the 50 kW range should be rather compact, the base plate being 2 m long and 1.5 m wide, with an overall height of 2 m:

- 1 fuel cell stack with integrated heat exchangers
- 2 fuel pre-reformer, gas burners for start-up and additional heat
- 3 exhaust gas heat exchanger
- 4 control system, auxiliaries
- 5 dc/ac-inverter

Left:
Assembly of the 7 kW laboratory system with integrated reformer for natural gas, and pre-heater. The rack at right comprises all safety and control electronics for operation and research purposes.

This start-up procedure as well as the proper control and safety hardware was worked out and optimized using a dummy stack, the dummy exhibiting the same heat capacity as the real stack.

Part VI, construction and testing of the real 7 kW laboratory prototype, is now in progress. The project, aiming at the development of an industrial product, has been continued without the support of the NEFF.

Project no. 525

High-power short-term energy storage with magnetically suspended flywheel

In 1991, a multi-disciplinary team at the Swiss Federal Institute of Technology Zürich set sail on an ambitious goal in the field of energy storage: a flywheel device with magnetic suspension, 1 kWh capacity and 250 kW power, serving for peak levelling in electric grids, or as a short-term vehicle drive. Based on previous experience with components and systems on a much smaller scale, the team aimed at novel solutions, in particular for the electrical motor/generator, for its power electronics, and overall safety. As a result, and after having surmounted minor and major problems, the system was functioning up to 7'000 rpm by 1996. Continuing from there, the design speed of 15'000 rpm should be reached by discrete steps.

Design goals:

***nominal speed
15'000 rpm***

usable energy 1 kWh

***nominal power
250 kW
(15'000 – 8'000 rpm)***

In the 1980s, at the Swiss Federal Institute of Technology Zürich a number of research projects within the Mechatronics Group had led to devices in the field of modern flywheel technology: methods for the design and construction of composite fibre-reinforced high speed flywheels, an uninterruptible power supply of 60 kW power and 500 Wh capacity based on a flywheel and synchronous motor/generator in the range of 12'000 to 24'000 rpm, a flywheel of 20 kW power at 6000 rpm for a hybrid road vehicle, magnetic bearings for electric engines of up to 100 kW at 30'000 rpm.

Consequently, some members of the Mechatronics Group (the institutes of Robotics, Power Electronics, and Electrical Machinery) were aware of a prevailing demand for short-term energy storage, especially for peak levelling in electrical power supplies or networks. So far, accumulators have been used for applications such as supplying peak power to welding machines. However, accumulators are far from being ideal for power supplies, as their limited extractable power would require them to be over-dimensioned. What the industry has been needing is a device of approx. 1 kWh capacity and 250 kW power, chargeable and dischargeable within a few seconds.

In 1991, the Mechatronics Group, joined by the Swiss Federal Railways, started a project aiming at such a device, based on a flywheel. The idea was to couple a synchronous motor/generator directly on to the flywheel, which was to operate between 8'000 and 15'000 rpm. The power electronics, supplying the motor with the appropriate frequencies and converting the varying frequencies from the generator into 50 Hz voltage, was to produce a minimum of higher harmonics – in accordance with the primary design goal of the system: minimum losses. Long lifetime was aimed at for the suspension of the flywheel, be it magnetic or otherwise, and the outer casing ought to hold a good vacuum in order to reduce drag, and serve as a safety shell.

Applications:

***peak levelling
(such as for welding
machines)***

vehicle drives

***uninterruptible
power supplies***

1991	1992	1993	1994	1995	1996
conceptual studies (choice of principles for components and system)					
		construction and tests of flywheel, motor/generator, and power-electronics. Constr. of magnetic bearings			
				tests of complete system ...	

The time schedule allowed for conceptual studies until the end of 1992. As from the beginning of 1993, the various components were to be separately constructed and tested in the laboratory, thereby eliminating minor problems and introducing improvements. By 1994, the complete system was expected to reach the design values.

The first two years of the project, 1991 and 1992, were mainly devoted to conceptual studies. The following two years, 1993 and 1994, saw the construction and testing of the main components. Since the spring of 1995, tests of the complete system have been performed.

The flywheel

Considerations for designing and dimensioning the flywheel had to be based on the fact that the flywheel's capacity to store kinetic energy increases linearly with its mass, and quadratically with the distance of that mass from the rotational axis as well as with the rotational speed. In practice, a compromise had to be found between capacity, power, materials strength, cost, and safety.

Low mass makes for simpler suspension and bearings, but necessitates high rotational speed for equal capacity. High speed, in turn, requires high-strength materials. The limits of steel, titanium or aluminum are soon reached. Compared to these, composite fibre-reinforced materials have roughly tenfold strength, and in general offer superior safety and failure-behaviour. In case of a rupture, they break gradually into many small bundles, dissipating much energy, whereas metals tend to explode into few pieces with the power of bullets.

The decision for the flywheel-design not only followed the above reasoning, but also was due to an earlier successful NEFF-project, in the course of which methods had been worked out to calculate and manufacture composite flywheels from radially pre-stressed fibres. The design calculations also take into account the shrinking of the matrix during the hardening process, and temperature strains.

The Mechatronics team finally designed and wound, applying up to 4'500 N of pre-stress, a flywheel of 800 mm outside diameter and

The resulting system:

Flywheel: glass and carbon fibres, 800 mm diameter, 100 mm thickness, 15'000 rpm

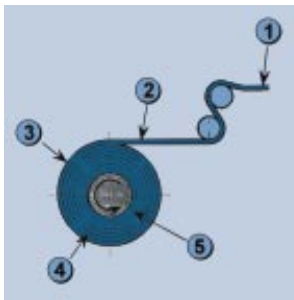
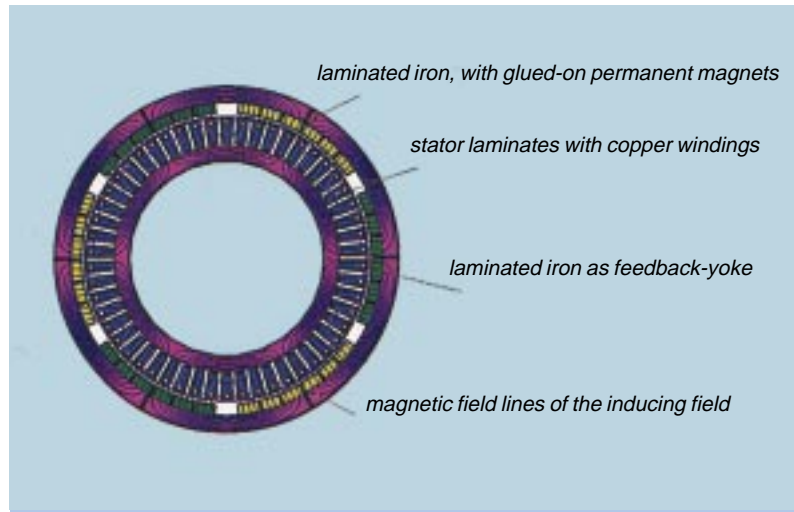
Electric machine:

synchronous machine, rotor 6 poles, max. 750 Hz, stator with permanent magnets, nominal voltage 900 V

Electronics principle:

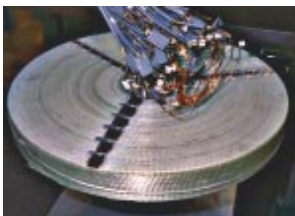
inverter with two 3-point dc/ac-converters control via laser scanner on the rotor, by a fast signal processor

The outer rotor with the permanent magnets, the inner rotor – and in between the stator with the copper windings (tubes for water cooling not shown).



ETHZ process of winding flywheels:

- 1 fibre-woven ribbon
- 2 pre-stressed ribbon with compound matrix
- 3 pre-stress exerts radial pressure
- 4 hardening commences
- 5 matrix hardened, yet elastic



Inner part of the flywheel wound of glass fibres. Strain gauges serve to measure real stresses for comparison with calculations.

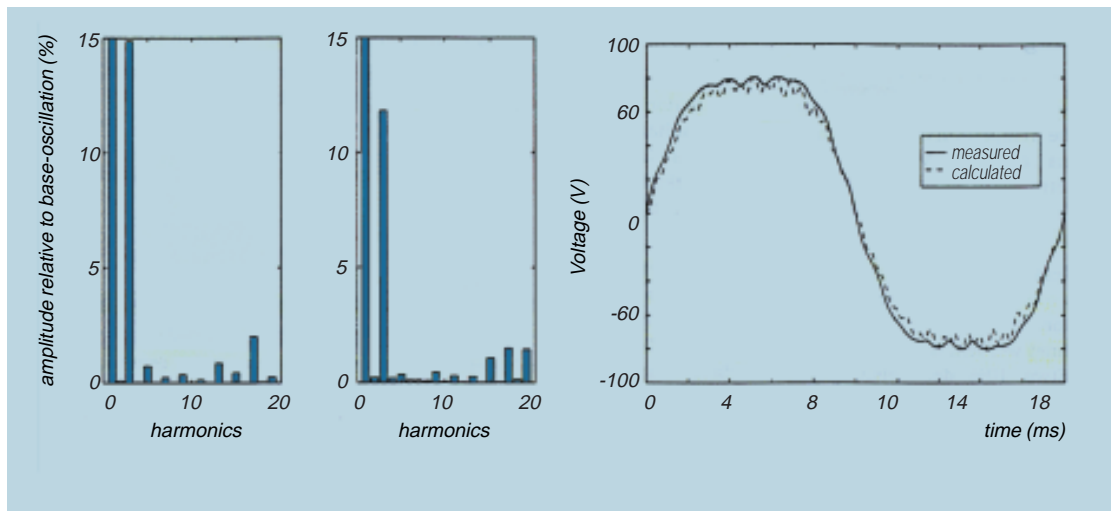
100 mm thickness. The inner part of this wheel is wound of glass fibres, whereas the rim consists of carbon fibres, a choice based upon their higher strength at circumferential speeds in the range of 600 m/s at nominal 15'000 rpm.

Measurements at the Swiss Materials Testing Institute, EMPA, employing strain gauge and optical methods, confirmed the validity of the calculations and hence the fact that the applied method is an established technology. Then, after being balanced, the flywheel was tested in a centrifuge for turbine testing and found faultless up to 18'000 rpm or 3'000 rpm above nominal speed.

The motor/generator

The selection criteria for the »electrical machine« followed a clear logical chain. With respect to maximum efficiency and minimum losses, a synchronous machine is superior to an asynchronous one. The high rotational speed, however, rules out collector rings, leading to permanent magnets. Choosing the latter means minimizing the mass of stator iron: the stator is penetrated by the field of the permanent magnets and hence continuously changes magnetization, causing losses showing as heat.

The synchronous machine was chosen to have a bell-shaped twin rotor with 6 poles giving 750 Hz at nominal 15'000 rpm. Diameter and materials are determined by the circumferential speed. The inner rotor consists of laminated iron sheets to reduce magnetization losses, and hence, with a maximum speed of 173 m/s, has an outside diameter of 220 mm. In the outer and even faster rotor, the permanent magnets, made of cobalt and rare earths, are mounted on segmented laminated sheets and held together against centripetal forces by a retainer ring made of carbon fibres (exhibiting much higher strength than steel). The stator, fixed on to the system's casing, consists of 54 laminated



packages with the tubes for the water cooling imbedded. In order to minimize copper losses, the windings of 12 mm² total cross-sectional area are built up of thin high-frequency filaments.

Putting the motor/generator into operation met with a series of obstacles. The stator windings proved to be too large, and hence had to be redesigned. Cooling was insufficient due to tubes being too narrow. In addition, some tubes had been blocked in the process of vacuum insulation. Handling of the permanent magnets necessitated the construction of special tools. In short, the labour of construction and the running in of the machine had been grossly underestimated.

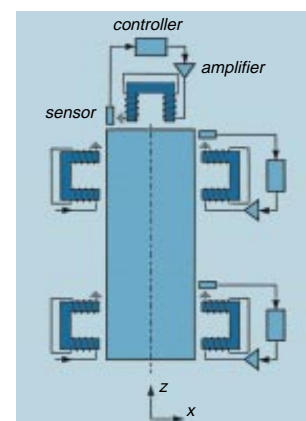
When the machine finally worked early in 1995, tests at 2'000 rpm were highly satisfying. Extrapolation of the induced voltage resulted in 990 V, in good agreement with the calculated value of 1060 V. Higher harmonics are negligible, except for the marked 17th, which is caused by the stator's mortises. At 750 Hz and 80 A in the stator, the equilibrium surface temperature of the laminations was 70 °C. Consequently, taking into account the heat insulating effect of the electric insulation, temperatures nowhere should exceed 100 °C, above which the permanent magnets would begin to demagnetize.

After coupling the machine with the flywheel to form the system's »rotor«, 7'000 rpm were reached in 1996 without restrictions, with the cooling functioning (iron losses amount to approx. 200 W, copper losses to 1'300 W). The researchers had to put extra efforts into the electric insulation to make it withstand high voltages under low vacuum. This vacuum of 10 mbar reduces drag-losses to roughly 100 W.

The bearings

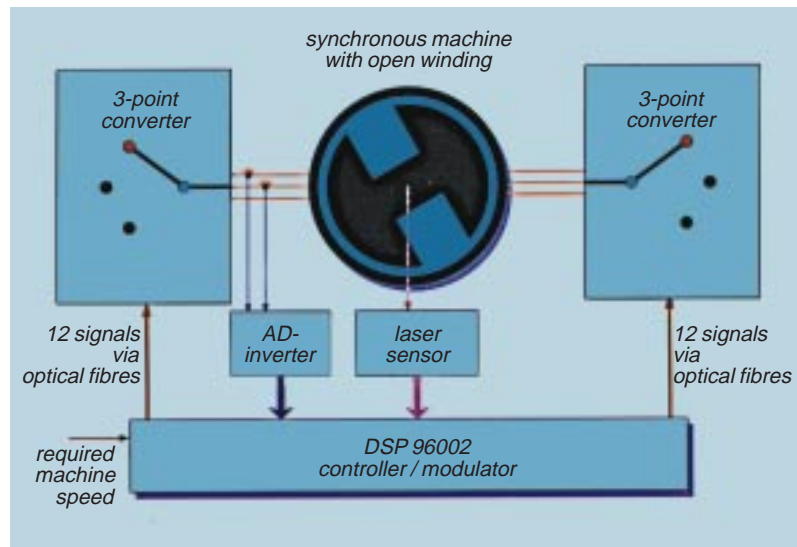
Aiming at minimum losses, the suspension of the system's rotor – i.e. flywheel plus rotor of the motor/generator, with a total weight of 175 kg – plays a crucial role: friction must be reduced as far as possible. Hence

From left: spectrum of harmonics as measured (the 17th is mainly due to rotor mortises); spectrum of harmonics as calculated; induced voltage calculated and measured at 50 Hz in excellent agreement with each other.



The principle of decentralized control of magnetic bearings, i.e. independent control circuits for all planes – here showing the x-plane of the radial bearings only (y-plane analogous).

The control system of the flywheel energy storage device is based on two 3-point dc/ac-converters, which are modulated by a fast signal processor DSP 96002. A laser sensor, scanning a pattern on the electric rotor, informs the DSP of position, torque and speed of this rotor. The synchronous machine is open-coiled, i.e. with all ends of the coils accessible from outside.



the choice of magnetic bearings was the obvious path to follow, for this and three other reasons. Firstly, within the research team experience in this field was available. Secondly, the rotor has to run in a vacuum in order to reduce the considerable drag, ruling out classical lubricated ball or glide bearings. Thirdly, magnetic bearings can cope well with the unavoidable unbalances of the wheel.

The question as to whether the axis should be horizontal or vertical was answered in favour of the latter, because a vertical axis allows the separation of forces caused by unbalance or perturbations from the gravitational load.

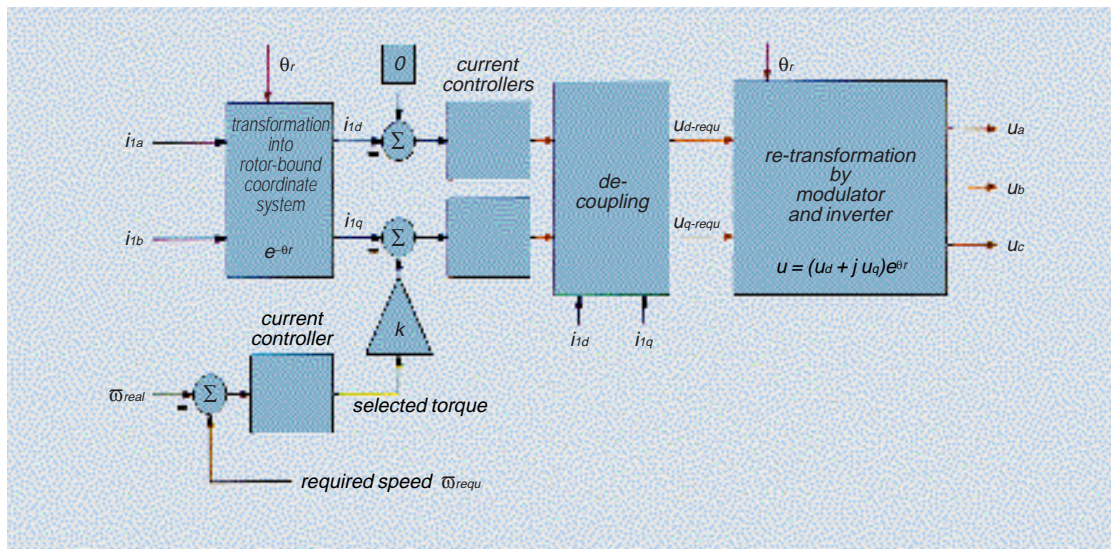
Hence the final design comprises three electromagnetic bearings. An axial bearing on top has to carry the weight of the rotor, i.e. 2'000 N at maximum. Two radial bearings are placed both on the inside of the flywheel, and of the inner motor/generator-rotor. Their layout allows for a maximum force of 400 N, which could arise from radial perturbing forces mainly due to unbalance. Finally, there is an axial emergency bearing on the lower end of the axis, which has to bring the rotor to a safe halt should the magnetic bearings fail.

Inaugural runs revealed unexpectedly low eigenfrequencies – down to 200 Hz – of the system's elasticity as well as low gyro precession. Existing control software proved to be insufficient to cope with them. A novel, »de-centralized« structure for controlling the magnetizing current had to be designed: the axial bearing as well as the respective x- and y-components of both radial bearings are controlled independently, altogether requiring five digital control circuits. Cross-coupling between the lateral displacements serves to effectively attenuate precession, which otherwise would be rather pronounced above 4'000 rpm. Residual unbalance of the system's rotor is compensated for by this control, too.

Other improvements include re-dimensioning of the axial bearing, which had proved to be too small, and a special controlling pro-



The passive parts of the radial magnetic bearings on both ends of the axis, and the axial bearing.



programme for start-up and shut-down of that same bearing (the launching forces had been too strong for steady-state levitation, hence they have to be position-dependently controlled).

By 1996, the suspension performed well up to the maximum test speeds attained: 7'000 rpm for the magnetic bearings and 3'500 rpm for the emergency bearing.

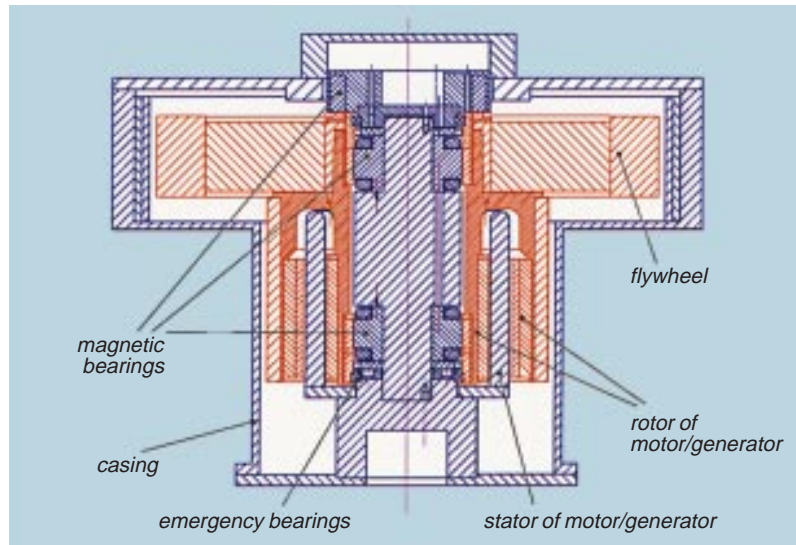
Flow diagram of the rotor-oriented control: the stator current is mathematically transformed into the coordinate system, which is rotating synchronously with the rotor. To achieve minimum current (for minimum losses), the current components »d« in this system have to be maintained at zero value.

The power electronics

The power electronics of the flywheel storage serves two purposes. Firstly, it has to supply the motor from the 50 Hz electric network with voltages up to 750 V at 750 Hz, corresponding to the maximum rotor speed of 15'000 rpm. Secondly, it has to convert the voltage of varying frequencies as produced by the generator to 50 Hz for feeding it into the network. Standard electronics for such purposes, an »inverter«, at first converts mains-ac into dc, then chops this dc into ac of varying frequencies – and vice versa. Hence, an inverter comprises ac/dc-converter, dc intermediate circuit, dc/ac-converter, and control as well as safety instrumentation.

Design and construction of the inverter lay in the hands of the Institute of Power Electronics. They chose to employ two inverters, each feeding 200 kVA of power into the electric machine »with open coils«, i.e., with both ends of each coil accessible from the outside. Furthermore, they decided to use displaced triggering (by means of a modulator) for chopping, or generating the ac, because in this way triggering frequency can be reduced, in turn also diminishing losses in the machine as compared to non-displaced triggering. Similar advantages can be achieved with a 3-point dc/ac-converter against a 2-point one.

A cross-sectional view reveals the compactness of the device.



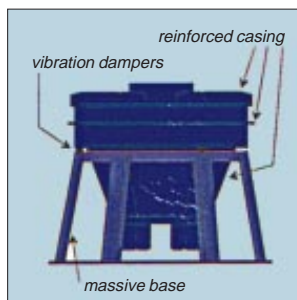
In a 3-point converter, each switch – placed between converter output and stator input – can feed either positive, negative, or zero voltage to its coil end. As compared to a 2-point converter, the maximum power is fourfold, maximum speed fivefold, and the voltage is much closer to the ideal sinusoidal waves thanks to markedly reduced higher harmonics.

The modulator is a fast signal processor which receives signals from a laser sensor scanning a pattern on the rotor, and triggers the converters to control the machine for constant speed, torque, or power.

Originally it had been intended to buy essential components for the power electronics »off the shelf«. However, with no 3-point ac/dc-converter on the market, the Institute set out to design and build one itself. This, including the modulator for generating the switching signals for the converter, again proved to be much more laborious than thought.

In July 1994, the two inverters went into operation, each comprising two ac/dc-converters, two braking choppers, and one 3-point dc/ac-converter. The ac/dc-converters are connected to the network via a transformer. They consist of two anti-parallel thyristor bridges plus a control unit. The problem of distributing power to two converters has been solved by a special sequence for attributing pulses. The purpose of the choppers, partly designed and built at the Institute of Power Electronics, is to limit the voltage in the intermediate circuits by resistively dissipating surplus power. The 3-point dc/ac-converters supply a voltage of the proper frequency to the electric rotor. Each phase comprises four IGBT (induced gate bipolar transistors) and six diodes.

By July 1995, the twin inverter had performed well for more than 800 hours. Efficiency is higher than of any comparable device – for high-speed high-power applications – on the market. Japanese and US companies have been seeking co-operation, and a German company has been preparing marketing for the near future.



To protect the system as well as the environment in case of a flywheel-failure, the casing has been stiffened, and rubber-buffeters have been inserted between casing and base.



The system's components: in the left background the racks with power electronics and controls, in the centre the casing with base, in the right foreground the motor/generator, at right the flywheel (bright coloured inner part: glass fibres, dark coloured outer part: carbon fibres)

The system

The complete system was assembled in the spring of 1995. As a consequence of the first tests, the casing was stiffened by reinforcements, and de-coupling between casing and foundation had to be improved by means of rubber buffeters. Problems provoked by the buffeters in the magnetic bearings measure could be resolved via the electronic control.

A serious problem arose from the oscillations of the synchronous machine, rendering impossible tests at more than 7'000 rpm as well as rapid accelerations. An improved control algorithm now permits also higher speeds and accelerations.

The Mechatronics team considers that all major obstacles of design and construction to have been overcome. Causes of, and remedies for, continuing minor problems are known. For safety reasons, speeds higher than 7'000 rpm will be approached step by step.

Project no. 527

Development of fibre traps for finest Diesel exhaust particulates

In 1992, Hug Engineering, Weisslingen, started a research project into adding particulate traps to exhaust after-treatment plants for stationary Diesel engines. While work was in progress, new international evidence of the carcinogenic nature of the finest Diesel soot was presented. Thus, in expectation of future stringent limits also for particulate emissions, the project target was shifted towards fibre traps of high efficiency for retaining finest particulates, and with autonomous regeneration. The results obtained by 1995 favour fibres made of high temperature glass, coated with catalyzers inducing passive burn-off of the accumulated soot during operation. The concept is also applicable to road vehicles and it promises to be economical.

Research target:

originally:
energy efficient particulate traps for the exhaust after-treatment of stationary Diesel engines

revised:
fibre traps for finest carcinogenic particulates, with continuous passive regeneration

Hug Engineering, of Weisslingen near Winterthur, specializes in the after-treatment of the exhaust gas from stationary Diesel engines. In this way, though being a young enterprise, Hug has been in line with the old Swiss Diesel tradition centered in and around Winterthur.

In the late 1980s, the Hug exhaust treatment plant consisted of a urea-based Selective Catalytic Reduction (SCR) of nitric oxides, and an oxidizing catalyzer for hydrocarbons. Until then, particulates were still widely considered as a nuisance only, although, reacting to the suspected carcinogenic nature of Diesel soot, in 1982 the USA had limited emissions to 250 mg/m³ – the first country in the world to do so. Germany followed in 1986, limiting particulate emissions from stationary Diesels to 130 mg/m³, while Switzerland settled on 100 mg/m³ for stationary engines in 1985. However, with increasing evidence of harmful effects, and hence in the expectation of more stringent limit values, all over the world particulate traps were being developed for stationary as well as for vehicular Diesel engines.

Filtering mechanisms

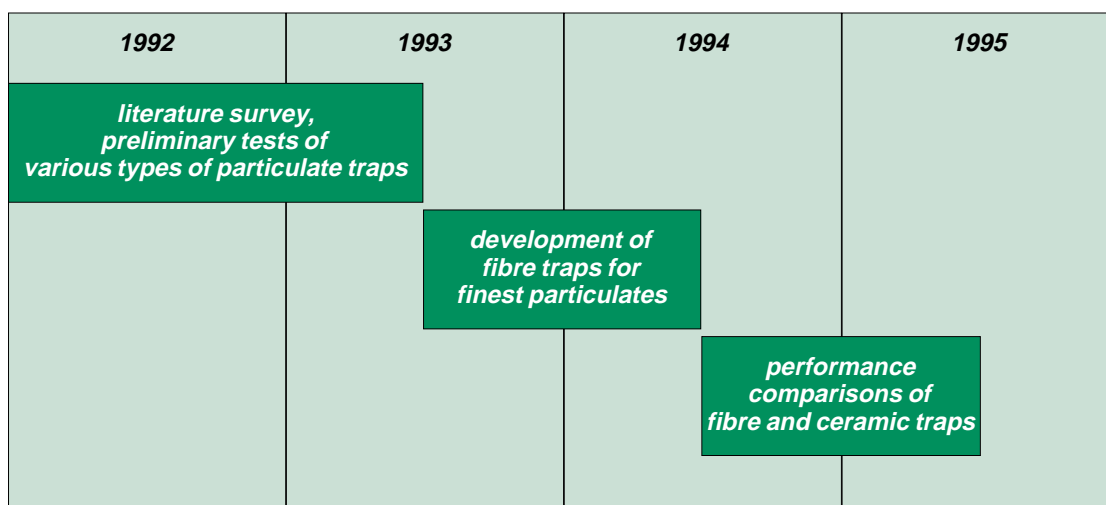
Following this trend, in 1991 Hug asked the NEFF for financial support for a research project aiming at the addition of a particulate trap to their exhaust after-treatment plant. The trap ought to be highly efficient with respect to the retention of particulates as well as with regard to energy consumption. The standard ceramic traps known at the time were all suffering from rather low energy efficiency due to high back pressure, which in turn was caused by particulates accumulating in the trap and hence impeding the free flow of the exhaust gas. To counteract this pressure, which can be of the order of one bar, the fuel consumption of the engine has to be increased by several percent.

At Weisslingen, the project was commenced in 1992. A special test rig was constructed, and a literature-survey was conducted.

Applications:

stationary Diesel engines of all kinds, such as off-road Diesel engines for tunnel construction

Diesel engines in road vehicles



This survey consisted of screening all available and conceivable technologies for particulate traps, and evaluating them with respect to practicability and economy of application to stationary engines.

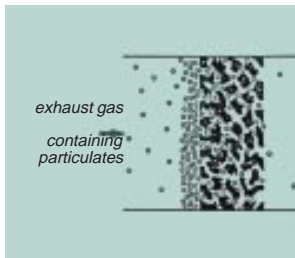
As an initial result it became evident that a variety of types and systems existed, all of them relying on the exposure of large and rough surfaces to the exhaust gas, and the forcing of the gas to travel long distances along these surfaces. None of the traps can act as a sieve, because the pores are much too large to prevent the passing through of the particles. The trapping effect can be ascribed to three filtering mechanisms: impaction of the particulates on the surfaces, interception by the surfaces, and approach to the surfaces by diffusion. The last is the main mechanism for trapping finest particles. All types of traps are assisted by the self-enhancing effect of the agglomeration of soot particles: the first particles, having settled, increase the trapping surface area and consequently the trapping efficiency is enhanced. This effect is demonstrated by the fact that the retention rate increases as a cake of trapped soot is growing, which finally may function like a sieve.

During the development of oxidizing catalyzers and of particulate traps, started in 1992, new evidence on the carcinogenic nature of very fine Diesel particulates was presented. This prompted a shift of the research targets. From mid-1993, fibre traps capable of retaining those fine particulates and self-induced regeneration were the primary goal. In 1994/95, comparative performance tests in the laboratory were performed with improved measurement equipment.

Two constructional principles

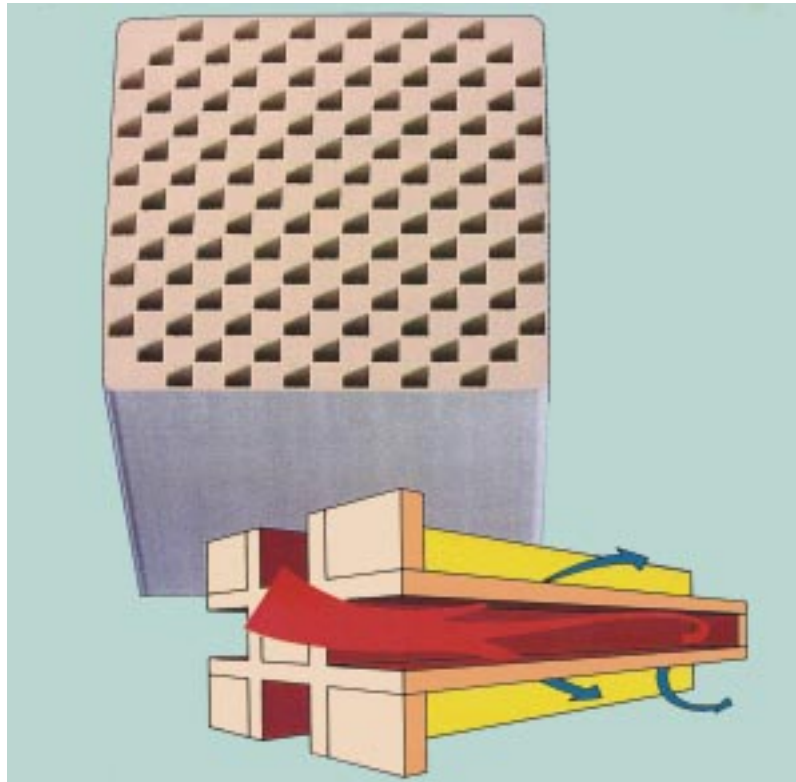
The variety of traps generally is attributed to two constructional principles:

- Surface traps are characterized by the agglomeration of particles to form a growing soot cake, which leads to a rapid increase of back pressure until finally the filter is blocked up. The most widespread trap in use belongs to this type, namely the ceramic monolith, also referred to as honeycomb trap, or wall-flow trap. It is formed by numerous narrow and parallel channels, where one channel is closed off at the back end, and the next at the front end. The exhaust gas enters a channel open at the front end, and then penetrates the porous walls between this channel and the neighbouring ones,



Above:
In a surface trap, particles quickly agglomerate at the first layers of pores, i.e. on and near the surface. A soot cake grows, causing increasing back pressure, and finally blocking off the filter.

Right:
Photograph of a commercial ceramic monolith trap, and drawing illustrating the passage of the exhaust gas through the porous inner walls of the monolith. The soot cake forms in the entrance channels and very few particles penetrate the inner walls.

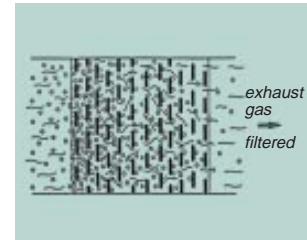


whose open back ends also constitute the exits for the gas. Among a multitude of constructional varieties, the wall-flow type is the most widely used. It is derived from the automobile catalyzer and produced in the same manner – by extrusion. Standard channel dimensions are $2 \times 2 \text{ mm}^2$ cross sectional area, 0.4 mm wall thickness, and 500 mm length, rendering a total active surface of 1.6 m^2 in a typical filter containing 80 channels. Such surface filters generally exhibit high retention rates and they are cheap.

- In deep bed traps, the minute obstacles to the flow of exhaust-gas are wide apart from each other and are staggered in depth. Their number is rather high, and hence also the probability that each particle meets with an obstacle. Typical obstacles are micro-fibres with diameters of 5 to 10 microns, and typical total trapping surfaces are around $1'000 \text{ m}^2$. Deep bed traps are usually woven or knitted of glass-fibres, as metallic fibres would be too expensive and prone to oxidation at the high temperatures of operation.

Problems: thermal shocks, regeneration, cost

As a second important result, the literature survey revealed that all traps on the market exhibited serious shortcomings, mainly concerning durability, regeneration, and cost.



Above:
In deep bed traps, the distance between the obstacles to the particles may be several tenths of a mm (1000 times that between the pores of surface traps).

The very high number of obstacles, e.g. micro-fibres, ensures a high probability for each particle impacting with one of the obstacles.

Left:
A knitted fibre trap developed during the first project phase, with the knit-wear supported by a metal cylinder of 3 cm inner diameter. Also visible, an electric lead to an – unsuccessful – heater stimulating soot burn-off.

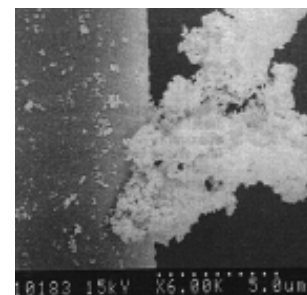
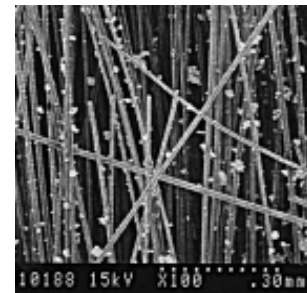
For example, in a fleet test commenced in Germany in 1990, more than 1000 trucks and buses were equipped with ceramic traps – and all monoliths soon suffered damage, especially cracks and ruptures. These damage typical to monoliths is due to thermal shocks when the soot-cake starts burning off, which initially and unpredictably occurs at so-called hot spots. There, temperatures may rise well above 700 °C, causing thermal stress in the ceramic, leading to ruptures and finally to the breakdown of the monolithic structure.

Regeneration, i.e. the removing of soot from the trap, also appeared to be an unsolved problem. As the particulates accumulate in the trap, they increasingly impede the flow of the exhaust gas, hence the back pressure rises, and consequently also the fuel consumption. This, in turn, means more nitric oxides, which legislation demands to be reduced. Hence, the soot cake must be removed.

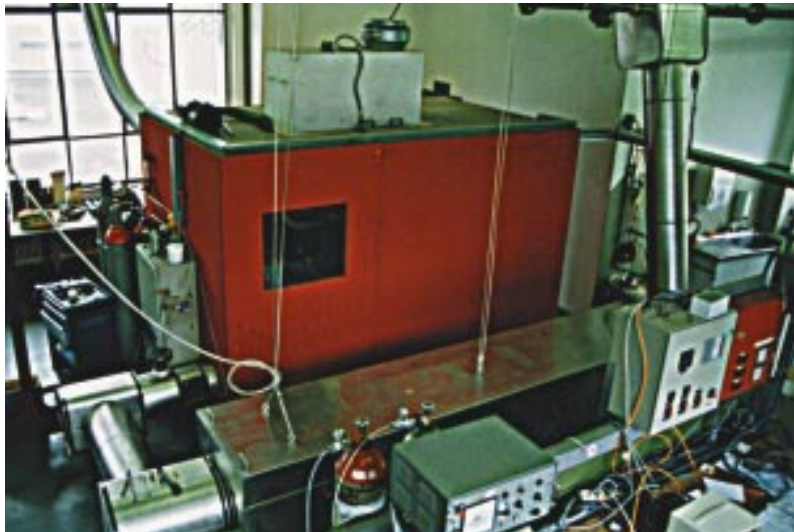
On the one hand, periodical removal by dismantling the trap for mechanical cleaning is out of the question for economic reasons. Apart from that, large quantities of soot would have to be disposed of, as passenger cars produce from 5 to 30 g, trucks up to 80 g per 100 km, and stationary large Diesels up to 350 g per hour, corresponding to 9 liter volume.

On the other hand, cleaning in operation also meets with difficulties. Self-induced burn-off encounters the hot spot problem. And heating externally not only requires substantial additional energy, but also a

Below:
Micro-fibres and soot particles enlarged by the electron-microscope.



The test rig at Weisslingen. The directly injecting 6 cylinder Diesel engine delivering the exhaust gas to the test-bed is accommodated in the cubicle in order to dampen the noise. In the foreground the electronic control for long term test cycles. Originally the plant providing synthetic gas to the test bed was arranged in parallel. For practical reasons later on two independent plants were installed.



second trap serving as a bypass during the burn-off. Such twin traps were already being used in practice, but cost approx. 25'000 DEM per truck. This clearly is beyond the means of the transport business, where no more than 5'000 DEM would be considered acceptable.

Development criteria

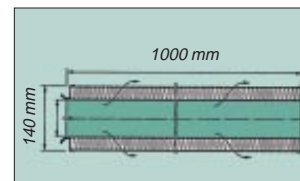
As a result of this survey, which beyond literature studies also included participation in international conferences as well as numerous personal contacts, Hug Engineering established criteria to be met by their own trap developments:

- Mass retention rate of at least 90 %.
- Pressure drop not more than 5 mbar.
- Maximum increase of fuel consumption 5 %.
- Possibility for environmentally safe disposal of trap and soot.
- Cost adapted to the market.

Hug Engineering considered that deep bed traps made of fibres offered the best chances to satisfy these conditions, and, therefore, the project should concentrate on this principle.

Project work was organized in the way of »simultaneous engineering«: specialized university research institutes and industrial producers of traps and materials all contributed, being co-ordinated by Hug.

The first phase of the project was to be devoted to a broadly based effort to approaching »the ideal« trap by pre-testing materials and designs.



Above:
The dimensions of a fibre trap module, or »candle«, as developed during the first project phase.

Left:
In the test bed at Weisslingen several modules are combined to form a parcel adjusted to cope with a high volume flow of exhaust gas (a single module is designed for 500 m³/h). Great attention was paid to low drag and easy dismantling.

The Weisslingen test rig

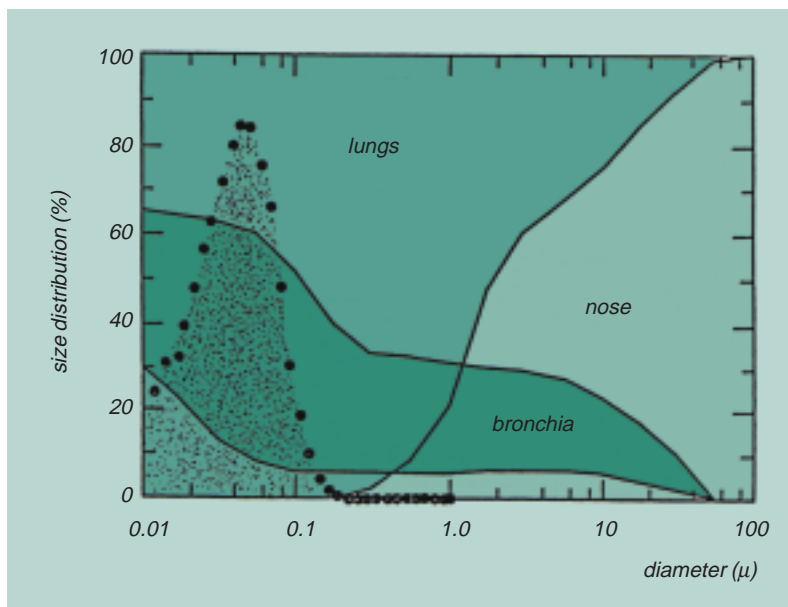
By mid-1992, the test rig at Weisslingen became operative. The test bed for the components and traps to be tested is fed alternatively with exhaust gas from a »real« source, which is a VM 6-cylinder Diesel engine with direct injection, and a »synthetic« one, which is a mixing-battery for gases coming from storage-cylinders. The rig is intended also for long-term tests, and hence it is equipped with a programmable control for various test cycles. The rig is instrumented to measure motor data such as brake power, as well as nitric oxides, hydrocarbons, carbon monoxide and dioxide, oxygen, and soot (according to the Bacharach method, comparing the blackening of paper filters with 10 standard samples, Bosch method and gravimetric method).

On the test rig, preliminary studies were performed on the design of fibre traps, and on their regeneration. Prior to choosing a particular fibre, four different groups of fibre material were evaluated, namely polymers of the Mullite type, furthermore quartz, amorphous silica, and high temperature glass. The last promised to be superior to the others with respect to handling, durability, and cost, and therefore was selected for all investigations.

A standard module, or »candle«, was developed as a perforated cylindrical support of 50 cm length and 8 cm diameter, around which the fibres are packed, and the end of which is closed. Exhaust gas is forced to flow inside-out, thus encountering the lowest possible drag.

Earlier considerations had shown that under normal Diesel exhaust gas conditions – temperature approx. 500 °C, 8 to 10 % oxygen content – burn-off is not achieved. Consequently, all technologies probed attempt to change these conditions in a direction favouring burn-off, like employing additives in the Diesel fuel which lower the ignition temperature of the soot, or electrically heating the candle to raise the

Size distribution of Diesel soot, and deposition of particles in the human respiratory tract. Only 20 % of the total mass of soot have mean diameters of more than 0.1 micron, which size would be well filtered out by the nasal tract. The finer particles are readily deposited in the bronchial tract and in the lungs – contrary to assumptions prevailing until the late 1980s.



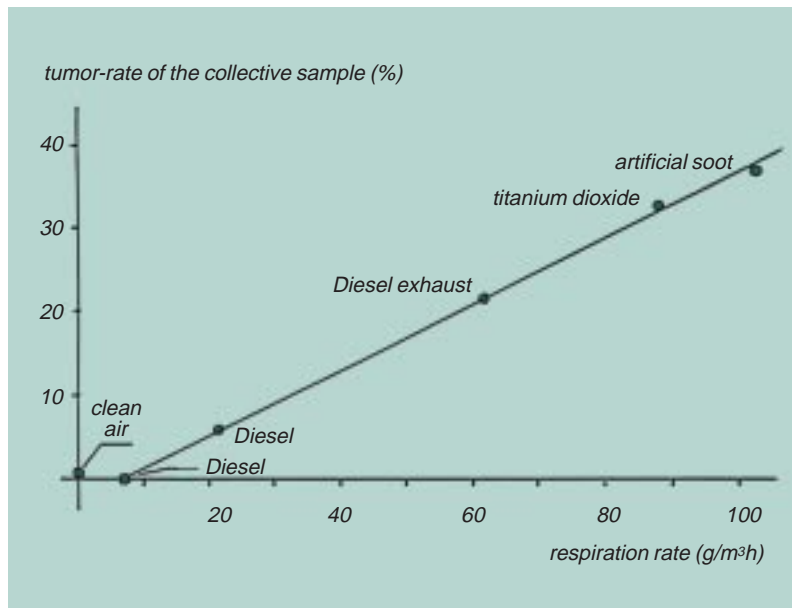
temperature of the exhaust gas to more than 600 °C. However, the only viable method found promising was coating the fibres with metal-oxide catalyzers, thereby reducing the ignition temperature of the soot to approx. 400 °C.

Summing up, by mid-1993 the first project phase had shown that fibre traps had the potential to fulfil the criteria for a generally sound and acceptable Diesel particulate trap, despite the fact that so far the pressure drop was of the same order of magnitude as with ceramic monolithic filters, which is too high.

Cancer evidence

Also in 1993, while the project work was ongoing, new results of medical research on the health effects of Diesel particulates became known to the specialist's world. Until then, the automobile industry and other bodies concerned with Diesel engines, generally had maintained that human lungs were not affected by Diesel particulates: particles smaller than 1 micron would be exhaled, those larger than 10 microns filtered out by nose and bronchia, while those in between would possibly be deposited in the lungs, but not be harmful. This view was based on diagrams which show a decrease of deposition in the respiratory tract when the particles approach 1 micron. This trend was simply extrapolated, but not verified experimentally, towards smaller diameters.

However, recent worldwide research extending measurements to finest particle sizes revealed that there exists a minimum retention rate around 1 micron, followed by a steep ascent towards smaller diameters. Furthermore, it was verified that not polycyclic aromatic



Irrespective of their origin, fine particles with diameters less than approx. 0.1 micron are carcinogenic. The evidence given here from the exposure of rats is supported by experiments with human lung tissue, and by recent epidemiological surveys.

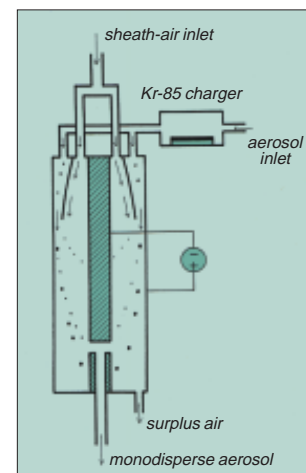
hydrocarbons (PAH) adsorbed to the particles were responsible for any adverse effects, as had been suspected, but rather the particles themselves. The new knowledge, supported by the findings of epidemiological studies, in brief:

- The tumor rate in rats is proportional to the intensity and duration of their exposure to Diesel exhaust gas.
- Diesel particulates, artificially produced soot, and finest dust like titanium-dioxide all have the same effect.
- The effect can also be observed in cells of human lung tissue.
- Soot particulates are conglomerates of ultra-fine carbon particles of near-molecular size.
- Particulates smaller than 1 micron enter into the finest alveoli, where they settle on humid surfaces and block off the alveoli.
- Not being dissolved, these particulates are bio-incompatible, accelerating biological processes and thus causing cancer.

No threshold value of particulate concentration had been found. Assuming a threshold of 2 mg/m³, and present-day Diesel emissions, cancer experts estimated the mortality risk of the population to be of the same order of magnitude as that from road accidents.

Need of traps for finest particles

Beyond any doubt, this news would accelerate the introduction of stringent legislation, no longer limiting only the quantity, or total mass, of the particulates, but stressing the retention of the finest particulates. Such expectations provided another boost to the world-wide development of particulate traps, because primary measures would never suffice to reduce particulates to future limit levels. All the more,



To determine the size distribution of exhaust particles, the exhaust gas passes into a chamber, where the aerosols are electrically charged by a krypton-85 source. Falling down the analyzer tube, only a certain size will be forced through the bottom centre slot, depending upon the voltage applied between wall and axis of the tube. The other particles are carried away by the sheath air.

The test rig at the Institute of Energy Technology at the ETH Zürich: at left the engine and trap, in the centre the measurement electronics, at right the cockpit permitting the performing of a variety of test cycles.



as Diesel development has been resulting in more and finer particulates, caused by direct injection at increased injection pressure.

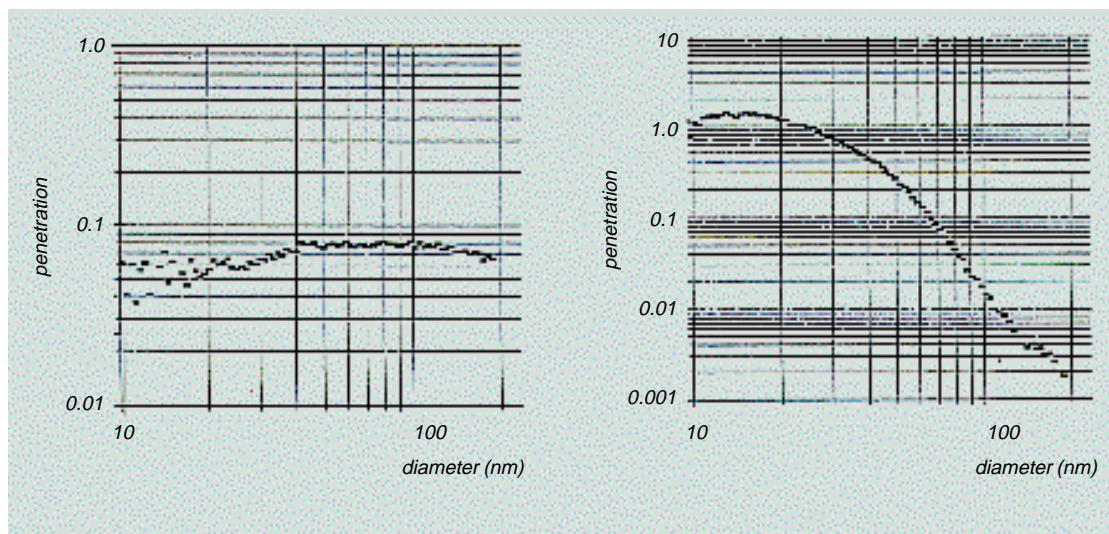
Reacting to the new situation, at the end of 1993, Hug Engineering re-designed their project to concentrate on fibre traps with high retention rates especially for particulates smaller than 10 nm (nanometers). The choice of fibre traps was based not only on the results of the first project phase, but also on findings in the USA that the retention capability of ceramic monolithic traps dropped markedly towards smaller particle sizes.

The IET test rig

Measurements on the test rig in the Institute of Energy Technology, IET, of the Swiss Federal Institute of Technology Zürich (ETHZ), were performed in the spring of 1994. Four fibre traps developed during the first project phase were tested, and two ceramic monolith filters for comparison. Generally serving for dynamic drive tests of vehicle engines, the test rig was equipped with a 1.6 l swirl-chamber Diesel engine as used in VW passenger cars. Its total particulate concentration in the exhaust gas of approx. 100 mg/m³ was considered rather low for a vehicle engine.

To evaluate the measurements, the earlier standard methods relying on optical judgement, like the Bacharach test, were replaced with the gravimetric method which originated in the USA. In this gravimetric method, after diluting the exhaust gas, the particulates are trapped in standardized filters, and weighed up to a precision of $\pm 1.5\%$.

However, evaluation of the measurements suffered from the fact that the swirl-chamber engine produced particulates mainly around 100 nm diameter, and hardly any smaller than 50 nm. Furthermore, as the traps were not successfully regenerated during operation, back



pressure mounted rapidly, thus impeding comparisons.

Yet, this second project phase verified the superiority of the fibre filters regarding the retention of fine particulates: whereas ceramic monoliths achieve gravimetric retention rates above 95 %, the retention of fine particulates not only dropped drastically as the trap was loaded with soot, but the number of fine particulates even increased (a result supported by the findings of the Swiss Authority for Accident Insurance, SUVA, and to be explained by the conglomerate nature of the soot). In contrast, fibre traps retained more than 93 % of all particulates, and up to 99 % of the fine fraction.

Typically for the fibre traps developed, the penetration (ratio of particles after and before trap) remains equally low for all particles sizes. The surface trap, in contrast, allows the penetration of practically all fine particles smaller than 0.1 micron, and even more particles exit than have entered because larger soot grains break apart inside the trap.

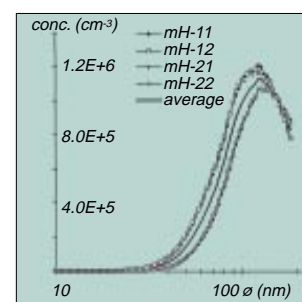
Improved experimental facilities

To eliminate the experimental restrictions encountered in phase two of the project, Hug Engineering initiated a third phase, which was once more supported by the NEFF, and commenced in mid-1994.

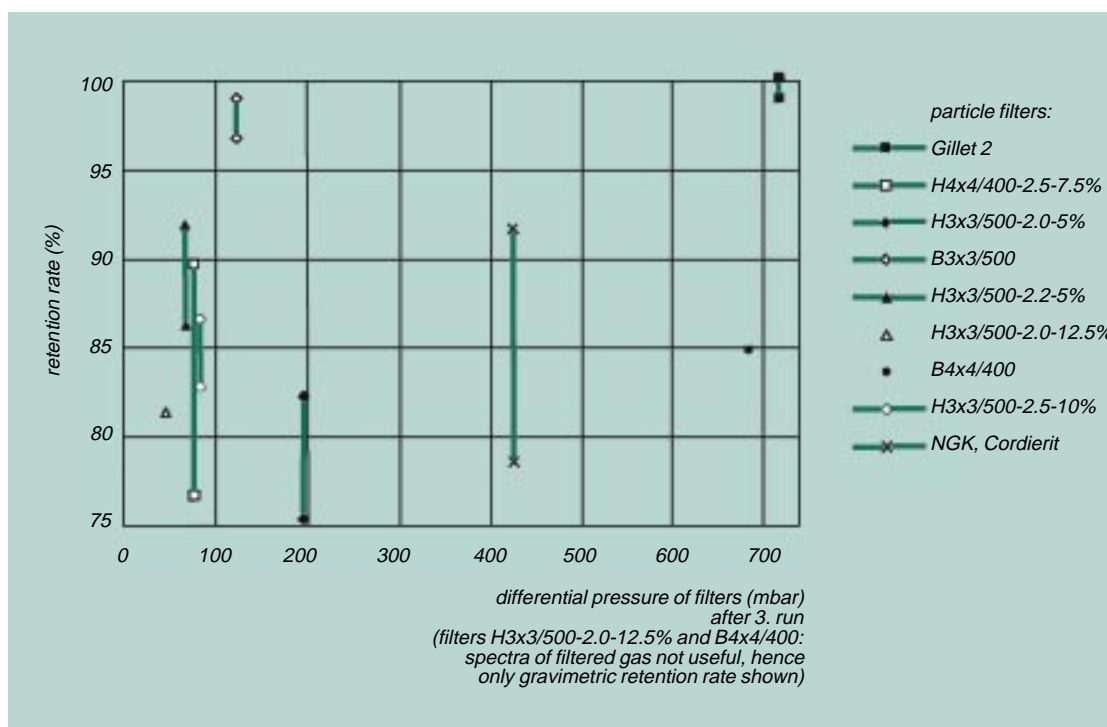
Now the test-rig at the IET was equipped with a 5-cylinder 2.5 l turbo-charged Diesel engine, by Audi. In order to increase emissions and raise the exhaust gas temperature to a level permitting regeneration, the turbo-charger was bypassed, and the charging-air cooler as well as the catalyzer were dismantled.

The Institute of Solid State Physics (ETHZ) specializing in the measurement of fine particulates, undertook to modify the method for determining the number of particles, to allow the separation of »dry« genuine soot particles from »wet« aerosols loaded with hydrocarbons which were generated in the trap.

The traps to be tested comprised, once more, two commercial ceramic monoliths serving as references, several different models of woven fibre traps, and a number of knitted fibre traps. The fibres were made from high-temperature glass and were 6 microns in diameter,



The size distribution of the soot in the exhaust gas of the Audi direct injection engine (without filter, measured at 2000 rpm, and heated) – at higher load the number of particles increases.

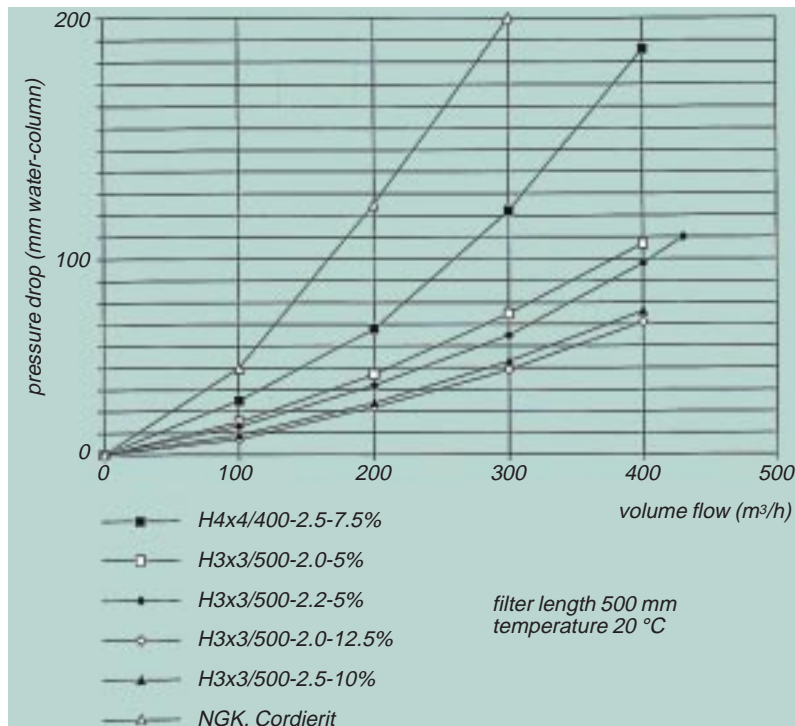


A so-called trade-off diagram, relating the retention rates and pressure drops of all traps measured during the last project phase. Ideally, a trap exhibits a high retention rate and a low pressure drop. While one ceramic monolithic trap retains well, but at very high pressure drop, and the second does poorly in both respects, the best of the knitted fibre traps perform closely to the ideal.

giving each trap a total active surface of approx. 1'000 m², against approx. 1 m² of the ceramic traps. The coating of the fibres with catalyzers was performed at the University of Erlangen, Germany, and was aimed at considerably reducing the burn-off ignition temperature of the soot (without coating, burn-off would set in around 530 °C, and come on fully at 620 °C).

The results of the numerous runs performed on the IET test rig in the autumn of 1994 can be summed up as follows:

- The surface traps, i.e. the ceramic monoliths, show good to excellent retention as measured gravimetrically. With respect to fine and finest particulates, the inherent weakness of the ceramic monoliths was confirmed.
- The deep bed traps, i.e. fibre filters, repeated their excellent mass retention performance of up to 96.8 % during the second project phase. Retention of fine particulates differed up to one order of magnitude, with the best traps reaching an excellent 99 %. Back pressure had come down from the 300 to 600 mbar of second project phase models to an acceptable 100 mbar.
- Coating with catalyzers was successful in so far as regeneration really took place during operation. However, regeneration did not occur continuously, but rather periodically. Such an oscillation between loading with soot and burn-off appears to be intrinsic to this technology. For practical application, the reduction of the burn-off temperature is not yet sufficient, but should be achievable with some more research.
- Whereas all the above results were measured at the same opera-



The pressure drop strongly depends upon the volume flow of the exhaust gas. Again, one of the ceramic monolithic traps shows the highest values, whereas the best knitted fibre traps remain at low levels, rendering them suitable for practical application. Measurements were performed on candles 500 mm long (monolithic trap 400 mm), at 20 °C. Exhaust gas flow was inside-out.

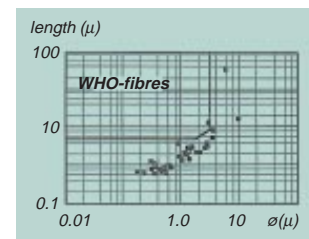
tingpoint of the engine, namely at 2'000 rpm and 4 bar medium cylinder pressure, the only dynamical test was run along the complete FTP cold cycle, with a fibre trap. The best of the fibre traps would have satisfied even the Californian Low Emission Vehicle (LEV) standard value.

Conclusions

Apart from these parameters – retention rate especially for finest particulates, back pressure, regenerability, and bio-compatibility – practical traps have to meet a number of other conditions which were not experimentally investigated in the framework of this project: cost, size (to fit into engine compartments), mechanical resistance to vibrations and thermal shocks. Yet, in the final report of the project delivered in mid-1995, Hug Engineering drew conclusions also regarding the latter factors:

- Due to the elasticity of the woven, or knitted, fibre structures, they are completely vibration- and thermal-shock-proof.
- The flexibility of fibres and structures enables such traps to be adapted to almost any spatial conditions.
- Thanks to the low cost of glass fibre, and the simplicity of the structure, such traps should be producible at competitive prices.

In view of recent evidence showing that the exhaust gas of gasoline engines equipped with 3-way catalyzers also contains fine particulates, traps should be a major issue for some time to come.



A point of interest when employing micro-fibres is their potential health-danger. For the glass fibres used in the traps, this was investigated by the Institute for Bio-Compatible Materials at the ETHZ. Their findings place these fibres, or rather broken residues which could escape from the trap into the atmosphere, clearly outside the ranges of diameter and length defined by the World Health Organisation (WHO) as being dangerous to human lungs.

Project no. 544

Energy saving in ventilation systems by recirculating and filtering air

A comparison of the recirculation system to conventional ventilation systems, the latter with and without heat recovery, was made with respect to energy consumption and costs. Calculations were performed, and field measurements were carried out in three typical applications, namely hotel, restaurant, and shopping centre. The results show that recirculation has by far the least energy consumption, mainly due to its zero heating demand. For the same reason, overall costs are also approx. 20 % lower. Air quality, the critical parameter of recirculation, was judged »good« by independent field measurements. The methods developed for comparisons between the ventilation systems can easily be transferred and applied to other cases.

Design goals:

clarify, in particular cases, possible energy savings and air quality of recirculation as compared to conventional systems

create general methodology for estimating energy savings by recirculation

In the 1980s, Felix Kalberer, energy consultant at Sargans, designed a ventilation system for buildings which he called »recirculation«. In conventional systems, outdoor air is sucked in, then heated or cooled as necessary, and subsequently transported to the rooms. Finally the entire volume-flow – the return air – is exhausted to the outside. Older systems have no heat exchanger, hence all the energy used to heat or cool the air gets lost. More recent systems include heat exchangers which transfer part of the energy from the outgoing, or exhaust air, to the incoming outdoor air, thereby saving considerable amounts of energy. Kalberer's system, also known as FEKA, mixes return air with outdoor air by means of controlled ventilation flaps, the mixture depending upon the desired temperature of the supply air. The return air required for the mixture is called »recirculated« air, and the system »recirculation«.

Energy balance and air quality?

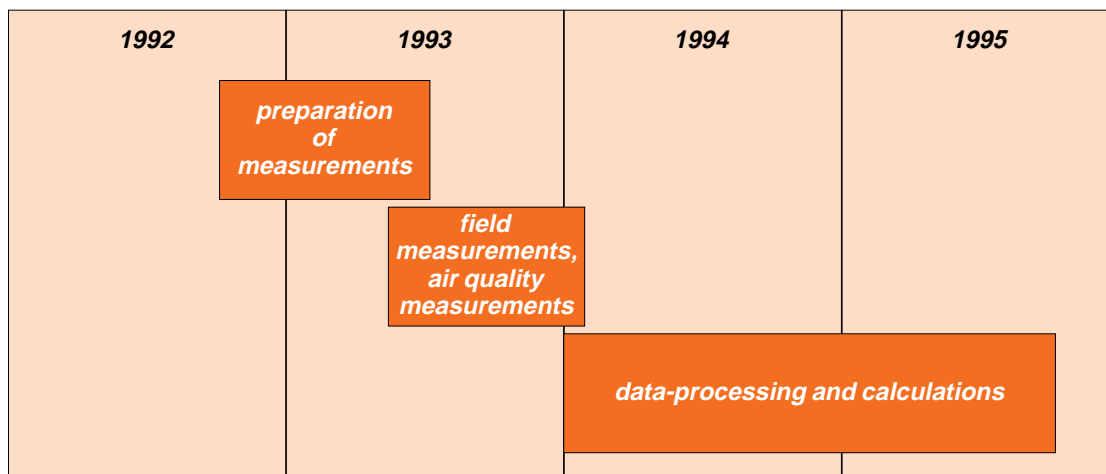
Applications:

all buildings with forced ventilation/air-conditioning, e.g. hotels, restaurants, shopping-centres, fitness-studios

limitations in cases of strong noxious emissions, e.g. in chemical factories

By the early 1990s, more than 50 recirculation plants had been installed. None of them requires any heating of the outdoor air, even if the temperature of the outdoor air is below the desired value of the indoor air. This is owing to the fact that the return air was warmed up by »internal sources« such as people (approx. 100 W per person) or office machines. The heat content of the recirculated air then suffices to adjust the temperature of the supply air. If the outdoor air is warmer than the indoor air ought to be, recirculation, as with conventional systems, needs cooling of the supply air. The absence of heating requirements for the outdoor air suggests that the recirculation system overall saves energy in comparison to conventional systems.

However, FEKA employs an electrostatic filter to remove dust and particulates, and an activated carbon filter to adsorb toxic and odorous gases contained in the mixed air. In order to pump through the air, the



ventilators consume more energy than those in the conventional systems. How do the energy balances compare? And what about air quality? Though FEKA plants are essentially designed and dimensioned according to the same principles as suggested by the SIA, the Swiss Association of Engineers and Architects, this question was asked frequently: Does mixed air really satisfy the Swiss hygienic standards?

Kalberer believed his recirculation system to be superior with regard to energy consumption, and at least comparable with respect to air quality. The market, however, demanded precise data. Hence Kalberer joined forces with Tergeso AG at Sargans, consultants for environmental engineering, and together they devised a research project to answer those questions. Financial support was granted by NEFF, which judged the project to be important in the light of recent developments. It had been shown in Switzerland and abroad that the air exchange by infiltration and ventilation accounts for 20 to 50 % of the energy consumed for heating or cooling in public and residential buildings. This percentage even keeps increasing with the continuing progress in the air tightening and heat insulation of buildings, which reduce heating demand. In addition, more and more buildings are being equipped with ventilation or air conditioning systems. As a consequence, interest in such energy saving systems is growing (as is the number of new systems or variations of existing ones).

Measurements ...

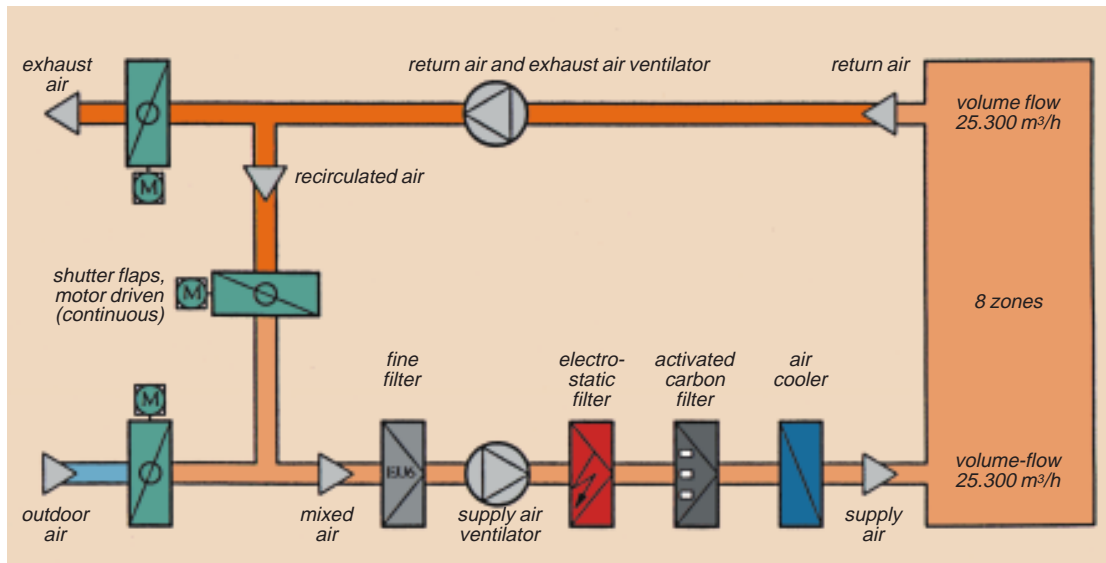
Project-work commenced in October 1992. The comparison between the recirculation system and the most important conventional systems, with and without heat-recovery, was to be performed both by field measurements and calculations. Proof of the air quality solely was to rest on field measurements.

After thorough preparation, field measurements on three recirculation plants took place in 1993 and 1994. At the same time field investigations of air quality were performed. Calculations of energy requirements and costs of equivalent conventional plants were finished by autumn of 1995.

Definitions:

A recirculation system mixes return air from ventilated rooms with outdoor air in proportions depending upon inside and outside temperatures. The entire flow of mixed air is cleaned from dust and pollutants by filters.

In conventional ventilation systems all return air is exhausted, and the entire supply air is taken from outside. Some of the heat in the return air can be transferred to the supply air by heat exchangers. Elaborate filtering is not foreseen.



Principle of the recirculation system, as shown here by the example of the plant in the hotel. The plant supplies eight zones of different use:

- 1 lounge, floor, toilets
- 2 winter garden (breakfast room)
- 3 beauty salon, hair dressers
- 4 fitness centre
- 5 wardrobe, information
- 6 billiards, bowling
- 7 library
- 8 floor

The volume-flow is 25'300 m³/h at maximum. Air is admitted to the zones and rooms by displacement ventilation.

Three buildings typical for employing ventilation were chosen: a hotel (excluding restaurants), a restaurant, and a shopping centre (all considerations are equally valid for air conditioning). These sites were instrumented with measuring devices to determine approximately 50 parameters important for the comparison:

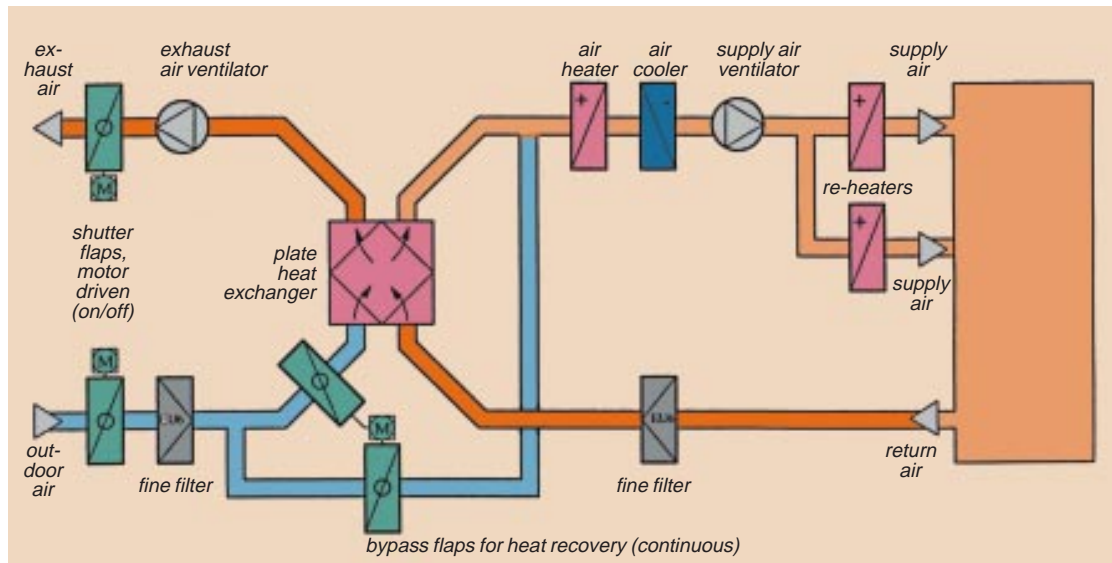
- temperatures of outdoor air, mixed air, supply air, indoor air, and return air;
- relative humidity of outdoor air, supply air, indoor air, and return air;
- volume flow of supply and return air;
- flow velocity of the outdoor air in the duct;
- positions of the shutter flaps for outdoor air, exhaust air, and recirculated air;
- mode of ventilators for supply air, return air, and exhaust air;
- electricity consumption of the ventilators;
- energy consumption of cooling;
- energy consumption of heating.

Measurements of these parameters were recorded every 15 minutes, and, in addition, various measurements were made only once, for example of the power consumption of the electrostatic filter.

... and calculations

The calculations were based on the model of replacing the recirculation plants in the three sites by conventional systems giving the same results. Principally, this means that volume-flows are about equal. Generally, where assumptions had to be made, parameters were chosen to be conservative, i.e. rather to the disadvantage of the recirculation system.

Energy requirements for heating and cooling were computed on the basis of long-term annual averages. Long-term averages, rather than



the values measured in the context of the project, had to be chosen, because outdoor air temperatures can vary considerably from one year to the other in Switzerland. The average temperature of the return air was assumed (in agreement with measured values) to be 24 °C in winter and 25 °C in summer, and of the supply air 20 °C all year round.

Comparisons of energy consumption ...

The hotel, a four-star establishment, had been equipped with a FEKA plant just a few years before. The ventilated net area of 1423 m², with ceiling heights between 3.3 and 3.8 m, is subdivided into eight ventilating zones. All of them are supplied from the same plant at a total rate of 25'300 m³/h.

The volume flow is varied in time according to a daily routine schedule. From midnight till 6 a.m. the plant is running on reduced power or not running at all, in total 0.6 hours (out of 6), yielding an average capacity utilization of 10 %. From 6 a.m. till 8 p.m. the corresponding figures are 13 hours (out of 14) and 93 %, from 8 p.m. till midnight 1.7 hours (out of 4) and 41 %. Hence daily averages are 15.3 hours or 64 %.

If the hotel had a »conventional with«, i.e. with heat recovery, this system would be favourably divided into several independent plants, otherwise the heat exchanger could not be fully utilized. If the heat exchanger were controlled according to the zone of highest heat demand, other zones would overheat.

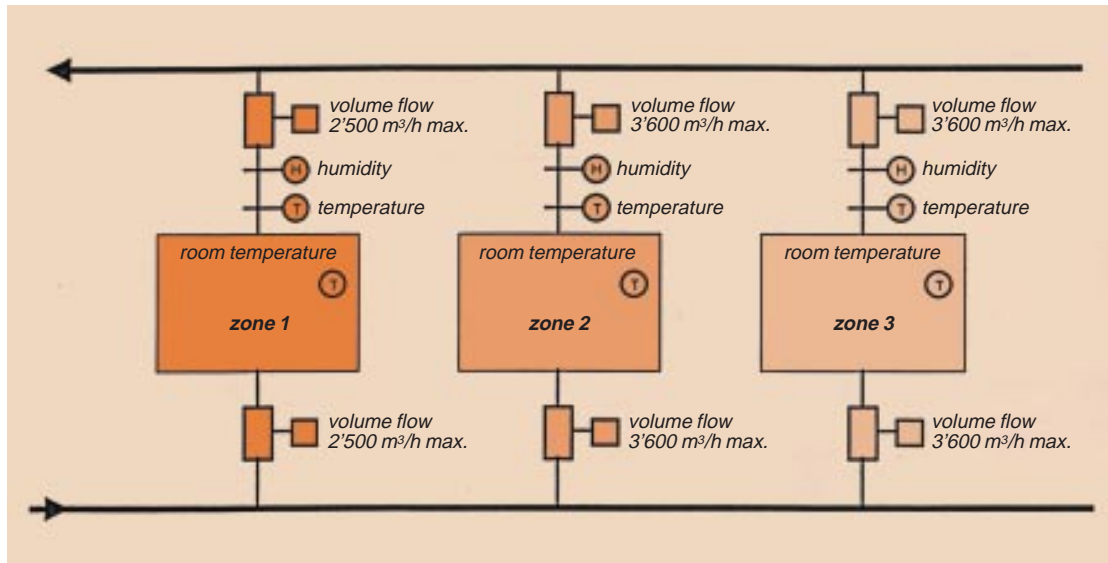
The annual heating energy requirement for »conventional without« heat-recovery was computed as 502 MWh or 577 MJ/m², for »conventional with« 201 MWh or 231 MJ/m². The value for recirculation is zero, for reasons explained earlier.

An equivalent conventional ventilation system with heat recovery would have to comprise four plants of the above design:

- one central ventilation (for zones 1, 2, 5, 7, 8)
- one each for beauty, hair-dressers (zone 3), fitness centre (zone 4) and billiards, bowling (zone 6)



Activated carbon filters – the carbon is contained in the tubes – should be dimensioned generously for economic reasons, as this lowers the pressure drop and thus requires less ventilator energy.



Part of the plan to measure energy requirements of the recirculation plant in the hotel, covering zones 1 (floor, lounge, toilets), 2 (winter garden, cafe, breakfast room), and 3 (beauty, hairdresser's), all of which are situated on the ground floor. In this partial plan monitored parameters are volume flow, air temperatures, and relative humidity.

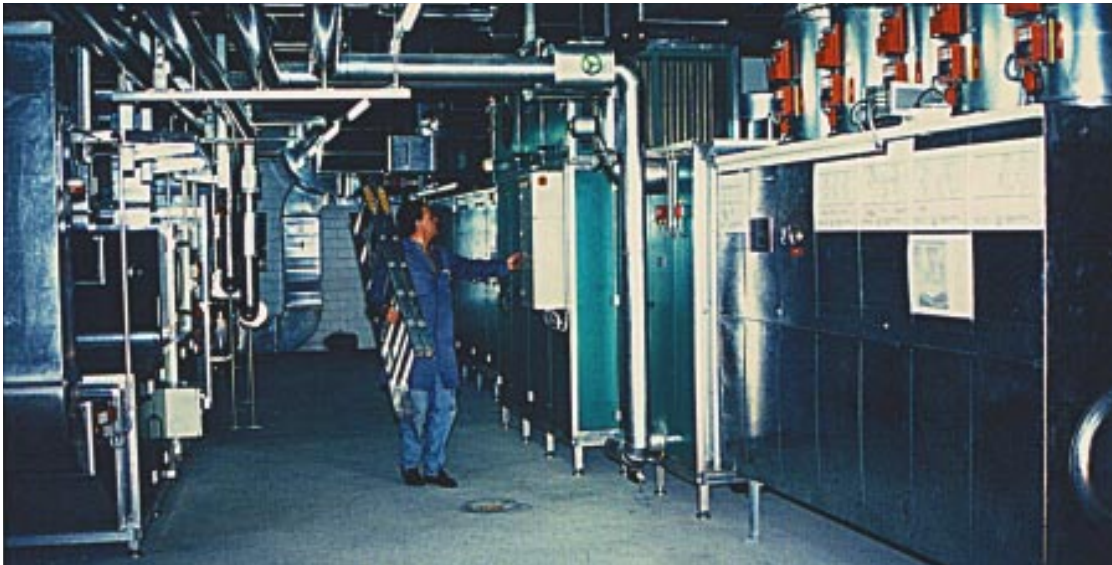
The figures for the cooling energy requirement of »conventional without« are 13.8 MWh/a or 16 MJ/m². and for »with« 12.2 MWh/a or 14 MJ/m².a. Here recirculation ranks slightly better at 11.1 MWh/a or 13 MJ/m².a, for these reasons. As long as the outdoor air is warmer than the supply air, in a conventional system the entire air volume has to be cooled. In the recirculation system there are two possibilities. As long as the outdoor air is still cooler than the return air, outdoor air is used as in the conventional systems. If the outdoor air is warmer than the return air, outdoor air is reduced to 10 to 15 % of the volume-flow, requiring cooling mainly for the somewhat cooler return air.

To avoid unnecessary heat losses, the space heating is shut off by the controls when the recirculation system sucks in cold outdoor air. Hence, the outdoor air is not heated, and the energy consumption for space heating is not increased. As a side effect, in a recirculation system peaks of cooling power are not as high as in conventional systems. Consequently, recirculation systems can be designed with less powerful refrigeration equipment.

The ventilators in recirculation consume slightly more electricity than in »conventional without« – 106 vs. 100 MWh/a, respectively – because the entire volume of mixed air has to be pumped through the filters in addition to the normal circulation. For »conventional with«, 117 MWh/a indicate that the pressure drop in the heat exchanger, in the air heater, and in other components is higher than in the filters of the recirculation system.

And whereas recirculation requires another 3.2 MWh/a of electricity for the electrostatic filter, the corresponding figure for the conventional systems naturally is zero, as they do not employ such a filter.

Overall, the energy requirement of recirculation is approximately half that of »conventional with« (which in turn again is much less than that »without«, hence the latter can be dropped from all considerations).



... and costs

This is naturally reflected in the operating costs. To compute these costs, actual local prices were adopted, for example 0.05 CHF/kWh for both heating and cooling, and 0.13 CHF/kWh for electricity. On this basis annual operating costs amount to 19'114 CHF for recirculation, and 29'070 CHF for »conventional with«. The difference is somewhat smaller than that for the energy-consumption because recirculation has slightly higher costs for filters and their service.

This applies also for part of the investment costs, namely the so-called »air handling unit« – comprising filters, heat exchanger, ventilators, air heater and air cooler. However, the remainder of the recirculation plant costs 704'703 CHF, which is 7 % cheaper than an equivalent »conventional with« system. This is owing mainly to the absence of a heat supply and to the much simpler control in recirculation.

Calculated along the annuity-method, on the basis of 20 years service life, 6 % interest and annual maintenance costs of 2 % of the investment, total annual costs of the hotel's recirculation plant amount to 94'647 CHF, 14 % lower than for »conventional with«.

Energy consumption, investments, operating costs and annual costs of both the restaurant and the shopping centre all show similar relations between recirculation and »conventional with«, with even greater advantages for recirculation.

In the central part – the air handling unit – of the hotel's recirculation plant all air ducts merge: in the background at right, racks containing flaps for mixing recirculated air with outdoor air; in the centre at right, filter racks, and in the foreground at right, air distributors to each zone.

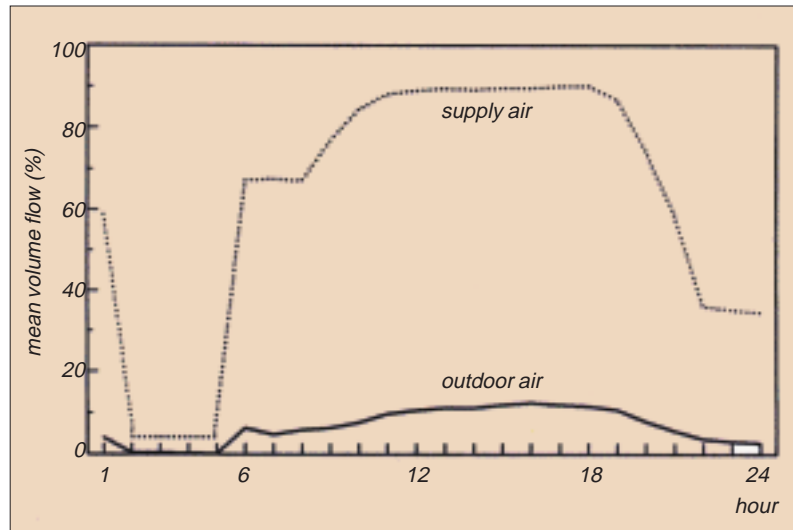


Detail of the ventilation centre in the hotel: volume flow controls in the ducts for the return air.

Measurements of the volume flow, which is related to the energy-consumption, in the hotel:

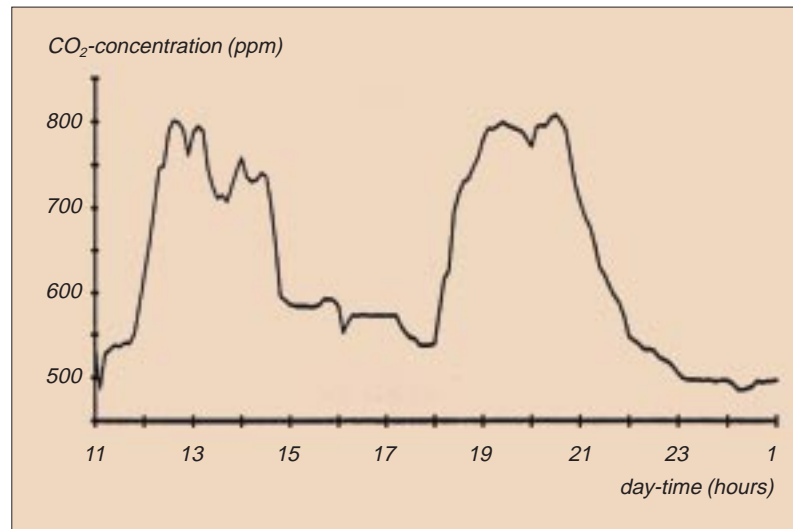
In the course of an average day in January, 1994, volume-flow of the supply air varies between almost zero and 100 %, reflecting the occupation of the ventilated rooms. From shortly after midnight until 5 a.m. there is hardly any »traffic«, and hence the plant runs at its minimum. In the course of the morning guests come and go, consequently volume-flow increases and remains high until late evening. The heavy occupation requires an increased percentage of outdoor air to be mixed into the return air.

During the day shown, outside-temperatures were between 1 and 5 °C, while the temperature of the supply air remained rather constant at 20 °C, and that of the return air oscillated between 23 and 25 °C.



Measurements of air quality in the restaurant:

The CO₂-concentration on a day in January, 1994, strongly reflects the guest occupancy. During lunchtime and dinner, CO₂-concentration and occupancy rise parallel to each other, in the afternoon occupancy is low. Top CO₂-concentrations at 800 ppm or 0.08 % have to be compared to the recommended maximum value of 1'500 ppm. The rapid decrease after the rush-hours proves that ventilation is good.



Proof of air quality

To answer the open question about air quality, experts of the »Institute for Hygiene and Workplace-Physiology« (IHA) of the Swiss Federal Institute of Technology Zurich (ETHZ) performed measurements in both the hotel and restaurant. To be representative for typical conditions in both summer and winter, the programme was carried out in May 1993 and in January 1994. Four »recirculated« zones of the hotel and the restaurant were monitored for at least 24 consecutive hours.



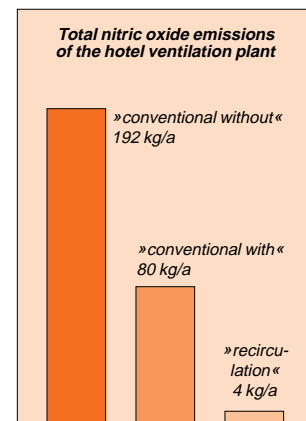
Above the stairs, on the left, in the hotel, the grills on the right-hand side are supply air units, while the grills on the left-hand side are only decorative and serve to maintain the architect's balanced design.

The final IHA-report states: »With a maximum of 1'100 ppm and a highest daily average of 800 ppm CO₂-concentrations were below the recommended value of 1'500 ppm. Daily curves show a rapid decrease once the rooms were no longer occupied, reflecting efficient ventilation. Air temperatures were rather high at daily averages between 22.3 and 24.7 °C. During daytime, relative humidity was always in the range of 30 to 50 %.«

A somewhat higher concentration of oxidizable gases in the hotel's hairdresser's zone and in the restaurant has to be attributed to sources of air pollutants – like hair sprays or smoking – in these rooms. Levels of dust and volatile organic compounds (VOC) were low, and concentrations of nitric oxides were found to be lower than in the outdoor air. »Altogether, the air quality with respect to the parameters checked can be judged good.«

Where there is highly polluted outdoor air, for example, in cities, the recirculation system provides better indoor air quality than other systems (which are being equipped ever more with activated carbon filters).

The results of this project in a nutshell: recirculation has considerably less energy consumption than conventional systems, and also annual costs are considerably lower. Thanks to the filters, which remove a large spectrum of air-pollutants, recirculation is not at a disadvantage with respect to air quality. These results can be transferred with little effort to other plants and buildings.



In the course of the project, a simplified environmental life cycle assessment was made, i.e. a comparison of the total emissions into air and water between recirculation and conventional plants.

The emissions of nitric oxides into the air, as shown here, exemplify most of the pollutants – recirculation has by far the lowest emissions, corresponding mainly to the savings in the energy consumption for heating.

Project no. 557

Development of a façade system with integrated solar cell modules

A low-cost, easy-to-install photovoltaic system of façade modules was the target of a research project initiated by Alusuisse Technology & Management Ltd. in 1992. The system was to be based on solar cells bonded to aluminum-polymer-aluminum sandwiches. As a result of feasibility studies and initial fabrication tests, the concept of the monocell-module emerged: A module contains one single cell of amorphous silicon utilizing the sandwich-metals as current leads and has its own ac/dc-converter. While development of such a converter prompted a special project, fabrication of monocell-modules was halted by problems with cell material supply. As a consequence, further project work centered on systems aspects and returned to crystalline silicon cells.

Research target:

a system of photovoltaic façade modules

with solar cells bonded to aluminum polymer aluminum sandwich plates

low cost due to continuous production, simplicity, and easy installation

What seemed a fairly straightforward undertaking in the beginning in 1992, by the end of 1996 prompted the conclusion that »a final definition of the system is not yet possible, neither with respect to the type nor to the suppliers of the solar cells«. In the course of those five years, the research project had assumed an interdisciplinary character of unexpected and branching-out complexity.

It all started in 1991, when Alusuisse Technology & Management Ltd., Neuhausen am Rheinfall, envisaged a combination of solar cells with their ALUCOBOND® system of façade modules. The latter elements are sandwiches formed by a polymer plate covered on both sides by aluminum sheets, and they are mounted on façades by means of simple vertical and horizontal aluminum profiles. The reasoning behind this idea: If photovoltaics, »PV«, are to have a future, solar cells must be integrated into buildings, either roofs or façades, because such integration does not require scarce and therefore expensive land. In densely populated Switzerland, for example, more than 100 km² of façades and roofs are judged PV suitable, theoretically able to produce much more than the country's present electricity consumption.

Applications:

façades, especially of public, office, and business buildings

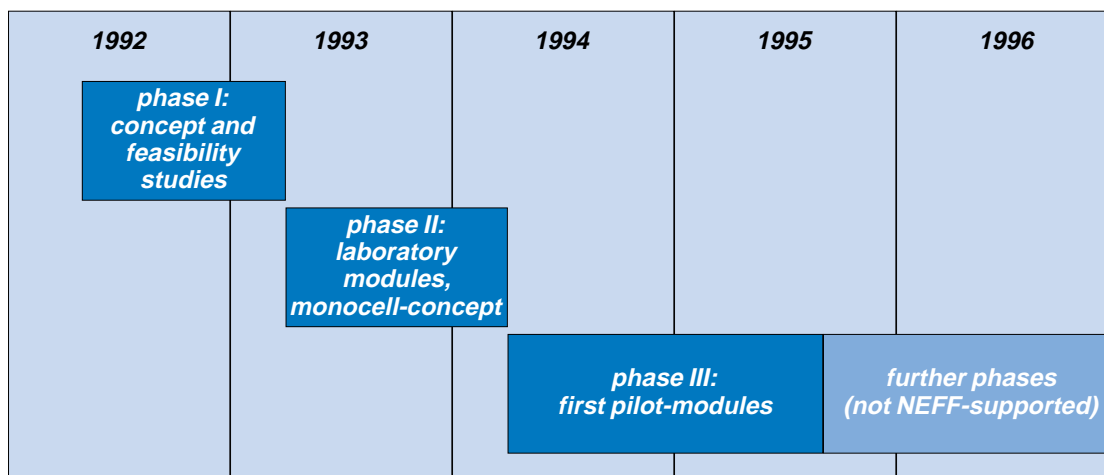
roofs of same buildings

generation of electricity for building and/or grid

Phase I: concept and feasibility studies

Apart from a very few exceptions, PV products and systems on the market have rather limited flexibility and aesthetic appeal with respect to architectural applications. Equally important, even »integrated« PV installations are by far too expensive to be competitive with conventional electricity production. Hence cost reduction was a significant part of the target. This can be achieved to a certain extent by mass production, and beyond that by appropriate design.

Being specialists on aluminum, Alusuisse invited the Swiss PV experts of Enecolo Ltd., Mönchaltorf, Elektrowatt Engineering International (EWI), Zürich, and Paul Scherrer Institute (PSI), Würenlingen, to join a research team. Together they conceived a four phase



approach. The NEFF agreed to financially support the first three phases, then the Swiss Federal Office of Energy Economy (BEW) would take over. With the targeted system-module based on the ALUCOBOND® composite, and destined to utilize solar energy, it was named ALUCOSOL.

The project's phase I, conceptual and feasibility studies, was commenced in the spring of 1992.

- In order to avoid future compatibility or design problems, the most wide-spread façade systems on the market were compared with regard to their PV adaptability along general criteria like aesthetics, maintenance, resistance to climate, and costs, and along PV aspects like self shadowing, and accommodating cable ducts. Against mineral fibre panels, structural glazing, and metal façades, ALUCOBOND® emerged a narrow first on the grounds of its combining lighter weight and stiffness, the latter rendering superfluous a special frame and thereby saving cost.
- Thorough technological, economical and ecological evaluation of present and near future PV systems favoured amorphous silicon solar cells, excluding promising cell materials like Gallium-Arsenide or Cadmium-Telluride on the grounds of the toxic fumes emitted in case of fire. Amorphous silicon proved superior to crystalline because it requires much less material and energy, though being inferior with regard to efficiency (5 – 7 % and 12 – 15 %, respectively).
- Initial architectural studies resulted in a maximum module length of 125 cm, and optimum module step width of 34 cm. An accompanying conceptual study of conceivable systems technologies prompted the idea of the single- or monocell module – instead of conventionally building up the module with a number of small solar cells connected in series, one single cell would offer advantages with respect to aesthetics, electric connection, and continuous production.

From May 1992, until March, 1993, the concept of the PV façade system was worked out. During phase II, from April 1993, until March 1994, extensive testing was carried out on bonding crystalline solar cells onto aluminum, and protecting the solar cells. Also, the concept of the mono- or single cell module based on amorphous silicon was developed and selected as the target. Then the first pilot modules were prepared and tested. Beginning in September, 1995, the project was no longer supported by the NEFF, but by the Swiss Federal Office of Energy, (BEW), while the project work had to be re-defined due to problems with the supply of suitable amorphous silicon cells.

Characteristics of a projected standard module:

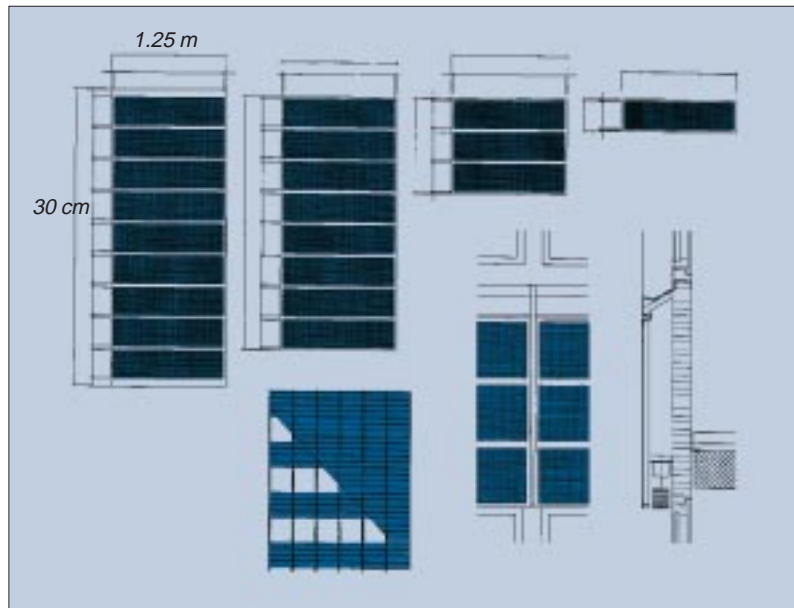
area 0.5 to 1.0 m²

amorphous silicon monocell on ALUCOBOND® sandwich

electric power 100 W at approx. 1 V and 100 A dc

one special dc/ac-inverter plug-in connection to grid

Architectural studies resulted in a module size of 125 cm x 34 cm, with the cell area being 120 cm x 30 cm. With such modules, all common façade elements can be constructed. Upper row: fully covered façades (1st and 2nd from left), ramparts (3rd), store-boxes (4th). Lower row: façade with and without windows (1st), details of a rampart (2nd and 3rd).



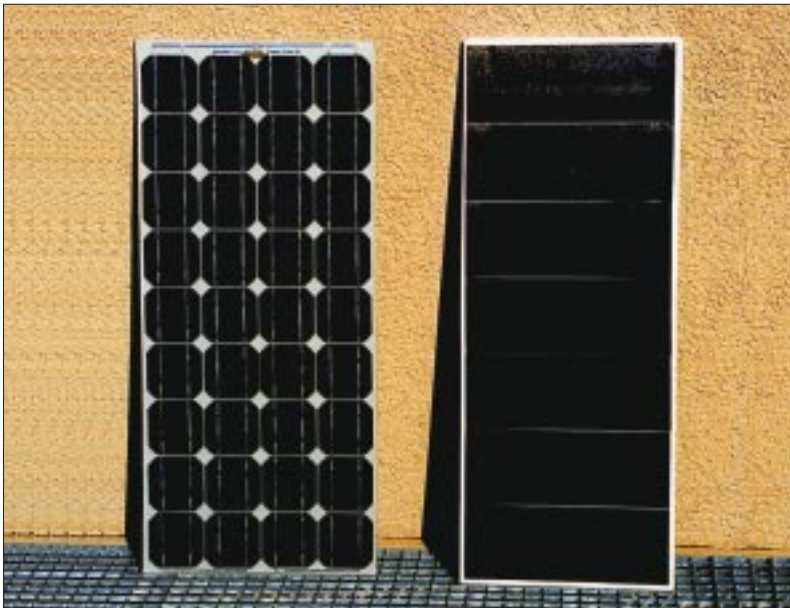
In parallel to those studies, the worldwide search for suppliers of suitable solar cells willing to co-operate in the project turned out to be rather cumbersome. However, by the end of phase I, i.e. in March 1993, one manufacturer each of crystalline and amorphous cells had been found. But then, all of the existing systems technologies – e.g. bonding of the solar cells to the substrate, surface protection of the cells, electrical connections within and among modules, mechanical installation of the modules – proved to be insufficient in many respects. Hence innovative solutions had to be found within the project.

Phase II: laboratory modules

In April, 1993, the project team began practical work aimed at fabrication and testing of modules on a laboratory scale. Each of the four partner organisations took over the tasks within their fields of expertise, and external specialists were employed whenever necessary.

Much effort was devoted to the bonding of the solar cells to the substrate. All potential and available adhesives – e.g. epoxy resins, or hotmelt foils – were tested. With a view to monocrystalline modules, electrically conducting adhesives were tried, as the idea included utilizing the cell side aluminum surface of the ALUCOBOND plate as common current lead for the solar cells. Here, epoxy resins mixed with silver particles turned out to be suitable, but much too expensive.

Another important task was to find a long lasting protective layer for the front side of cells and module. The catalogue of criteria comprises transparency for solar radiation, impermeability against water, long-



Above:
Crystalline laboratory modules exposed to durability tests in the open air.

Left:
Pilot modules for testing protective layers on the solar cells. The module on the left is made of crystalline cells, the one on the right of amorphous cells.

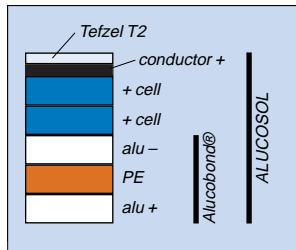
term stability against ultraviolet radiation and temperature changes, and last but not least, mechanical toughness. Extremely thin glass foils of 0.15 mm thickness, for example, while fulfilling many of these criteria, proved to be too brittle.

As a result of both bonding and protection testing, a combination of EVA-foil as the bonding adhesive, and TEFZEL® foil as the protective layer rendered the best results. The first seven modules employing crystalline solar cells on ALUCOBOND® were fabricated accordingly. Long term exposure testing of the modules in the open air as well in research laboratories began in December 1993, in seven locations throughout Switzerland. Among the tests performed were »changing climate« tests, consisting of three cycles daily between -30 °C and $+80\text{ °C}$, with the relative humidity being 95 % above 20 °C .

The end of phase II was marked by the decision to concentrate on the monocell module. This concept had been developed further, with the solar cell configuration being amorphous silicon on a steel substrate, which in turn ought to be bonded onto the ALUCOBOND aluminum.

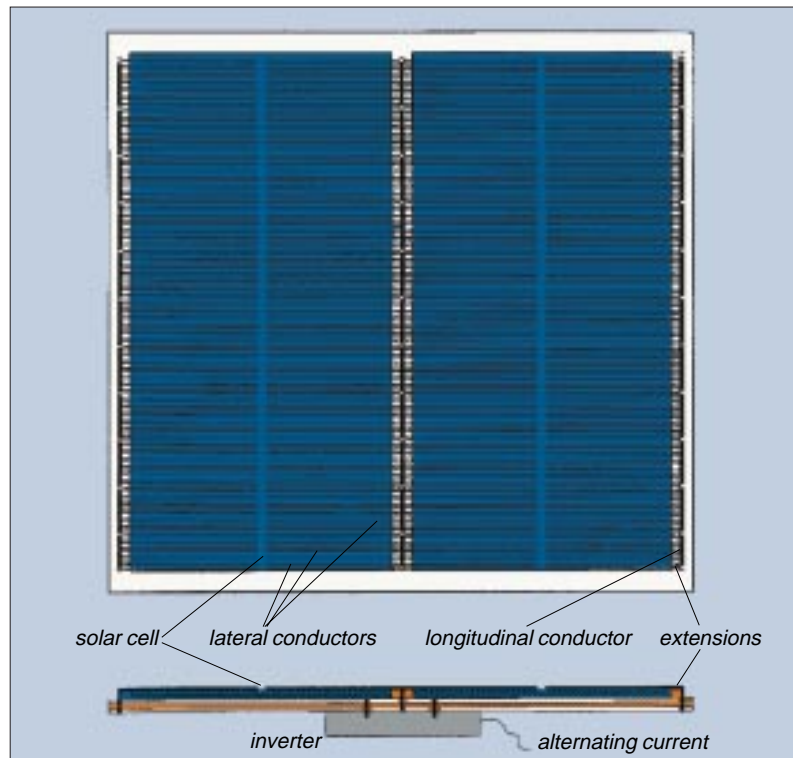
Setback due to supply problems

The goals set for phase III, started in April 1994, were the realization of ALUCOSOL monocell pilot modules, the demonstration of their power, practical systems technology, long-term stability, and economy. However, despite oral promise, the supplier of the amorphous silicon solar cells on a stainless steel substrate had not furnished them (not even by the end of 1996). With all other manufacturers of amorphous silicon using glass substrates which are not suited for ALUCOSOL, the project had to be redefined.



Above:
Schematic cross-section of a monocrystalline silicon cell bonded onto an ALUCOBOND sandwich.

Right:
Structure of a monocrystalline silicon cell with integrated dc/ac-inverter. The electric current is guided from the cell through lateral conductors to longitudinal conductors and on to the rear aluminum-sheet of the ALUCOBOND-substrate, which serves as a common lead. The circuit is closed via the front sheet, which is electrically connected to the back-side of the solar cell.

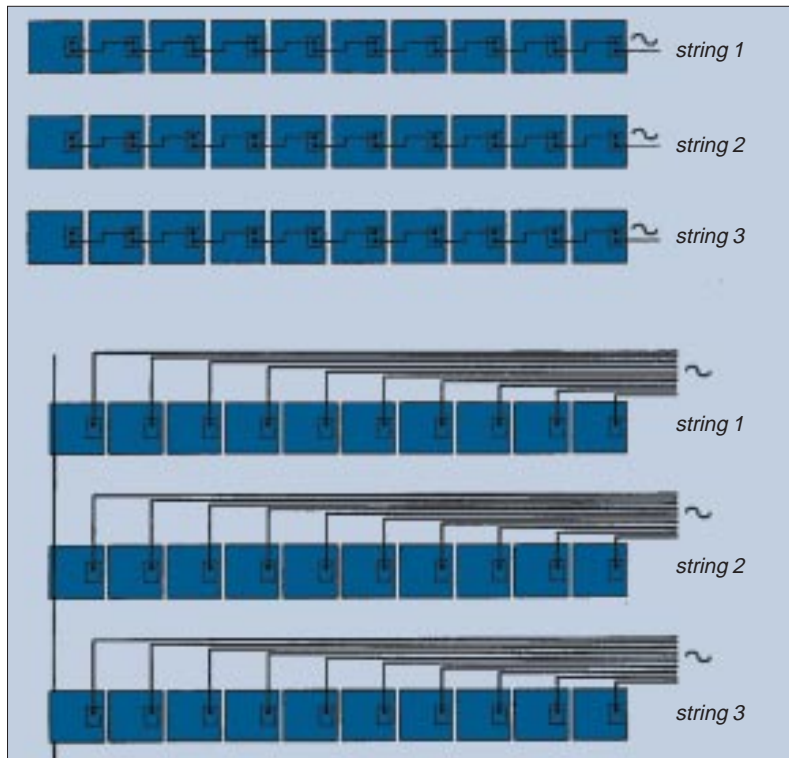


With regard to fabrication and testing of modules, the team returned to crystalline silicon cells, continuing the search for better adhesives and protective layers as well as the long-term exposures. These tests included amorphous silicon/steel-dummies, in order to be prepared for the real cells arriving one day. Here, epoxy-resins proved to be a choice for bonding the steel to the ALUCOBOND aluminum as well as for protecting the amorphous silicon surface. It was also shown that the ALUCOBOND aluminum can serve as the electric current lead.

Bonding steel to aluminum, however, poses the problem of differential thermal expansion. Calculations based on the finite element method yielded intolerable warping due to thermally induced strain. To avoid this, another NEFF supported research project was initiated at the IMT at Neuchâtel, aiming at the deposition of amorphous silicon directly onto aluminum sheets.

Key-element SCMIC

The key aspect of the monocrystalline silicon module has been receiving particular attention. Such a module generates dc currents of the order of 100 A, ruling out conventional series connection, as this would cause very high ohmic losses. Consequently, for feeding the electricity produced into an ac-grid, each module ought to have its own dc/ac-inverter – an idea internationally patented by the team in 1995. The SCMIC, or



Conventional PV modules (upper part) consist of a number of small solar cells, usually 10 cm x 10 cm, electrically connected in series and serving one common dc/ac-inverter. The concept of the monocell module envisages one single large cell and one integrated inverter per module, allowing simpler, cheaper, and safer ac-installations between modules (lower part) and mains.

»Single Cell Module Integrated Converter«, in comparison to the conventional central common inverter for a large number of modules, offers many advantages, especially cheaper and safer ac-installations. The main disadvantage is that existing inverters cannot handle with reasonable efficiency the very low input voltage which ranges from 0.5 to 1.5 V, depending upon cell configuration (conventionally a higher input voltage is achieved by connecting modules in series). A preliminary study conducted at the Institute for Power Electronics at the Swiss Federal Institute of Technology Zürich (ETHZ) revealed numerous ideas of how to design a SCMIC of at least 85 % efficiency. Now the development proper is subject to a special SCMIC development programme within the EUREKA framework.

Efforts aimed at the production and marketing of ALUCOSOL continue to be assisted by the BEW.

Summing up, at the end of 1996, ALUCOSOL cannot yet be definitely defined as due to the supply problem mentioned above, it is neither possible to specify the type of solar cells to be used, nor the supplier. And neither can be conducted a serious market analysis, because too many factors are unknown. On the one hand, the PV market potential remains undisputed at a very high level. On the other hand, due to the worldwide economic development the future public opinion with regard to environmental protection has become more uncertain, as has the introduction of clean energy technologies on a broad scale.

Project no. 573

Optimizing the combination of heat pump and wood fire for home heating

The optimization of a heating system with considerable market potential in rural areas, but technologically not fully exploited, was the subject of a project performed by associations of the Swiss electricity, heat pump, and wood boiler industries. After preliminary modelling, and considering the market prospects, the project centered on a system combining a small air-to-water heat pump and a wood furnace. Measurements on two pilot installations – in a farmhouse and in a rural family home – in 1994/95 revealed considerable energy saving and ecological advantages over conventional heating systems. Economically, a tap-water heater integrated into the hot water storage is far superior to a separate heat pump. The system also offers much more comfort than wood furnaces.

Project target:

Provide a planning basis for optimized plants

combining air-to-water heat pumps and wood furnaces

in the power range of 8 to 20 kW thermal

When »kre«, the Swiss »Commission for the efficient Utilization of Electricity«, applied to the NEFF for financial support in the summer of 1992, their reasoning for the project was along the following lines:

- Two-mode home heating plants, combining a small heat pump with an oil or gas boiler, had already reached a high technological level in recent years.
- In contrast to that, the combination of heat pump and wood fired boiler or stove – in short form HP/WF – were still far from being technologically mature.
- Yet, the latter solution promised a high market potential especially in rural area, where firewood is abundant.
- Additionally, it offered the advantages of extremely low CO₂ emissions and superior energy performance.

The last point rested on the appearance on the market of high-COP electric heat pumps and low emission wood furnaces and wood stoves, both in the late 1980s and early 1990s (as a result of research also supported by the NEFF).

Combined advantages

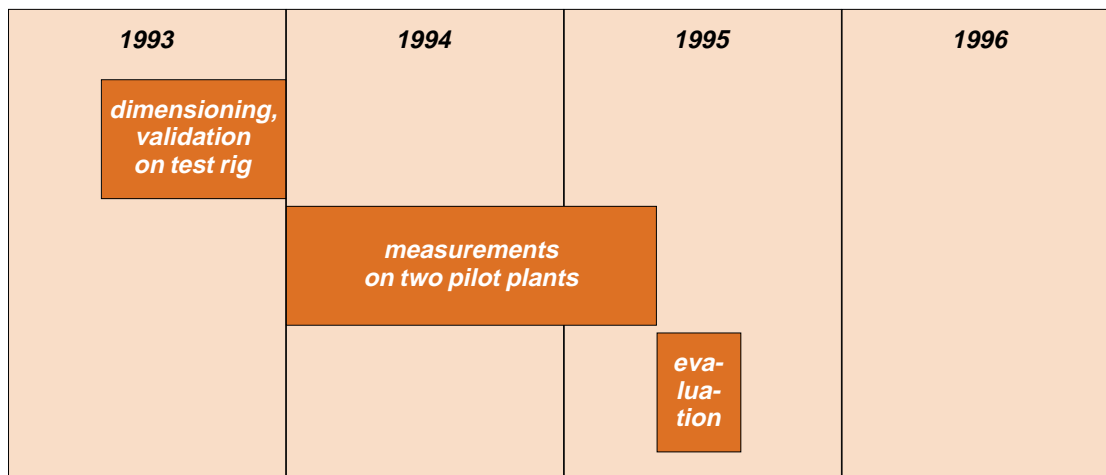
Furthermore, »kre« predicted an improved comfort for the users of HP/WF. In summer, they would be supplied with hot water without having to burn wood, and in winter they could leave the home for extended periods without risking a freezing-in of the water pipe system.

In a nutshell: the combination of heat pump and wood furnace would unite the advantages of the single-mode plants, yet avoid some of their disadvantages.

In carrying out the project, »kre« was joined by A.W.P. (Swiss Working Association for Heat-Pumps), SFIH (Association of Swiss Producers and Importers of Wood-Firing Plants), VHe (Swiss Association for Wood Energy) and the BEW (Swiss Federal Office for Energy).

Applications:

farmhouses and family homes in rural areas with abundance of firewood



The application for funding named as the project target the optimization of a family home heating system, which consists of an air-to-water heat pump, a wood-fired boiler, a hot water storage tank, and an hydraulic heat distribution system. The results of such optimization should provide a basis for the planning of such plants.

The research programme centered on measuring two versions of HP/WF-plants in the field. These practical measurements were to be preceded by a theoretical phase comprising the choosing of the components to be used in these plants, theoretically modelling the plants, and validating the model on a test rig.

The first phase of the project was devoted to modelling the HP/WF-plant for proper dimensioning. After the successful validation of the model, two pilot plants were designed and installed. Measurements on these plants over the heating period 1994/5 were evaluated in 1995, and the results were communicated to planners and industry.

Dimensioning and validation

The theoretical work, commenced in May 1993, was based on the PC-program YUM. This »Yearly Utilization Model« for heat pumps, designed in Switzerland in the years before, had been tailored to suit the purpose of this current project in a separate project sponsored by the BEW. The specialized program is named »Yearly Utilization Model for Calculating the Seasonal Performance Factor of Electrically Driven Heat Pump Heating Systems«, in short form »YUM WP/Holz« (WP = heat pump, Holz = wood).

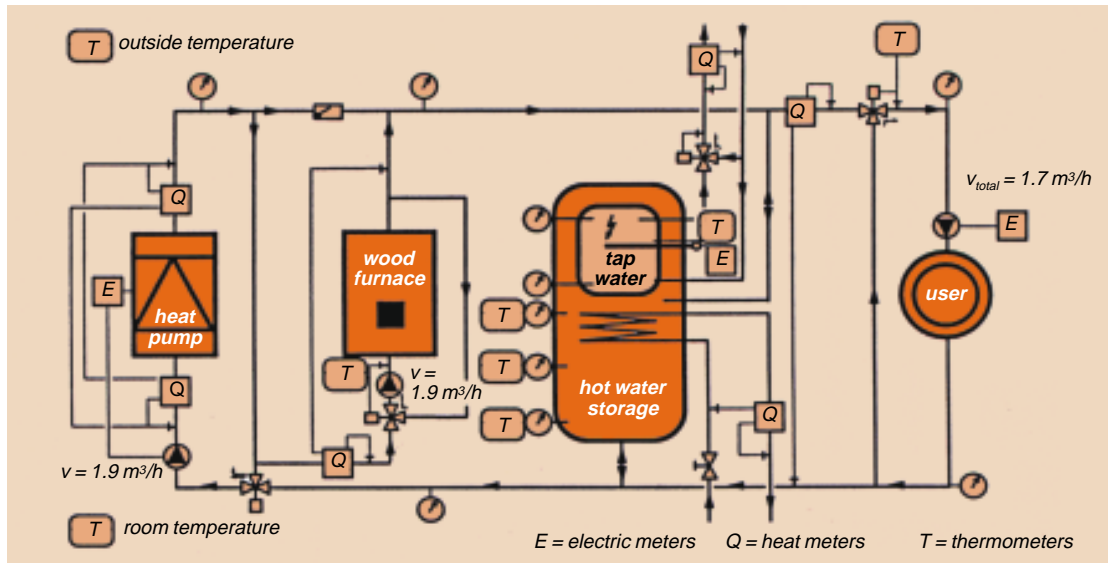
The building model within this program takes into account heat gains by passive solar exposure. With the plant data as an input, the programme permits the simulation of plant performance over the heating period, and the optimization of the entire system as well as any single components. For example, the respective contributions of heat pump and wood can be calculated, or the seasonal performance factors of heat pump, wood furnace, and system, or the consumption of wood and electricity, or the optimum switching-on time of the hot water storage with respect to low-tariff electricity.

Results:

recommended combination air-to-water heat pump and 2-stage wood furnace with integrated tap water heater

control concept with integrated central heating control

PC-program YUM WP/Holz for planners and heating industry



Hydraulic scheme and measurement-instrumentation of the pilot plant at Hirzel. From left to right: air-to-water heat pump, 2-stage wood furnace, storage tank with integrated tap-water heater (and heat exchanger for preheating water for the cattle stable), heat distribution system. The temperature of the tap water flowing to the radiators is limited to 55 °C by a 3-way mixing battery.

The simulation of the system's dynamic performance is generally carried out in time steps of 0.2 or 0.5 hours. However, for critical periods a time resolution of 3 minutes can be chosen.

The simulations centered on systems which would meet the project target: the power range of 8 to 20 kW thermal, with maximum temperatures of 60 °C in the heat distribution circuit. Further considerations were the system's suitability for new buildings and as a replacement and the desires of users who preferred wood as a fuel, but wished to maintain a certain level of comfort.

The system model was validated at the Swiss Federal Institute of Technology (ETH) Lausanne in the summer and autumn of 1993. The test rig comprised an electric air-to-water heat pump, and a combination of electrical heat pump and wood furnace. It was shown that the model provides a qualitatively correct description of all the phases of burning the wood like ignition, full load, part load, and burn-out. The heat produced by a single wood charge as calculated by the model exceeds the measured value by 5 %. The accuracy of calculating the system performance – heating power and COP (Coefficient of Performance at defined values of source temperature and room temperature) – running on the heat pump only is also 5 %.

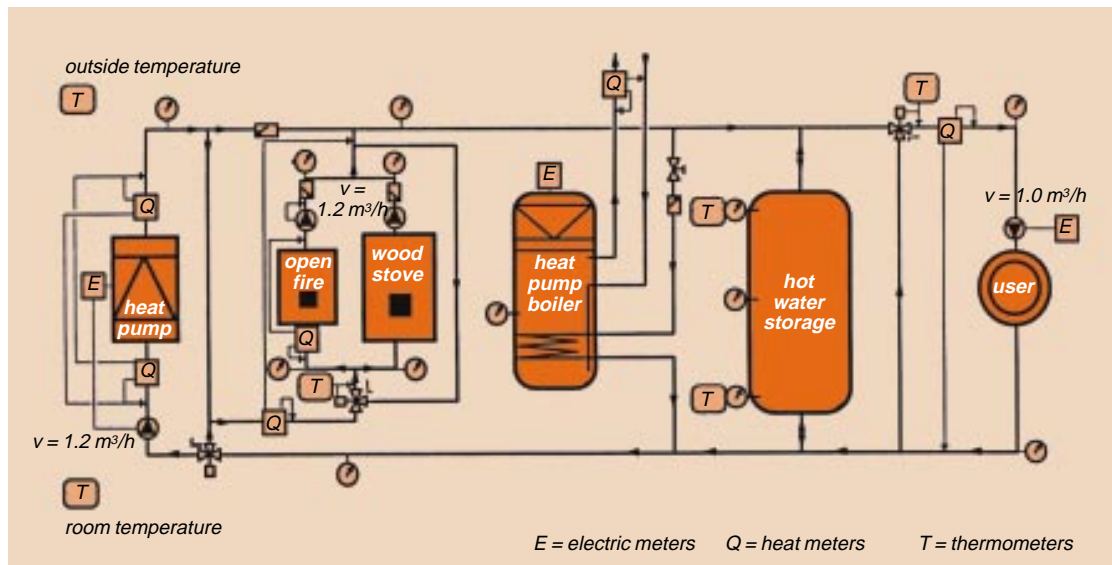


The farmhouse at Hirzel, where the existing central wood stove was replaced by the pilot plant comprising a small air-to-water heat pump in combination with a wood furnace.

Two pilot plants

On the basis of the preliminary work and the selection criteria mentioned above, two pilot installations were chosen, both being replacements of older systems. The buildings were equipped in the spring of 1994. With a view to the potential market, they were a farmhouse and a family home in a rural setting.

The farmhouse is located at Hirzel, near Zurich, it is inhabited by two



adults and three children, and has a cattle stable attached. The HP/WF-system comprises an air-to-water heat pump under the roof, a two-stage wood furnace (the 50 % load stage is achieved by reducing the flow of combustion air), a storage tank with integrated tap-water heater, and radiators. In the case of operation on wood, a thermostatic valve limits the outlet temperature of the tap water to 55 °C.

In the family home, which is for four persons and is at Rünenberg, near Basle, the air-to-water heat pump is installed in the cellar. Instead of a wood furnace, like at Hirzel, there is a wood stove serving also for cooking, and also an open fireplace («cheminée», fire place) with warm-air circulation. Tap water is heated separately by a second small air-to-water heat pump.

Hydraulic scheme and measurement instrumentation of the pilot plant at Rünenberg. As different from Hirzel, the wood firing comprises a central wood stove plus open fire (cheminée), and the tap-water heater is not integrated into the storage tank, but is a separate heat pump which could also use the storage tank as an additional heat source.

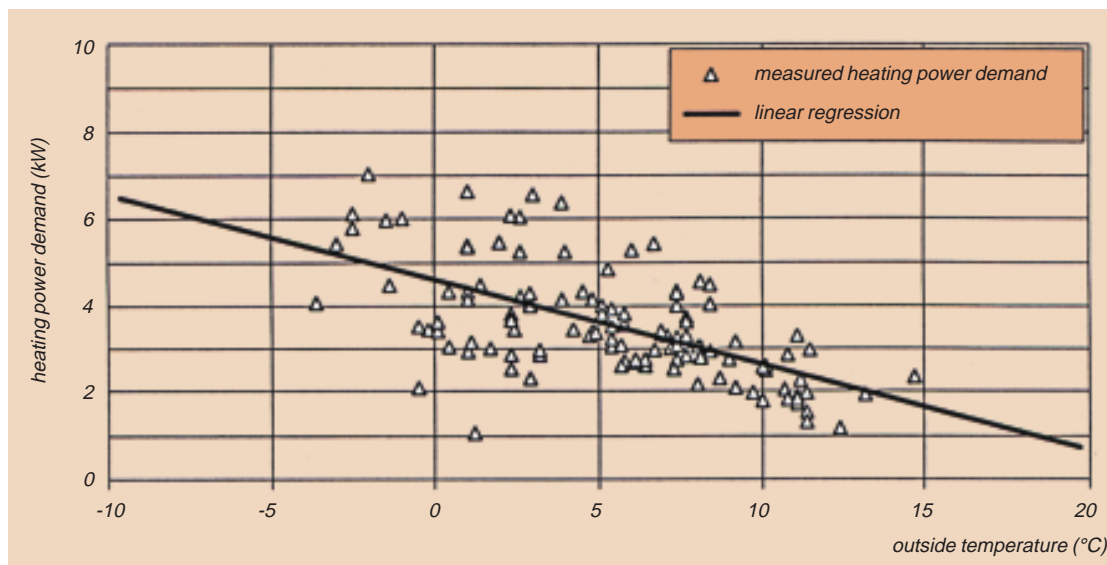
Systems control

The concept of systems control is similar at both pilot plants, and therefore described here in detail for »Hirzel« only. As long as outside temperatures remain above 0 °C, the heat pump as well as the circulation pumps of the heat distribution system are switched off during the night. This saves approx. 3 % of the total energy requirement. Yet room temperatures never fell below 16 °C.

Very early in the morning and still during the low electricity rate period, the heat pump comes on, heating the storage water up to 50 °C. This means that also the integrated tap-water heater is heated up sufficiently for the day (the built-in 3 kW electric heater at Hirzel never had to be used). One to two hours after this heating of the storage tank water, the distribution circuit is put into operation. Once the wood furnace is ignited, and the temperature within the storage tank is high enough, the heat pump is switched off and taken off-line from the



The family home at Rünenberg. The air-to-water heat pump is installed in the cellar. Tap water is prepared separately by a second small air-to-water heat pump.



The heating power demand at Hirzel as a function of the outside temperature can be approximated by a linear regression. Values are about half of those calculated according to SIA rules.

Advantages of the HP/WF-combination are that the heat pump need not be dimensioned for the coldest day, when the wood furnace takes over completely. At outside temperatures above 0 °C, the heat pump can be the sole heat producer, whose COP anyway increases with rising source temperature.

hydraulic circuit. As soon as the temperature in the centre of the storage reaches 65 °C, the wood furnace is reduced to 50% load (permitting the storage to be dimensioned smaller and hence cheaper, and prolonging the burn-off of the wood charge, thereby increasing the ease of operation).

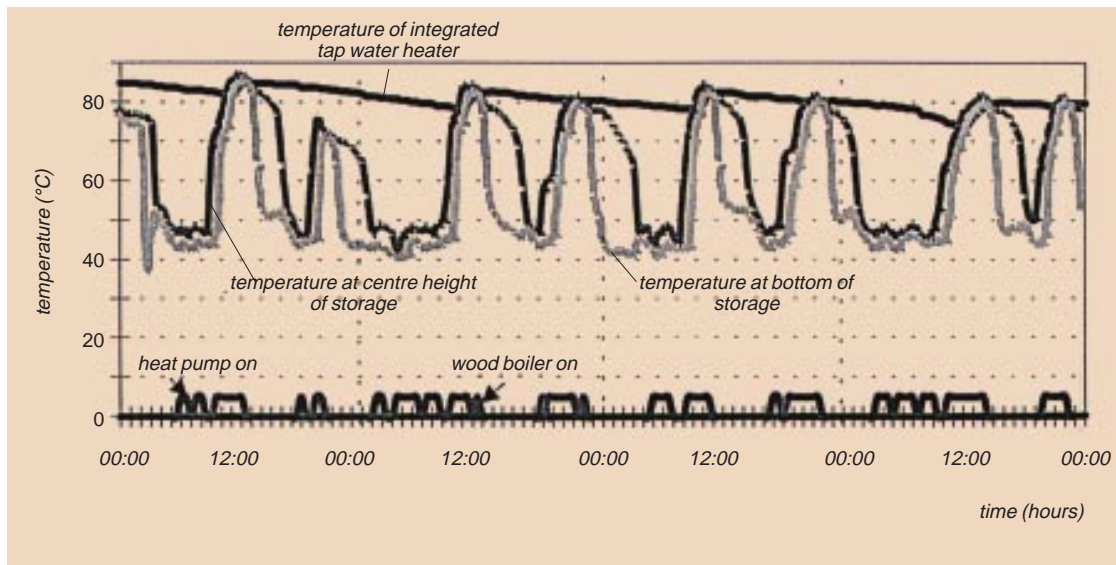
Each of the two pilot installations was equipped with heat meters and thermometers to determine all heat flow, and the efficiency of all plant components. Every day, the inhabitants registered all meter readings. Via modem, the digital systems control at any time provided a complete record of the previous 12 hours to a PC at Zurich, and in turn it could be configured from there, saving much time especially during the start-up period.

Power and energy demand

The results were summed up in the summer of 1995, after the entire space heating season 1994/95 had been completed. The hot water supply had already been tested in the summer of 1994.

The hydraulic concept and circuit performed well in both places (at Hirzel, however, trials with a self-adapting switching-on option had to be cancelled due to instabilities). The systems proved to respond flexibly to the user's intentions, in so far as the heat pump was switched off automatically when the wood fire was ignited, and it came on again as soon as the fire had burnt out.

As far as energy performance is concerned, the heating power demand of each plants was far below the value calculated by applying the standards of SIA, the Swiss Association of Engineers and Architects.



Whereas at Hirzel the calculated value, based upon $-9\text{ }^{\circ}\text{C}$ outside and $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ room temperature renders 12 kW thermal, the measured value is as low as 6 kW thermal. This can be explained for the most part by the fact that the inhabitants of the farmhouse kept the thermostatic valves in the bedroom zone almost closed, and in the other zones maintained temperatures between 18 and $19\text{ }^{\circ}\text{C}$.

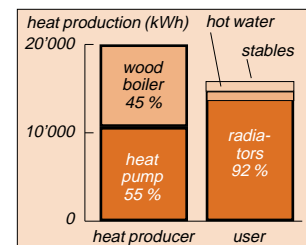
At Rünenberg, the measured maximum heating power demand was 20% below the SIA value. This is attributable to solar gains (the house has large windows towards the south) and heat lost from the wood stove proper but at the same time contributing to heating, while room temperatures generally were kept between 20 and $21\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Seasonal performance

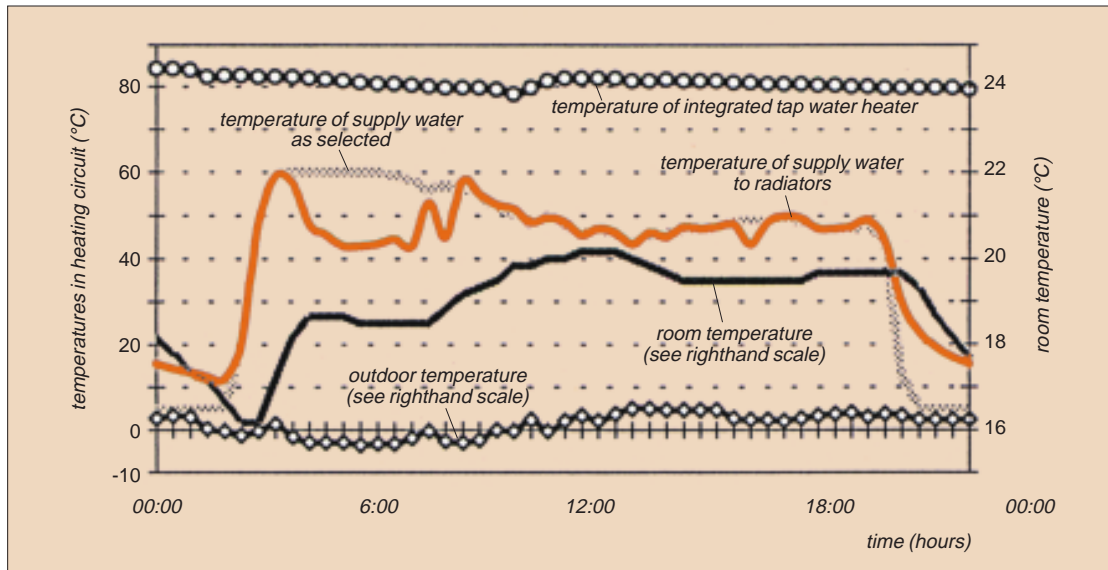
The total heat production over the heating period measured, i.e. from October 1st, 1994, until April 26th, 1995, at Hirzel amounted to nearly $19'000\text{ kWh}$. From this, 55% or $10'400\text{ kWh}$ were contributed by the heat pump, which in turn consumed $4'300\text{ kWh}$ of electricity. Accordingly, the seasonal performance factor – SPF – of the heat pump was 2.4 . This is considered a good value, and it is 0.2 better than that calculated. The SPF of the wood furnace was a rather high 82% .

Overall, the seasonal performance of the Hirzel heating plant – heat produced divided by the energy input to heat pump, wood fire and circulation pumps – was 125% . However, looking solely at the »utilized« heat, i.e. the heat arriving at the radiators and at the hot water tap, SPF(util.) drops to 104% . In other words, losses between production and utilization of the heat amount to 17% (out of the original 125%), attributable to rather high losses from the storage and from long, apparently poorly insulated water ducts.

Temperature histories inside the storage tank at Hirzel on four consecutive cold days in January, 1995, with an average outside temperature of $-2\text{ }^{\circ}\text{C}$. The temperature on the top of the storage decreases in the course of the day according to the heat losses to the outside, whereas temperatures at centre height and at the bottom vary markedly with the rhythm of heat discharge for heating. This indicates that during heating and using a clear stratification is maintained. The tap-water heater, which is integrated near the top, does not lose any heat to the storage water underneath, even if it is at low temperatures.



During the 1994/5 heating period at Hirzel, the wood boiler and the heat pump contributed 45% and 55% . 17% of the total heat production was lost in the water ducts prior to arriving at the radiators and at the hot water taps.



Plant dynamics at Hirzel on a cold day in January 1995. Even when the heating system is switched off at night, room temperatures do not fall below 16 °C. However, once the remaining heat from the storage tank is spent during the morning, the heat pump can only maintain room temperature. Rapid heating up with outlet temperatures of 60 °C requires the wood furnace to be ignited, which is the case at 8 o'clock.

At Rünenberg, the SPF of the heat pump was 2.7, due to gliding operation of the storage tank, and to not heating the storage tank to very high temperatures for tap-water heating. Overall plant performance of heat production reached a sound 144 %, and owing to very small heat losses, SPF(util) of utilized heat was still a high 139 %.

With low-temperature heat distribution systems in plants like those at Hirzel and Rünenberg SPF of 2.6 and 3.0 should be achieved.

Hot water in summer

Of great interest was the comparison of the two plants with respect to water heating in summer: at Hirzel the water heater is integrated into the storage tank, and at Rünenberg there is a separate heat pump. The measurements carried out in the summer of 1994 revealed that the separate heat pump has only slight energy-saving advantages with an SPF of 128 % against 111 %, because the latter value could be improved upon by better insulation. However, this is far outweighed by the additional investment of approx. 5'000.- CHF (without installation).

An ecological survey within the project was targeted at a comparison of the CO₂ emissions from various heating systems. Assuming the Swiss mix of electricity supply, which rests mainly on water and nuclear power, the heat-pump/wood-boiler combination emits less than one sixth of the standard plant consisting of modern oil boiler and an electric water heater.

CHC, central heating control

- CHC internal:**
- storage tank management
 - hydraulic system (switching valves, mixer, etc.)
 - recommended values (outlet temperature, night reduction)
 - user information (state of storage tank and heat producer, perturbations)

- CHC to HPC:**
- release of heat pump
 - recommended load value (if available)

- CHC to WBC:**
- release of wood boiler
 - request to wood boiler for full- or part-load, fire management

WBC, wood boiler control

- WBC internal:**
- safety (ignition ok, boiler temperature, exhaust temperature)
 - maintaining high return temperature
 - pump control
 - load management
 - combustion management

- WBC to CHC:**
- state report (collective perturbation, charge burndown)

HPC, heat pump control

- HPC internal:**
- safety (high/low pressure, condenser temperature, flow control)
 - thawing
 - control of condenser pump

- HPC to CHC:**
- status report (collective perturbation, thawing signal)

Recommendations

From all those results »kre« drew the conclusion that the Hirzel-type plant layout with integrated water-heater is to be recommended, provided thorough design and insulation are carried out (by which heat losses can be reduced down to 4 %, as demonstrated at Rünenberg). For designing and dimensioning, the PC-programme »YUM WP/Holz« has been marketed to planners and heating industry.

With a view to the heater market, »kre« recommends that the plants be offered as ready-to-install packages. The following are problems that the industry ought to pay further attention to:

- The interface between wood furnace and central electronic control remains to be improved, in order to permit the combination of different brands without problems.
- Heating plants usually are over-dimensioned, hence 20 kW wood furnaces should be equipped with a genuine 50 % load stage.

One of the results of this project is a recommendation for an improved control concept, the tasks and interfaces of which are shown in the table. The interfaces between the component controls or modules, must be so defined as to make evident the task of each module. The integrated Central Heating Control must »know« at any time the state of the entire plant, which is to be achieved by replies from the modules.

Project no. 584

A novel arc detector in photovoltaic arrays

Fires ignited by electric arcs have been an imminent danger to PV plants. Timely detection of such dc-arcs by classical measures of ac-protection proves to be difficult if not impossible. In 1993/4, Alpha Real Engineers, Zurich, in collaboration with the School of Engineering at Burgdorf, have developed an arc detector utilizing fluctuations in the dc-arc to stimulate eigenfrequencies in a series resonant circuit, coupled capacitively to the dc-array. Due to a very high signal-to-noise ratio, an intelligent evaluation logic is able to distinguish arcs from other noise and trigger countermeasuring devices, e.g. circuit-breakers. The detector has been patented. Future development includes long-term testing and application within an overall safety concept for PV arrays.

Research target:

reliable detection of dc-arcs in PV arrays

based on current fluctuations in the arc

triggering protective measures in the dc-circuit

Photovoltaic arrays have found widespread applications over the last two decades, where the high generating cost of PV electricity is outweighed by the inherent advantages of this technology, like the absence of noise and unattended operation. In the near and mid-term future, with cell efficiency increased by continuing research and prices reduced by rising production, they are expected to take an ever growing share of electricity generation.

With these prospects, one specific problem will gain in importance and hence ought to be solved as soon as possible: the fire hazard due to electric arcs emerging at the defects to which PV-installations are prone, especially the time-weakened connections between PV panels, or insulation faults. This problem has been documented as the cause of fires resulting in several million US-\$ in damage over the past years, e.g.: control-room of the 1 MW plant at Sacramento, USA, destroyed; control-room of the PV installation at Nice airport, France, damaged; switchgear at 500 kW plant Mont-Soleil, Switzerland (see NEFF-project no. 442) destroyed; in Switzerland, family home with PV array on the roof destroyed.

Applications:

protection of PV arrays, from family homes to large power plants

any other dc-circuits with danger of fires

possibly ac-circuits

Principles of ac-protection not applicable

Any attempt to find a solution to this problem meets with the fact, that the protection measures successfully applied in ac circuitry are not suited to PV arrays. In the event of a fault, rotating machines for ac-generation exhibit short-circuit currents which are a manifold of the nominal current. Protection is simple in this case, for example by fuses which melt when the nominal current is exceeded by 3 to 8 times, depending upon the fuse-model. PV arrays, however, are not voltage sources but current sources and, therefore, deliver no short circuit power. Short circuit current is limited by principle to approx. 1.2 times the nominal current, rendering ac-protective devices unsuitable. This

1993	1994	1995	1996
<i>development and tests of the radio amplifier model</i>			
	<i>concept of the negative impedance arc, prototype testing</i>		
		<i>further developments (not NEFF-supported)</i>	

is particularly true during low insolation on the PV arrays, when the short circuit current may be smaller than the nominal current.

Therefore, in the absence of any other suggestion, all earlier work in this field – performed in many countries – centered upon utilizing the voltage/current-characteristics of PV arrays to detect electric arcs. After having followed this path for five years without success, Markus Real, head of Alpha Real Engineers, Zürich, recalled an event in his boyhood, when he had built a simple Marconi broadcast transmitter. When trying to determine the range of the arc transmitter, using a simple crystal detector, carried on his bike, he found that the signals stopped after he had reached a distance of 30 km. As an unexpected and unwanted result his arc transmitter blocked all radio signals in the neighbourhood and led to a quick intervention of the Telecom services.

So the analogy of the problem at hand was simple: if an arc signal can interfere with radio signals in an entire valley, it should be easy to apply this principle to detect arcs in a PV array. The NEFF approved the idea and supported the research project for developing the concept.

DC-arcs as radio sources

The idea is based on the physics of electric arcs. When, in an air gap between two electrodes, an electric field exceeds approx. 2 kV/mm, electrons begin to be emitted by the negative electrode, the cathode. On their way to the anode, they ionize air molecules forming a very high temperature plasma which is the arc.

If the current in the arc is alternating at 50 Hz, both voltage and current cross zero 100 times per second. During these crossings the arc cannot absorb energy from the electric circuit, and consequently the arc is much easier to extinguish. However, due to the fluctuations

At the project start in January, 1993, a first detector model was built employing a simple radio amplifier. It proved the general validity of the concept based on electromagnetic emissions from a dc-arc, but showed an insufficient signal-to-noise ratio. In 1994, the concept was revised, now viewing the arc as a negative impedance.

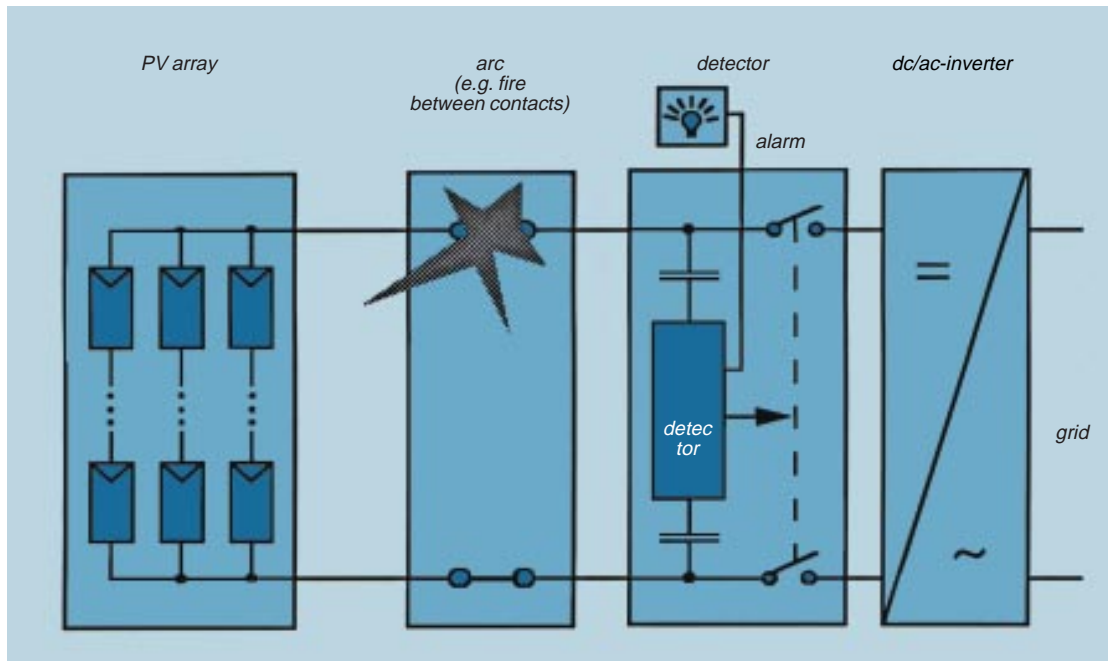
By the end of 1994, prototypes had successfully proven all function-tests. Continuing development aims at industrial production and inclusion in an overall safety concept for PV arrays.

Technical data of the prototype detector:

***max. input voltage
1000 Vdc
(resistors 4x250 V)***

integrated power supply of detector circuit via dc/ac-inverter from PV array

power circuit breaker QDC2 (500 Vdc, 63 A, 2 switching contacts)



Within a PV array, the arc detector is positioned between the PV panels and the dc/ac-inverter.

Coupling to the dc-circuit is achieved by two capacitors. Most likely, an arc develops in a combiner box, where the current leads from the panels meet and mechanical contacts can loosen in the course of years. Insulation defects are another possible cause, while arcs between the positive and negative dc-mains are unlikely to occur, thanks to thorough construction and installation.

the electromagnetic emission usually is strong.

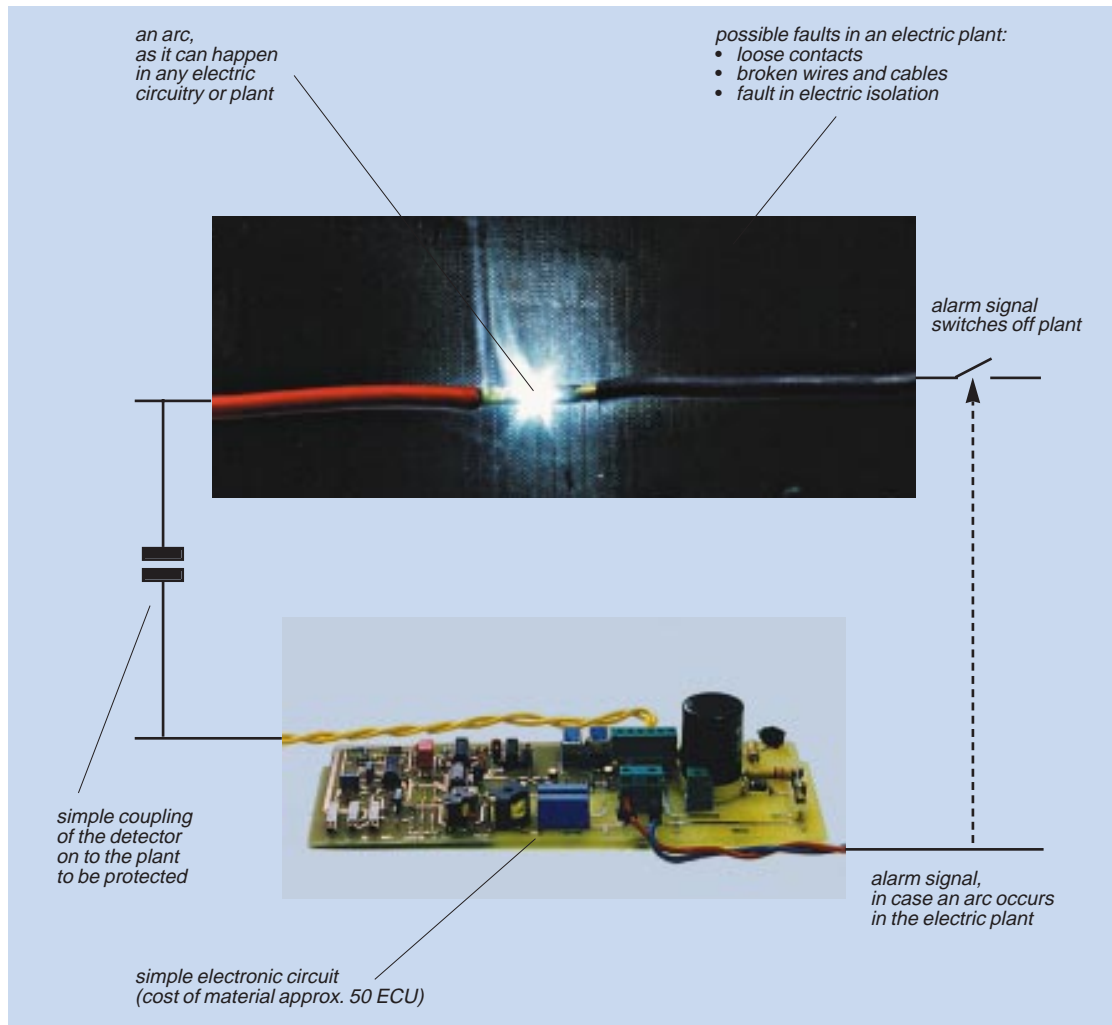
The characteristics of a dc-arc are completely different. With the ions being accelerated across the entire gap and the electric field not alternating, plasma energy is high and emission low. Therefore, due to the high plasma energy, a dc-arc is much more likely to ignite a fire, while due to the low radiation it is much more difficult to detect.

In their first approach, Alpha Real employed a detector made of a simple radio-amplifier including an LC oscillator, coupled in parallel to a dc-circuit including an arching device. In principle, the arrangement did work, in so far as eigenfrequencies were stimulated in the detector. However, the signal-to-noise ratio was too poor to be useful.

The dc-arc as a negative impedance

At this stage, Heinrich Häberlin from the staff of the School of Engineering at Burgdorf joined the research team. Being an expert in radio transmission, he realized that an arc represents a negative impedance in terms of electric circuitry, and that the capacitive coupling of a series LC circuit to the arc's circuit should yield a reasonable signal-to-noise ratio.

The first prototype detector built according to these principles proved the proposal fully right. With strong arcs it was possible to generate signals of several volts at the LC impedance. Thus a significant signal-to-noise ratio could be realized, allowing the detector to differentiate between signals emitted by arcs within the dc-circuit and



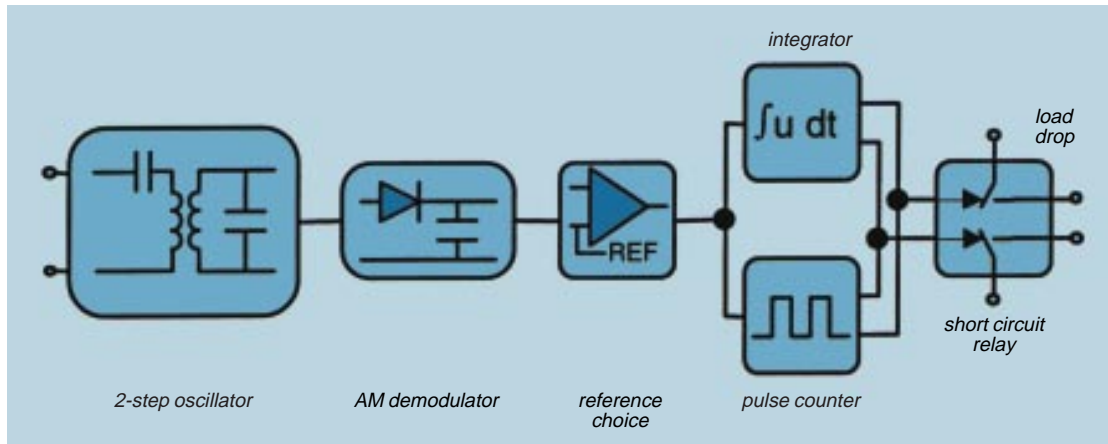
signals from outside arcs, e.g. in nearby motors and switches.

The researchers also discovered that the lack of clarity of the signal from the dc-arc results from a plasma effect. In being ionized by the plasma, impurities in the air cause random fluctuations in the otherwise steady plasma flow, thereby stochastically altering the arc's negative impedance.

After extensive testing of several prototypes, including runs in the 60 kW PV array at the Burgdorf School of Engineering, the final detector consists of three main components:

- the detecting circuit proper (maximum dc input voltage 1000 V) with triggering device for countermeasures,
- integrated power supply, with a current of only 2.4 mA drawn directly from the PV array,
- heavy duty circuit breaker to interrupt the dc circuit in the event of an arc.

The arc detector proper covers about one third of the print board. The remainder is occupied by the power supply and the logic circuitry.



The complete detecting circuit, whose logic distinguishes between signals from dc-arcs and noise. The output is a command signal to the relay to the effect of either breaking or shorting the circuit.

The detecting circuit

The core of the detector, the detecting circuit, is designed as an intelligent evaluation logic comprising several stages.

In the first stage, the signals from the dc-arc are transformed into damped oscillations at 400 kHz. Any new ignition or fluctuation of the arc generates another oscillation.

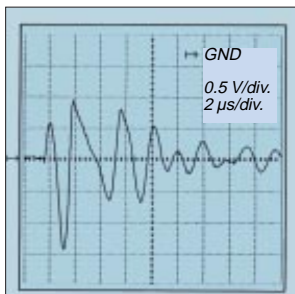
The second stage, an AM demodulator, converts this oscillation into a purely positive, rising and diminishing voltage.

Stage number three is a simple comparator, to which an operational amplifier is connected. This »reference choice« checks whether the output-amplitudes of the AM demodulator are to be judged as signals from the arc or as mere noise.

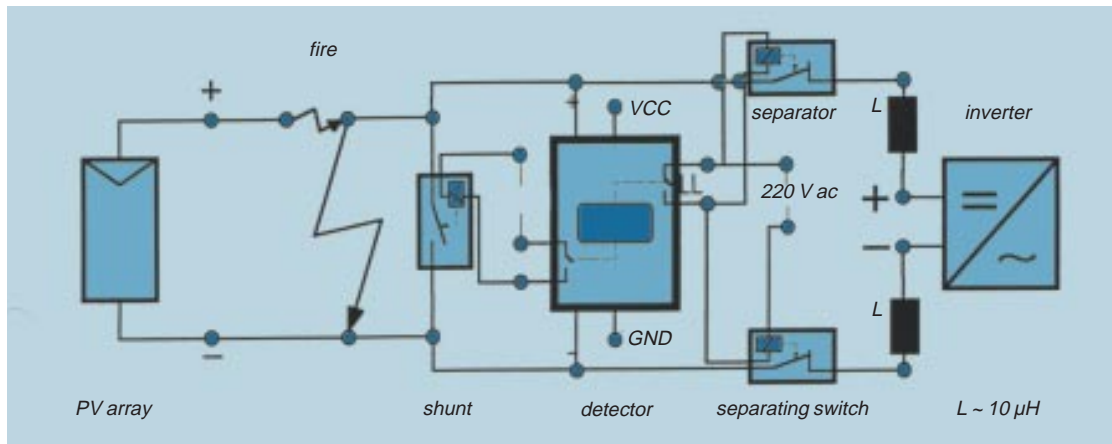
The comparator's output enters into two independent stages: an integrator and a pulse counter.

The integrator is a charge/discharge retarding element consisting of two comparators set at different reference voltages. Single events, or events more than 2 s apart, are not registered. Whenever a genuine arc-signal exceeds the lower reference voltage, a circuit breaker is triggered. Should the arc continue, the voltage across the integrator keeps increasing, and, arriving at the upper reference voltage, activates a relay which then shorts the circuit.

The integrator cannot reliably register weak signals such as those generated by sparks. This is done by the pulse counter, which judges all signals arriving within 140 ms as one pulse, thereby suppressing any response to those weak signals. Once two or more such pulses (their number can be selected) have accumulated, the circuit breaker is triggered. At least two additional pulses are required to activate the shorting relay (because only one further pulse could have originated in the circuit breaker). To avoid false alarms due to the accumulation of pulses from external noise, the register is discharged every 60 s.



The electromagnetic emissions of a dc-arc are generating damped oscillations in the detector.



One of the detector practice tests within a PV array revealed a point requiring attention. The dc/ac-inverter of this array generated harmonics on the dc-side, which interfered with the detector. A filter on the inverter's dc-side, however, reduced the harmonics to a tolerable level. It was found that this particular inverter produced radio frequencies beyond the limits set by European inverter standards. Inverters corresponding to these standards guarantee safe and reliable operation of the detector. However, tests with large and powerful inverters have not yet been performed.

A detailed wiring plan of the detector, depicting the one circuit breaker each in the positive and negative dc-mains, and the circuit shorter across the output of the PV array.

Heart of overall PV safety concept?

The project concluded at the end of 1994, when the detector had successfully passed all tests with regard to proper function and was more or less ready for series production. In 1995, the device and its inventors were distinguished with the award »Technologiestandort Schweiz«, and the detector was patented in Europe and in the USA.

Backed by such acknowledgement, the development of the detector has been continued in several directions. Within the research framework of the European Union, a number of detectors is undergoing long-term testing. Practice tests are also being performed in the Netherlands and in the USA. An international consortium of German, Italian, and Swiss research institutes and industrial enterprises has been formed, aiming at designing an overall safety concept of PV arrays, centered on the detector. And last but not least, the device is also intended to be tested for its suitability to detect arcs in ac-circuits.

Project no. 626

An expert system for fault analysis in co-generation plants

After initial experiences were gained in the modelling of heat pump plants with expert systems, a more elaborate system for co-generation plants was developed by the Laboratory for Energy Systems at the Swiss Federal Institute of Technology Zürich, and Ulrich Ammann AG, Langenthal, from 1993 until 1995. When a fault is registered by the control, the expert system offers diagnosis paths as well as remedial measures based on fault trees via graphical interfaces. Long-term wear models allow a condition-based maintenance of the plant. It is also possible to supervise and optimize the entire plant. All this can be done remotely via telephone line and modem. As a result, plant operation and maintenance are more economical. The expert system is already being marketed.

***Project goal:
development of an expert system for fault analysis and wear prognosis of co-generation plants***

fault tree method as a basis

easy-to-use graphical surface

remote access

transfer into practice

The story of this project's origin is somewhat unusual. The Laboratory for Energy Systems, LES, within the Institute for Energy Technology at the Swiss Federal Institute of Technology Zurich (ETHZ), had been engaged in energy research of a wide thematical scope such as ventilation systems of buildings and wood burning. Looking for other innovative approaches dealing with energy, in the mid-1980's LES came across expert systems. Early research work devoted to this tool dealt with the renewal of energy equipment in buildings. Next, the tool was applied to fault analysis and condition based maintenance. Then, a heat pump was chosen as a model case of somewhat higher complexity, with field tests performed in an industrial laboratory. Finally, co-generation plants operating on natural gas were targeted, because their number kept increasing all over Switzerland, and in fact all over Europe.

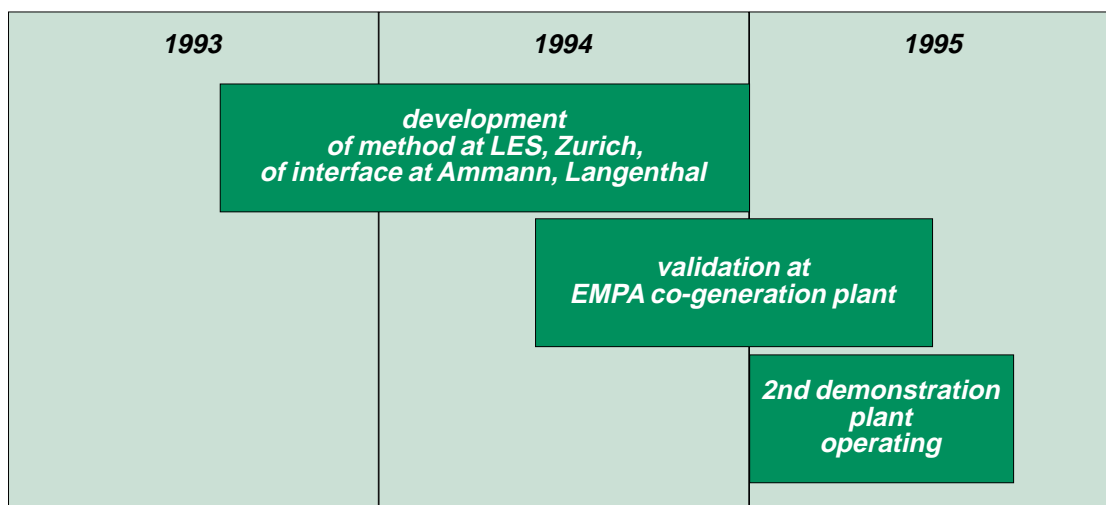
In general, at the heart of a co-generation plant, there is a gas engine powering a synchronous generator for electricity production. The cooling water of the engine and the exhaust gas supply heat to a heating system via heat exchangers (often, in addition, the radiated heat of the engine is also utilized by a heat pump). Exhaust gas nowadays is cleaned, for example by a catalyzer. The main appeal of co-generation is its high overall fuel utilization, which can exceed 90 %. However, this is only true where there is a year-round demand for the heat produced, or when the plant is heat-demand-operated.

***Applications:
on-site and remote supervision and optimization of co-generation plants***

after generalization, of all technical equipment in buildings

Step by step approach

In 1993, LES was ready to tackle the challenge of developing an expert system for co-generation plants, and transfer it into industrial practice. The previous work had shown that the necessary practical know-how could only be contributed by an industrial partner. Such a partner was found in Langenthal, where Ulrich Ammann AG took over the development of the interface. At the LES, modelling was to be



carried out. Financial support was granted by the NEFF. Work commenced in September, 1993.

Relying on experience gained with the heat pump expert system, a step-by-step approach was chosen.

The first step consisted of talking to co-generation experts, from designers of components, plants, and controls, to operators and service technicians. This way, a host of data on the faults of components and plants was collected, like coarse statistics uncovering typical weaknesses of the plants. Clear indications of the expert's needs also emerged from these interviews. Most importantly, they wished continuous and readily legible recordings of data and faults, in order to be able to restore the fault history.

Step number two could be called »acquisition of know-how« beyond that of the expert. A co-generation plant was equipped with additional sensors to allow for a detailed diagnosis. As a result, the experts were proven right in most cases. However, in some cases they were contradicted by the measurements. Overall, the exercise yielded valuable additional information.

Structuring the know-how

With all available information gathered, the structuring of the know-how was begun, being considered the key to a useful expert system. All possible causes for malfunctions of components were listed, as well as all consequences of a component failure on the entire co-generation system that could be thought of.

Now, as step number three, the functions of the plant components were defined, as well as all possible states, like start-up, standard operation, and shut-off. On this basis, a hierarchy of functions could be established, comprising functional groups. Step number four was to project all know-how acquired by the previous steps onto fault trees.

After generating expert systems for simpler thermal plants, the project proper was started in September, 1993. At LES the method was developed, and at Ammann the graphical interface. Validation runs began in July, 1994, and field tests and routine operation in January, 1995.

The result:
expert system with graphical surface, accessible via telephone line and modem

diagnosis paths and remedial measures (long-term wear model for condition-based maintenance)

remote supervision and optimization of entire plant

saving the time and cost of start-up, maintenance and repairs

possible generalization for other thermal plants



Fault trees

Co-generation plants for district heating generally comprise an Otto-type engine operating on natural gas (centre, yellow), a synchronous generator (right, red) powered by the gas engine, one or several heat exchangers transferring the heat from the motor cooling system to the district heating system (left), and an exhaust gas cleaning system. Common power capacities are 50 to 800 kW electric, and 100 to 1400 kW thermal.

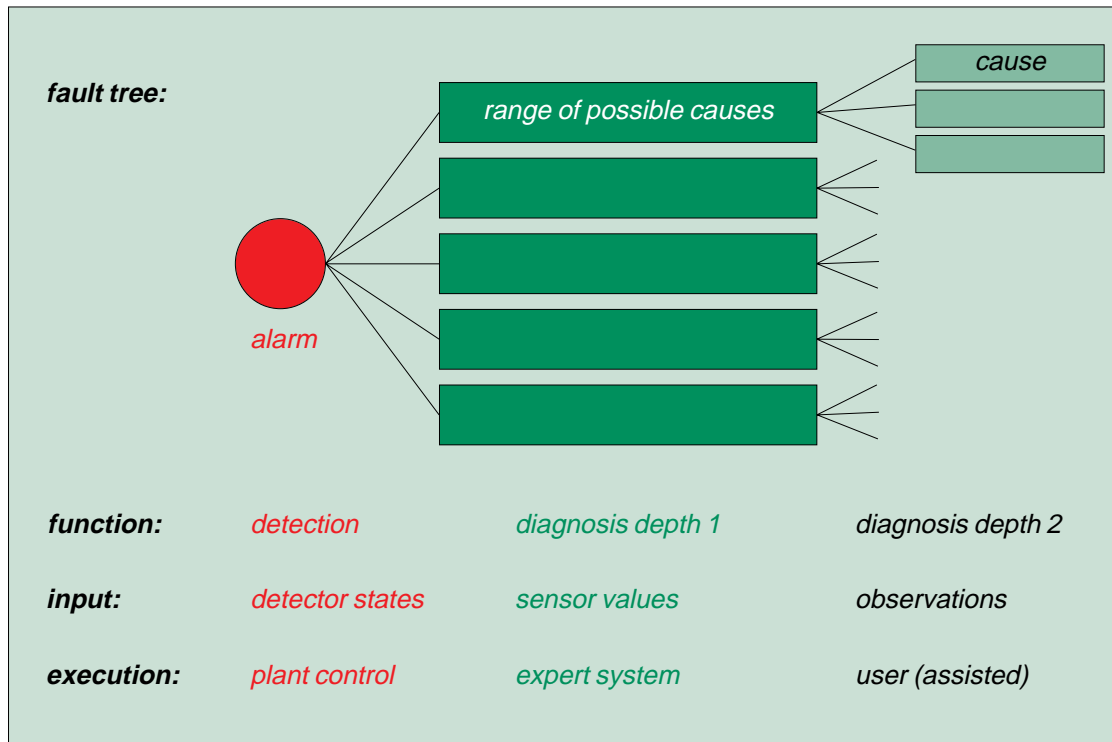
It is possible to install, in plants made up of many different components, a protection system that supervises a number of process variables and component states in order to detect any dangerous malfunction and failure. Because, for practical reasons, not all components can be supervised directly, various components can trigger one and the same detector.

The diagnosis is started at that point by trying to decide whether the process deviation was caused by the component next to the detector, or whether it was induced by an extraordinary input value. In the case of the latter, the same question is asked with regard to the logically preceding component. All the preceding components correspond to the branches of the fault tree.

The three fault trees grown first were devoted to engine oil, noise, and efficiency. In the previous projects, fault trees had proven to be the method best suited to track down the causes of faults. This method permits the localization of the cause by progressing from one branch point to the next, and so on.

However, those first fault trees turned out to be much too tall (too complex) for the co-generation experts. Hence, the project researchers split the three trees into many smaller ones, corresponding much better to the practical way in which the experts think.

The fifth step, finally, consisted of linking the fault trees and putting them under a common software shell, i.e. programming the expert system. After careful evaluation, the commercially available data base



program »Microsoft Access« was selected, in conjunction with the programming language »Visual Basic«. Fault trees were described by testing rules and functional hierarchies, with data points defined, and inputs for test data.

Functions of a diagnosis assisted by the expert system: fault detection is triggered by the plant control. Diagnosis to depth 1 is effected automatically on the basis of sensor values. Diagnosis to depth 2 offers to the user more decision aids based on his own observations.

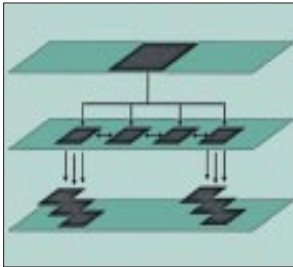
Man-machine interface

In past years the man/machine interface was more or less pre-determined by the available visualization technology, which was rather limited. Also, considerable time and effort was required to get familiar with it, and there was a danger of over-individualizing designs.

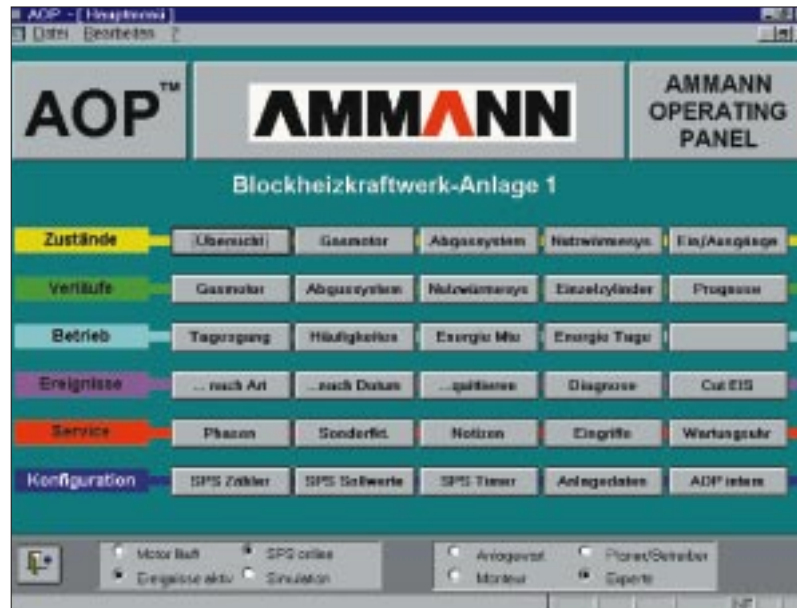
In recent years, this situation has much improved, after it had been realized that any computer program is only as good as the man/machine-interface. It ought to serve solely as an easy-to-use tool, providing the user with relevant information as the basis for decision making, then the user lets the machine know his decisions.

With nowadays' highly variable and flexible means for designing the interface, there is also a danger of over-designing. Being aware of that, the researchers at Ammann drew up a catalogue of restrictions:

- establish the hierarchy and the grouping functions according to their natural criteria;
- reduce choices for decisions to a minimum;



Above:
The hierarchy of the screens. From the main menu one can jump directly to any main screen and back. From a main screen any single assistant screen can be selected and closed again.



Above right:
The main menu offers an overview of all other screens, which are grouped according to functions – »Zustände« (states), »Verläufe« (trends), »Betrieb« (operation), »Ereignisse« (events), »Service« (maintenance), and »Konfiguration« (special). The main menu may differ from plant to plant.

- support, not challenge, human memory by both orientation and navigation aids;
- build in tolerance to the sense of letting decisions be made step by step, and having the possibility of revoking them;
- offer dual safety by both making input errors impossible and protecting the system from deliberate manipulation.

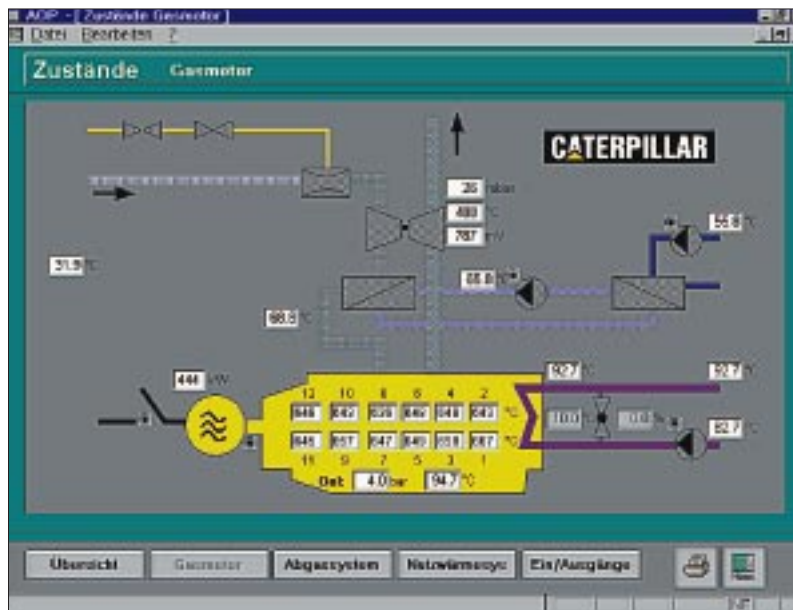
Other conditions for designing software and interface which resulted from talks to potential users were the use of a PC under Windows, positioning this PC near the plant but with remote access, standard operation without keyboard, and, last but not least, the choice of different levels of complexity depending upon the user's abilities.

The AOP

As a result of all these considerations, the man/machine interface, here called the AOP, for Ammann Operating Panel, is designed with three screen levels.

For a start, on the monitor there is the main menu, giving an overview of all main screens. Each main screen corresponds to a group of functions, e.g. »events« or »trends«, with the corresponding plant components arranged along lines of different colours. There is also a choice of the desired level of visualization, in the order of increasing complexity from plant operator to installer, planning-engineer, and expert. From the main menu, by means of a mouse click into the desired function, or by depressing a key, one proceeds to a main screen.

A main screen lists the most relevant data concerning the chosen function or component. For example, »events diagnosis« offers



The main screen showing the current state (Zustände) of the gas engine by means of measured values of significant parameters. By selecting buttons in the bottom line, detailed information on components of the motor is accessed.

access to the records of all extraordinary behaviour of the plant from the day selected up to the time of access by the user. It is possible to advance from the main screen directly to any other main screen of the same group, or return to the main menu.

In order to follow up the investigation, one proceeds to an assistant screen, usually by clicking into a pop-up menu in the main screen. Assistant screens offer graphical visualization, print-outs, or additional information, such as on the residual service life of a component.

The AOP as briefly described above was first tested in July, 1994, on a co-generation plant of the EMPA, the Swiss Federal Materials Testing Establishment, and subsequently refined.

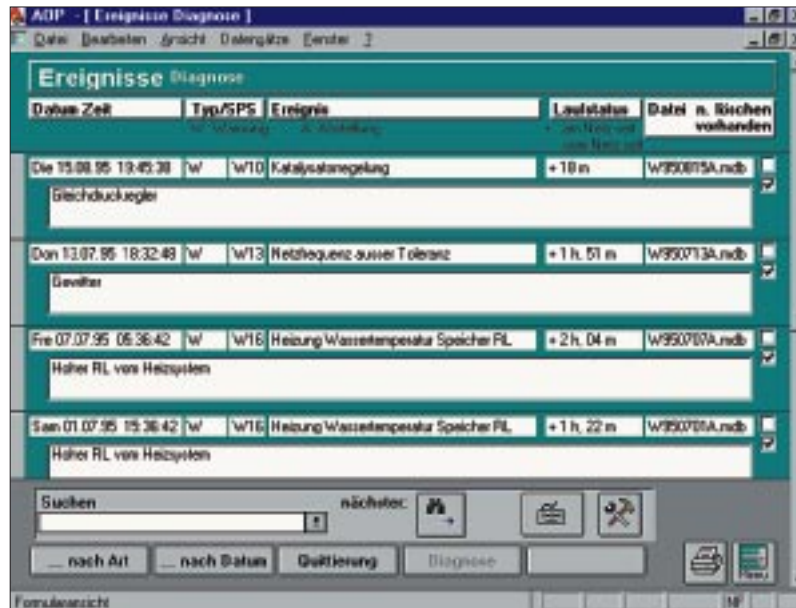
The diagnosis module

Underneath the AOP, the software comprises two distinct modules, one for diagnosis, the other for prognosis.

The module for diagnosing faults reduces the search for the causes of faults to two steps. At the beginning, the plant control, a programmable logic control, PLC, detects a fault, because a pre-determined limiting value of a process variable was exceeded. The PLC is programmed to recognize approximately 50 such events. Depending upon the nature of the fault, the PLC triggers an alarm, or initiates a planned shut-down or an emergency shut-down.

In conventional plant controls, limiting values usually were supplied by simple analogue instruments, or by limit switches. In order to avoid false alarms being all too frequent, those values had to be set to extremes.

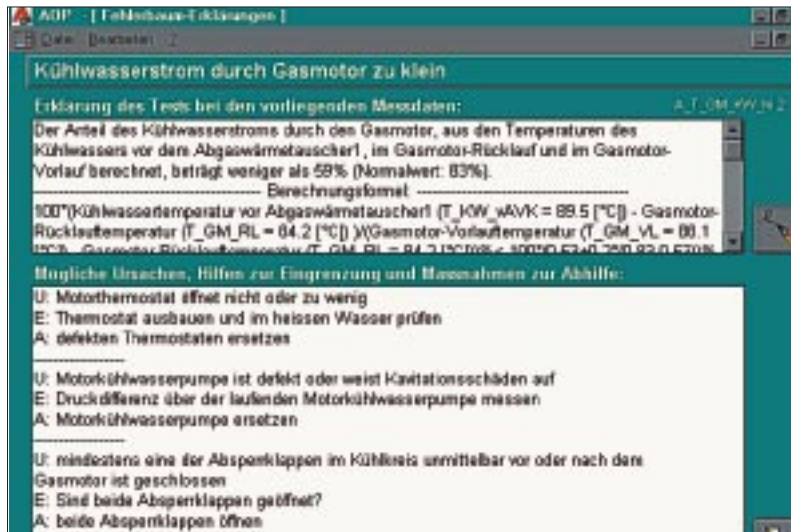
This main screen on »events –diagnosis«, precisely listing all events outside regular operation, is the starting point for diagnosis. By selecting the tools key (right), the fault tree belonging to any event is shown.



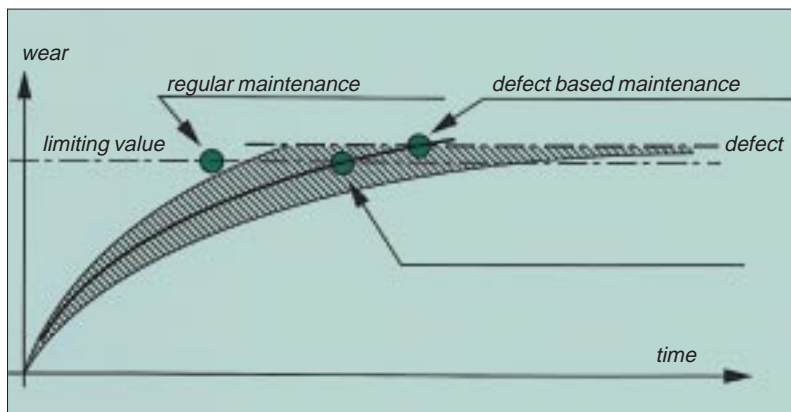
This assistant screen depicts the fault tree of »high engine coolant temperature«, offering five ranges of possible causes. From here, proceeding to the previous fault trees is possible. The tools key calls for further explanations, causes and remedial measures.



In this project, special parameters were defined to serve for limiting. These parameters are independent of the operating state, and are based on physical models of partial processes or plant components, e.g. heat exchanger, or catalyzer. The parameters are computed from process data recorded immediately prior to the onset of the fault. Subsequent to this is the automatic initiation of simple tests, whose results then are used to prepare the choice of decisions offered to the user. After being alerted by the alarm, the user is guided to the cause of the fault by dialoguing interactively with the expert system.



From an assistant screen for fault trees, screens can be chosen explaining the fault tree in detail and listing possible causes.



Given the wear history of a plant component, three principal strategies of maintenance are possible. Waiting until a defect necessitates repair, and then also doing maintenance work, can be expensive and does not permit any regular scheme. Regular maintenance in short intervals, though attempting to avoid defects, may be costly because most probably much of the work is done without any necessity. Condition-based maintenance is doing just what is necessary, but relies on wear models.

If not satisfied with the diagnosis offered, or with the remedial measures suggested by the system, the user can ask for additional tests and information.

The prognosis module

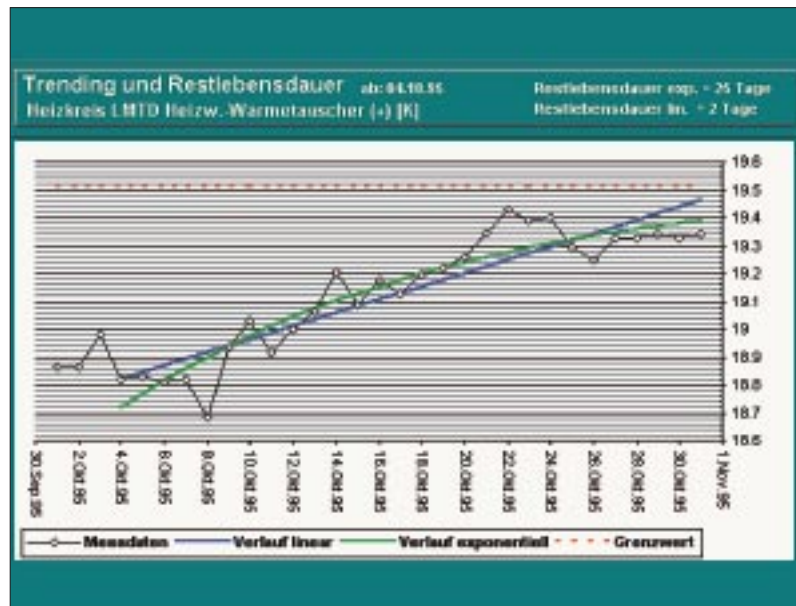
The prognosis module also conforms with the general trends of controls. These trends provide the basis for condition based maintenance, replacing traditional defect-induced repairing. The challenge is to define wear parameters which can be computed from the recordings of a minimum number of sensors. Again, physical models of component wear have to be established.

In this expert system, such parameters are computed over periods such as the 30 days prior to the date selected. The results obtained serve to calculate a growth function, and extrapolating this function to a limiting value of the parameter yields the remaining life span.

The main screen, selected from the main menu's line »trends« and column »prognosis«, shows »prognosis and residual life span of significant parameters« of various components—in this case the heating circuits and of the cooling circuits. In the second column, two values of the residual life span (in days) are given—the first one in the case of an exponential development of wear, the second one in the linear case.

Kenngröße	Einheit	Restlebensdauer		Zeitpunkt Start Ende	Abweichung expon. linear
		expon.	linear		
Abgas Temperatur nach Motor (+)	[K]	12	12	Tage	-12.1
BHKW Wirkungsgrad elektrisch (-)	[%]			Tage	13.62
BHKW Wirkungsgrad Hilfsbetriebe (-)	[%]			Tage	7.900
BHKW Wirkungsgrad thermisch (-)	[%]			Tage	20.26
Heizkreis LMTD Heizwasser-WT (+)	[K]			Tage	-20
Kühlkreis ByPass-Verhältnis (-)	[%]			Tage	8.06
Kühlkreis dT AWT (-)	[K]	25	23	Tage	-300
Kühlkreis dT RW-WT (-)	[K]			Tage	52
Kühlkreis Leistung Kühlwasserpumpe (-)	[kW]			Tage	32+05
Kühlkreis LMTD AWT (+)	[K]	25	2	Tage	-800
Kühlkreis RTU2 AWT (-)	[K]			Tage	1.556

Assistant screen showing »trending and residual life span« of the exhaust catalyzer. From the measured points (»Messdaten«) two trend curves are calculated, the linear trend assuming a linear development of component wear, and the bent curve assuming an exponential wear history. Extrapolation of any trend to the intersection with the (horizontal) limiting value will yield the residual life span.



For example, for heat exchangers an empirical fouling function has been known which permits the calculation of the instantaneous parameter values from a measurement of temperature and mass flow in the exchanger.

For field tests and regular operation, the refined expert system and AOP were first installed in a co-generation plant in January 1995. The experiences gained there have demonstrated the high potential the system offers with respect to savings as well as for plant improvement.

The start-up period of a plant can be considerably shortened, because »start-up problems« and problems with component inter-connections are recognized earlier and analyzed much more easily than by conventional visual observation.

Great savings potential

Savings in time and cost are also achieved in maintenance. Generally, co-generation plants are not attended on a continuous basis, as personnel costs would be disproportionately high. Frequently external service organisations are entrusted with maintenance. They attend to the plant on a fixed time schedule, carrying all tools and spare parts which may be necessary. Thanks to the remote access to the expert system via telephone line and modem, the service personnel now can judge from the centre of the organisation when a visit to the plant is due, and what work has to be done there. The same applies to repairs in case of an alarm, which naturally is transferred to the centre.

According to the authors of the project, their expert system also opens a path towards improving the performance of co-generation plants including the heat distribution network. Being a supervision system over the entire plant, it reveals weak spots, such as sub-optimum management of heat storage. Thus, within one or two years, the plant can be optimized for energy efficiency.

Another option is the continuous control of plant emissions, once reliable sensors are available. Ever more components are equipped by their producers with intelligent controls capable of self-diagnosis. It will be one of the tasks of further development of the expert system to integrate such controls.

The expert system is not restricted to co-generation, but can be transferred to other kinds of thermal plants. However, according to the authors, there is still much work to be done for the generalization of physical models and computing methods.



At the co-generation plant, a monitor and an optional keyboard are the entrance to the entire expert system.

Project no. 631

Flow-induced vibrations in staggered tube arrays of heat exchangers

The problem of vibration induced damage to cross-flow heat exchangers has been aggravated lately, mainly due to increased flow velocities. Intense worldwide research since the 1950s had yielded design guidelines for in-line tube arrays, but not for staggered arrays. A project started in 1993 at Sulzer Innotec, Winterthur, aimed at filling this gap for the frequently used normal and parallel triangular tube arrays. Comprehensive studies of the vortex shedding phenomenon were performed in an air tunnel and in a water channel, to measure velocity and pressure fluctuations and to visually observe vortices. As a result, the mechanisms of acoustic and mechanical resonance were clarified over a wide range of Reynolds number. On this basis, design guidelines were established.

Research target:

improve the comprehension of mechanisms of vortex excitation in tube bundles of staggered arrays

design guide-lines, to possibly avoid critical vibrations in heat exchangers

The background of this project reaches far into the past. Vibration induced damage to large heat exchangers has been known ever since those components of thermal power-plants and of installations in the chemical industry were introduced in the 19th century. Also, high noise levels caused by the vibrations have been a deafening nuisance to generations of workers in such plants.

Of course, engineers soon learnt how to calculate mechanical eigenfrequencies of single tubes. But avoiding mechanical tube resonances often would have meant impractical designs. And above that, the resonant behaviour of bundles comprising thousands of tubes with narrow spacings in between has escaped precise mathematical treatment.

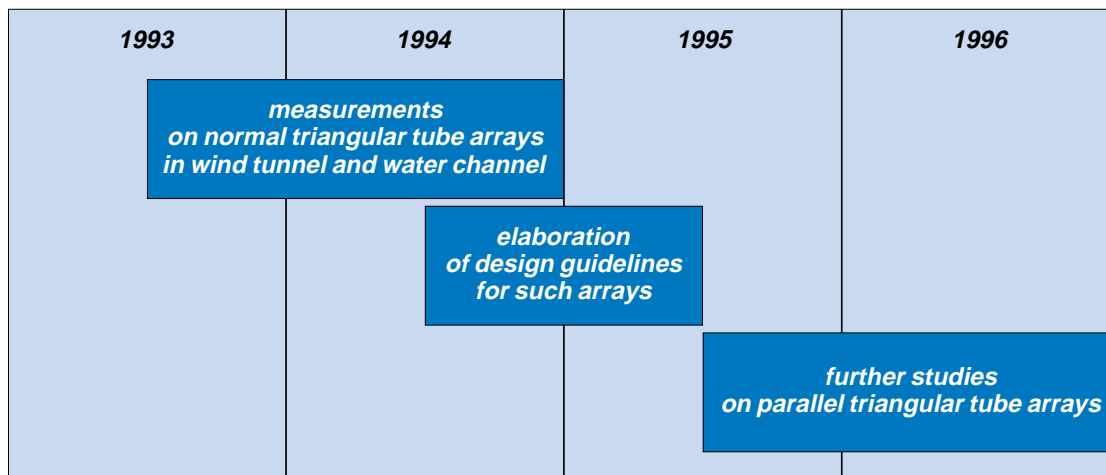
By far most of the damage – ranging from slow wear to sudden ruptures of tubes and even of casings – occurs in cross-flow rather than longitudinal-flow tube bundles. Repairs and replacements can take weeks and even months, when only one day's loss of production in a 300 MW power plant means losing approx. 1 million CHF in revenue. In nuclear power plants, failure of the steam-generator may even cause safety and environment problems. Apart from that, vibrations and noise do extract energy from the thermal cycle, thereby reducing plant efficiency.

Applications:

design of heat exchangers and combustion vessels in thermal power plants, chemical and related industries

Research since the 1950s ...

In industrialized countries, intensive research into the mechanisms of vibration excitation commenced in the 1950's. Fittingly, this research centered on cross-flow tube bundles. Over the years, a host of data and experiences were gained, which helped to reduce or avoid vibrations and damage. However, despite such progress, engineers have been confronted with resonances where none should have occurred.



In recent years, the general vibration problem has even been aggravated by the appearance of ever larger heat exchangers and steam generators, especially for nuclear power plants. Furthermore, the efficiency of heat exchangers has been raised by increasing the flow velocity, and often tubes and vessels have been designed to save material – with both features adding to the complexity of the vibration phenomena. Raising the maximum power of power plants also means accelerating flow beyond the design values.

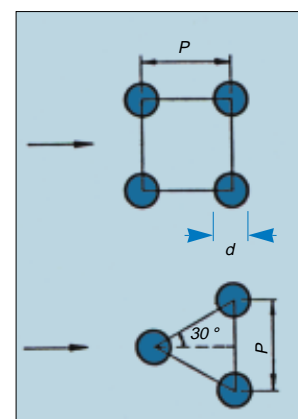
Gebr. Sulzer AG, Winterthur, have been engaged in this research since 1956, at which time they were one of the leading manufacturers of heat exchangers. Such production now belongs to the past, but the internationally recognized fluid dynamics laboratory has remained active within the Sulzer Innotec AG. In 1992, the specialists there concluded a research project on the mechanisms of flow-induced vibrations of in-line tube bundles, resulting in a marked improvement of design guidelines.

... but staggered tubes still unexplored

In 1993, they commenced a project on staggered tube-bundles. Whereas the project on in-line bundles had been financially supported by the Swiss Federal Office of Energy (BEW), the new one was NEFF sponsored. Was there such a difference in the vibrational behaviour of in-line and staggered arrays to warrant a specific project? International research implied a positive answer.

Despite the frequently found design of heat-exchangers with staggered bundles, there were not sufficient data to provide useful design guidelines. Recent results gained elsewhere indicated that staggered arrays would exhibit two different mechanisms of vortex shedding, the first eventuating at the first row of tubes, and the second, at a lower

Commencing in mid-1993, the first year-and-a-half of the project concentrated on measurements. From mid-1994, on the basis of the measurement results gained, design guidelines were worked out in parallel to the continuing experiments. From mid-1995, measurements on other staggered tube arrays were performed.



The two main groups of tube arrays applied in heat exchangers are in-line arrangements (top – quadratic array) and staggered arrangements (bottom – normal triangular array). The normal triangular array, to which the first phase of the project was devoted, is characterized by the pitch-ratio $X_p = P/d$.

The basic mechanisms of crossflow-induced vibrations of tube bundles

Turbulence buffeting

The flow upstream of the bundles usually is turbulent (i.e. random 3-dimensional movements of the fluid particles), the tubes act as additional turbulence generators. This occurs at any flow-velocity and frequency. The amplitude of tube vibrations is small and rises exponentially with velocity. Can cause »fretting-wear« at the tube supports, avoided by additional tube supports.

Vortex shedding (flow periodicity)

Behind any tube, periodic vortices form, whose frequency f_v rises linearly with flow-velocity v in the gap between the tubes. This is characterized by the dimensionless Strouhal number $S = f_v d/v$ (d = tube diameter), in a given tube array. When f_v coincides with an eigenfrequency of the tubes, mechanical resonance of the tubes occurs, which can damage them, but is avoided if the amplitude is smaller than 2 % of the tube diameter.

Acoustic resonance

Acoustic standing waves in the tube casing between top and bottom walls (h), perpendicular to flow direction and tube axes, can be excited by a coinciding flow periodicity. The first and second acoustic modes occur at $\lambda = 2h$ and $\lambda = h$, respectively, as pure but intense tones with sound levels up to 170 dB. This can damage casing and tubes – avoidable by suitable acoustic damping, or by increasing the resonance frequencies to evade coincidence.

Fluid-elastic instability

When the flow velocity exceeds a critical value, already small, turbulence-induced tube vibrations can be enhanced by a fluid feedback mechanism to such amplitudes, that the tubes touch each other and are soon damaged or ruptured – this is avoided by not exceeding the critical velocity .

frequency, at the second row. However, their relative importance to mechanical or acoustic resonance remained unknown.

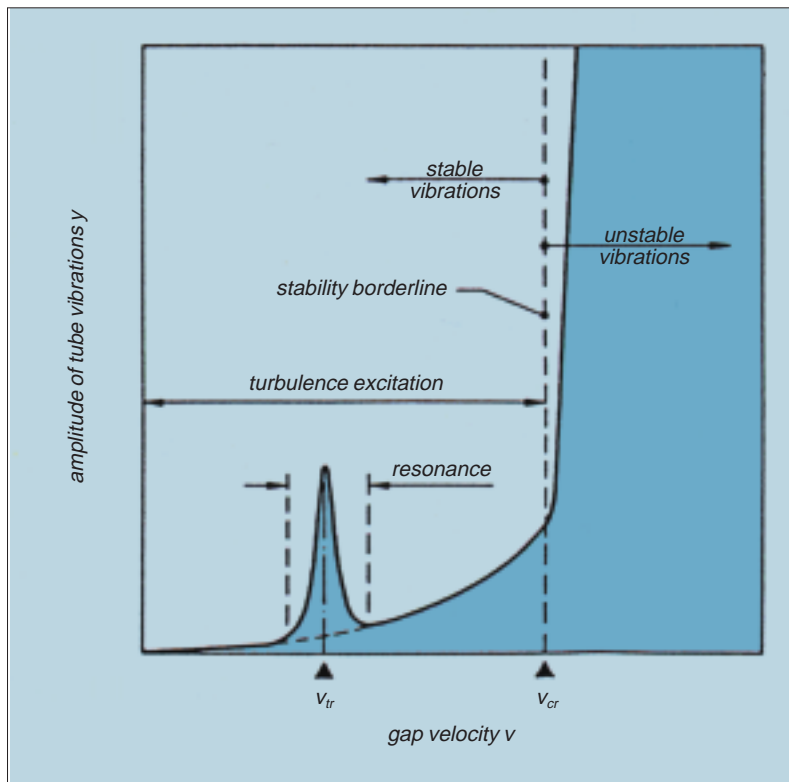
The Winterthur project fills this gap with a comprehensive experimental study of the most important excitation mechanisms of vibrations in staggered arrays: turbulence, vortex shedding, and acoustic resonances. Measurements of the dynamical fluid forces, which are generated by flow turbulence and vortex shedding, ought to cover Reynolds numbers up to 53'000.

The following summarises the results of the major part of the project dealing with normal triangular tube arrays.

Experimental setup and measurement techniques

Based on a literature survey and on preliminary experiments, three pitch-ratios X_p (ratio of the distance between the tube centres to tube diameter, P/d) for the triangular array were chosen. Representative for arrays in practice, they are classified as small ($X_p = 1.61$), medium ($X_p = 2.08$), and large ($X_p = 3.41$). In the experiments, the tubes were simulated by acrylic rods, fixed at both ends.

Measurements were performed in an open circuit wind tunnel and in a water channel. Local pressure variations on the tubes were



Plotting the measured amplitudes of a tube bundle as function of the flow-velocity in the gap between neighbouring tubes of the first row renders a spectrum of all flow-induced vibrations. Starting from zero velocity, the amplitudes of turbulent vibrations slowly increase with velocity. When the turbulence frequency coincides with a mechanical eigenfrequency of the tubes, mechanical resonance occurs, i.e. an amplitude peak around the eigenfrequency. A similar peak would characterize acoustic resonance, but is not shown here. Once the flow velocity exceeds a critical value, fluid-elastic instability sharply raises the amplitude to damaging values.

measured by miniature condenser microphones connected to a pressure tap drilled into special rods. Rigid rods made of aluminum, each end attached to a force transducer, served to simultaneously register the dynamic forces of lift and drag.

In the wind tunnel, the test section was made of 10 mm steel plates, and its rectangular cross-section was 200 x 450 mm. The rods were mounted horizontally and fixed to the side walls. Velocity fluctuations in the air were registered by miniature hot wire probes. The frequency analyzer had a range from 0 to 1 kHz. Pressure variations of acoustic resonant waves on the casing were measured by condenser microphones.

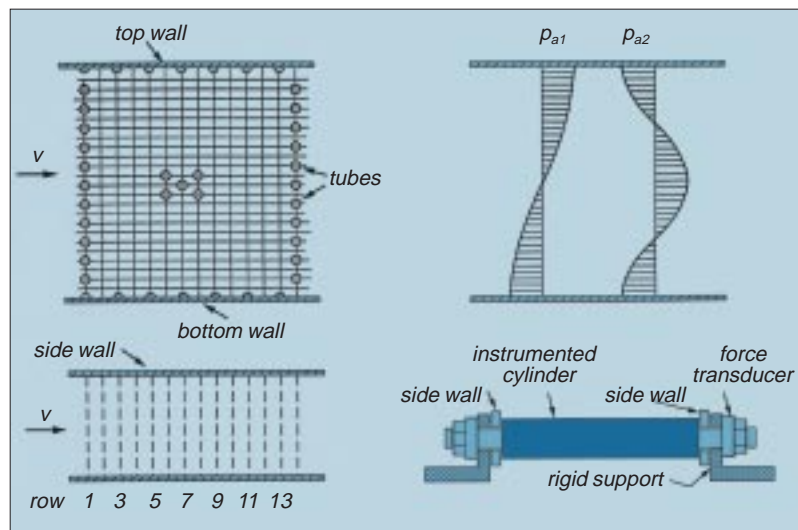
The test section of the water channel was covered by a perspex-plate, to enable visual observation of flow oscillations by means of a dye injection technique. The rods were mounted vertically. However, this setup was limited to measurements at low Reynolds numbers. For tests at higher Reynolds numbers, an additional section was installed, with the rods mounted horizontally, thus allowing for larger diameter rods.

Generally, the test section was completely filled with water up to the cover plate, thus not permitting free surface oscillations, which might have perturbed the measurements. But for experiments simulating the acoustic resonant modes as observed in the wind tunnel, the water level was reduced to let such free surface oscillations develop (these

The wind tunnel facility of Sulzer Innotec at Winterthur – in the foreground at left is the test section, where the horizontally mounted rods can be seen.



Schematic cross sectional (top) and top view (below) of the wind tunnel. In the cross section, only the outer tubes are shown, and those in the centre indicate the normal triangular array. On top at the right are the standing waves symbolizing acoustic resonance in the casing. On the bottom at right is a cylinder instrumented to measure lift and drag forces.



experiments facilitated the visualization of the coupling between vortex shedding and fluid resonance).

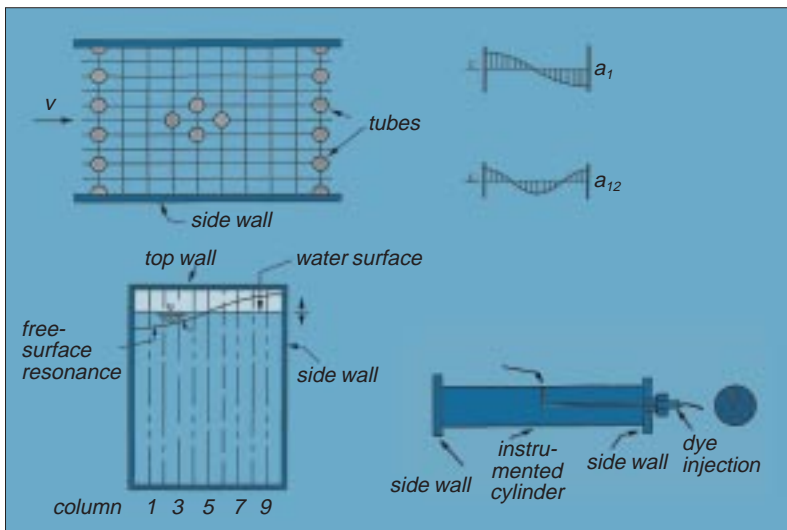
In the water channel, miniature hot film probes served to register velocity fluctuations. The frequency analyzer ranged from 0 Hz to 10 Hz.

To monitor the visible flow oscillations, an elaborate video-system was installed. A video camera with high-speed shutter covered up to five rows of rods at once. At the beginning, rods of 25 mm diameter were employed and later on rods of 60 mm, for higher Reynolds numbers. A second video camera registered the signals from the hot film probes. These signals then served as a time reference by superimposing them on the images of the first camera in a video mixer. Finally, still photographs were taken from the video screen.

The basic task was to measure frequency spectra, i.e. the local pres-



In the water channel facility, side walls and top cover made of perspex enable the observation of unsteady flow structures. In the middle there is a tube array (here in-line) of horizontally mounted rods. Placed on top of the channel are components of the video system.

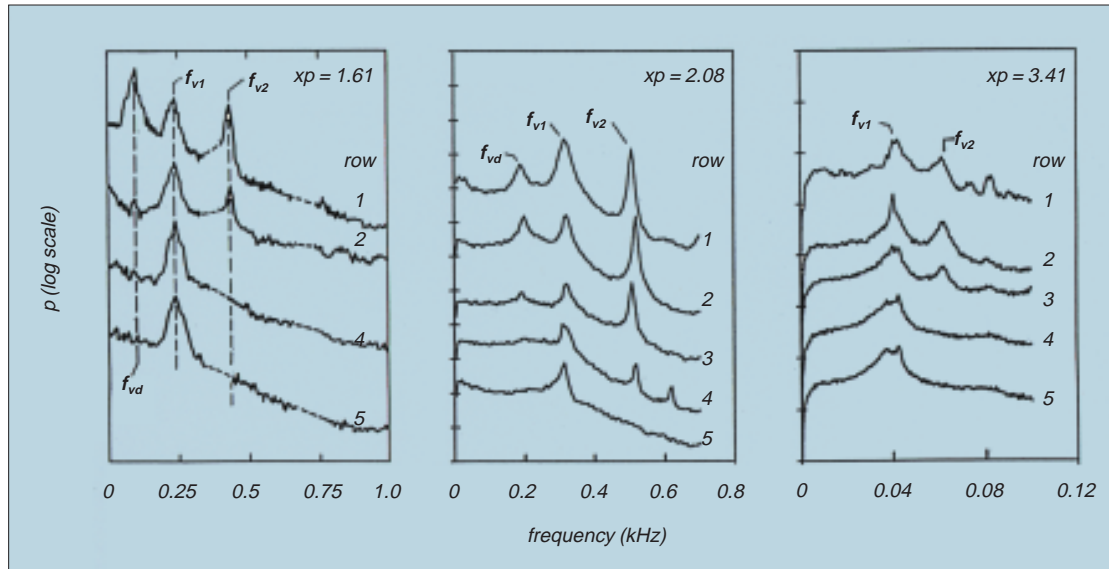


Schematic top view (top) and cross sectional view (below) of the water channel. Free surface oscillations (top, right), resembling the standing acoustic resonant waves in the wind tunnel, are obtained by lowering the water level from the top wall. On the bottom at right is a cylinder instrumented to inject dye to visualize the flow.

sure and velocity fluctuations vs. frequency of the oscillations, in the air tunnel. Thanks to the fact that both microphones and hot wire (or film) probes can be positioned anywhere within the test section, such spectra could be taken at any row.

The components of vortex shedding excitation

In general, for all the three pitch-ratios, the spectra of pressure and velocity fluctuations exhibit three vortex shedding components inside the bundles. From high to lower frequencies, they are named f_{v2} , f_{v1} , and f_{vd} . By means of extensive correlation measurements and flow-observation, the nature of each of the three vortex shedding components could be identified:



Basic measurements: pressure spectra taken in the wind tunnel – local pressure fluctuations vs. frequency of oscillations. The spectra for all three pitch-ratios are shown here. With the small ratio (a, at left, Reynolds number $Re = 49'600$), in the first row peaks f_{vd} , f_{v1} and f_{v2} are visible, representing the vortex excitation. From row four on, only f_{v1} remains. The medium pitch-ratio (b, centre, $Re = 26'300$) exhibits a similar characteristic, whereas component f_{vd} has completely disappeared at the large pitch-ratio (c, right, $Re = 6'600$).

- The highest component, f_{v2} , is generated by vortex shedding at the first row.
- Vortex shedding of the f_{v1} component eventuates further down stream inside the tube bundle.
- In the transition region, where the frequency changes from the higher f_{v2} to the lower f_{v1} , a non-linear interaction between them produces a difference component $f_{vd} = f_{v2} - f_{v1}$. However, f_{vd} only appears if the first two components exist simultaneously, and its maximum occurs behind the second row.

Dependency upon Reynolds number

The relative importance of each of these three vortex shedding components was found to depend upon the pitch ratio, as well as upon the total number of tube rows and tubes per row, and, especially in the case of f_{v2} , upon the Reynolds number Re .

This latter dependence is best illustrated by viewing the frequency spectra (as obtained from air tests as well as from water tests), where the frequency has been normalized to the Strouhal number, with Re as parameter. The Strouhal number S is a dimensionless frequency characterizing unsteady flows: $S = fd/v$, where f is the number of vortices generated per second behind the tubes, d is this body's diameter, and v is the flow velocity. In such a diagram, the Strouhal number of the f_{v2} -peaks is seen to decrease gradually with rising Re , until it unites with that of the f_{v1} -peaks, which, on the contrary, remains constant over the entire range of Re .

In other words, at low Re vortex shedding excitation is a multiple frequency phenomenon, but with increasing Re it transforms into a single frequency phenomenon. The Reynolds number at which this

<i>pitch-ratio</i> <i>P/d</i>	<i>P = tube</i> <i>distance</i>	<i>d = tube</i> <i>diameter</i>	<i>rows</i>	<i>columns</i>
1.61	50 mm	31 mm	10	8 + 2x(1/2)
2.08	37.4 mm	18 mm	14	11 + 2x(1/2)
3.41	75 mm	22 mm	7	5 + 2x(1/2)

The geometrical parameters of the tube bundles tested in the wind tunnel.

<i>pitch-ratio</i> <i>P/d</i>	<i>P = tube</i> <i>distance</i>	<i>d = tube</i> <i>diameter</i>	<i>rows</i>	<i>columns</i>
1.61	96.6 mm	60 mm	6	2 + 2x(1/2)
2.08	52 mm	25 mm	10	4 + 2x(1/2)
	124.8 mm	60 mm	7	3 + 2x(1/2)
3.41	54.5 mm	16 mm	9	4 + 2x(1/2)
	105.7 mm	31	6	3 + 2x(1/2)

The geometrical parameters of the tube bundles tested in the water channel.

transition occurs increases as the pitch ratio is decreased.

The effect of the pitch ratio can be summarized as follows. At small pitch-ratios, the f_{v1} -component is hardly discernible at the rear tube rows. As the pitch-ratio is increased, this component gains strength, and finally, at large pitch-ratios, it dominates the entire bundle (and the initially strong f_{v2} -component subsides).

The acoustic resonance mechanism

In general, acoustic resonances were found to occur in the classical manner: the first signs of resonance set in as the vortex shedding frequency approaches the resonance frequency. This is in contrast with the acoustic response of in-line tube arrays, where the occurrence of resonance is not related to the vorticity shedding excitation dominating prior to the onset of resonance.

The capability of each vortex shedding component to excite resonance in normal triangular arrays depends upon the pitch-ratio.

- With pitch-ratios less than approximately 1.7, the resonances are subject to the high frequency component f_{v2} , and these resonances are generally weak.
- With large pitch-ratios exceeding 2.8, acoustic resonances are excited by the lower frequency component f_{v1} . This is because f_{v2} only exists at low Reynolds numbers, and consequently the fluctuating energy associated with f_{v2} is too low to excite resonances.
- In the range of pitch ratios between 1.8 and 2.7, either component – f_{v1} as well as f_{v2} – can trigger the resonance. Those excited by f_{v2} are generally weak, but those excited by f_{v1} are very strong and can be destructive.

Reynolds number

The dimensionless ratio of inertial and frictional forces, characterizing any fluid system in which the viscosity is important in controlling the flow regime: $Re = \rho v d / \mu$, where ρ is fluid density, v is velocity, d is a characteristic length (e.g. diameter of the flow tube), μ is fluid viscosity. Re also serves as a criterion of type of fluid motion. In a pipe, e.g., laminar flow of any fluid normally exists at Re below 2000, and turbulent flow at Re above 3000.

The flow structure behind the first two rows of a medium pitch ratio normal triangular tube array, as made visible by a dye technique in the water channel. Taken at the high Reynolds number of 35'500 (achieved by using tubes of 60 mm diameter), single frequency vortex shedding occurs. To identify the source of the vortices shown, a frequency analysis was made by counting the vortices in the images of the video screen: they clearly belong to the high frequency component f_{v2} .



Turbulent fluid forces

In order to study the effect of Reynolds number and row depth, on the fluid forces acting upon the tubes, the three pitch-ratios were investigated at three values of Reynolds number: a relatively low one (13'300), a medium one (17'300), and a high one (53'300). For each of these values, the dynamic lift and drag forces were measured from the second to the eighth row.

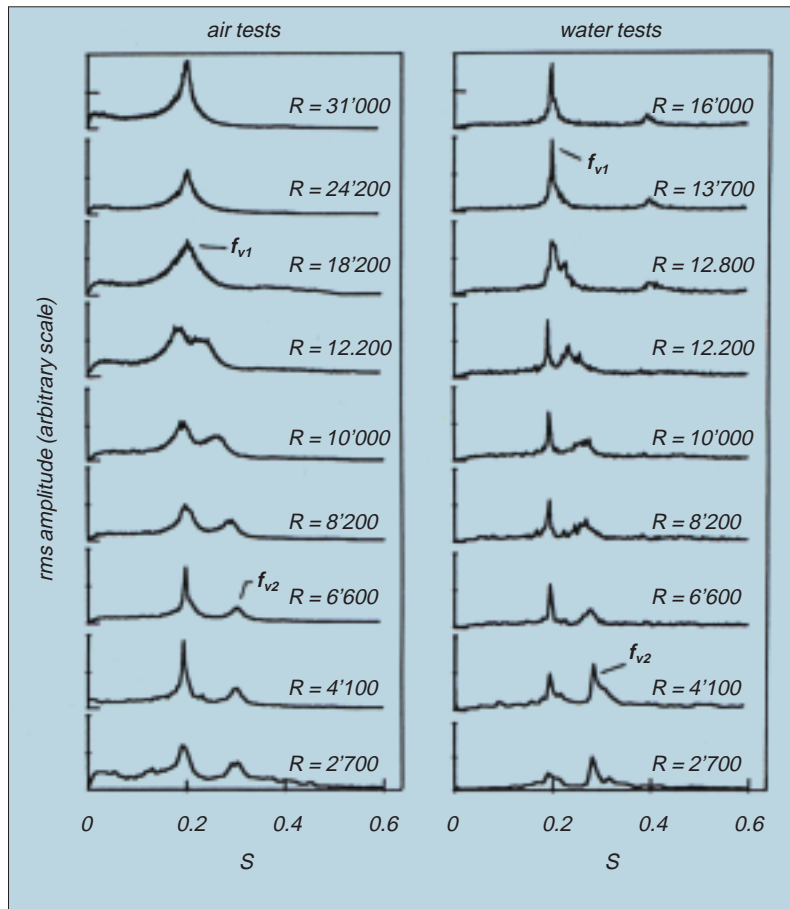
The results of each particular experiment are presented by the normalized power spectral density of the lift and drag forces as a function of the Strouhal number. Compiling in one single plot all the data of such diagrams for each tube bundle yields a bound spectrum, representing the maximum fluid forces exerted on the tubes.

Design guidelines

Acoustic resonances in normal triangular arrays have been found to be excited by either vortex shedding component f_{v1} or f_{v2} or both). This contrasts with the findings for in-line arrays whose acoustic resonances were found to be unrelated to the vortex shedding components.

The final results of the first project phase are three charts derived from the data gained. At least within the tested ranges of pitch-ratio and Reynolds number, these charts can serve as design guidelines for heat exchangers employing normal triangular tube arrays. Similar design charts for parallel triangular arrays are being developed in the second phase.

The first chart serves to estimate the frequency of periodic fluid for-



Typical spectra of the velocity fluctuations behind the second row in a large pitch-ratio array display the effect of Reynolds number on vortex shedding. Both the air and the water spectra were taken at similar Reynolds numbers Re to enable a direct comparison. At Re smaller than 6'600, both f_{v1} and f_{v2} exist and follow the Strouhal numbers 0.2 and 0.28, respectively. At Re above 18'200, only the vortex shedding component f_{v1} remains. In the Re range in between, the vortex shedding changes from a multi-frequency to a single-frequency phenomenon. Although the flow velocity in the wind tunnel was approx. two orders of magnitude higher than in the water channel, the transition range in both cases occurs at the same Re .

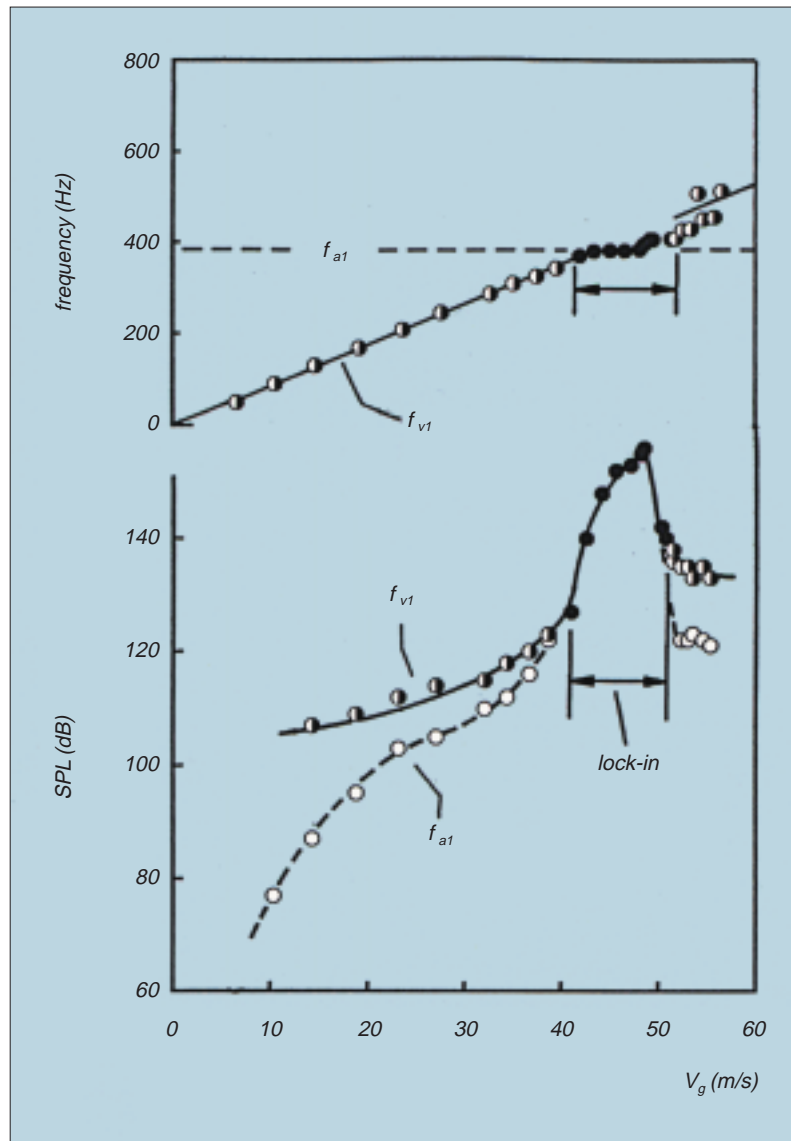
ces, which should be separated from the acoustic resonance frequencies and from the tube resonance frequencies. This »Strouhal number chart« shows the Strouhal numbers S_1 and S_2 , corresponding to the main vortex shedding components f_{v1} and f_{v2} , as functions of the pitch-ratio. The data confirm the measurements of other researchers, and extend the curves S_1 and S_2 to higher pitch-ratios. For a given pitch-ratio, one can read from the chart the corresponding values of S_1 and S_2 , and thus the frequencies of the vortex excitations f_{v1} and f_{v2} . Comparison with the known acoustic frequencies of the array, and with the mechanical eigenfrequencies of the tubes, then reveals any dangerous coincidence.

It is conceivable that the tube resonance frequency cannot be separated from the vortex shedding excitation. In such a case, the »lift coefficient chart« allows the estimation of the amplitude of tube vibrations. In this chart, which is not shown here, the maximum dynamic lift coefficient is given as a function of the Reynolds number, with the pitch-ratio as a parameter. Hence, for a given pitch-ratio, and known Reynolds number (which is proportional to the flow velocity), the maximum lift force acting on the tubes can be calculated.

Acoustic response of the array with large pitch-ratio, as a function of the flow velocity in the gap, v_g .

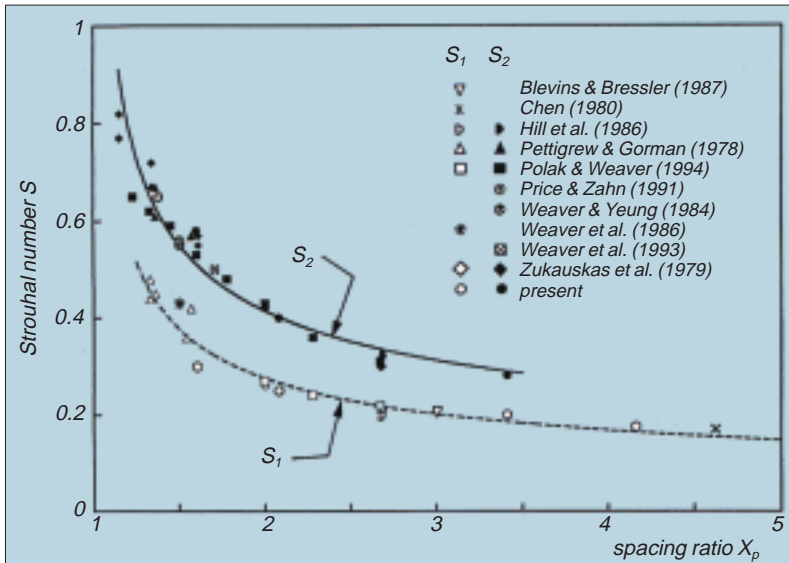
Top:
An acoustic resonance occurs as the vortex shedding frequency f_{v1} co-incides with the first acoustic mode frequency f_{a1} , at a flow velocity of 42 m/s. With the velocity increasing further, in the range between 42 and 51 m/s, the vortex shedding frequency is »locked-in« with the acoustic resonance frequency.

Below:
Within the »lock-in« range, the sound pressure level (SPL) increases rapidly, reaching a level of 156 dB.

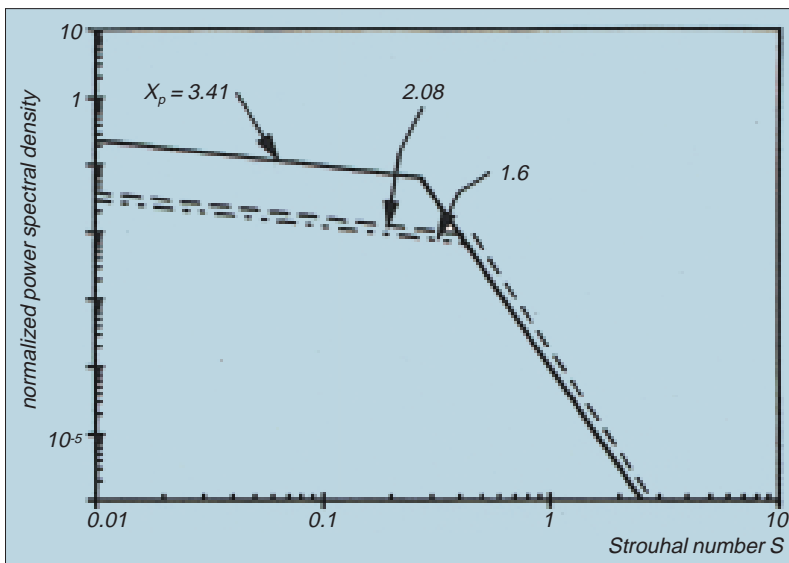


Thus, once tube resonances and acoustic resonances have either been avoided by design or are absent to begin with, the »power spectral density chart« shows the rate of fretting wear at the tube supports, which is the only remaining conceivable damage mechanism, caused by the turbulent buffeting response of the tubes. Knowing the fretting wear, the life span of a tube bundle can be calculated. In the power spectral density chart (the bound spectrum), the maximum dynamic lift or drag force is plotted as a function of the Strouhal number S , the parameter being the pitch-ratio. From a given pitch-ratio, and knowing the Strouhal number, the maximum tube response is derived.

With these design guidelines for normal triangular arrays being established, research at the Sulzer Innotec Fluid Dynamics Laboratory will be continued on other staggered tube arrays.



The »Strouhal number chart« depicts the Strouhal numbers of the main components of vortex shedding in the three tested tube arrays (and an additional with a pitch-ratio of 4.15), together with data collected from the literature. For the sake of clarity, the non-linear interaction component f_{v2} is not included, as it does not seem to cause any harmful effects, at least within the tested range of pitch-ratios and Reynolds numbers. The data gather around two Strouhal lines, S_1 and S_2 , corresponding to the vortex shedding components f_{v1} and f_{v2} , respectively. For given pitch-ratios, the chart gives the corresponding values of S_1 and S_2 , and thus the frequency of the associated flow periodicities f_{v1} and f_{v2} . Comparison with the known acoustic frequencies of the array, and with the mechanical eigenfrequencies of the tubes, then reveals any dangerous coincidence.



From the »power spectral density chart« the life span of a tube bundle can be calculated. In this bound spectrum, the maximum dynamic lift (or drag) force is plotted vs. the Strouhal number S . From a given pitch-ratio, and knowing the Strouhal number, the maximum tube response is derived. The highest level of dynamic forces in the lower frequency range (S less than 0.4) was measured at large pitch-ratios. As this ratio is reduced, the level of dynamic forces decreases.

Index

- A** Absorption freezer 154
Absorption refrigerator 155
Accelerating throughput 219
Acoustic Discharge Measurement, (ADM) 200
Acoustic path 201
Acoustic resonance 288, 303
Activated carbon filters 258, 261
ADM principle 201
Air quality 259, 264
Alkaline fuel cells 229
ALUCOSOL 267
Ammonia 154
Ammann Operating Panel (AOP) 290
Auto-ignition 145
Axial emergency bearing 242
- B** Battery 189
Bearings 241
Blue burners 179
Bonding, metal to ceramic 231
Bubble pump 156
Burner/Boiler-Combinations 184
- C** Calculations 260
Cancer evidence 252
Candle 251
Causes of cracks 184
Ceramic traps 246
Cheminée, fire place 275
Cleaning 249
Climatization 123
Co-flow 146
Co-generation 152
Co-generation plants 286
Coefficients of performance (COP) 154
Combustion chamber 142
Compressors 212
COMPRES 142
Condition based maintenance 286
Constant-volume combustion 142
Constant-volume-combustion, (CVC) 143
Continuously Variable Transmission (CVT) 186, 194
Converter 244
Cooling power 125
Corrosion protection 118
Corrosion-proof 122
Costs of ventilation 263
Counter-flow 146
Counter-flow-process 146
Current sources 280
Critical temperatures (T_c) 125
- D** DAHP 155, 158
Damage 296
DC-arc 282
DC-system 169
DC/AC-inverter 169, 171
DCO 189, 196
Deep bed traps 248, 256
Detecting circuit 284
Diagnosis module 291
Diesel engines 186, 246
Diffusion-absorption heat pump 154
Discharge rate 200
Distorted velocity profile 202
District heating 210
»Double stepsize« algorithm 221
Dry coolers 116
Duty Cycle Operation, (DCO) 187
- E** Earthquakes 134
Easy access 166
Eddy currents 218
EIR 116
Electric arc 173
Electric components 192
Electrolyte 228
Electrostatic filter 258
Energy pay-back period 177
Energy saving, induction heating 219
Environmental benefits 216
ETHZ 122
Events screen 290
Events diagnosis 290
Exhaust treatment plant 246

- Exhaust-gas driven turbo-charger 142
Expert systems 286
- F** Façade modules 266
Family home 275
Farmhouse 274
Fault analysis 286
Fault current detectors 170
Fault current limitation 124
Fault current limiter (FCL) 124
Fault trees 287-288
Fibre-reinforced materials 239
Field measurements 259
Fins 117
Fire 173
Fixed single cell device 143
»Flame-less« oxidation 228
Flow rate 200
Fluid temperatures 123
Flywheel 186, 189, 194, 239
Flywheel technology 238
Fogging 116
Fuel cells 228
Fuel savings potential 198
Full load 187
Fundamental improvements 152
- G** Gas reformer 236
Gas reservoir and trapping model 134
Gas seepages 133
Gas separation 156
Gas sniffing 133
Gas turbines 142, 212
Gasoline engine 186, 190
Gauss-Jacobi integration 203
Geochemical studies 138
- H** Heat equation 221
Heat exchanger 230
Heat exchangers 296
Heat pump 210
Heat pump and wood fired boiler 272
Helical blading 152
Hetero-ignition 145
HEXIS 228
HEXIS principle 230
High speed flywheels 238
- High-temperature superconductors (HTSC) 120,129
Jäggi AG 116
Honeycomb seal 151
Honeycomb trap 247
Hot spot problem 127
HP/WF 272
Hybrid concept 186
Hybrid Cooler 116
Hybrid dry coolers 122
Hybrid III 188
Hybrid III power-train 191
- I** IET test rig 254
Ignition 144
Ignition ring 151
Impermeable cover 132
»Inductive« HTSC-FCL 125
Induction heating 218
Insolation 176
Insulation faults 280
Internal recirculation 179
- L** Lakes 210
Leakages 151
Limits of the hybrid cooler 122
Linear acoustic path 202
Low-consumption Ecomobile 186
Low fluid temperatures 123
Low-NO_x 139
Low-NO_x burners 178
- M** Magnetic bearings 238
Main screen 290
Man-machine interface 289
Mathematical model 220
Maxwell's equation 220
Measurement error 209
Medium altitudes 166
Melting-process 128
Meteorological model 176
Micro-fibres 248
Micro-macroscopic description 224
Microstructure 220
Microwave heating 227
Mixed = burned states 180
Model was tested 222
Moistening rates 120

- Molten carbonate cells 229
- Mont-Soleil 167
- Multi-criteria analysis 215
- Mutual shadowing 168
- N** Negative impedance 284
- Nitrogen content of the oil 183
- Non-conventional gas reservoirs 132
- NO_x content 145
- Integration into the landscape 167
- Numerical code 221
- Numerical simulation 184
- Numerical simulation of the (DCO), 196
- O** Ohm's Law 22.
- Optimization 213
- Optimize induction heating 219
- Optimum air flow 12.
- Optimum insolation 166
- Optimum range 123
- Overpressure 133
- Overpressurized gas reservoir 134
- OWICS(Optimal Weighted Integration for Circular Sections) 203
- P** Parallel hybrid 188
- Particulate trap 246
- Passive internal flue gas recirculation 178
- Peak power 172
- PHALK 500 166
- Phosphoric acid cells 229
- Photovoltaic power plant 166
- Pitch-ratio X_p 298
- Plant control 291
- Plant data 167
- Potential of heating 216
- Power and cost 171
- Power capacity 176
- Power electronics 243
- Practical design 182
- Pre-heater 236
- Pre-stressed fibres 239
- Pressure wave 142
- Pressure-wave machine 142
- Prognosis module 293
- Propeller-type current meter 200
- Protection and safety 173
- Prototyp, 7 kW 234
- Protrusion effects 206
- PSI 117
- Q** Quench 125
- Quenching 219
- R** Recirculation rate (RR) 181
- Recirculation system 258
- Recommendations for burners 185
- Regeneration 249
- Reproducibility 209
- Reservoir 132
- Resistive limiter 127
- Return air 258
- Reynolds number 303
- Reynolds number Re 302
- Reynolds numbers 299
- Rotor 148
- Ruptures 249
- S** Saturated iron core reactor 127
- Scaling problems 157
- Seals 151
- Seasonal performance factor 277
- Seismic measurements 136
- Seismic valving 134
- Seismicity 134, 138
- Selective Catalytic Reduction (SCR) 246
- Series hybrids 188
- Shielded iron core 127
- Short-term energy storage 238
- Sieve 247
- Simulation 219
- Simulation of the stream quenching 225
- Single Cell Module Integrated Converter (SCMIC) 270, 271
- Skin effect 218
- Snow or hoar-frost 175
- Solar cell arrays 169
- Solar cells 266
- Solid oxide fuel cells (SOFC) 229
- Solid-polymer-cell 229
- Source 132
- Stack, 1 kW 233
- Staggered bundles 297

- Stator 148
 - Step-by-step approach 287
 - Stream quenching 218
 - Strouhal number 298, 302
 - Survey system 207
 - Suspension 243
 - Swiss Clean Air Act 179
 - Synchronous machine 240
 - Synchronous motor/generator 238
 - System (flywheel storage) 245
 - System losses 176
- T**
- Temperature level 210
 - Test-rigs 197
 - Thermal NO_x 178
 - Thermal stress 249
 - Tight seal 132
 - Total cost 172
 - Transducer 206
 - Trapping effect 247
 - Trends 29.
 - Turbulence, 119
 - Turbulent fluid forces 304
 - Types of fuel cell 229
- U**
- Ultrasonic transducers 200
- V**
- Vacuum 241
 - Variable Transmission (CVT) 189
 - Velocity profile 201-202
 - Vibrations 296
 - Vibroseis 138
 - Vortex generators 149
 - Vortex shedding 297
- W**
- Wall-flow trap 247
 - Water heating in summer 278
 - Weakened connections 280
 - Weisslingen test rig 251
 - Wet cooling 116
 - Wetting of cooling element 119
- Y**
- Yearly Utilization Model 273
 - YUM WP/Holz 273
- Z**
- ZrO₂-disc 230
 - Züri-Norm 179

6 Statut und Reglemente

- 314 Mitglieder des Stiftungsrates / Membres du conseil de fondation**
- 316 Stiftungsstatut**
- 322 Statut de fondation**
- 328 Stiftungsratsreglement**
- 329 Ausschuss-Reglement**
- 331 Pflichtenheft der Geschäftsstelle**
- 332 Reglement für Gesuchsteller und Beitragsempfänger**
- 336 Forschungskonzept des NEFF**
- 337 Anforderungen an Forschungspläne in Gesuchen**
- 340 Richtlinien für die Begutachtung von Beitragsgesuchen**
- 342 Schema des Bewilligungsverfahrens**

Mitglieder des Stiftungsrates

Membres du conseil de fondation

MM

- * Abegg, Karl (23. 6. 1977, 1. 1. 1982 bis 26. 5. 1984, Vizepräsident) †
- * Baer, Alec J. (seit 1. 1. 1985)
- * Barp, Bruno (seit 1. 1. 1988)
- Baumgartner, Eugen (seit 1. 1. 1980)
- * Beglinger, Viktor (ab 1984 bis 31. 12. 1987)
- Ebner, Fritz (seit 1. 1. 1986)
- Eichenberger, Klaus E. (seit 1. 1. 1984)
- Elmiger, Ernst (1. 1. 1978 bis 31. 12. 1987)
- * Epprecht, Max R. (23. 6. 1977 bis 31. 12. 1985)
- * Favre, Christian (1. 1. 1978 bis 31. 12. 1984)
- Fenchel, Ulrich (1. 1. 1982 bis Ende Aug. 1991) †
- * Flachs, Werner K. (23. 6. 1977 bis 31. 12. 1981)
- Gehr, Baptist (seit 1. 1. 1986)
- Germann, Karl (seit 1. 1. 1987)
- * Gränicher, W. H. Heini (seit 23. 6. 1977)
- Gubser, Hans-Rudolf (seit 1. 1. 1995)
- Hagmann, Fritz (1. 1. 1986 bis 31. 12. 1986)
- Haldimann, Beat (1. 1. 1982 bis 31. 12. 1985)
- Heer, Ernst (23. 6. 1977 bis 31. 12. 1979)
- Hess, Christian (seit 1. 1. 1981)
- Hess, Peter (seit 1. 1. 1989, Gast)
- * Jaecklin, André (seit 1. 1. 1992)
- * Jeanneret, François (seit 1. 1. 1982, Präsident)
- Joerin, Willie (23. 6. 1977 bis 31. 12. 1982)
- Koller, Eugen (1. 1. 1990 bis 31. 12. 1994) †
- Küffer, Kurt (1. 1. 1988 bis 31. 12. 1994)
- Lassere, André, (27. 6. 1989 bis 31. 12. 1993)
- * Linder, David (23. 6. 1977 bis 31. 12. 1981, Präsident) †
- * Meier, Rudolf W. (ab 1. 1. 1984 bis 31. 12. 1991)
- Meyer, Emile (23. 6. 1977 bis 31. 12. 1988)
- Madöry, Robert (23. 6. 1977 bis 31. 12. 1982) †
- * de Montmollin, Renaud (seit 1. 1. 1986)
- Peter, Jürg (1. 1. 1981 bis 31. 12. 1988)
- * Peter, Jules (seit 1. 1. 1988)
- Pictet, Jean-Michel (23. 6. 1977 bis 31. 12. 1983)
- * von Planta, Jean-Louis (seit 23. 6. 1977, Sekretär)
- Rüedi, Willi (1. 1. 1983 bis 31. 12. 1985)
- * Scheidegger, Ulrich (1. 1. 1984 bis 31. 12. 1987)
- Schmid, Christian (1. 1. bis 31. 12. 1986)
- * von Schulthess, Hanspeter (23. 6. 1977 bis 31. 12. 1987)
- * Strelbel, Werner (seit 23. 6. 1977; ab 1. 1. 1986 Vizepräsident)

- * Thut, Walter (23. 6. 1977 bis 31. 12. 1981 Vizepräsident)
- * Viro, Jean (seit 1. 1. 1980)
- Vital, Anton (seit 1. 1. 1992)
- Wagner, Max (23. 6. 1977 bis 31. 12. 1980)
- Wehrli, Bernhard (23. 6. 1977 bis 31. 12. 1981)
- * Wettstein, Albert (seit 1. 1. 1988)
- * Zangger, Claude (23. 6. 1977 bis 12. 10. 1978)
- * Zeuggin, Louis (23. 6. 1977 bis 31. 12. 1985)
- Zinsli, Paul-Erich (seit 1. 1. 1984)

Die mit * bezeichneten Stiftungsratsmitglieder bilden den Ausschuss

Les membres du conseil de fondation précédés d'un * forment le comité.

Stiftungsstatut

Art. 1
Name, Sitz, Aufsicht

Unter der Bezeichnung

NATIONALER ENERGIE-FORSCHUNGS-FONDS

besteht mit Sitz in Basel eine Stiftung gemäss den Artikeln 80ff. des Schweizerischen Zivilgesetzbuches.

Die Stiftung untersteht der Aufsicht des Bundes.

Art. 2
Zweck

Die Stiftung bezweckt die finanzielle Förderung der Forschung und Entwicklung auf dem Gebiet der Energiebeschaffung, -verteilung und -anwendung mit dem Ziel, eine ausreichende, sichere und kostengünstige Energieversorgung der Schweizerischen Eidgenossenschaft unter angemessener Rücksichtnahme auf die Umwelt und auf die Erschöpflichkeit der Vorräte mittel- und langfristig zu gewährleisten.

Sie kann auch die Erforschung und Nutzbarmachung neuer Energieträger und -formen sowie den Bau von Demonstrationsanlagen unterstützen und der Eidgenossenschaft Mittel zur Verfügung stellen, welche diese zur Erfüllung internationaler Verpflichtungen im Energiebereich benötigt.

Art. 3
Stifter,
Dotationskapital

Stifter sind:

- Erdöl-Vereinigung, Zürich (EV)
- Verband Schweizerischer Elektrizitätswerke, Zürich (VSE)
- KOLKO Genossenschaft Schweizerischer Kohlen-Importfirmen, Basel (KOLKO)
- Verband der Schweizerischen Gasindustrie, Zürich (VSG).

Jeder Stifter widmet der Stiftung einen Betrag von je Fr. 25'000.–
Das Dotationskapital der Stiftung beträgt somit Fr. 100'000.–

Einziges Organ der Stiftung ist der Stiftungsrat. Er setzt sich aus mindestens 15 Mitgliedern zusammen (*sie werden bezeichnet durch*):

**Art. 4
Stiftungsrat**

- bis 3 Vertreter der Erdölwirtschaft (*EV*)
- bis 2 Vertreter der Elektrizitätswirtschaft (*VSE*)
- 1 Vertreter der Kohlewirtschaft (*KOLKO*)
- 1 Vertreter der Gaswirtschaft (*VSG*)
- bis 4 Vertreter der industriellen Energieverbraucher (*EKV/Schweizerischer Konsumenten-Verband von Industrie und Wirtschaft*)
- bis 3 Vertreter der übrigen Energiebezüger (*Stiftungsrat*)
- bis 2 Vertreter der Forschungsindustrie (*Vorort*)
- 1 Vertreter der Hochschulen (*Hochschulkonferenz*)
- bis 3 Vertreter des Bundes (*Bundesrat*)
- 1 Vertreter des PSI (*PAUL SCHERRER INSTITUT / vor 1988: EIR, Eidg. Institut für Reaktorforschung*)
- Vertreter aus Forschung und Industrie (ad personam) (*Stiftungsrat NEFF*)

Wird eine zur Wahl berechtigte Organisation aufgelöst, so tritt ihre Nachfolgeorganisation an ihre Stelle. Fehlt eine solche, so bestimmt der Stiftungsrat die betreffenden Vertreter nach Konsultation der interessierten Kreise.

Die Amtsdauer der Stiftungsratsmitglieder, des Präsidenten und Vizepräsidenten beträgt drei Jahre. Wiederwahl ist zulässig. Die Stiftungsrat konstituiert sich selbst. Er wählt aus seiner Mitte den Präsidenten und den Vizepräsidenten. Zum Präsidenten kann auch eine aussenstehende Persönlichkeit gewählt werden, die erst durch die Präsidentenwahl zum Mitglied des Stiftungsrates wird.

Die Tätigkeit des Stiftungsrates ist, abgesehen von der Ausrichtung von Sitzungsgeldern, unentgeltlich, doch kann der Stiftungsrat seinem Präsidenten eine feste jährliche Entschädigung zusprechen. Der Stiftungsrat ist bei der Anwesenheit von mehr als der Hälfte seiner Mitglieder beschlussfähig. Er fasst seine Beschlüsse mit einfachem Mehr der abgegebenen Stimmen.

Bei Stimmgleichheit zählt die Stimme des Präsidenten doppelt (vorbehalten bleiben die Bestimmungen in Artikel 11 und 12). Der Stiftungsrat regelt die Zeichnungsberechtigung. Der Stiftungsrat wird auf Antrag des Präsidenten, des Vizepräsidenten, des Ausschusses oder von drei Mitgliedern des Stiftungsrates schriftlich unter Einhaltung einer 10-Tage-Frist zur Sitzung einberufen. Über die Beratungen des Stiftungsrates ist ein Beschlussprotokoll zu führen, das vom Präsidenten und dem Protokollführer zu unterzeichnen ist. Beschlussfassung auf dem Zirkulationswege ist zulässig.

Art. 5
Ausschuss, Experten

Der Stiftungsrat kann für die Behandlung der laufenden Geschäfte aus seiner Mitte entsprechend seiner Zusammensetzung einen Arbeitsausschuss bestimmen. Ihm gehören neben dem Präsidenten mindestens sechs Mitglieder an. Den Vorsitz führt der Präsident.

Aufgaben und Kompetenzen des Ausschusses sind durch ein vom Stiftungsrat zu erlassendes Reglement festzulegen.

Der Stiftungsrat und der Ausschuss können Forschungsprojekte, Beitragsgesuche und Finanzfragen durch ständige Kommissionen oder im Einzelfall zu bestimmende Fachvertreter begutachten lassen.

Art. 6
Geschäftsführung

Der Stiftungsrat kann für die Erledigung der administrativen Belange und für die Führung der Kasse einen Geschäftsführer ernennen, der dem Stiftungsart nicht anzugehören braucht.

Der Stiftungsrat erstellt das Pflichtenheft für den Geschäftsführer und regelt dessen Anstellungsbedingungen und allfällige Zeichnungsberechtigung.

Die Mittel der Stiftung setzen sich zusammen aus

- dem Dotationskapital
- den vertraglichen Beiträgen der Stifter dem Vermögensertrag
- weiteren Beiträgen der Stifter und Dritter.

Art. 7
Stiftungsvermögen

Die Stifter verpflichten sich nach Massgabe ihres jeweiligen Anteils an der Landesenergieversorgung zu vertraglichen Beitragsleistungen. Zu diesem Zwecke schliesst die Stiftung gleichlautende Beitragsverträge mit den Stiftern ab, welche die Höhe der Beiträge, deren Fälligkeit und deren Beschaffungsgrundsätze zu enthalten haben. Im übrigen ist die Mittelbeschaffung und allfällige Abwälzung der Beitragsleistungen auf die Energiebezügler grundsätzlich Sache der Stifter.

Art. 8
Vertragliche Beiträge

Kündigt ein Stifter seinen Beitragsvertrag oder weigert er sich, einer neuen Beitragsvereinbarung zuzustimmen, so sind die verbleibenden Stifter zur Fortsetzung der Stiftung berechtigt; in diesem Falle scheiden die Vertreter des beitragsunwilligen Stifters aus dem Stiftungsrat aus; gleichzeitig erlöschen alle Rechte, die dem Stifter aus dem vorliegenden Stiftungsstatut zustehen. Der kündigende Stifter bleibt indessen zur Leistung seines anteilmässigen Beitrages an die Stiftung zur Deckung der durch die Stiftung im Moment der Kündigung eingegangenen Verbindlichkeiten verpflichtet.

Art. 9
Verwendung der Mittel

Der Stiftungsrat oder der Ausschuss im Rahmen seiner ihm vom Stiftungsrat erteilten Kompetenzen beschliessen endgültig über die Beitragsleistungen für die Energieforschung und -entwicklung. Sie können einmalige oder wiederkehrende Beiträge gewähren, à fonds perdu oder als verzinsliche oder unverzinsliche Darlehen. Sie können Rückstellungen zur Deckung künftiger Verpflichtungen vornehmen.

Art. 10
Jahresbericht
Jahresrechnung
Revision

Der Präsident erstattet dem Stiftungsrat alljährlich für das abgelaufene Kalenderjahr einen Jahresbericht, der auch für alle im Stiftungsrat vertretenen Organisationen und Amtsstellen bestimmt ist. Dem Jahresbericht ist die auf das Ende des Kalenderjahres abgeschlossene Jahresrechnung beizufügen. Die Jahresrechnung ist durch eine in der Schweiz domizilierte Treuhandgesellschaft zu revidieren. Der Revisionsbericht ist dem Jahresbericht ebenfalls beizufügen.

Jahresabschluss und Jahresrechnung sind vom Stiftungsrat zu genehmigen.

Die erste Berichts- und Rechnungsperiode endet am 31. Dezember 1977.

**Art. 11
Umwandlung
der Stiftung**

Das Stiftungsstatut kann im Rahmen des Stiftungszweckes und vorbehältlich der Zustimmung der Aufsichtsbehörde durch den Stiftungsrat jederzeit abgeändert werden.

Der gültige Abänderungsbeschluss bedarf der Zustimmung der Mehrheit aller Stiftungsratsmitglieder und der Mehrheit der Stifter.

**Art. 12
Auflösung**

Mit der Mehrheit der Stimmen aller Stiftungsratsmitglieder und unter Zustimmung der Mehrheit der Stifter kann der Stiftungsrat die Aufhebung der Stiftung beschliessen

- falls die Erfüllung oder Weiterverfolgung des Zweckes wegen Erschöpfung der Stiftungsmittel oder aus anderen Gründen unmöglich geworden ist
- oder falls durch die Entwicklung der wirtschaftlichen oder politischen Lage der Schweiz die Fortsetzung der vertraglichen Beitragsleistungen an die Stiftung für die Stifter unzumutbar geworden ist.

Falls die Schweizerische Eidgenossenschaft einen oder mehrere Energieträger, deren Organisationen mit der Stiftung einen Beitragsvertrag abgeschlossen haben, einer irgendwie gearteten direkten oder indirekten zusätzlichen Steuer oder Abgabe unterwirft (ausgenommen Ausgaben zur Finanzierung der Pflichtlagerhaltung), hat die Stiftung mit Rechtskraft des diesbezüglichen Beschlusses der Schweizerischen Eidgenossenschaft ihre Tätigkeit einzustellen und auf den Einzug der noch ausstehenden Beitragsleistungen zu verzichten. Fällige, noch ausstehende Beitragsleistungen sind hingegen bis zu diesem Zeitpunkt noch zu entrichten. Die Stiftung ist in einem solchen Fall mit sofortiger Wirkung aufgelöst.

Der Stiftungsrat führt die pendenten Geschäfte zu Ende und entscheidet im Rahmen des Stiftungszweckes über die Verwendung des bei Auflösung vorhandenen Stiftungsvermögens. Eine Mittelrückführung an die Stifter ist ausgeschlossen.

Streitigkeiten über die Auslegung der Stiftungsurkunde sowie zwischen

**Art. 13
Schiedsgericht**

- der Stiftung und den Stiftern
- der Stiftung und ihren Beitragsempfängern
- der Stiftung und den zur Wahl von Stiftungsratsmitgliedern laut Stiftungsurkunde zuständigen Organisationen und Instanzen

entscheidet endgültig ein Dreierschiedsgericht am Sitze der Stiftung. Für das Schiedsgericht und sein Verfahren gelten die Bestimmungen des Konkordates über die Schiedsgerichtsbarkeit vom 27. März 1969, vom Bundesrat genehmigt am 27. August 1969.

In allen Absprachen zwischen der Stiftung, den Stiftern und den Empfängern von Forschungsbeiträgen ist auf die Schiedsabrede hinzuweisen.

Durch die Stifter gemäss öffentlich beurkundetem Stiftungserrichtungsakt am 23. Juni 1977 genehmigt.

Erste Fassung gemäss Beschluss des Stiftungsrates vom 25. August 1980.

Zweite Fassung gemäss Beschluss des Stiftungsrates vom 2. Mai 1985.

Statut de Fondation

- Art. 1**
Nom, siège, surveillance
- Sous la désignation
- «Fonds National pour la recherche énergétique»
- existe une fondation selon les articles 80ff. du Code Civil suisse avec siège à Bâle.
La fondation est placée sous la surveillance de la Confédération.
- Art. 2 But**
- La fondation a pour but de promouvoir financièrement la recherche et le développement dans le domaine de l'acquisition, de la distribution et des applications de l'énergie, ceci afin de garantir à la Confédération suisse un approvisionnement en énergie suffisant, sûr, favorable par son coût, et qui tienne compte de façon adéquate de l'environnement ainsi que de l'épuisement à moyen et à long termes des réserves disponibles.
- Elle peut aussi soutenir la recherche et la mise en valeur de nouveaux agents énergétiques, de nouvelles formes d'énergie, la construction d'appareillages de démonstration, et mettre à disposition de la Confédération les moyens lui permettant de remplir des engagements internationaux dans le domaine de l'énergie.
- Art. 3**
Fondateurs, capital de dotation
- Les fondateurs sont:
- l'Union Pétrolière, Zurich (UP)
 - l'Union des centrales suisses d'électricité, Zurich (UCS)
 - la Coopérative de maisons suisses d'importation de charbon, Bâle (KOLKO)
 - l'Association suisse de l'industrie gazière, Zurich (ASIG).
- Chaque fondateur accorde à la fondation un montant de fr. 25'000.—
Le capital de dotation se monte ainsi à fr. 100'000.—.

L'unique organe de la fondation est le conseil de fondation. Il comprend de 15 à 25 membres, désignés comme suit :

Art. 4
Conseil de fondation

- jusqu'à 3 représentants de l'économie pétrolière par l'UP
- jusqu'à 2 représentants de l'économie électrique par l'UCS
- 1 représentant de l'économie charbonnière par KOLKO
- 1 représentant de l'industrie gazière par l'ASIG
- jusqu'à 4 représentants des industriels par l'UCE/Union Suisse des consommateurs d'énergie de l'industrie et des autres branches économiques
- jusqu'à 3 représentants des autres consommateurs d'énergie par le conseil de fondation
- jusqu'à 2 représentants de la recherche de l'industrie par le VORORT
- 1 représentant des hautes écoles par la Conférence Universitaire Suisse
- jusqu'à 3 représentants de la Confédération par le Conseil fédéral
- 1 représentant de l'IPS (avant 1988 IFR, Institut fédéral de recherche en matière de réacteur) par l'IPS/INSTITUT PAUL SCHERRER

Si une organisation ayant le droit de désigner un représentant venait à être dissoute, l'organisation lui succédant prendra sa place. Si une telle organisation n'existe pas, le conseil de fondation désignera les représentants concernés après avoir consulté les milieux intéressés.

Le mandat des membres du conseil de fondation, du président et du vice-président dure trois ans. Ceux-ci sont rééligibles. La première période statutaire prend fin le 31 décembre 1979.

Le conseil de fondation se constitue lui-même. Il élit en son sein le président, ainsi que le vice-président. Une personnalité de l'extérieur peut également être désignée en qualité de président; elle ne deviendra membre du conseil de fondation qu'au moment de son élection à la présidence.

Abstraction faite du versement de jetons de présence, l'activité du conseil de fondation n'est pas rémunérée. Toutefois, le conseil de fondation peut allouer à son président une indemnité annuelle fixe.

Le conseil de fondation peut valablement délibérer lorsque plus de la moitié de ses membres sont présents. Il prend ses décisions à la majorité simple des voix exprimées. En cas d'égalité des voix, celle du président est comptée à double (restent réservés les articles 11 et 12). Le conseil de fondation détermine le droit à la signature.

Le conseil de fondation est convoqué par écrit, sur proposition du président, du vice-président, du comité ou de trois membres du conseil, dix jours au moins avant la séance. Un procès-verbal consigne les décisions du conseil de fondation; il est signé du président et du secrétaire. Les décisions peuvent être prises par la voie d'une consultation écrite.

Art. 5
Comité, experts

Pour traiter les affaires courantes, le conseil de fondation peut constituer en son sein un comité. Cet organe comprend de cinq à douze membres et, en plus, le président. Ce dernier préside le comité.

Les tâches et compétences du comité sont fixées dans un règlement établi par le conseil de fondation.

Le conseil de fondation et le comité peuvent faire expertiser des projets de recherche, des demandes de subsides et des questions financières par des commissions permanentes ou par des spécialistes désignés dans un cas particulier.

Art. 6
Affaires administratives

Le conseil de fondation peut nommer un responsable chargé de régler les questions administratives et de tenir la caisse. Celui-ci peut être choisi en dehors du conseil.

Le conseil de fondation établit le cahier des charges de ce responsable et définit ses conditions d'engagement ainsi que son éventuel droit à la signature.

Les ressources de la fondation se composent

- du capital de dotation
- des contributions contractuelles des fondateurs
- du rendement des biens
- d'autres contributions des fondateurs et de tiers.

Art. 7
Biens de la fondation

Dans la mesure de leur participation à l'approvisionnement du pays en énergie, les fondateurs s'engagent à fournir des contributions contractuelles. A cette fin, la fondation conclut avec les fondateurs des contrats-type qui fixent le montant des contributions, leur échéance et les bases de leur prélèvement. Pour le reste, il incombe aux fondateurs de définir le mode d'acquisition des montants en cause ainsi que leur report éventuel à la charge des consommateurs d'énergie.

Si un fondateur dénonce le contrat fixant les contributions ou s'il refuse de consentir à passer un nouveau contrat, les autres fondateurs peuvent poursuivre l'activité de la fondation; dans ce cas, les représentants du fondateur défaillant cessent d'appartenir au conseil de fondation; en même temps s'éteignent tous les droits résultant pour le fondateur des présents statuts. Le fondateur qui dénonce le contrat reste toutefois débiteur envers la fondation, de la part de sa contribution permettant de couvrir les engagements pris par la fondation au moment de la dénonciation.

Art. 8
Contributions contractuelles

Le conseil de fondation ou le comité, dans le cadre des compétences qui lui sont déléguées par le conseil de fondation, décident en dernier ressort du versement de contributions en faveur de la recherche sur l'énergie et du développement de cette dernière. Ils peuvent accorder des contributions uniques ou renouvelables à fonds perdu ou à titre de prêt portant intérêt ou non. Ils sont autorisés à constituer des réserves servant à couvrir des obligations futures.

Art. 9
Utilisation des ressources

Chaque année, le président établit à l'intention du conseil de fondation un rapport sur l'année civile écoulée, qui est aussi destiné à toutes les organisations et tous les services représentés au conseil de fondation.

Les comptes annuels, arrêtés à la fin de l'année civile, sont joints au rapport annuel. Ils sont contrôlés par une fiduciaire ayant son domicile en Suisse. Le rapport de contrôle est également joint au rapport annuel.

Art. 10
Rapport annuel, comptes annuels, contrôle

Le bouclage de l'exercice et les comptes annuels doivent être approuvés par le conseil de fondation.

Le premier exercice administratif et comptable se termine le 31 décembre 1977.

Art. 11
Transformation de la
fondation

Les statuts de fondation peuvent être modifiés en tout temps par le conseil de fondation, dans le cadre du but de la fondation et sous réserve de l'approbation de l'autorité de surveillance.

Pour être valables, les décisions correspondantes doivent réunir l'approbation de la majorité de tous les membres du conseil de fondation et des fondateurs.

Art. 12 Dissolution

Le conseil de fondation peut décider de dissoudre la fondation à la majorité des voix des membres du conseil de fondation et avec l'approbation de la majorité des fondateurs,

- au cas où l'accomplissement ou la poursuite des buts sont devenus impossibles en raison de l'épuisement des ressources de la fondation ou pour d'autres motifs
- ou, au cas où il serait devenu impossible d'exiger des fondateurs le versement de leurs contributions contractuelles, du fait du développement de la situation économique ou politique de la Suisse.

Si la Confédération suisse soumet un ou plusieurs agents énergétiques — dont les organisations respectives ont conclu avec la fondation un contrat fixant des contributions — à de quelconques impôts ou taxes supplémentaires, directs ou indirects (exception faite de la taxe de financement des réserves obligatoires), la fondation doit suspendre son activité au moment de l'entrée en vigueur de la décision correspondante de la Confédération suisse et renoncer à prélever les contributions contractuelles encore dues. En revanche, les contributions contractuelles encore dues, mais déjà échues, doivent être versées jusqu'au moment de l'entrée en vigueur. En pareil cas, la fondation est dissoute avec effet immédiat.

Le conseil de fondation liquide les affaires courantes jusqu'à leur terme et décide, dans les limites des buts de la fondation, de l'utilisation des biens de la fondation existant au moment de la dissolution. Un remboursement aux fondateurs est exclu.

Un tribunal arbitral composé de trois membres, constitué au siège de la fondation, tranche sans appel les différends qui divisent, à propos de l'interprétation de l'acte de fondation,

- la fondation et les fondateurs
- la fondation et les bénéficiaires de subsides
- la fondation et les organisations et instances compétentes pour désigner les membres du conseil de fondation selon l'acte de fondation.

Les dispositions du concordat du 27 mars 1969 sur l'arbitrage, approuvé par le Conseil fédéral le 27 août 1969, sont applicables au tribunal arbitral et à la procédure s'y rapportant.

Tout accord passé entre la fondation, les fondateurs et les bénéficiaires de subsides devra se référer à la procédure décrite ci-dessus.

Les présents statuts ont été approuvés par les fondateurs selon acte authentique du 23 juin 1977.

Première version revue par le conseil de fondation dans sa séance du 25 août 1980.

Deuxième version revue par le conseil de fondation dans sa séance du 2 mai 1985.

Art. 13
Tribunal arbitral

Stiftungsrats- Reglement

1. Der Stiftungsrat ist das oberste Organ der Stiftung und setzt sich aus 15 bis 25 Mitgliedern zusammen. Er vertritt den NEFF rechtsgültig nach aussen, sofern er diese Kompetenz nicht gestützt auf Art.5 der Stiftungsurkunde dem Ausschuss übertragen hat.
2. Der Stiftungsrat legt zu Beginn jedes Jahres die einzuschlagende Forschungspolitik fest. Er bestimmt insbesondere die Forschungsschwerpunkte und stellt einen entsprechenden Finanzrahmen auf.
3. Auf Antrag des Ausschusses entscheidet der Stiftungsrat Fragen von allgemeiner und grundsätzlicher Natur sowie Statutenkonformität, die bei der Bearbeitung von Projekten durch den Ausschuss auftreten.
4. Der Stiftungsrat entscheidet über Beitragsgesuche, deren Forschungsbeiträge Fr. 500'000.– übersteigen. Gesuche unter Fr. 500'000.– sowie statutenwidrige und offensichtlich aussichtslose Projekte können definitiv vom Ausschuss entschieden werden.
5. Der Stiftungsrat betreibt im Rahmen seiner Forschungspolitik auch Forschungsförderung.
6. Der Stiftungsrat nimmt Stellung zu Fragen und Vorlagen der nationalen Energieforschungspolitik.
7. Der Stiftungsrat genehmigt den Jahresbericht sowie die Jahresrechnung des NEFF.
8. Der Stiftungsrat ist beschlussfähig, wenn an seiner Sitzung zwei Drittel der Mitglieder anwesend ist. Er fasst seine Beschlüsse mit einfachem Mehr der abgegebenen Stimmen. Er kann seine Beschlüsse auch auf dem Zirkulationswege fassen; in diesem Fall bedürfen Entschliessungen zwei Drittel aller Stiftungsratsmitglieder.

Fassung gemäss Beschluss des Stiftungsrates
vom 28. November 1985.

Ausschuss- Reglement

1. Der Ausschuss besorgt, gestützt auf Art. 5 der Stiftungsurkunde, die laufenden Geschäfte und behandelt die ihm vor Stiftungsrat bzw. von der Geschäftsstelle vorgelegten Probleme. Jeweils zwei zeichnungsberechtigte Ausschussmitglieder unterzeichnen diejenigen Dokumente, welche den NEFF rechtlich verpflichten.
2. Der Ausschuss bewilligt die administrativen Aufwendungen und genehmigt die Jahresabrechnungen der Geschäftsstelle.
3. Er beschliesst die Bildung resp. personelle Zusammensetzung der Begutachtungs-Kommissionen.
4. Er ist Vorprüfungsinstanz der eingehenden Beitragsgesuche. Er entscheidet endgültig über die Zurückweisung der Gesuche wegen Statutenwidrigkeit oder offensichtlicher Aussichtslosigkeit.
Er entscheidet endgültig über Beitragsgesuche, deren Forschungsbeiträge Fr. 500'000.– nicht übersteigen.
Er kann ungenügende Beitragsgesuche zur verbesserten Darlegung zurückweisen.
5. Der Ausschuss leitet Forschungsgesuche, die einen Beitrag von mehr als Fr. 500'000.– beantragen, sowie solche, die Entscheidungen von Fragen allgemeiner oder grundsätzlicher Natur beinhalten, mit einem Antrag an den Stiftungsrat zur Entgegennahme oder Ablehnung weiter.
6. Er nimmt die Berichte der Begutachtungs-Kommissionen entgegen und entscheidet im Rahmen der Ziff. 4 und 5 entweder selbst definitiv über die Forschungsgesuche resp. leitet sie mit einem Antrag an den Stiftungsrat zum definitiven Entscheid weiter. Er kann ergänzende Abklärungen durch die Begutachtungs-Kommissionen oder Dritte veranlassen. Er bewilligt allfällige, in diesem Zusammenhang an Dritte auszubezahlende Honorare.
7. Der Ausschuss sorgt für die Koordination zwischen NEFF einerseits und den privaten oder öffentlich-rechtlichen Forschungsförderungsinstanzen andererseits. Er stellt dem Stiftungsrat insbesondere Antrag betreffend
 - Grundsätze der Energieforschungsförderung, Festlegen der einzuschlagenden Forschungspolitik und Setzen von Forschungsschwerpunkten und Richtlinien für das Beurteilungsverfahren
 - allfällige Stellungnahmen im energiepolitischen Bereiche

- Erteilung gezielter Energie-Forschungsaufträge
- Aufstellen eines Forschungsplanes sowie eines Budgets
- Ueberwachung und Auswertung laufender Forschungsprojekte
- Reglementierung der Pflichten der Beitragsempfänger
- die generelle Regelung der Beziehungen NEFF-Bund
- einzelne oder pauschale Beitragsleistungen an die Eidgenossenschaft im Sinne von Art. 2 Abs. 2 des Stiftungsstatuts, nach Prüfung und allfälliger Erörterung der von den Bundesstellen unterbreiteten Unterlagen
- Grundsätze der Oeffentlichkeitsarbeit sowie der Publikation von Forschungsprojekten

9. Er genehmigt zuhanden des Stiftungsrates den Jahresbericht des Präsidenten.

10. Der Ausschuss ist beschlussfähig, wenn an seiner Sitzung die Hälfte der Mitglieder anwesend ist und fasst seine Beschlüsse mit der Mehrheit der abgegebenen Stimmen. Er kann seine Beschlüsse auch auf dem Zirkulationsweg fassen; in diesem Fall bedürfen Entschliessungen der Mehrheit aller Ausschuss-Mitglieder.

Zweite Fassung gemäss Beschluss des Stiftungsrates vom 2. Mai 1985

Pflichtenheft der Geschäftsstelle

1. Führung der Korrespondenz.
2. Einberufung, Vorbereitung und Protokollführung der Sitzungen des Stiftungsrates und des Ausschusses.
3. Besorgung der Sekretariatsarbeiten der Begutachtungskommissionen.
4. Vertretung des NEFF nach Aussen, soweit der Ausschuss keine besondere Vertretungs-Delegation bestimmt.
5. Besorgung der Rechnungsführung.

Die Geschäftsstelle wird entweder durch den Präsidenten im Mandatsverhältnis oder durch einen Geschäftsführer geführt. Jene sind ermächtigt, einen Buchhalter für die Besorgung der Rechnungsführung oder einen weiteren Mitarbeiter zur Mitwirkung bei der administrativen Arbeit beizuziehen.

Der Präsident resp. der Geschäftsführer rechnet jährlich auf Jahresende über die Bemühungen der Geschäftsstelle (d.h. mit Einschluss der beigezogenen Mitarbeiter) ab und legt seine Abrechnung dem Ausschuss zur Genehmigung vor.

Reglement für Gesuchsteller und Beitragsempfänger

A Allgemeines

Der NEFF gewährt im Rahmen seines Stiftungsstatuts und des von ihm erlassenen Forschungskonzeptes Beiträge zur Forschung und Entwicklung an natürliche und juristische Personen. Die Zusprache eines Forschungsbeitrags begründet kein Rechtsverhältnis zwischen dem NEFF und den zu Lasten des Beitrags entlohnten Mitarbeitern.

B Das Gesuch

Gesuche können jederzeit an die Geschäftsstelle des NEFF eingereicht werden. Gesuchsteller, welche Professoren oder Mitarbeiter einer Hochschule sind, haben gleichzeitig Kopien ihres Gesuchs der für sie zuständigen Forschungskommission zur Begutachtung einzureichen.

Gesuche sind auf dem vorgedruckten Formular mit allfälligen Beilagen einzureichen und müssen alle Angaben enthalten, die für eine Beurteilung erforderlich sind. Die «Anforderungen an Forschungspläne» geben Auskunft über Inhalt und Form des Gesuches. Aus den Angaben im Gesuch muss eindeutig ersichtlich sein, wer einerseits im Rahmen dieses Reglements gegenüber dem NEFF und andererseits gegenüber andern Projektpartnern und den Mitarbeitern verantwortlich ist. Es sind zwei Fälle zu unterscheiden:

Der **Hauptgesuchsteller** (Angabe auf Seite 1 des Formulars) ist

a) eine **natürliche** Person (z.B. ein Hochschulprofessor, dem der Beitrag ad personam zugesprochen wird; diese Person ist gegenüber dem NEFF für das Gesuch verantwortlich und übt in der Regel die Funktion des Projektleiters aus)

oder

b) eine **juristische** Person (Firma, staatliche Anstalt); dann ist im Gesuch der Projektleiter zu nennen, der innerhalb der juristischen Person die Federführung für das Projekt besitzt. Sind weitere Unternehmungen am Gesuch beteiligt, so treten sie – analog zum Fall mehrerer natürlicher Personen – als Mitgesuchsteller auf (Zusatzseite beifügen).

Finanzierungsgrundsatz: Der NEFF erwartet eine Eigenbeteiligung des Gesuchstellers, die anteilmässig umso höher ist, je näher die Projektarbeiten an ausentwickelte Produkte oder Prozesse heranführen. Bis zum Beginn des NEFF-Projektes geleistete Leistungen können angegeben werden, gelten aber nicht als «Eigenmittel» (Ziffer 3.1) und sind nicht in die Gesamtkosten des Projekts (Seite 1) aufzunehmen.

Mit der Einreichung des Gesuches anerkennt der Gesuchsteller die Statuten des NEFF und lässt insbesondere die Beurteilung des Gesuches durch vom NEFF bestimmte Experten zu.

Der Entscheid des Stiftungsrates oder seines Ausschusses ist endgültig und muss nicht begründet werden. Kosten, die dem Gesuchsteller bei der Einreichung des Gesuches entstehen, werden nicht vergütet. Mit der Gewährung eines Beitrages übernimmt der NEFF keine Verpflichtung auf Zusprechung von Anschlussbeiträgen.

C Der Entscheid über das Gesuch

Vom Einreichungsdatum bis zum Entscheid ist in der Regel mit einer Bearbeitungszeit von etwa sechs Monaten zu rechnen.

Mit der Zusprechung eines Beitrages wird der Gesuchsteller zum Beitragsempfänger. Der Beitragsempfänger ist zu zweckentsprechender Mittelverwendung verpflichtet.

D Verpflichtungen des Beitragsempfängers

Der NEFF vergütet nur die im Schlussbericht nachgewiesenen Ausgaben des Gesuchstellers, im Maximum aber den bewilligten Beitrag. Lohnkosten dürfen die Ansätze der betreffenden Institution (Hochschule, staatliche oder private Forschungsanstalt, Firma) nicht übersteigen; in andern Fällen orientiere man sich am Mittelwert des SIA Zeittarifs, Kategorie B. Sozialabgaben und mutmassliche Teuerungszuschläge sind im Gesuch einzuschliessen; der NEFF tritt auf nachträgliche Forderungen nicht ein.

Die Beitragsempfänger sind in der Ausführung ihrer Forschungsarbeiten im Rahmen des bewilligten Projektes frei. Sie sind aber verpflichtet, vor jeder wesentlichen Veränderung ihres Forschungsplanes bezüglich Inhalt, Terminen und Mittelverwendung die Geschäftsstelle des NEFF anzufragen. Krediterhöhungen können nur mit einem neuen Gesuch beantragt werden.

Die Beitragsempfänger sind verpflichtet, dem Paten oder einem vom Stiftungsrat bezeichneten Organ nach vorheriger Anmeldung kurzfristig ein Zutritts- und Kontrollrecht einzuräumen.

Der NEFF behält sich das Recht vor, in Absprache mit dem jeweiligen Beitragsempfänger, in seinen Publikationen – Jahresbericht, Forschungsbroschüre, Zeitungsartikel – über das Projekt zu berichten. Deshalb sind die Beitragsempfänger (Projektleiter) gehalten, dem NEFF in geeigneten Zeitabständen von Apparaturen, Versuchsauf-

bauten etc. Fotos und Strichzeichnungen zu liefern, die allgemein verständlich sind und sich für Veröffentlichungen eignen.

E Auszahlung der Beiträge

Mit dem Bewilligungsschreiben wird dem Gesuchsteller bekanntgegeben, in welcher Form und in welchem Rahmen ihm der Beitrag ausgerichtet wird. Die Beiträge sind vom Empfänger auf separatem Konto zu verwalten. Jede neue Rate, die mindestens für ein halbes Jahr ausreichen soll, ist bei der Geschäftsstelle speziell anzufordern. Die bezahlten Beiträge haben alle Aufwendungen zu decken, für welche das Beitragsgesuch gestellt wurde. Es besteht kein Anspruch auf Zusatzleistungen, auch nicht auf Sozialprämien jeder Art. Der NEFF und seine Organe haben jederzeit das Recht auf Einsichtnahme in die Beitragsverwendungs-Unterlagen des Empfängers. Nicht beanspruchte Kredite und Barguthaben sind bei Abschluss der subventionierten Forschungsarbeit dem NEFF zurückzuerstatten. Eine Übertragung unbenützter Mittel auf ein neues Gesuch findet nicht statt.

F Anmeldung und Verwertung von Schutzrechten

Der Beitragsempfänger ist verpflichtet, falls er im Zusammenhang mit einem Beitrag des NEFF ein Schutzrecht für eine Erfindung anmeldet, oder gestützt darauf einen Lizenzvertrag abschliesst, der Geschäftsstelle des NEFF Mitteilung zu machen.

Der Beitragsempfänger ist verpflichtet, im Falle einer kommerziellen Verwertung eines solchen Schutzrechtes dem NEFF die gewährten Beiträge ganz oder teilweise zurückzuerstatten. Der Stiftungsrat setzt den zurückzuerstattenden Betrag für jeden einzelnen Fall fest.

G Berichterstattung und Abrechnung

Der Empfänger eines Forschungsbeitrages erstattet dem Stiftungsrat seinen Bericht und seine Abrechnung auf einem besonderen Formular. Es ist zu unterscheiden:

- a) der jährliche Zwischenbericht
- b) der Schlussbericht.

Der jährliche Zwischenbericht ist von jedem Empfänger eines Forschungsbeitrages unaufgefordert und stets auf Ende des jeweiligen Quartals zu erstatten. Massgebend für die Zeitrechnung ist das Datum der Krediteröffnung.

Der Schlussbericht ist von jedem Empfänger eines Forschungsbeitrages nach Beendigung der subventionierten Forschungsarbeit unaufgefordert zu erstatten. Die Einreichung des Schlussberichts ist

Voraussetzung für die Auszahlung der letzten Kredittranche durch den NEFF. Im Schlussbericht soll, gestützt auf die erreichten Ergebnisse, das Entwicklungspotential des Projekts bezüglich Technik, Wirtschaftlichkeit und Umweltbeeinflussung aufgezeigt und beurteilt werden.

Geldanforderungen, Gesuche um Verlängerung der Kreditdauer oder allfälligen Krediterhöhung sind immer getrennt von den Berichten in einem besonderen Brief einzureichen.

Im Sinne einer möglichst umfassenden Weitergabe von Forschungsergebnissen im Energiesektor werden sämtliche Zwischen- und Schlussberichte dem Bundesamt für Energiewirtschaft weitergeleitet mit der Aufforderung, den Titel und die Hauptschwerpunkte der Projekte im ENET-System festzuhalten. Diese Weiterleitung der Berichte erfolgt automatisch. Sollte ein Beitragsempfänger Interesse daran haben, dass die Berichte nicht veröffentlicht werden, muss das Sekretariat diesbezüglich unter Angabe der Gründe orientiert werden.

H ENET/Informationssystem des Bundesamtes für Energiewirtschaft

Apparate, Maschinen, Bücher und andere Hilfsmittel der Forschung, die aus Mitteln des NEFF angeschafft wurden, gehören zunächst der Stiftung. Nach Abschluss der subventionierten Forschungsarbeiten beschliesst der Ausschuss auf Antrag des Beitragsempfängers, an wen das Eigentum daran endgültig übergehen soll.

I Eigentumsrechte an Anschaffungen von bleibendem Wert

Bei missbräuchlicher Verwendung der Forschungsbeiträge oder Verstoss gegen dieses Reglement hat der Stiftungsrat das Recht, Konten zu sperren, bereits geleistete Beiträge zurückzufordern und allenfalls notwendige weitere Massnahmen zu treffen.

K Gegenseitiges Vertrauen

Der NEFF seinerseits verpflichtet sich, sein Kontrollrecht nicht ungebührlich auszunützen sowie im Kontakt mit Dritten die grösstmögliche Diskretion in bezug auf die Forschungsprojekte zu üben.

Dieses Reglement samt FORSCHUNGSKONZEPT und ANFORDERUNGEN AN FORSCHUNGSPÄNE tritt am 1. Januar 1990 in Kraft und ersetzt dasjenige vom 1. Januar 1978. Dieses gilt weiterhin für Gesuche, die vor dem 1. Januar 1990 bewilligt worden sind.

L Schlussbestimmung

Fassung gemäss Beschluss des Stiftungsrats vom 23. November 1990.

Das Forschungskonzept des NEFF

1. Gestützt auf den statutarischen Zweck

«Förderung der Forschung und Entwicklung auf dem Gebiet der Energiebeschaffung, -verteilung und -anwendung mit dem Ziel, eine ausreichende, sichere und kostengünstige Energieversorgung der Schweizerischen Eidgenossenschaft unter angemessener Rücksichtnahme auf die Umwelt und auf die Erschöpflichkeit der Vorräte mittel- und langfristig zu gewährleisten, Erforschung und Nutzbarmachung neuer Energieträger und -formen»

verfolgt der NEFF über die Forschungsfinanzierung das Ziel,

- die Anwendungstechnik der vorhandenen Energie im Sinne einer rationellen Energieverwendung (auch Energie-Einsparung) zu verbessern und die Energierückgewinnung zu fördern,
- zur Ergänzung bzw. zum Ersatz bisheriger Energiearten neue Energieformen nutzbar zu machen,
- die Speicherung von Energie zu ermöglichen bzw. zu verbessern,
- den Energietransport zu verbessern,
- die Beseitigung von Rückständen aus Energieprozessen zu verbessern oder zu ermöglichen,
- die schädlichen Auswirkungen jeglicher Energie-Nutzung auf die Umwelt zu senken,
- und den Bau von Pilot- und Demonstrationsanlagen zu ermöglichen.

Schwerpunkt der Förderung bildet die angewandte Forschung und vorausschauende Entwicklung. Grundlagenforschung und Produktentwicklung bilden nur ausnahmsweise Gegenstand der Förderungstätigkeit. Der NEFF pflegt den Kontakt und die Koordination mit anderen Institutionen, die sich mit der Förderung der Energie-Forschung befassen.

2. Der NEFF vermeidet die einseitige Unterstützung

der Forschung im Gebiet einzelner Energieformen, kann indessen im Sinne seiner statutarischen Zielsetzung für bestimmte Beitragsperioden Akzente setzen und Forschungslücken ausfüllen. Er kann daher je nach Ausmass, Zielsetzung und Intensität der schweizerischen Forschungstätigkeit

- ihm vorgelegte Projekte unterstützen (reaktiv)
- Forschungsaufträge erteilen und finanzieren (aktiv)
- oder Impulse zur Einreichung von Forschungsprojekten vermitteln und diese hierauf unterstützen (aktiv/reaktiv).

Fassung gemäss Beschluss des Stiftungsrats
vom 15. September 1989.

Anforderungen an Forschungspläne in Gesuchen an den NEFF

Ein klarer Forschungsplan ist eine der wesentlichen Voraussetzungen für ein erfolgreiches Gesuch.

Der Stiftungsrat des NEFF und die eingesetzten Gutachter beurteilen anhand dieses Planes, ob der Gegenstand des Gesuchs dem NEFF-Forschungskonzept entspricht, einen genügenden Neuigkeitsgrad aufweist, und ob Vorgehensweise und Mittel der Aufgabe angepasst sind. Der Forschungsplan muss deshalb in knapper Form die Absichten des Gesuchstellers so darstellen, dass sie Dritten verständlich und nachvollziehbar sind.

Der vorliegende Text gibt Erläuterungen und Empfehlungen zum Punkt «1. Projektbeschreibung» auf Seite 2 des Gesuchs um Entrichtung eines Forschungsbeitrages. Der dort auf Seite 2 verfügbare Platz ist für eine Kurzfassung vorgesehen, ergänzende Erläuterungen sind auf Zusatzblättern anzubringen.

Einleitung

Diese Rubrik muss über folgendes Auskunft geben:

Forschungsziel und -plan

Forschungsziel

- Welches sind die wichtigsten Fragestellungen?
- Was wird mit dem Projekt angestrebt?
- Welche Ergebnisse werden – im Falle des Erfolges – erzielt (Verfahren, Planungsunterlagen, Rechenprogramme, Systeme, Komponenten)?
- Abgrenzung gegen Arbeiten anderer Gruppen.

Forschungsplan (Vorgehensweise)

- Wie ist das Projekt fachlich und zeitlich gegliedert:
 - Angabe der wichtigsten Arbeitsschritte mit Zwischenzielen (Einteilung in Phasen, «Meilensteine»),
 - Einsatz der vorgesehenen personellen und technischen Mittel in den einzelnen Phasen,
 - Wo liegen allfällige Entscheidungspunkte («Sollbruchstellen»), an denen über Fortsetzung oder Abbruch der Arbeiten entschieden werden kann? Welches sind die angewandten Kriterien?
- Mit welchen Methoden (Versuche, Mess-, Auswerte- und Rechenverfahren usw.) soll das Ziel erreicht werden?
- Welche technischen Mittel werden wie und wann eingesetzt?
- Ist das Projekt mit anderen, ähnlichen Vorhaben koordiniert? Gibt es eine Zusammenarbeit mit den entsprechenden Forschungsstellen?

Anzuwendende Beurteilungskriterien sind:

- Konformität mit den Statuten und dem Forschungskonzept des NEFF.
- Wissenschaftliche Qualität.
- Originalität, Neuigkeitswert.
- Der Zielsetzung angepasste und glaubwürdige Lösungsmethode.
- Der Qualifikation und den Möglichkeiten des Gesuchstellers entsprechende Zielsetzung und Lösungsmethode.
- Sinnvolle und eine Beurteilung der Zwischenziele ermöglichende Etappierung.
- Übereinstimmung von geschätztem Aufwand gemäss Abschnitt 3 «Mittel» des Gesuches mit Zielsetzung und Methode.
- Realistischer Terminplan.
- Dem Arbeitsfortschritt angepasste Meilensteine.
- Umsetzbarkeit der Resultate in die Praxis.

***Stand der eigenen
Forschung,
eigene Arbeiten***

Anhand der Angaben zu dieser Rubrik werden folgende Punkte beurteilt:

- Bisherige eigene Vorarbeiten (und damit Vorleistungen) auf dem Forschungsgebiet.
- Qualifikation des Gesuchstellers und seiner Mitarbeiter auf dem Forschungsgebiet.
- Vergleich mit dem allgemeinen Stand von Forschung und Technik (Informationsquellen angeben).
- Von welchen Institutionen sind diese Arbeiten bis heute unterstützt und mitfinanziert worden?
- Liste der eigenen Publikationen oder bisherigen Berichte zum Thema.
- Beziehung zu Arbeiten anderer Gruppen sowie nationalen und internationalen Programmen.

***Fachliche Bedeutung
des Projektes***

In diesem Abschnitt geht es darum, den Stellenwert der im Falle eines Erfolges erarbeiteten Resultate im übergeordneten Rahmen – etwa des nationalen Energiesystems oder der angewandten Energieforschung – festzuhalten. Gefragt sind konkrete Angaben, nicht nur allgemeine, pauschale Hinweise. Als Beispiele seien angeführt:

- Erhöhte Versorgungssicherheit, Kostensenkung, rationellere Verteilung und Nutzung
- Neue Energieträger und -formen
- Entlastung der Umwelt bei Energieumwandlung, -verteilung und -nutzung

Die hier aufgeführten Punkte werden an den Statuten und dem Forschungskonzept des NEFF gemessen.

Der NEFF ist an einer Verwertung der Resultate, also einer Umsetzung in die Praxis, interessiert. Unter diesem Punkt sind mögliche Nutzniesser (Behörden, Planer, Hersteller und Anwender) aufzuführen. Ebenfalls ist hier anzugeben, in welcher Form und unter welchen Bedingungen die Forschungsergebnisse Dritten zur Verfügung gestellt werden (zum Beispiel Publikationen in der Fachliteratur, Patente, Lizenzen, Berichte, Rechenprogramme, Dienstleistungen usw.).

***Bedeutung des
Projektes für Dritte***

Richtlinien für die Begutachtung von Beitragsgesuchen

1. NEFF und die Stellung seiner Organe

NEFF als privatwirtschaftlich organisierte und aus Mitteln der privaten Wirtschaft finanzierte Stiftung ist gehalten, seinen administrativen Aufwand auf das Unerlässliche zu beschränken.

Abgesehen von einer Spesenentschädigung pro Sitzung arbeiten die Mitglieder des Stiftungsrates ehrenamtlich. Die Geschäftsstelle wird nach Aufwand entschädigt. Auf die Anstellung von Personal wird verzichtet.

2. Die zur Gesuchs-begutachtung beigezogenen Personen

Für die Beurteilung eingehender Beitragsgesuche und für die Betreuung eigener Forschungsaufträge werden eingesetzt:

- Aus der Mitte des Stiftungsrates ein Pate mit dem Auftrag, das Forschungsprojekt von der Gesuchseinreichung bis zur Ablehnung bzw. Beendigung beratend und kontrollierend zu begleiten und es vor den zuständigen Organen des NEFF zu vertreten.
- Auf Antrag des Paten aus dem Bereich der Hochschulen, der Institute und der Industrie Berater mit dem Auftrag, den Paten und die Organe des NEFF bei der Beurteilung des Forschungsprojektes in einzelnen Phasen oder nach Bedarf für die ganze Projektbegleitung als Experte zu beraten. Mehrere Berater eines Forschungsprojektes können mit dem Paten eine Expertenkommission bilden, welche die bewilligten Projektarbeiten überwacht und dem Projektleiter zur Seite steht.

Die Berater können vom Paten im Namen des Stiftungsrates unter Orientierung desselben beigezogen werden. Über die allfällige Entschädigung der Berater entscheidet der Stiftungsrats-Ausschuss von Fall zu Fall auf Antrag des Paten.

3. Beurteilungs- und Beratungskriterien

Pate und Berater sind gehalten, bei ihrer Tätigkeit folgende Kriterien zu beachten:

3.1 Im Prüfungsverfahren

3.1.1 Zum Projekt

- *Beurteilung des Gesuchs bezüglich Statuten- und Konzeptionskonformität
- Vermeidung von Doppelspurigkeiten, Konflikts- und Konkurrenzsituationen mit anderen Forschungsförderungs-Instanzen
- Beurteilung der Projektaussichten und der Bedeutung für die schweizerische Energieversorgung

- Beurteilung des Projektaufwandes im Verhältnis zum zu erwartenden Forschungseffekt
(Die mit * versehenen Positionen sind auch schon im Vorprüfungsverfahren zu beurteilen.)

3.1.2 Zur Person des Gesuchstellers

- * Beurteilung der geeigneten personellen und materiellen Leistungsvoraussetzung des Gesuchstellers
- Hinter der Person des Gesuchstellers stehende Interessen
- Qualität und Bonität des Gesuchstellers
- Bei juristischen Personen: Aktienkapital/Aktionärsinteressen
(Die mit * versehenen Positionen sind auch schon im Vorprüfungsverfahren zu beurteilen.)

3.2 Nach Bewilligung des Forschungsbeitrages

- Einhaltung des Forschungsziels und -programms
- Projektkonformer Einsatz der personellen und materiellen Mittel
- Einhaltung der Termine
- Projektgerechte Verwendung bzw. Verwaltung der vom NEFF zur Verfügung gestellten Beiträge
- Beurteilung eines allfälligen Nachschuss-Gesuches
- Reglementsgerechte Zwischen- und Schlussberichtserstattung.

3.3 Nach Vorliegen des Schlussberichtes

- Beurteilung des erzielten Resultates im Lichte der schweizerischen Energielage
- Antrag betreffend allfällige Publikation und Patentanmeldung der subventionierten Arbeiten, soweit nicht früher erfolgt
- Beurteilung des allfälligen Antrages des Beitragsempfängers betreffend Eigentum der aus NEFF-Mitteln erworbenen Hilfsmittel.

*Fassung gemäss Beschluss des Ausschusses
und des Stiftungsrates vom 24. Januar 1978.*

Schema des Bewilligungsverfahrens

Formelles

Eingang der Beitragsgesuche

- Unter Beizug des Triage-Fachmannes eventuell Aufforderung zur Verbesserung der Gesuchsdarstellung und -begründung
- Beschaffung der reglementarischen Angaben des Gesuchstellers (Formular)

zu erledigen durch Geschäftsstelle

Vorprüfung der Gesuche

- Bei fehlender Statutenkonformität oder bei Aussichtslosigkeit deren Abweisung
- Bei fehlender Konzeptionskonformität mit Antrag an Stiftungsrat
- Übrige Gesuche durch den Paten an die Begutachungskommission

zu erledigen durch Ausschuss

Materielle Gesuchsprüfung

zu erledigen durch Begutachungskommission

Entgegennahme des Berichtes der Begutachungskommission und Antragstellung an Stiftungsrat

zu erledigen durch Ausschuss

Entscheid betreffend Abweisung, vertiefte Nachüberprüfung oder definitive Gesuchsbewilligung mit Beitragszusprechung

zu erledigen durch Stiftungsrat resp. Ausschuss

Entgegennahme der jährlichen Zwischenberichte bzw. der Schlussberichte mit Abrechnung der Beitragsempfänger und Antrag über Verwertung

zu erledigen durch Ausschuss

Kenntnisnahme der Schlussberichte, Beschlussfassung über Veröffentlichungen und Verwertung

zu erledigen durch Stiftungsrat

- Die Branchenvertreter im Ausschuss geben der Geschäftsstelle ihre Kontaktstelle bekannt, denen die eingehenden Gesuche zur Triage und formellen Beurteilung zugestellt werden können.
- Nach erfolgter Gesuchsbereinigung bestimmt der Ausschuss aus den Mitgliedern des Stiftungsrates oder des Ausschusses den Pate. Dieser stellt die Begutachungskommission zusammen und nimmt als deren Mitglied an der materiellen Gesuchsprüfung teil. Er unterbreitet das Gesuch mit einem schriftlichen Begutachtungsbericht dem Ausschuss und vertritt nach dessen Antragstellung das Gesuch im Stiftungsrat.
- Der Pate begleitet nach erfolgter Beitragszusprechung die Forschungstätigkeit des Gesuchstellers und sorgt für die rechtzeitige und vollständige Zwischen- bzw. Schlussberichterstattung nebst Abrechnung.
- Je nach Bedarf sind der/die Gesuchsteller zur mündlichen Erläuterung des Gesuches vor den Ausschuss bzw. den Stiftungsrat zu laden.

2. Personelles

Zweite Fassung gemäss Beschluss des Stiftungsrates vom 2. Mai 1985.

7 List of approved Projects

The following file lists all projects which had been submitted to the NEFF and which, after refereeing, had been approved for NEFF funding. With a few exceptions the projects listed have been properly terminated by the submission of final reports as required by the NEFF rules.

Not included in the following list are research projects which were parts of programs of the International Energy Agency (IEA). In the early years, since 1978, the foundation had agreed to make substantial contributions to the Swiss Confederation which through the Federal Office of Energy (OFEN/BEW) managed the Swiss participation projects of all the international cooperative programs to which Switzerland adhered. After the indirect NEFF funding of IEA projects had ended in 1985, the Federal Office of Energy submitted to the NEFF a complete survey report in which details may be found.

Pattern of entries:

*project number
address of the institution or person which was responsible for the particular project
title of the project
year of the final report
ENET order number*

Comments to entries:

- A project number such as « 28+ » indicates that one or several follow-on grants have been assigned, the year of the last final report being given only. However, a separate project number e.g. « 41.1 » and an additional entry are given in cases where the follow-on project has a different title or recipient.*
- ENET is a national energy research data bank organised by the Federal Office of Energy, Berne. The earliest NEFF entries are from 1986.*

Information on the NEFF projects listed in the file below are available

- from the institution or person which carried out the project or*
- from the ENET Administration und Versand,
Postfach 130, CH-3000 Bern 16.*

- 8 IGEK, Ingenieurgemeinschaft für Energiehaushalt im kommunalen Bereich, J. Studach, Hegisplatz 6, 7000 Chur
Wärmeversorgung Sent
1982
- 13 Prof. Francis Troyon, CRPP-EPFL, 21 av. des Bains, 1007 Lausanne
Construction d'un tokamak destiné à l'étude du chauffage
1982
- 14 Stiftung Sonnenenergiehaus Zug, Dr. Alfred Stebler, Schönbühl, 6300 Zug
Sonnenenergiehaus Zug
1983
- 21 Gebr. Sulzer AG, 8401 Winterthur
Entwicklung eines kohlegefeuerten umweltfreundlichen Dampf- oder Heisswassererzeugers mit Wirbelschichtverbrennung bei Atmosphärendruck
1983
- 22+ Arbeitsgruppe PLENAR, Fortunagasse 20, 8001 Zürich
Plenar Wärmeverbund CH, Studie im Raum Olten
1980
- 23+ Dr. Lucien Keller, Clos Rollin, 1171 Lavigny
Comparaison entre un stock latent et un stock sensible dans une installation solaire
1979
- 24 SIA, Schweizerischer Ingenieur- und Architekten-Verein, Selnastrasse 16, Postfach, 8039 Zürich
B2 Methode zum Vergleich des Energiebedarfes von verschiedenen Gebäuden, B3, k-Wert Messungen am Bau
1981
- 28+ Prof. Olivier Guisan, Centre universitaire d'étude des problèmes de l'énergie, 24 quai E. Ansermet, 1211 Genève 4
Mesures du rayonnement solaire à Genève
1983
- 33 Prof. Dr. L. Rybach, Institut für Geophysik, ETH-Hönggerberg, 8093 Zürich
Geothermische Energie und unterirdische Wärmespeicherung (Sammelantrag, 3 Teilprojekte)
1981
- 34 Projektgruppe BIOGAS, Dr. W. Edelman, ETH-Zentrum, 8092 Zürich
Untersuchungen über die Erzeugung und Verwendung von Biogas (Methan) in schweizerischen Landwirtschaftsbetrieben
1980
- 37+ AMI S.A., H. Freyholdt, Case postale, 1002 Lausanne
Energieverteilung, vakuum-isolierte Fernheizleitung
1982
- 40 Prof. Dr. Hans-Christoph Siegmann, Laboratorium für Festkörperphysik, ETH-Hönggerberg, 8093 Zürich
Wasserstoffspeicherung: Elektronenspektrometer zur Untersuchung von Oberflächeneigenschaften
1979
- 41 EMPA, Abt. Bauphysik, Ueberlandstrasse 129, 8600 Dübendorf
Messtechnische Ueberprüfung des Sanierungsprojektes Wohnkolonie Limmatstrasse der Stadt Zürich
1984
- 41.1 WITOTEC AG, Schweizersbildstrasse 41, Postfach, 8205 Schaffhausen
Energiesparpotential und Mieterverhalten bei individuell programmierbaren Heizungsregelungen mit integrierter Heizkostenverteilung
1987
- 44 ATLANTIS ENERGIE AG, Mario Posnansky, Brüggliweg 18, 3073 Gümligen
Kollektor für die gleichzeitige Gewinnung von Elektrizität und Wärme auf einem nutzbaren Temperaturniveau durch thermophotovoltaische Umsetzung von konzentrierter Sonnenenergie
1982
- 48+ Prof. Dr. André Faist, Bâtiment LESO, EPFL, 1015 Lausanne
Bilan thermique dynamique des fenêtres
1983
- 50+ Dr. St. Veprek, Anorganisch-chemisches Institut der Universität Zürich, Winterthurerstrasse 190, 8057 Zürich
Weiterentwicklung eines plasmachemischen Verfahrens zur Darstellung von amorphem und kristallinem Silizium für billige Solarzellen und eventuellen weiteren Anwendungen
1983
- 53 BARBE AG, H.-U. Scherrer, Zollikerstrasse 128, 8008 Zürich
Fernwärmeleitungsnetze - Erfassung der rechnerische Behandlung der relevanten Daten zwecks echter Vergleichbarkeit verschiedener Systeme
1981
- 54 Dr. Pavel Kocian, Département de Physique, EPFL, 33 avenue de Cour, 1007 Lausanne
Etude de la déposition du silicium amorphe dans la décharge de silane en vue de son utilisation pour la fabrication des cellules solaires et des dispositifs électroniques
1980
- 63+ Schweizerische Meteorologische Anstalt, Krähbühlstrasse 58, 8044 Zürich
Entwicklung eines Instrumentenprototyps zur Messung der direkten Sonnenstrahlung im Netz automatischer Wetterstationen
1980
- 69+ Gebr. Sulzer AG, 8401 Winterthur
Hochtemperatur-Materialversuche mit einem Wärmetauscher-Modell
1991
- 71 Prof. Philippe Moreno, Université de Genève, 10 place de la Navigation, 1201 Genève
Vérification expérimentale d'un système passif serredalle mur accumulateur pour la climatisation des bâtiments
- 71.1 **Analyse du comportement thermique du mur accumulateur du fond d'une serre et comparaison avec celui d'un mur de façade de même orientation**
1984
- 78 Eidg. Fachkommission für die Nutzung der Sonnenenergie, c/o Bundesamt für Energiewirtschaft, Postfach, 3003 Bern
Beratungs- und Dokumentationsstelle für neue Energien sowie Energiesparmassnahmen INFOSOLAR (neu: Energie-Information)
1985

- 79+ EMPA, Markus Zimmermann, 8600 Dübendorf
KWH Koordinationsstelle der Wärmeforschung im Hochbau
1992
ENET 8900118/2
- 81+ Prof. Dr. Michael Grätzel, Institut de chimie physique, EPFL-Ecublens, 1015 Lausanne
Systèmes biophotocatalytiques pour la conversion de l'énergie lumineuse par réactions photorédox
1986
- 85+ Prof. Jean-Pierre Schneeberger, Laboratoire de Génie Atomique, EPFL, 33 avenue de Cour, 1007 Lausanne
Réacteurs hybrides fusion-fission/Transmutation nucléaire des actinides
1993
ENET 8900187/7
- 88 BATTELLE, J.-C. Courvoisier, 7 route de Drize, 1227 Carouge
Stockage saisonnier de l'énergie thermique disponible à basse température
1982
- 91 E. Brunner AG, 8162 Niedersteinmaur
Abwärme-Verwertung bei Grastrocknungsanlagen und Heizöl (Mittel) - Substitution durch Holz resp. Holzgas
- 91.1 **Ermittlung der Langzeit-Eignung, Wirtschaftlichkeit und Umweltverhalten für den teilweisen Holzgasbetrieb in der Grastrocknungsanlage**
1986
ENET 8700005/1
- 92+ Arbeitsgruppe SOLAR-TRAP, Forchstrasse 395, 8029 Zürich
Passive und aktive Sonnenenergienutzung bei Gebäuden
1986
- 101+ ABB, Dr. S. Stucki, 5401 Baden
Elektrodenmaterialien für die Wasserelektrolyse nach dem Membranverfahren
1984
- 102 Prof. Dr. Hans Melchior, Institut für Elektrotechnik, ETH-Zentrum, 8092 Zürich
Optimierung des Energietransfers aus photovoltaischen Solarzellengeneratoren
- 102.1 **Zusammenschaltung von photovoltaischen Solarzellengeneratoren**
1984
- 105 ELEKTROWATT AG, Dr. R. Minder, Postfach, 8022 Zürich
Saisonspeicherung von Wärme niedriger Temperatur in Bohrlöchern
1982
- 105.1 **Bau und Betrieb einer Versuchsanlage zur Wärmespeicherung im Boden mittels Bohrlöchern**
1987
- 106 BARBE AG, H.-U. Scherrer, Zollikerstrasse 128, 8008 Zürich
Konkurrenzfähigkeit der Fernwärme in Abhängigkeit von Abnahmedichte und Gebäudeisolation
1983
- 107+ BARBE AG, H.-U. Scherrer, Zollikerstrasse 128, 8008 Zürich
Dynamisches Verhalten von Fernwärme-Transportleitungen
1983
- 110+ Prof. Dr. André Faist, Bâtiment LESO, EPFL-Ecublens, 1015 Lausanne
LESO Laboratoire d'énergie solaire
1988
ENET 8700070/1
- 117 SEDE S.A., 33 rue du Midi, 1800 Vevey
Comportement dynamique, gestion optimale et bilan d'un stock de chaleur à moyenne température dans le sol
1991
- 117.1 Dr. Lucien Keller, Clos Rollin, 1171 Lavigny
Transfer d'eau dans le terrain au voisinage d'un stock de chaleur
1991
- 119 Schweizerischer Ingenieur- und Architekten-Verein, SIA, Selnastrasse 16, 8039 Zürich
C3 Lüftungsverluste von Gebäuden
C4 Korrelation der Klimadaten
1983
- 122+ ENFOG, Bruno Dürr, Postfach 3118, 8800 Thalwil
Mittlere Anlagen-Leistungs-Ziffern für Gas und Dieselwärmepumpen-Anlagen
1984
- 126 ATLANTIS ENERGIE AG, Mario Posnansky, Thunstrasse 43, 3005 Bern
Strahlungswandler bzw. Receiver für Sonnenkraftwerke mit gasgekühltem Kreislauf
1987
- 126.1 **Strahlungswandler (Gasreceiver) für solare Hochtemperaturanwendungen**
1990
ENET 8900071/1
- 127 Bernard Mathey, 2205 Montezillon
Mesure et analyse des performances d'une installation solaire alimant 12 maisons familiales avec stockage saisonnier souterrain de chaleur et pompe à chaleur à gaz
1986
- 128+ Prof. Dr. Klaus Yvon, Université de Genève, 24 quai Ernest-Ansermet, 1211 Genève 4
Synthèse de nouveaux composés pour le stockage d'hydrogène
1987
- 131 Dipartimento dell'Ambiente Ticino, Dr. Mario Camani, 6500 Bellinzona
TISO 4
1984
- 133 A. Tastavi, Institut de thermodynamique, EPFL-Ecublens, 1015 Lausanne
Luft-Luft-Wärmepumpenprogramm
1984
- 135 Prof. Dr. Christian Trepp, Institut für Verfahrens- und Kältetechnik, ETH-Zentrum, 8092 Zürich
Verhalten von Mehrstoffwärmepumpen unter veränderlichen Betriebsbedingungen
1985
- 136 Prof. Dr. H. Kunz, Institut für Hochbauforschung, ETH-Hönggerberg, 8093 Zürich
Energieverbrauch und Energiekosten beim Nutzen von Wohnbauten
1983

- 138 Prof. Dr. Christian Trepp, Institut für Verfahrens- und Kältetechnik, ETH-Zentrum, 8092 Zürich
Sorptions/Kompressions-Wärmepumpe
1986
- 139 Dr. Ulrich P. Büchi, Bodenacherstrasse 79, 8121 Benglen
Geothermisches Energiepotential des Felsgrundwasserträgers der Oberen Meeremolasse im Blick auf Warmwassernutzung und Wärmespeicherung zwischen Reuss/Zugersee und Bodensee
1983
- 139.1 **Abklärung der Aquiferbereiche und Aquiferverhalten innerhalb der Oberen Meeremolasse östlich der Reuss**
1986
- 145 Eidg. Forschungsanstalt für Betriebswirtschaft und Landtechnik, Dr. A. Wellinger, 8355 Tänikon
Untersuchungen über fördernde und hemmende Stoffe der Biogasproduktion auf Landwirtschaftsbetrieben
1983
- 145.1 **Verbesserte Konzepte der biologischen Prozessführung**
1985
- 146 Dr. W. Edelmann, ETH-Zentrum, 8092 Zürich
Verbesserung der Verfahren zur Biogasgewinnung aus organischen, speziell landwirtschaftlichen Abfällen
1983
- 146.2 Prof. Dr. Fritz Widmer, Institut für Verfahrens- und Kältetechnik, ETH-Zentrum, 8092 Zürich
Verbesserung der Wirtschaftlichkeit und praktische Absicherung der wissenschaftlichen Untersuchungen von Verfahren zur Biogasgewinnung aus landwirtschaftlichen Abfällen (Defizitgarantie Biogas-Handbuch)
1985
- 147 Dr. Pavel Kocian, EPFL, Département de physique, 33 avenue de Cour, 1007 Lausanne
Herstellung von a-Si Schichten mit reproduzierbaren Eigenschaften und ihre Dotierung
1982
- 148 SAGES, Rämistrasse 5, 8001 Zürich
Anwendungstechnik/Infrarot
- 155 SIA, Schweizerischer Ingenieur- und Architekten-Verein, Selnastrasse 16, 8039 Zürich
Forschungsarbeiten im Rahmen des Gesamtprojektes «Energie im Hochbau»
A) Systematische Analyse aller vorhandenen Erkenntnisse und Grundlagen
B) Entwicklung einer Methode für Energieoptimierung im Hochbau
1986
- 158 Prof. Dr. Franz Emch, Institut für Lebensmittelwissenschaft, ETH-Zentrum, 8092 Zürich
Energieeinsparung beim Trocknen von Lebensmitteln mit Luft
1984
- 159 Prof. Dr. Heinz Weber, Institut für angewandte Physik, Universität Bern, Siedlerstrasse 5, 3012 Bern
Untersuchung lasererzeugter Plasmen
- 160+ Dr. O. Dossenbach, Technisch- chemisches Labor, ETH-Zentrum, 8092 Zürich
Verfahren zur Herstellung von Siliziumschichten für Solarzellen
1991
- 160.3 Prof. Dr. Paul Rys, Laboratorium für technische Chemie, ETH-Zentrum, 8092 Zürich
Elektrokatalytische Herstellung von Siliziumfolien für Solarzellen
1994
ENET 8900133/2,3
- 161 Prof. Dr. P. Wachter, Laboratorium für Festkörperphysik, ETH-Hönggerberg, 8093 Zürich
Elektronische und thermodynamische Eigenschaften realer und potentieller Kernbrennstoffe
1986
- 162 Prof. Dr. J. Nösberger, Institut für Pflanzenbau, ETH-Zentrum, 8092 Zürich
Biologische N-Fixierung
1982
- 163 Prof. Dr. G. Kosterz, Institut für angewandte Physik, ETH-Hönggerberg, 8093 Zürich
Mikrostruktur und mechanische Eigenschaften von Superlegierungen
1988
- 164+ Prof. Dr. J.L. Olsen, Laboratorium für Festkörperphysik, ETH-Hönggerberg, 8093 Zürich
Supraleiter für Fusionsmagnete (Optimierung der physikalischen Eigenschaften von A-15 Supraleitern)
1989
- 165 Prof. Dr. Stephan Müller, Institut für Geophysik, ETH-Hönggerberg, 8093 Zürich
Erschliessung geothermischer Vorkommen
1985
- 167+ Prof. Dr. M. Taube, PSI (EIR), 5232 Villigen, PSI
Organisch-chemische Speicherung von H für Antrieb von Lastwagen
1986
- 168 Prof. Dr. H. Faulstich, HTL Brugg-Windisch, 5200 Brugg
Wissenschaftliche Erforschung des »Sparschaltungsprinzips« für aufgeladene Dieselmotoren im Nutzfahrzeugsektor
1985
- 169 A. Tuffli, Quaderstrasse 16, 7000 Chur
Nutzung geothermischer Energie
1984
- 172+ Prof. Pierre Henry, Institut de machines hydrauliques et de mécanique, IMHÉF/EPFL, 33 avenue de Cour, 1007 Lausanne
Recherche en cavitation
1992
ENET 8900306/1
- 175 ELCO Oel- und Gasbrennwerke AG, Abt. Solarenergie/Wärmepumpen, 7324 Vilters
Einfluss des Vakuums zur Verringerung thermischer Verluste von Solarkollektoren
1983

- 177 Prof. Dr. Fritz Kneubühl, Institut für Quantenelektronik, Physik-Departement, ETH-Hönggerberg, 8093 Zürich
Spektrometrische Energieforschung am Glas und anderem Baumaterial
1984
- 177.1 **Energieforschung betreffend Glas am Bau**
1988
- 178 Dr. Hans K. Asper, Institut für elektrische Maschinen, ETH-Zentrum, 8092 Zürich
Moderner Schwungrad-Energiespeicher aus hochfesten, anisotropen Materialien zur Speicherung von ca. 1 kWh elektrischer Energie im Leistungsbereich von ca. 10 kW
1985
- 178.1 **Moderner Schwungrad-Energiespeicher aus hochfesten, anisotropen Materialien; Optimierung des realisierten Prototyps im Hinblick auf praktische Anwendungen**
1987
- 178.3 **Hochtouriger Schwungrad-Energiespeicher in Glasfasergewebeband-Verbundtechnologie für Einbau in unterbrechungslose Stromversorgungsanlagen mit einer Leistung von 60 kW und einer Überbrückungsdauer von ca. 30 Minuten**
1989
- 180+ Prof. Dr. Hans-Christoph Siegmann, Laboratorium für Festkörperphysik, ETH-Hönggerberg, 8093 Zürich
Intermetallische Verbindungen zur Speicherung von Wasserstoff
1988
- 181 Prof. Dr. H. Hauri, Institut für Hochbautechnik, ETH-Hönggerberg, 8093 Zürich
Messungen und Auswertungen an mehreren bestehenden Bauten mit aktiver und passiver Ausnutzung der Sonnenenergie
1985
- 182 Prof. Dr. Christian Trepp, Institut für Verfahrens- und Kältetechnik, ETH-Zentrum, 8092 Zürich
Umgebungsluft als Wärmequelle für Wärmepumpen (Bereifungsprobleme)
1990
ENET 8700456/1
- 183 Prof. Dr. Fritz Heinrich, Laboratorium für Festkörperphysik, ETH-Hönggerberg, 8093 Zürich
Positronenuntersuchungen an Wasserstoffspeichermaterialien
1984
- 187+ Gebr. Sulzer AG, 8401 Winterthur
Energiesparhaus Sulzer
1986
ENET 8700114/1
- 191 KNS, Eidg. Fachkommission für die Nutzung der Sonnenenergie, c/o Bundesamt für Energiewirtschaft, 3003 Bern
Forschungsuntersuchungen im Rahmen der Bereitstellung meteorologischer Planungsunterlagen für die passive und aktive Sonnenenergienutzung
1985
- 194 Prof. Dr. André Faist, Bâtiment LESO, EPFL-Ecublens, 1015 Lausanne
Sonnenfassade
1984
- 195 Prof. Dr. R. Zwicky, Institut für Automatik und industrielle Elektronik, ETH-Zentrum, 8092 Zürich
Power-Conditioning für Solarzellen
1984
- 200 Dr. Jean-Marc Suter, PSI (EIR), 5232 Villigen PSI
Kombinierte Nutzung von Luft und Sonne für Wärmepumpenanwendungen. Besondere Berücksichtigung der klimatischen Bedingungen eines Bergdorfes
1985
- 202+ ABB, G. Zehnder, Abt. ZC, 5401 Baden
Gasdynamik der Druckwellenmaschine und ihre Anwendung bei Fahrzeug-Motoren zur Verringerung des Brennstoffverbrauches und der Abgasemission
1992
ENET 8900060/1
- 203 PSI (SIN), Georg Vécsey, 5232 Villigen PSI
SULTAN II, Supraleitertestanlage
- 205 Dr. Jean-Bernard Gay, Bâtiment LESO, EPFL-Ecublens, 1015 Lausanne
Serres agricoles chauffées au moyen de rejets thermiques - projet pilote CERN
1987
- 205.1 Antoine Reist, RAC, Centre des Fougères, 1964 Conthey
Optimisation du bilan énergétique des serres horticoles
1990
- 216 Antoine Reist, RAC, Centre des Fougères, 1964 Conthey
Versuche mit Infrarotstrahlen in Treibhäusern
1984
- 217+ PSI (EIR), Jean-Claude Mayor, 5232 Villigen PSI
Langzeitspeicherung hochwertiger Energie in sekundären chemischen Energieträgern und Produkten
1987
- 219 ELEKTROWATT Ingenieurunternehmung AG, Dr. R. Minder, Bellerivestrasse 36, 8022 Zürich
Vergleichende Untersuchung solarthermischer und photovoltaischer Elektrizitätserzeugung
1984
- 223 Niklaus Amsler + Partner, Schindlerstrasse 5, 8006 Zürich
LERA Licht Energie Recycling Architektur
1987
- 223.1 **Die Erfassung von Luft- und Wärmeströmungen in einem Gebäude mit mechanischer Lüftung und Wärmerückgewinnung**
1987
- 225 GEILINGER AG, P. Grether, 8400 Winterthur
Untersuchung der Wechselwirkung zwischen hochisolierendem Fenster-Fassadensystem, haustechnischen Anlagen zur Komforterstellung, Raumklima und Energieverbrauch
1985
- 226 SHB, Schindler Haerter AG, Dr. Alex Haerter, Stockerstrasse 12, 8002 Zürich
Experimentelle Untersuchung der Undichtheiten an bestehenden Wohnbauten typischer Bauart
1995
ENET 9100293/1

- 227 Prof. Dr. H.-J. Güntherodt, Institut für Physik der Universität Basel, Klingelbergstrasse 82, 4056 Basel
Erzeugung von chemischen Energieträgern, insbesondere von Leichtmetallen mit Solarenergie
1984
- 227.1 **Erzeugung von chemischen Energieträgern und Materialprodukten mit Hilfe von Sonnenenergie**
1986
- 228 Dr. Daniel T. Spreng, Institut für elektrische Energieübertragung und Hochspannungstechnik, ETH-Zentrum, 8092 Zürich
Gesamtwirkungsgrad und Ernstefaktor verschiedener Raumheizungssysteme
1988
ENET 8900171/2
- 232 Dr. Pavel Kocian, Institut de physique appliquée, EPFL-Ecublens, 1015 Lausanne
Herstellung von Solarzellen aus hydriertem amorphem Silizium mit einer von uns entwickelten Technologie
1988
ENET 6100007/16
- 234 Prof. Dr. J. Nösberger, Institut für Pflanzenbau, ETH-Zentrum, 8092 Zürich
Beitrag der Leguminosen-Rhizobien-Symbiose an der Deckung des Stickstoffbedarfes pflanzenbaulicher Produktionssysteme der Schweiz: Potential, limitierende Faktoren, Verbesserungsmöglichkeiten
1987
- 235 BARBE AG, H.-U. Scherrer, Zollikerstrasse 128, 8008 Zürich
Rendement des pompes à chaleur air/eau
1988
- 237 BATTELLE, J.-P. Budliger, 7 route de Drize, 1227 Carouge
Thermisch betriebene Freikolben-Wärmepumpe
1986
- 238 Prof. Dr. Jean-Pierre Ray, EINEV, 1 route de Cheseaux, 1400 Yverdon-les-Bains
Vérification expérimentale des paramètres utilisés dans la détermination du bilan énergétique et de la validité des coefficients caractéristiques des bâtiments
1988
ENET 8700210/1
- 239 Dr. Robert J. Hopkirk, c/o POLYDYNAMICS Ltd., Zeltweg 29, 8032 Zürich
Modellsimulation von Wärme- und Massentransport in zerklüftetem Tiefengestein
1986
- 241+ Prof. Dr. Jean Descloux, Département de mathématiques, EPFL-Ecublens, 1015 Lausanne
Augmentation du rendement d'un four électrolytique par suppression des oscillations de la masse d'aluminium liquide
1989
ENET 8900188/1
- 242 Prof. Dr. Francis Troyon, Centre de recherches en physique des plasmas, EPFL, 21 avenue des Bains, 1007 Lausanne
Extension des performances de l'installation d'étude du chauffage par dissipation d'ondes d'Alfvén
- 243+ Dr. Habibo Brechna, Interkantonales Technikum Rapperswil, Oeberseestrasse 10, 8640 Rapperswil
Verhalten von technischen Supraleitern bei mechanischer Belastung
1989
ENET 8700441/2
- 244 Prof. Dr. Alain Germond, Département d'électricité, EPFL, 16 chemin de Bellerive, 1007 Lausanne
Analyse des contraintes de puissance réactive dans le réseau suisse à très haute tension
1985
- 248 Dr. H. Tannenberger, CSEM, Case post. 2, 2000 Neuchâtel 7
Entwicklung der chemischen Abscheidung von Silizium für die photovoltaische Sonnenenergieumwandlung
1986
- 249+ Dr. Ulrich P. Büchi, Bodenacherstrasse 79, 8121 Benglen
Geothermik Bohrung Fehraltorf: Geophysikalische Bohrlochvermessung und geologische Auswertung
1985
- 250 Prof. Dr. Ferenc Oezveggyi, ZTL, Abt. für Prüfstelle HLK, 6048 Horw
Wärmerückgewinnungsgeräte
1985
- 250.1 Prof. Dr. Werner Geiger, ZTL, Abt. für Prüfstelle HLK, 6048 Horw
Erweiterung einer Warmluftprüfstrecke zur Prüfung von Wärmetauschern
1988
- 250.2 Prof. Dr. Ferenc Oezveggyi, ZTL, Abt. für Prüfstelle HLK, 6048 Horw
Nachweis der Wärmerückgewinnung durch regenerative Luft/Luft-Wärmetauscher
1997
ENET 9400231/4
- 252.1 ELEKTROWATT Ingenieurunternehmung AG, M. Kiss, Bellerivestrasse 36, Postfach, 8022 Zürich
Intensive Tageslichtnutzung in Hochbauten
1986
- 253 Air Fröhlich AG für Energierückgewinnung, Theo Krummenacher, Romanshorer Strasse 100, 9320 Arbon
System zur Kondensatentsorgung einer Abwärmenutzungsanlage für Rauchgase
1984
- 253.1 Weiterentwicklung der Air Fröhlich - Rauchgasentschwefelungsanlage FUMEX mit einem umweltgerechten und ökologisch unbedenklichen Entsorgungskonzept
1987
- 253.2 Weiterentwicklung des FUMEX-Verfahrens zur Entschwefelung und Wärmerückgewinnung von Rauchgasen in Hinsicht auf die Erreichung eines Dauerbetriebes auch bei kontinuierlich arbeitenden Kesselanlagen in Industrie und Fernheizwerken
1990
ENET 8700316/1
- 254 PSI (EIR), Dr. Dieter Haschke, 5232 Villigen PSI
DEMONA Demonstration Nuklearen Aerosolverhaltens
1986

- 257 Peter Bohli, SME, Weststrasse 69a, 4900 Langenthal
Druckwellenlader zur Aufladung kleiner Otto-Motoren für Personenkraftwagen. Eine geeignete, wirtschaftlich realisierbare Massnahme zur Reduktion des Energieverbrauches und der Umweltbelastung
1987
- 258 Basler & Hofmann, Ingenieure und Planer AG,
Forchstrasse 395, 8029 Zürich
Schlussfolgerungen aus bisherigen Messkampagnen für die praktische Anwendung in Planung von Neubauten und Sanierungen
1987
ENET 8700359/1; 6100003/3
- 259.1 Dr. Dominique Roux, 34 route des Eaux-Belles,
1243 Cara-Presinge
Essais et établissement de l'avant-projet d'un système énergétique communal basé sur la récupération de rejets industriels de chaleur à Versoix
1985
- 260+ Prof. Dr. Hans-Christoph Siegmann, Laboratorium für Festkörperphysik, ETH-Hönggerberg, 8093 Zürich
Magnetochemische Untersuchungen der Wasserstoffadsorption an Oberflächen
1995
- 261 Werner Wild, Al Falò, 6646 Contra
Abklärung von Eigenschaften und Herkunft der Gasvorkommen am Lago Maggiore
1990
ENET 8900514/1
- 262+ Conrad U. Brunner, Lindenhofstrasse 15, 8001 Zürich
Wärmebrücken
1993
ENET 8700448/1,2,3 + 8900214/1,2
- 263+ Prof. Dr. Charles Stähli, EINEV, 1 route de Cheseaux,
1400 Yverdon-les-Bains
Evaluation des performances d'un capteur basse température monté en sous-toiture; comparaison entre deux capteurs de référence
1986
ENET 8700136/1
- 265 Schweizerischer Alpwirtschaftlicher Verein, Altdorf
Energieversorgungsprobleme in der schweizerischen Alpwirtschaft
- 266 EMPA, Thomas Frank, Ueberlandstrasse 129, 8600 Dübendorf
Oberflächentemperatur von besonnten Fensterglasscheiben und ihre Auswirkungen auf Raumklima und Fensterkonstruktion
1986
ENET 8700268/1
- 267 PSI (EIR), 5232 Villigen PSI
Untersuchungen an Luftkollektoren zu Heiz- und Trocknungszwecken
1989
ENET 8700216/1
- 274 Oekozentrum Langenbruck, Christian Gaegauf,
Schwengstrasse 12, 4438 Langenbruck
Emissionsuntersuchungen und Analysierung des Betriebsverhaltens einer effizienten und schadstoffarmen Holzspeicherheizung
1985
- 275 Prof. Dr. Peter Suter, Institut für Energietechnik,
ETH-Zentrum, 8092 Zürich
Ablagerungsmechanismen und Korrosion in Heizkesseln, die mit tieferen Temperaturen betrieben werden
1989
ENET 8700436/2
- 277 Gebr. Sulzer AG, Anton Steiger, 8401 Winterthur
Grossdieselmotor mit Kohle-Slurry als Brennstoff
1988
ENET 8900380/1
- 278 Prof. Dr. Hans-Ulrich Wanner, Institut für Hygiene und Arbeitsphysiologie, ETH-Zentrum, 8092 Zürich
Energieeinsparung bei Lüftungsanlagen durch ein kontrollierte Anpassung des Frischluftbedarfs
1987
- 279.1 EMPA, Dr. Rudolf Müller, Ueberlandstrasse 129, 8600 Dübendorf
Planungsunterlagen für den Feuerungsteil moderner Gebäudeheizungen kleiner Leistung
1986
- 282+ ALPHA REAL AG, Markus Real, Feldeggstrasse 89,
8008 Zürich
Untersuchung der im Betrieb einer 160 kW Windkraftanlage auftretenden mechanischen Schwingungen und Beanspruchungen
1988
ENET 8700037/1
- 282.2 **Ermüdungsversuch an dynamisch beanspruchten Aluminium-Windkraftwerksprofilen mit gemessenen Lastspektren**
1991
ENET 8900381/4
- 289 PSI (EIR) / Gebr. Sulzer AG
Abwärtsverdampfung
1991
ENET 8900305/1
- 291 ELEKTROWATT Ingenieurunternehmung AG, John P. Wolf,
Bellerivestrasse 36, 8008 Zürich
Seismik Kugelhaufenreaktor
1988
ENET 8700338/2
- 292 Bonnard & Gardel, Raymond Lafitte, 61 avenue de Cour,
1007 Lausanne
Entwicklung von Druck- und Lagerbehältern
1993
ENET 8900341/3
- 294 EMPA, Ralph Sagelsdorff, 8600 Dübendorf
Energie-Rechengruppe (erg) an der Abt. Bauphysik der EMPA
1992
- 295+ Dr. Michel Roulet, CSEM, Case postale 41, 2000 Neuchâtel 7
Capteur fluxmétrique de chaleur en technologie couches minces
1989
ENET 8700046/2
- 298+ Prof. Dr. André Gardel, IENER, EPFL-Ecublens,
1015 Lausanne
SPEOS
1989
ENET 9103900/3

- 299 PAMASOL Willi Mäder AG, Franz A. Mäder, Postfach 157, 8808 Pfäffikon
Erarbeitung von wissenschaftlichen Grundlagen zur Energierückgewinnung mittels Entsorgung von Abfällen in der Kunststoffindustrie durch den Verbrennungsprozess der Firma KEVAG AG
1990
ENET 8700459/1
- 300.1 BATTELLE, Dr. Dominique Noir, 7 route de Drize, 1227 Carouge
Evaluation des techniques de réduction des oxydes d'azote des installations de chauffage applicables à court terme
1987
- 302 Prof. Dr. Michael Grätzel, Institut de chimie physique, EPFL-Ecublens, 1015 Lausanne
Wasserstoffherzeugung durch Wasserspaltung mit sichtbarem Licht in mikroheterogenen (nicht biologischen) Systemen
1989
ENET 9800383/1
- 303 Hans Schmidlin AG, Hans Emmer, Steinackerstrasse 69, 4147 Aesch
Entwicklung von sehr gut wärmedämmten Fenster- und Fassadensystemen
1987
ENET 8700440/2,3,4
- 304+ Prof. Dr. André Faist, Bâtiment LESO, EPFL-Ecublens, 1015 Lausanne
Préverenges: Logements collectifs énergétiquement optimisés
1991
ENET 8900168/1
- 306 Prof. Dr. Inge L. Ryhming, Institut de machines hydrauliques et de mécanique des fluides, EPFL-Ecublens, 1015 Lausanne
Contrôle de la couche limite en écoulement confiné en présence d'un gradient de pression négatif élevé
- 308 Prof. Dr. Jacques Ligou, Institut de Génie Atomique, EPFL-Ecublens, 1015 Lausanne
Erosion de la première paroi d'un réacteur de fusion
1991
ENET 8900475/2
- 310 PSI (EIR), Dr. J. Peter Hosemann, 5232 Villigen PSI
LWR Aerosol Containment Experiments (LACE)
1991
ENET 6100017/3
- 312 Prof. Dr. Walter Zaengl, Fachgruppe Hochspannungstechnik, ETH-Zentrum, 8092 Zürich
Entwicklung einer Isolierung für supraleitende Spulen, die nach der «wind and react»-Technik hergestellt werden
1989
ENET 8700194/1
- 315 Prof. Dr. H.-J. Güntherodt, Institut für Physik der Universität Basel, Klingelbergstrasse 82, 4056 Basel
Optimierung und Neuentwicklung von Wärmedämmmaterialien
1989
- 316 PSI (SIN), Georg Vécsey, 5232 Villigen PSI
GEYSER-Heizreaktor
1988
ENET 8700171/2
- 318 ENFOG, Peter Hubacher, St. Gallerstrasse 23, 9202 Gossau
KÄLTE-Maschinen/Erzeuger/Anlagen Forschungsprojekt Mittlere Anlagen-Leistungs-Zahl
1986
- 319.1 Michael May, 10 Route de Genève, 1180 Rolle
<COMBUSTOR M-85> Absenkung der Schadstoffemissionen bei stationären Verbrennungsanlagen
1988
- 324 Dr. Robert J. Hopkirk, c/o POLYDYNAMICS Ltd., Zeltweg 29, 8032 Zürich
Erdsonden - ihre Funktionsweise und Wechselwirkungen mit Boden und Grundwasser
1992
ENET 8900121/1
- 325 Bauphysikalisches Institut AG, Bernhard Haller, Effingerstrasse 60, 3008 Bern
Entwicklung eines variablen Wärme- und Sonnenschutz-elementes zum Einsatz in den Luftzwischenraum von Fensterverglasungen
1990
ENET 8900673/1
- 326 Prof. Dr. Meinrad Eberle, Institut für Energietechnik, Laboratorium für Verbrennungsmotoren, ETH-Zentrum, 8092 Zürich
Otto 2000 - verbrauchsgünstiges und abgasemission-saures Antriebskonzept für Personenwagen
1993
ENET 8900358/3
- 329 Dr. Gion Calzaferri, Institut für anorganische, analytische und physikalische Chemie der Universität Bern, Freiestrasse 3, 3000 Bern 9
Photochemische Prozesse zur Erzeugung von Strom und zur Speicherung von Sonnenenergie
1989
- 329.1 **Photozelle mit Kurzzeitspeicher, 1.1 Volt Leerlaufspannung und hoher Klemmspannung**
1989
ENET 6100014/5
- 332 PSI (EIR), Dr. J. Peter Hosemann, 5232 Villigen PSI
Marges de sécurité des composants de la chaudière nucléaire (HSST)
1992
ENET 8700167/9
- 334 Prof. Dr. Christian Trepp, Institut für Verfahrens- und Kältetechnik, ETH-Zentrum, 8092 Zürich
Untersuchung des kombinierten Wärme- und Stoffaustausches in einer Kompressionswärmepumpe mit Lösungskreislauf
1991
ENET 8900143/1
- 337+ Thomas Nordmann, TNC-Consulting, Rheinfelsstrasse 1, 7000 Chur
Mikroelektronik und Energie (Auswirkungen von selbst-optimierenden Regelsysteme auf den Energieverbrauch von Mehrfamilienhäusern)
1988
ENET 8700236/1
- 339 Prof. Dr. Peter Suter, Institut für Energietechnik, ETH-Zentrum, 8092 Zürich
»Energierrelevante Luftströmungen in Gebäuden«
1994

- 339/1 Dr. Claude-Alain Roulet, Bâtiment LESO, EPFL-Ecublens, 1015 Lausanne
Programmes de calculs détaillés et simplifiés des échanges d'air dans le bâtiment: validation à l'aide de mesures expérimentales
 1990
 ENET 8900176/1
- 339/2 Dr. Claude-Alain Roulet, Bâtiment LESO, EPFL-Ecublens, 1015 Lausanne
Mesures d'échanges d'air entre les locaux et avec l'extérieur
 1991
 ENET 8900178/3
- 339/3 Gebr. Sulzer AG, Hermann Durrer, Leiter Labor für Strömungstechnik, 8401 Winterthur
Numerische Ermittlung von Luftströmungen im Einzelraum
 1988
 ENET 8900199/1
- 339/4 Basler & Hofmann, Dr. Charles Filleux, Forchstrasse 395, 8029 Zürich
Grundsätzliche Abklärungen und Uebersicht über Systeme zur Lüftung und Heizung bzw. Kühlung von Gebäuden verschiedener Nutzung
 1990
 ENET 8900090/1
- 339/4+ Basler & Hofmann, Dr. Charles Filleux, Forchstrasse 395, 8029 Zürich
Experimentelle und rechnerische Ermittlung von Auslegungsgrössen für neuartige Lüftungssysteme
 1995
 ENET 8900090/3,4,5,6,7
- 339/5 EMPA, Dr. Peter Hartmann, Ueberlandstrasse 129, 8600 Dübendorf
«Rechenmodelle Interzonenluftströmung» Rechenansätze zur Beschreibung der Luftdurchströmungen in Gebäuden, mit Luft als Gasgemisch einerseits, bzw. von spezifischen Schadstoffen als Einzelkomponenten andererseits
 1994
 ENET 8900115/2,4 + 8900253/1
- 339/5.1 EMPA, Viktor Dorer, Abt. Haustechnik, Ueberlandstrasse 129, 8600 Dübendorf
Rechenmodell Interzonenluftströmung (Phase II)
 1994
 ENET 8900115/4
- 339/6 Dr. Jean-Bernard Gay, Bâtiment LESO, EPFL-Ecublens, 1015 Lausanne
Convection naturelle et forcée dans les appartements munis de vérandas
 1990
 ENET 8900167/1
- 339/7 Prof. Dr. Peter Suter, Institut für Energietechnik, ETH-Zentrum, 8092 Zürich
Numerische Ermittlung von Luftströmungen im Einzelraum - Etappe II
 1992
- 339/8 EMPA, Peter Hartmann, Abt. Haustechnik, Ueberlandstrasse 129, 8600 Dübendorf
Datenbank ERL-B (Eingabedaten für Rechenmodell Interzonen-Luftströmung)
 1995
 ENET 9001001/25
- 341 Laszlo Simon, 110 rue de Lyon, 1203 Genève
Accumulateur froid-chaleur - Procédé et équipement pour la production et le stockage de l'énergie frigorifique sous forme latente
 1991 (nur Zwischenbericht)
 ENET 8900387/1
- 343 Prof. Dr. Konrad Reichert, Institut für elektrische Maschinen, ETH-Zentrum, 8092 Zürich
Systemanalyse und Wirkungsgradoptimierung schnelllaufender, stromrichtergespeister Synchronmaschinen
 1990
- 344 SIA, Santiago Schuppisser, Selnaustrasse 16, Postfach, 8039 Zürich
Bedarfsnachweis und Dimensionierung von Lüftungs- und Klimaanlage
 1993
 ENET 8900014/2
- 345 Energies Rationnelles, Mats-Ola Nilsson, 9 chemin de la Brume, 1110 Morges
Optimisation de l'interaction des composants solaires passifs et actifs
 1991
 ENET 8700055/1
- 349 Dr. Jean-Louis Scartezzini, Centre universitaire d'étude des problèmes de l'énergie, 4 chemin des Conches, Case postale 81, 1231 Conches-Genève
Application des méthodes stochastiques: dimensionnement et régulation de dispositifs solaires; comportement thermique des bâtiments
 1991
 ENET 8900156/1 + 8900252/1,2
- 352 Jäggi AG Bern, Walter Müller, Niederlassung Zürich Widenholzstrasse 1, 8304 Wallisellen
«Hybride Trockenkühlung» Grossflächige, schwadenfreie Wärmeübertragung an die Luft mittels wasserbenetzbaren Lamellenwärmetauschern
 1992
 ENET 8900351/2
- 357 EMPA, Thomas Frank, Abt. Bauphysik, Ueberlandstrasse 129, 8600 Dübendorf
Thermischer Komfort bei variablen Bedingungen - Untersuchungen über die Erweiterung von Komfortzuständen zu Komfortbändern
 1990
 ENET 8900112/1
- 359 Dr. Robert J. Hopkirk, POLYDYNAMICS Ltd., Zeltweg 29, 8032 Zürich
Modellsimulation der Energiegewinnung mittels Hot Dry Rock Systemen
 1992
 ENET 8900122/2,4
- 360 H. WEIDMANN AG, Fritz Gubler, Neu Jonastrasse 60, 8640 Rapperswil
Stickoxid-Minderung an einer Pilot-Anlage nach dem SNR-Verfahren «NH₃-Eindüsung zur Einhaltung der NO_x-Emissionswerte gemäss LVR» an einem 3-Zug-(Flammrohr-Rauchrohr-)Kessel mit Heizöl-Schwer-Feuerung
 1989
 ENET 8900234/1,2

- 362 Urs Löpfe, Asylstrasse 1, 5000 Aarau
Kamine für kondensierende Oelfeuerungen
1990
ENET 8900388/1
- 363 ABB, Hans Rudolf Gubler, ZS/Sonderantriebe,
Neuenhoferstrasse 111, 5401 Baden
**Entwicklung von energiesparenden Elektroblechen aus
amorphen Metallen für den Einsatz in Kleinmotoren**
1989
ENET 8900301/1
- 366 Dr. Jean-Bernard Gay, Bâtiment LESO, EPFL-Ecublens,
1015 Lausanne
**Détermination des besoins d'énergie d'un bâtiment par la
technique des matrices d'expériences**
1991
ENET 8900170/1
- 367 Gebr. Sulzer AG, Peter Moser, Abt. KA-0655, 8401 Winterthur
**Wärmepumpe mit Gefrierdampfer - Untersuchungen zum
Verhalten der Eis-Wasser-Slurry im Verdampfer**
1989
ENET 8900067/1
- 368 Prof. Dr. Peter Suter, Institut für Energietechnik,
ETH-Zentrum, 8092 Zürich
Optimierung der drehzahlgerelten Wärmepumpe
1992
ENET 8900389/1
- 371+ Jean Minder, Grand Rue, 2608 Courtelary
Paroi chauffante solaire
1993/97
ENET 8900338/1
- 372 Prof. Dr. Hans-Christoph Siegmann, Laboratorium für
Festkörperphysik, ETH-Hönggerberg, 8093 Zürich
**Messtechnische Erfassung feinsten Schwebeteilchen aus
Dieselfahrzeugen**
1991
ENET 8900222/4
- 374 ABB, Dr. Gunnar Lindberg, 5401 Baden
**On-line Condition Monitoring-System für
Dampfturbogruppen mit integriertem Expertensystem**
1991
ENET 8900203/1
- 375 PSI (EIR), Dr. J. Peter Hosemann, 5232 Villigen PSI
Advanced Containments Experiments (ACE)
1996
ENET 9103650/3
- 377 Patrick Debergh, CSEM, Case postale 41, 2007 Neuchâtel
Capteur de courant à fibres optiques
1993
ENET 8900593/1
- 378 AFIF, Dr. Hans Zogg, ETH-Hönggerberg (HPT F6),
8093 Zürich
Einkristalline Kadmiumtellurid Dünnschichtsolarmodule
1991
ENET 8900260/9
- 378.1 **Entwicklung von photovoltaischen Solarzellen in Dünnschichttechnik**
1993
ENET 8900260/8
- 380 Prof. Max Berchtold, Motor Forschungsgruppe Berchtold
Wittwer Frei, Usser Allmend 6, 8700 Küssnacht
**Gemisch-Aufbereitung und Regulierung für Automotoren
mit Magerbetrieb zur Einhaltung der Emissionsgrenzwerte
nach US 83 (gültig in der Schweiz ab Oktober 1987)**
1992
ENET 8900400/2
- 380.1 **Strassenerprobung des Magermotorkonzeptes mit 100 kg-
1.6 l Fahrzeug gemäss NEFF Projekt Nr. 380 mit FTP-75**
1997
ENET 8900400/3
- 382 PSI (EIR), Dr. Otto Haas, 5232 Villigen PSI
**Stromspeicherung mit elektrochemischen Aluminium-
Zellen**
1991
ENET 8900278/46
- 384 Prof. Dr. Louis Schlapbach, Physikinstitut, Universität Fribourg,
Pérolles, 1700 Fribourg
Wasserstoff in Metallen
1993
ENET 890009/11
- 384.1 **Metallhybride für die Energietechnologie
(IEA Project Hydrogen, Task VII)**
1993
ENET 8900008/3 + 8900009/8
- 389 Prof. Dr. Inge L. Ryhming, Institut de machines hydrauliques et
de mécanique des fluides, EPFL-Ecublens, 1015 Lausanne
**Calculs par les méthodes d'Euler et de Navier-Stokes des
écoulements tridimensionnels incompressibles dans les
turbines hydrauliques**
1993
ENET 8900226/3
- 390 Thomas Baumgartner, Ingenieurbüro für Haustechnik,
Meisenweg 7, 8600 Dübendorf
Erdwärmennutzung für die Raumklimatisierung
- 391 NEW SULZER DIESEL AG, Dr. George Lustgarten, PBDM
0750, 8401 Winterthur
**Wirkungsgradsteigerung von Zwei- und Viertakt- Diesel-
motoren für Stromerzeugung durch Weiterentwicklung
des tribologischen Systems Kolbenring-Zylindereinsatz**
1992
ENET 8900300/3
- 392 Prof. Dr. Albin Bölcs, Laboratoire de thermique appliquée et de
turbomachines (LTT), EPFL-Ecublens, 1015 Lausanne
**Entwicklung eines Berechnungsverfahrens für die
Auslegung flatterfreier Niederdruckschaufeln in
Turbomaschinen**
1992
ENET 8900393/2
- 395 Prof. Dr. Albin Bölcs, Laboratoire de thermique appliquée et de
turbomachines (LTT), EPFL-Ecublens, 1015 Lausanne
**Entwicklung eines Auslegungsverfahrens für transsonische
Axialversichterschaufeln und Bestätigung durch
Messung**
1996
ENET 9103720/4,5

- 396 Gebr. Sulzer AG, Dr. Oskar Iten, Leiter Mechanische Technologie, KSFE 1500-3, 8401 Winterthur
Verbesserung des Abrasionsverhaltens von hydraulischen Maschinen
1993
ENET 8900200/4
- 397 ARENA, Jürg Nipkow, Schaffhauserstrasse 34, 8006 Zürich
Energiespar-Kühlschrank
1990
ENET 8900004/1
- 398 Prof. Dr. Peter Suter, Laboratorium für Energiesysteme, ETH-Zentrum, 8092 Zürich
Verbrennungsregelung von automatischen Holzfeuerungen
1992
ENET 8900394/1
- 399 GRUNeko AG, Hans Böhi, Chrischonastrasse 38, 4058 Basel
Einfluss von Auslegung und Betrieb auf den Energieverbrauch einer Nahwärmeversorgung mit Wärmepumpe und Blockheizkraftwerken
1993
ENET 9105070/1
- 401 Prof. Dr. Jean-Pierre Blaser, PSI, 5232 Villigen PSI
Split-Coil-System, SULTAN
1992
ENET 8900264/1
- 402+ Prof. Pierre Henry, IMHEF/EPFL, 33 avenue de Cour, 1007 Lausanne
Etude du comportement dynamique des machines hydrauliques dans les régimes instationnaires
1996
ENET 8900305/2
- 403 Kurt Ruess, Balgachstrasse 3, 9000 St. Gallen
Dynamische Speichersimulation zur Dimensionierung von Wärme-, Kälte- und Sanitär-speicheranlagen
1991
ENET 8900206/2,3
- 404 Prof. Dr. Gérard Sarlos, LASEN, EPFL-Ecublens, 1015 Lausanne
Méthode d'analyse des systèmes énergétiques. Evolution à long terme du secteur électrique en suisse romande
1992
ENET 9100192/1
- 404.1 **Application de l'approche des systèmes experts à la simulation de l'évolution à long terme de la demande d'énergie électrique**
1997
ENET 9100192/2
- 405 Prof. Alain Germond, Laboratoire de réseau d'énergie électrique, EPFL, 16 chemin de Bellerive, 1007 Lausanne
Renforcement et reconfiguration optimaux d'un réseau électrique de distribution
1993
ENET 8900165/6
- 406+ ABB, Dr. Willi 1Paul, ABB-Forschungszentrum Abt. CRBF.3, 5405 Baden-Dättwil
Induktiver Strombegrenzer unter Verwendung von keramischen Hochtemperatur-Supraleitern
1995
ENET 8900075/3,4
- 408 ABB, Dr. Melch Fischer, Abt. ISW, Postfach 8242, 8050 Zürich
MEMBREL-Elektrolyseur zur Erzeugung von Wasserstoff aus Solarenergie
1990
ENET 8900217/1
- 410 SIA, Santiago Schuppisser, Selnastrasse 16, 8039 Zürich
Elektrische Energie im Hochbau
1996
ENET 9103790/1
- 414+ EMPA, Gerhard Zweifel, Abt. Bauphysik, Überlandstrasse 129, 8600 Dübendorf
Messprojekt Null-Heizenergie-Häuser »Im Boller«, Wädenswil
1995
ENET 9200851/1,2
- 415 Reto Schmid, Ingenieurbüro Schmid, Im Zogg, 7304 Maienfeld
Öl-kondensationskessel mit Wärmerückgewinnung im Kunststoffkamin
1992
ENET 8900195/2
- 416 AIR FRÖHLICH AG, Willi Frei, Romanshorner-Strasse 100, 9320 Arbon
PTFE-Teflon-Rohrbündel-Wärmetauscher
1990
ENET 8900329/1
- 417+ ABB, Dr. Hubert Brändle, Corporate Research, 5405 Baden-Dättwil
Faseroptischer Spannungssensor
1995
ENET 8900396/3,5
- 418 LARAG AG, Josef Jäger, Toggenburgerstrasse 104, 9500 Wil
Antrieb und Sicherheit des Kleinelektromobils im Rahmen der Entwicklung des Swissmobils
ENET 8900463/1
- 419+ INVERTOMATIC AG für Energieumwandlung, Claudio Giovannini, 6596 Riazzino
Solarwechselrichter mit Netzeinspeisung im 50 kW Bereich
1995
ENET 8900595/1
- 422 TGK Tiefengaskonsortium SWISSPETROL/SULZER, Dr. Patrick Lahusen, SWISSPETROL HOLDING AG, Claridenstrasse 36, 8002 Zürich
Tiefengas-Forschung Schweiz - Phase II - Overpressure Lagerstätten
1993
ENET 8900201/2
- 424 Dr. Eicher & Pauli AG, Dr. Hanspeter Eicher, Oristalstrasse 85, 4410 Liestal
Betriebsverhalten und Schadstoffemissionen von Gasmotoren mit Propan und Butan als Brennstoff, beim Einsatz als Wärme-Kraft-Kopplungs-Anlagen
1992
ENET 8900397/2
- 426+ ABB Forschungszentrum, Erwin Zauner, 5405 Baden-Dättwil
Druckwellenmaschine mit integrierter Konstant-Volumen-Verbrennung
1995
ENET 9004004/1,35

- 429 Dr. Trevor P. Woodman, CORALUR LABORATORIES, Mittelbergsteig 15, 8044 Zürich
Verbesserung des thermischen Verhaltens eines Raumes mit direktem Solargewinn mittels Latentwärmespeicherung
1990
ENET 8900597/1
- 431 MBS Dieselmotoren AG, Nikola Mikulicic, Postfach, 8401 Winterthur
Emissionsbekämpfung am Grossdieselmotor
1991
ENET 8900598/4
- 432 PSI, Salih Güntay, PSI-Ost, 5232 Villigen PSI
POSEIDON-LOOP; Experimente zur Rückhaltung von Jod und Aerosolpartikeln
1996
ENET 9100024/2
- 434 DAWP Creatherm AG, Hans Stierlin, Münchwiesen 5, 8952 Schlieren
Diffusions-Absorptions-Wärmepumpe
1992
ENET 8900603/3
- 435+ Yves Golay, EPFL/DA/ITB, 12 avenue Eglise Anglaise, CP 555, 1001 Lausanne
Programme de recherche interdisciplinaire LUMEN «Lumière naturelle et énergétique»
1994
ENET 9100184 div.
- 436 Communauté de travail «Eoliennes au Simplon», Dr. Jean-Philippe Borel, CREM, 5 rue des Morasses, 1920 Martigny
Production d'électricité à partir du vent dans la région du Sud Simplon. Mesure du gisement éolien de huit sites présélectionnés
1993
ENET 9100180/3,4
- 438 ABB Turbo Systems AG, Dr. Hermann Gallant, Labor Thermische Maschinen, 5401 Baden
Entwicklung eines Rechenverfahrens zur Auslegung von flatterfreien Turbomaschinenschaufeln unter Berücksichtigung dreidimensionaler Effekte und Schaufelfrequenzverstimmung
1993
ENET 9102690/3
- 439 Christian Trachsel, Trachsel Ingénieurs-Conseils SA, Charles-Perrier 7, 2074 Marin
Recherche d'une méthode de comparaison et d'interprétation des consommations d'énergie (froid, électricité, chaleur) applicable aux patinoires artificielles en Suisse
1994
ENET 9103930/1
- 440+ Prof. Dr. Daniel Spreng, Institut für Elektrische Energieübertragung und Hochspannungstechnik, ETH-Zentrum, 8092 Zürich
Energiesparen im voll informatisierten Industriebetrieb
1995
ENET 9100289/1
- 441 ALPHA REAL AG, Markus Real, Feldeggstrasse 89, 8008 Zürich
Untersuchungen zu verschiedenen Abnahmeverfahren von Solarzellenfeldern beliebiger Topographie und Erarbeiten von Rechenmodellen zur Extrapolation von Messwerten auf STC-Normwerte
1992
ENET 9103940/1
- 442 Konsortium PHALK 500, c/o ELEKTROWATT AG, Dr. Rudolf Minder, Bellerivestrasse 36, 8034 Zürich
Photovoltaisches Kraftwerk PHALK 500 - Mont-Soleil
1993
ENET 9100279/3
- 444 TECHNIFLON AG, Horst Wunsch, High-Tech Center, 8274 Tägerwilen
Der Einsatz eines Kamins als feuchter Nachwärmetauscher mit zusätzlicher Schadstoffabscheidung
1989 + 1994
ENET 8990004/1 + 9103960/1
- 447 PENTOMAG AG, Felix Lehr, Nauenstrasse 63a, Postfach, 4002 Basel
Die selektive, nichtkatalytische NOx-Reduktion an industriellen Feuerungsanlagen (SNCR-Verfahren). Anpassung der bewährten Grosstechnologie und Minimalisierung von unerwünschten Neben-Emissionen
1993
ENET 9004004/11
- 451+ Prof. Dr. Peter Suter, Institut für Energietechnik, ETH-Zentrum, 8092 Zürich
Basiswissen für low NOx-Brenner und -Brennkammern
1997
ENET 9100215/4 + 9100215/13
- 452 Prof. Dr. Lothar Reh, Institut für Verfahrens- und Kältetechnik, ETH-Zentrum, 8092 Zürich
Gasgeschwindigkeitsprofil in zirkulierenden Wirbelschichten
1994
ENET 9008009/6 + 9100286/2
- 456 Helmut Juch, Technische Unternehmensberatung, Haselweg 9, 4614 Hägendorf
Vergaser zur Verwertung von Altholz für Prozesswärme
1992
ENET 9103990/2
- 456.2 **Vergasung biogener Brennstoffe zur Strom- und Wärmeerzeugung**
1996
ENET 9103990/3
- 458 Dr. Eicher & Pauli AG, Dr. Hanspeter Eicher, Oristalstrasse 85, 4410 Liestal
Minimierung der Schadstoff-Emissionen von Gasmotoren mit Dreiwegkatalysatoren
1994
ENET 9100275/3
- 459 SULZERINNOTEC AG, Dr. Samir Ziada, Fachstelle Schwingungen und Akustik, KSFE-1512, 8401 Winterthur
Strömungserregte Druckpulsationen in Rohrleitungssystemen
1993
ENET 9101770/7

- 461 ABB Drives AG, Walter Wehrle, Abt. UES, 5300 Turgi
Beschaltung abschaltbarer Thyristoren (GTO) hoher Leistung
1992
ENET 9100317/1,2
- 462 Prof. Dr. Meinrad K. Eberle, Laboratorium für Verbrennungsmotoren, ETH-Zürich, 8092 Zürich
ETH-Hybridfahrzeug IIB
1994
ENET 8900360/3
- 463 Prof. Dr. Peter Suter, Institut für Energietechnik, Laboratorium für Energiesysteme, ETH-Zürich, 8092 Zürich
Verminderung der Stickoxidemissionen bei der energetischen Nutzung von Holz- und Spanplattenresten
1995
- 463.1 **Prozessinterne Brennstoffstufung zur stickoxidarmen Holzverbrennung**
1996
ENET 9104010/7
- 464 Meierhans & Partner AG, Robert Meierhans, Talgartenstrasse 2, 8117 Fällanden
Untersuchungen an einem Bürogebäude mit passiver Nachtkühlung der Betondecke
1997
ENET 9104020/1
- 467 PSI, Dr. Samuel Stucki, 5232 Villigen PSI
Elektrolytische Erzeugung von Wasserstoff und reinem CO₂ für die Methanolsynthese
1993
ENET 9100032/2
- 469 Prof. Dr. Meinrad K. Eberle, Laboratorium für Verbrennungsmotoren, ETH-Zentrum, 8092 Zürich
Oekomobil Hybrid III - ein umweltschonendes Antriebskonzept
1996
ENET 8900359/16
- 470+ OERTLI Wärmetechnik AG, Max Hauswirth, Bahnstrasse 24, 8603 Schwerzenbach
Schadstoffarme Verbrennung von Heizöl «Schwer» durch reine Primär-Massnahmen
1997
ENET 9100283/3
- 471+ HOVAL INTERLIZ AG, Marcel Lippuner, Austrasse 70, FL - 9490 Vaduz
Entwicklung einer Kompakt-Elektrowärmepumpe
1994
ENET
- 473+ ENFOG AG, Bruno Dürr, St. Gallerstrasse 23, 9202 Gossau
WPO - Wärme-Pumpen-Optimierung zum Thema «Drehzahlgeregelte Wärmepumpe»: Vergleiche und Schwungradkompressor und Grenzaktbetrieb und Kältemitteltauglichkeit und Abtausysteme und Know how-Transfer «vertiefende Kleinprojekte 1992-1993»
1996
ENET 8900646/4
- 474 Hurdas Energieconsulting, Josef Hurdas, Bahnhofstrasse 87, 8245 Feuerthalen
Beheizung von Gebäuden durch kontinuierlich rezirkulierende Wärme und Wärmepumpe
1993
ENET 9104080/2
- 475 Prof. Pierre Henry, IMHEF/EPFL, 33 avenue de Cour, 1007 Lausanne
Elaboration de critères optimaux de mise en oeuvre et d'exploitation des machines hydrauliques en fonction de la cavitation
1995
ENET 9108080/13
- 478 Dr. Willi Bühner, Labor für Neutronenstreuung, ETH-Zürich, c/o PSI Areal Ost, 5232 Villigen PSI
Ionen-Beweglichkeit in Festkörpern und Super-Ionen-leitfähigkeit: Neutronen-Streu-Untersuchungen zum mikroskopischen Verständnis
1994
ENET 9104090/7
- 479 Bruno Schmid, Laboratorium für anorganische Chemie, ETH-Zentrum, 8092 Zürich
Synthese von Methanol aus CO₂ und Wasser mit Hilfe von Licht
1992
ENET 9015011/2
- 480 «HOLDERBANK» Management & Beratung AG, Michael Blanck, 5113 Holderbank
Energie-Informations-System für den Industriebetrieb
1993
ENET 9104120/2
- 482 Prof. Alain Germond, EPFL-DE, 1015 Lausanne
Outils d'aide à la décision pour les centres de conduite
1997
ENET 9102070/10, Diss. Kostic ENET 9102070/18
- 483 CONFOTEC S.A., Gérard Capitaine, 55 rue de France, 2400 Le Locle
Etude sur le chauffage de bâtiments industriels par rayonnement et convection combinés
1992
ENET 9104110/1
- 484 ABB POWER SYSTEMS, Dr. Erich Halder, 5401 Baden
Supraleitende Magnetspeicher
1993
ENET 6100004/17
- 486 Thomas Nordmann, TNC-Consulting AG, Alexanderstrasse 18, 7000 Chur
Photovoltaik-Nutzung im schweizerischen Eisenbahnnetz
1992
ENET 9100236/3
- 487 Prof. Dr. Daniel Favrat, LENI-DME, EPFL-Ecublens, 1015 Lausanne
WISPRO (Waste Incineration System Program): Méthode d'analyse de centrales d'incinération d'ordures avec cogénération
1995
ENET 9003003/54
- 489+ Dr. Thomas Staubli, Institut für Energietechnik, Laboratorium für Strömungsmaschinen, ETH-Zentrum, 8092 Zürich
Durchflussmessung mit Untrasschall-Methoden
1997
ENET 6100009/3

- 492+ Prof. Laurens Jansen, Physik Departement (Gast),
ETH-Hönggerberg, 8093 Zürich
**Quantitative Theorie der Hoch-Temperatur-Supraleitung -
Perspektiven zur technologischen Verwertung -
II. Isotopeneffekte - Neue Kategorien Supraleitender
Systeme - Grenzwert der Sprungtemperatur**
1997
ENET 9104130/1,2,3
- 495+ Prof. Dr. Peter Suter, Laboratorium für Energiesysteme,
ETH-Zentrum, 8092 Zürich
**Umweltbelastung durch die End- und Nutzenergie-
bereitstellung**
1994; Zusatzbericht pendent
- 496 Prof. Daniel Favrat, EPFL, LENI-DME, 1015 Lausanne
**Valorisation de l'énergie thermique des lacs pour le
chauffage des bâtiments**
1995
ENET 610005/13
- 497 Prof. Jacques Rappaz, Département de mathématiques,
EPFL/MA-Ecublens, 1015 Lausanne
Simulation numérique de processus électromagnétiques
1993
ENET 9104140/3
- 497.1 **Simulation numérique du chauffage par induction pour
des conducteurs axisymétriques en mouvement**
1997
ENET 9104140/9
- 497.2 **Valorisation industrielle des résultats du projet 497.1**
1997
ENET 9104140/10
- 499 TURBAL Turbinen- und Maschinenbau, Philipp Schneider,
Stokenstrasse 27, 9249 Algetshausen
**Développement d'un nouveau type
de turbine hydraulique (TIAC)**
- 500 SULZERINNOTEC AG, Roland Diethelm, Abt. DLB IT/1506,
8401 Winterthur
**Entwicklung eines neuartigen SOFC - Brennstoffzellen-
systems und Erprobung einer 1 kW Laboranlage**
1993
ENET 9100265/4
- 500.1 **Entwicklung eines thermisch autarken 7 kW HEXIS-SOFC-
Brennstoffzellen Laborsystems**
1996
ENET 9012019/14
- 501 Dr. Eicher & Pauli AG, Dr. Hanspeter Eicher, Oristalstrasse 85,
4410 Liestal
**Gleichzeitigkeit und Grösse interner Lasten in Nicht-
Wohngebäuden**
1994
ENET 9200131/2,3
- 505 PSI, Dr. Thomas H. Schucan, 5232 Villigen PSI
**Saisonale Wasserstoffspeicherung mit mobiler Dehydrier-
anlage (Teil des EUREKA-Projektes HYPASSE)
NEU: Saisonale Speicherung von Elektrizität mit chemisch
gebundenem Wasserstoff**
1996
ENET 6100014/3
- 507 Dr. Jean-Bernard Gay, EPFL-LESO, 1015 Lausanne
Intégration d'éléments photovoltaïques au bâtiment
1994
ENET 9100205/2
- 509 PSI, Dr. Kurt Kwasnitza, 5232 Villigen PSI
**Wechselstromverluste bei den technischen
Tieftemperatursupraleitern und bei
Hochtemperatursupraleitern**
1995
ENET 9107080/3
- 511 ABB Drives AG, Walter Wehrle, Abt. UES, 5300 Turgi
**Serieschaltung abschaltbarer Thyristoren (GTO)
hoher Leistung**
1994
ENET 9020016/17
- 512 MALOYAAG, Dr. Stephan Bucher, 446 Gelterkinden
Entwicklung eines energiesparenden Lufttreifens
1994
ENET 9104400/2
- 514 PSI, Prof. George Yadigaroglu, Labor für Thermohydraulik,
5232 Villigen PSI
**Experimentelle und numerische Untersuchungen von ein-
und mehrphasigen Mischungsvorgängen in
Wasserbehältern**
1997
ENET 6100017/2
- 515 EMPA, Peter Egolf, Abt. KWH & Haustechnik, Überlandstrasse
129, 8600 Dübendorf
**Latentwärme-Speicher für die Sonnenenergienutzung -
Lade und Entladevorgänge**
1997
ENET 9553312/3
- 516+ Prof. Dr. Martin Hasler, EPFL-CIRC,
Département d'électricité, EL-Ecublens, 1015 Lausanne
**Fabrication de rubans de supraconducteurs à haut Tc et
caractérisation électrique à 77K de sections de câbles
et de bobines**
1997
ENET 9107290/9
- 517 Prof. Dr. Hans-Christoph Siegmann, Laboratorium für
Festkörperphysik, ETH-Hönggerberg, 8093 Zürich
**Verbesserte Luftqualität und Energieeinsparung
in klimatisierten Gebäuden**
1995
ENET 9104150/3
- 519 Prof. Dr. Lothar Reh, Institut für Verfahrens- und Kältetechnik,
ETH-Zentrum, 8092 Zürich
**Umwandlung von flüssigen in gasförmigen Brennstoffe
für Gasturbinen-Vormischbrenner**
1995
ENET 9104050/5
- 519.1 **Umwandlung von flüssigen in gasförmige Brennstoffe für
Gasturbinen-Vormischbrenner**
1997
ENET 9104050/6
- 520 Glas Trösch Solar AG, Hans Lüdi, 4937 Ursenbach
**Untersuchungen zu einem Herstellungsverfahren
für Solarzellenmodule**
1992
ENET 9104160/1

- 522 NEW SULZER DIESEL AG, Jakob Vollenweider, KoSt 7055, Postfach 414, 8401 Winterthur
SCR-Konzept für Grossdieselmotoren
1995
ENET 6100015/24
- 525 Prof. G. Schweitzer, Institut für Robotik, ETH-Zentrum, 8092 Zürich (ex Prof. Dr. K. Reichert)
Kinetischer Kurzzeit-Energie-Speicher
1996
ENET 6100004/14
- 525.2 ASPES AG, Johann Widmer, Frohburgstr. 36, Pf 8092 Zürich
Applikationsorientierte Bereitstellung Schwungrad-Energiespeicher für Schweissmaschine
1997
ENET 6100004/16
- 525.3 Prof. G. Schweitzer, Institut für Robotik, ETH-Zentrum, 8092 Zürich
Detail-Erprobung kinetischer Kurzzeit-Energiespeicher
1996
ENET 6100004/14
- 526 Gebr. Sulzer AG, Heinz Mutter, Sulthane 1027, 8401 Winterthur
Erdgas-Tanksäule (NGV-«Dispenser») Entwicklung einer neuartigen Fahrzeug-Tanksäule für komprimiertes Erdgas
1993
ENET 9107300/1
- 526.1 **Evaluation von Durchfluss-Messgeräten für Erdgastanksäulen vorwiegend mit Geräten, die auf volumetrischer Basis arbeiten**
1997
ENET 61000015/27
- 527+ HUG ENGINEERING AG, Andreas Mayer, Gewerbezentrum Moos, Postfach 31, 8484 Weisslingen
Abscheidegrad für Feinstfraktionen von Dieselmotoren beim Faserfilter im Vergleich zum keramisch-monolithischen Zellenfilter (Standard) für direktinspritzende Dieselmotoren
1995
ENET 9004004/42
- 528 Prof. Edouard Recordon, EPFL, DGC-LMS Ecublens, 1015 Lausanne
Prospection et évaluation du potentiel d'application du concept SPEOS à la valorisation des rejets thermiques industriels, par stockage saisonnier souterrain
1993
ENET 9103900/3
- 529 ENFOG AG, Bruno Dürr, St. Galler-Strasse 23, 9202 Gossau
SOLUVA II - Solarunterstützte Heizsysteme mit abgedeckten Luftkollektoren
1994
ENET 9105470/2
- 531 Dr. Oscar Oehler, Streulistrasse 24, 8032 Zürich
Sauerstoffdetektion durch Verstimmung eines Ultraschallresonators
1996
ENET 9102530/2
- 532 PLASTON AG, A. Hasler, Aegetenstr.2, 9443 Widnau
Entwicklung eines Solardachziegels
1993
ENET 6100007/15
- 532.2 ALPHA REAL AG, Christian Meier, Feldeggstrasse 89, 8008 Zürich
Entwicklung eines optimierten Verkabelungssystems für Solarzellenanlagen im Gebäudebereich, insbesondere für Solardachziegel
1997
ENET 9400651/3
- 533 ALPHA REAL AG, Urs Bühler, Feldeggstrasse 89, 8008 Zürich
Voruntersuchung für netzverbundene Solarzellenanlagen mit einem dispersen Umrichter-Konzept
1994
ENET 6100007/14
- 535 EMPA, Markus Zimmermann, Überlandstrasse 129, 8600 Dübendorf
KWH Koordinationsstelle der Wärmeforschung im Hochbau (Forschungskoordination und Rechendienstleistung)
1995
ENET 9001001/34
- 537 CRSFA, Jean-Daniel Rouiller, 43 rue de l'Industrie, 1950 Sion
PROGRAMME GEOTHERMOVAL - Recherche et mise en valeur des ressources géothermiques du Valais
1997
ENET 8900033/1 (Phase 1)
- 538 Prof. Dr. Peter Suter, Institut für Energietechnik, Laboratorium für Energiesysteme, ETH-Zentrum, 8092 Zürich
Russbildung und Flammenstrahlung bei hohem Druck
1997
ENET 9400701/7
- 539.1 VOBE, Ingenieurbüro Reto Schmid, Im Zogg, 7304 Maienfeld
Organisierter Selbstbau von Sonnenkollektoranlagen
1996
ENET 6100006/10
- 541 Prof. Dr. Meinrad K. Eberle, Institut für Energietechnik, Laboratorium für Verbrennungstechnik, ETH-Zentrum, 8092 Zürich
Erfassung von Einspritz- und Entflammungsvorgängen an schnelllaufenden Dieselmotoren mittels Laserdiagnostik
1994
ENET 9002002/8
- 542 EICN-ETS, Ecole d'ingénieurs du canton de Neuchâtel, Prof. Philippe Lechaire, 7 avenue de l'Hôtel-de-Ville, 2400 Le Locle
Agrégat photovoltaïque de propulsion navale
1993
ENET 6100007/13
- 544 ARGE F. KALBERER & Partner / TERGESO AG, Hans Müller-Lemans, Stadterwingert 1, 7320 Sargans
Energiesparen in Lüftungsanlagen durch Luftaufbereitung mit Elektro- und Aktivkohlefiltern
1996
ENET 9020016/32
- 545 TIM-Strukturtechnik AG, c/o INFRACONSULT AG, Lorenz Perincioli, Höhweg 17, 3006 Bern
Machbarkeitsstudie «Pilotanlage»
1994
ENET 9100327/7
- 545.1 IC INFRACONSULT AG, Dr. Franz Mühlethaler, Bitziusstr. 40, 3006 Bern
Wirtschaftliche Machbarkeit der Glaskapillarproduktion
1997
ENET 9100327/8

- 546 ADER, Raymond Chenal, 9 rue du Crépon, 1815 Clarens
**Projet d'un centre de recherche expérimentale pour la
réhabilitation de la mini-hydraulique LABORATOIRE DE
MONTCHERAND**
1993
ENET 9020016/13 (Zwischenbericht)
- 547 ABB MANAGEMENT AG, Dr. Hors Grüning,
Forschungszentrum, Abteilung CRBS, 5405 Baden-Dättwil
**Universelles Simulationswerkzeug zur Optimierung
leistungselektronischer Schaltkreise**
1997
ENET 6100004/13
- 548 Gebr. Sulzer AG, Dr. Samir Ziada, Fachbereich Schwingungen
und Akustik FE-1512, 8401 Winterthur
**Aktive Unterdrückung von strömungsangeregten
Schwingungen und Lärm**
1996
ENET 6100015/23
- 549 Prof. Dr. Albin Bölcs, Laboratoire de thermique appliquée
et de turbomachines, EPFL-Ecublens, 1015 Lausanne
**Spaltströmung im Turbinen-Spitzenchnitt
bei Überschallströmung**
1996
ENET 6100015/26
- 550 Prof. Dr. Josef Nösberger, Institut für Pflanzenwissenschaft,
ETH-Zentrum, 8092 Zürich
**The response of CO₂-related processes in grassland
ecosystems in a 3-year field CO₂-enrichment study**
1997
ENET 9401041/8
- 552 Prof. Michel Bassand, IREC-EPFL,
14 avenue de l'Eglise-Anglaise, CP 555, 1001 Lausanne
La consommation d'électricité des entreprises à Genève
1997
ENET 6100023/11
- 555 FÜLLEMANN ENGINEERING, Jörg Füllemann, Lindenhof,
7303 Mastrils
**Forschungs- und Entwicklungsprojekt emissionsarme
Öl- und Gasgebläsebrenner der 90er Jahre 350 kW - 700
kW unter kompromissloser Zweistoff-Feuerung**
1996
- 556 Prof. Dr. Louis Schlapbach, Physikinstitut, Universität Fribourg,
Pérolles, 1700 Fribourg
**Billigere Metallhydride für die stationäre und quasista-
tionäre Speicherung von Wasserstoff**
1995
ENET 9016010/6
- 557+ ALUSUISSE-LONZA SERVICES AG, Dr. Michael Weng,
Forschung und Entwicklung, 8212 Neuhausen am Rheinfall
**Entwicklung eines Fassadensystems mit integrierten
Solarzellenmodulen**
1995
ENET 9554318/1
- 558 NEW SULZER DIESEL AG, Dr. Jakob Vollenweider, KoSt
7055, Postfach 414, 8401 Winterthur
**Abfallfreie Partikelextraktion aus dieselmotorischem
Abgas**
1996
ENET 9108500/3
- 563 Prof. Alain Germond, Laboratoire de réseaux d'énergie élec-
trique, EPFL-LE-Ecublens, 1015 Lausanne
**Infrastructure parallèle et analogique pour l'étude de la
stabilité transitoire des réseaux électriques de grande
taille**
1996
ENET 6100004/9
- 565 Prof. Dr. Lothar Reh, Institut für Verfahrens- und Kältetechnik,
ETH-Zentrum, 8092 Zürich
Auslegung hochbelasteter Zyklonabscheider
1997
ENET 6100000/16; Diss. E. Hugli ENET 6100000/19
- 566+ H + H INNOTECH AG, Andreas Mayer, Postfach, 8484
Weisslingen
**Energiesparende Abluftreinigung durch innenbeheizte
Katalysatoren unter Verwendung von Mikrofaser-
Gestricken**
1998
ENET 6100015/34
- 567 Alfred Müller AG, Heinz Brotschi, Neuhofstrasse 10, 6340 Baar
**Regionale Kompostier- und Vergärungsanlage Allmig,
Baar**
1995
ENET 9550764/2
- 569 BERTRAMS AG, Prof. Dr. Philippe Rudolf von Rohr,
Eptingerstrasse 41, 4132 Muttenz
**Stickoxidemissionsminderung bei stationären
Dieselmotoren**
1992
ENET 9400941/4
- 573 kre Kommission für rationelle Elektrizitätsanwendung,
Dieter Wittwer, c/o INFEL, Lagerstrasse 1, 8021 Zürich
Pilotprojekt Klein-Wärmepumpe/Holzfeuerung bivalent
1993
ENET 9201141/3
- 574 EBG AG, Anton Schwestermann, c/o EW Brig-Naters AG,
Postfach, 3900 Brig-Glis
Kleinkraftwerk Wickertwald
1995
ENET 6100004/8
- 575 SULZER INFRA (SCHWEIZ) AG, Beat Kegel, 8401 Winterthur
Energieoptimaler Betrieb von Kühldeckensystemen
1996
ENET 9001001/32
- 576 NEW SULZER DIESEL AG, Dominique Jaquet, KoSt.
7055, Postfach 414, 8401 Winterthur
**Wirkungsgradsteigerung + Emissionsverminderung von
Zweitakt-Dieselmotoren durch die Entwicklung von
selbstschmierenden Schutzschichten für Kolbenringe**
1996
ENET 9002002/11
- 577 SULZER INFRA (SCHWEIZ) AG, Peter Kofoed, Labor,
8401 Winterthur
Direkte Photovoltaik-Nutzung in einer Klimaanlage
1995
ENET 9008009/24
- 580 ABB KRAFTWERKE AG, Werner Lieberherr, 5401 Baden
**Mehrstufige Verbrennung von Heizöl «Schwer»
zwecks Verminderung des Schadstoffausstosses
(NO_x, CO, UHC, Russ)**
1994
ENET 9004004/18

- 581 geoform, Dr. Roland Wyss, Anton Graff-Strasse 6, 8401 Winterthur
Gasvorkommen im Tessin - Herkunft, Genese und Bedeutung: geochemische Abklärungen
1995 (Publikation 1997)
ENET 6100010/5
- 582 Dr. Thomas Allmendinger, Bruggwiesenstrasse 7, 8152 Glattbrugg
Weiterentwicklung und Musterherstellung von Elektrokatalysatoren
1997
ENET 6100020/3
- 584 ALPHA REAL AG, Christian Meier, Feldeggstrasse 89, 8008 Zürich
Untersuchungen der Möglichkeiten des Brandschutzes von Photovoltaikanlagen mittels elektromagnetischer Funkdetektion
1995
- 585 Prof. Dr. Gerhard Schweitzer, Institut für Robotik, ETH-Zentrum/LEO, 8092 Zürich
Transiente Rotordynamik bei Anstreifvorgängen
1997
ENET 6100004/7
- 587 Fördergemeinschaft Wärmepumpen, Gabi Brugger, Stabsstelle für Energiewirtschaft des Kantons Zürich, Kaspar Escher-Haus, 8090 Zürich
Test- und Ausbildungszentrum für Wärmepumpen in Töss
1995
ENET 9400401/1
- 588 ABB MANAGEMENT AG, Dr. Vishal Mallick, Corporate Research, Postfach, 5405 Baden-Dättwil
Schwingungsmonitoring und Schadensfrüherkennung bei Wasserkraftwerken
1995
ENET 6100004/11
- 591+ arbi, Arbeitsgemeinschaft Bioenergie, Dr. Werner Edelmann, 8933 Maschwanden
Untersuchungen der Co-Vergärung von festen, biogenen Abfällen in den Faultürmen von kommunalen Kläranlagen
1997
ENET 9600003/3
- 592 CSEM, Dr. Jean-Bernard Michel, Maladière 71, 2007 Neuchâtel
Système de brûleur intelligent / Intelligentes Brenner-System
1996
- 593 EMPA, Peter W. Egolf, Abteilung KWH, Überlandstrasse 129, 8600 Dübendorf
Latentwärmespeicher-Modell für Luftsysteme mit kleinen Kapseln
1996
ENET 6100016/7
- 594+ Markus Chastonay, ZTL, 6048 Horw
Leichthybrid
1997
ENET 9300271/2,3
- 596 ELEKTROWATT AG, Jean-René Leidner, Bellerivestrasse 36, Postfach, 8034 Zürich
Messeinrichtung, Datenauswertung und Probetrieb der Solar-Wasserstoffanlage HYDROSOL
1997
ENET 9016010/8
- 597 Prof. Dr. Meinrad K. Eberle, Institut für Energietechnik, Laboratorium für Verbrennungsmotoren und Verbrennungstechnik, ETH-Zentrum, 8092 Zürich
Flammkernentwicklung und Energiumsetzung in Vormischverbrennungssystemen - Berechnung und optische Diagnostik
1997
ENET 6100015/25
- 601 LÖPFE AG, Urs Löpfe, Asylstrasse 1, 5000 Aarau
Ölverdampfungsbrenner
1997
ENET 6100015/21
- 602 Dr. Eicher & Pauli AG, Dr. Hanspeter Eicher, Oristalstrasse 85, 4410 Liestal
Sanierung bestehender Lüftungs- und Klimaanlage unter Berücksichtigung effektiver interner Lasten
1996
ENET 6100002/7
- 604 Wolfgang Schugk, Dollaegerten, 8934 Knonau
Leistungs- und Funktionsmessungen an zwei Wohnhäusern mit dynamischer Wärmedämmung (DI)
1996
ENET 6100001/2 (Zwischenbericht)
- 605 INVERTOMATIC AG für Energiumwandlung, Franco Donati, 9595 Riazzino
Interaktives Leistungsinterface (USV) zwischen Netz und Last (von 10 bis 500 KVA)
1996
ENET 6100004/6
- 606 SULZERINNOTECH, Matthias Krause, Fachbereich Strömungstechnik 1504, 8401 Winterthur
Verminderung der Abrasion in strömungstechnischen Maschinen
1995
ENET 6100004/15
- 607 Prof. Dr. Peter Suter, Institut für Energietechnik, Laboratorium für Energiesysteme, ETH-Zentrum, 8092 Zürich
Fehlerfrüherkennung in haustechnischen Systemen mit beschränkten Mitteln
1997
ENET 6100005/15
- 610 Prof. Dr. Georg Gyarmathy, Institut für Energietechnik, Laboratorium für Strömungsmaschinen, ETH-Zentrum, 8092 Zürich
Schaufelgitter-Untersuchungen zur Validierung dreidimensionaler Strömungsrechenverfahren
- 611 MEDICOAT AG, Dr. Heiko Gruner, Loonstrasse 10, 5443 Niederrohrdorf
Prozess-Optimierung zur Herstellung HEXIS-kompatibler PEN-Elemente für Hochtemperaturbrennstoffzellen mit Festelektrolyt (SOFC)
1997
ENET 9300761/3
- 613 BYRON INFORMATIK AG, Andreas Duppenhaler, Riehenstrasse 60, 4058 Basel
INTEGRIS - Das integrierte Ingenieursystem für die Haustechnikbranche - als Public Domain Software
1994
ENET 6100002/10

- 614 BKW, Bernische Kraftwerke AG, Hans-Rudolf Thöni, Viktoriaplatz 2, 3013 Bern
Messungen der Emissionen und Wirkungsgrade für ein Blockheizkraftwerk mit aufgeladenem Lambda-1-Motor mit Abgasrückführung
1995
ENET 6100005/12
- 615 Prof. Dr. Hans-Christoph Siegmann, Laboratorium für Festkörperphysik, ETH-Hönggerberg, 8093 Zürich
Regelvorrichtung zur Überwachung und Optimierung von Feststoffverbrennungen
1997
ENET 6100015/33
- 617 Reto Schmid, Im Zogg, 7304 Maienfeld
Entwicklung von korrosionsfreien Kondensationswärmerückuperatoren für den Einsatz in Ölfeuerungsanlagen
1997
ENET 6100015/32
- 619 KELLER & ZAHN Bureau d'études, Lucien Keller, Chemin du Renolly, 1175 Lavigny
Optimisation d'une installation photovoltaïque alimentant les circulateurs d'une installation solaire thermique
1995
ENET 9006008/42
- 620 GLAS TRÖSCH SOLAR AG, Hans Lüdi, 4937 Ursenbach
Entwickeln von Modulerstellungsvarianten der Graetzel Solarzelle und systematische Untersuchungen über das Stabilitätsverhalten der Schichten
1997
ENET 6100007/12
- 622 U. AMMANN Maschinenfabrik AG, Dr. Hans-Peter Schwob, 4900 Langenthal
Schadstoffarme Mineralerhitzung in Asphaltanlagen
1996
ENET 9004004/39
- 623 IVECO Motorenforschung AG, Meinrad Signer, Schlossgasse, 9320 Arbon
Konzeptstudie «Treibstoffe für emissionsarme Fahrzeuge am Beispiel der PTT»
1995
ENET 9002002/10
- 624 OERTLI Wärmetechnik AG, Max Hauswirth, Abt. Systemtechnik, Bahnstrasse 24, 8603 Schwerzenbach
Entwicklung eines schadstoffarmen Monoblockbrenners im Leistungsbereich 1,0 - 0,6 MW für die Verbrennung von Heizöl extra leicht und Erdgas
1995
ENET 9004004/34
- 624.1 **Eingriffsfrei von Oel auf Gas umstellbare Brenner-Mischvorrichtung für 1-10 MW mit einem Regelbereich von mindestens 1:5**
1997
ENET 6100015/18
- 626 U. AMMANN Maschinenfabrik AG, Alfred Eichenberger, 4900 Langenthal
Störungsdiagnose-Expertensystem für BHKW
1995
ENET 9300571/3
- 627 Dr. Robert J. Hopkirk, POLYDYNAMICS Ltd., Zeltweg 16, 8032 Zürich
Experimente zur Untersuchung von Hinterfüllungen für Erdwärmesonden-Bohrungen
- 628 Inspektorat des VFWL, Dieter Reinker, Spanweidstrasse 3, 8006 Zürich
Reinigungs- und Wartungsintervalle für einen optimalen energetischen und lufthygienischen Betrieb bei Low-NOx-Brennern
1996
ENET 6100015/16
- 629 SULZER THERMTEC AG, Rudolf Rohner, Hegfeldstrasse 10, Postfach 65, 8404 Winterthur
Entwicklung systematischer Methoden zur Reduzierung des Lärms von Regelventilen
1996
ENET 6100000/17
- 631 SULZERINNOTEK, Josef Eberl, Fachbereich Schwingungen und Akustik, 8401 Winterthur
Strömungserregte Schwingungen in versetzten Rohrbündeln von Wärmetauschern und Dampferzeugern
1996
ENET 6100000/14
- 632 Prof. Dr. Walter Zaengl, Fachgruppe Hochspannungstechnik, ETH-Zentrum, 8092 Zürich
Verminderung von Stickstoffoxiden in Abgasen mit Hilfe von elektrischen Entladungen
- 633 Dr. Thomas Nussbaumer, VERENUM, Langmauerstrasse 109, 8006 Zürich
Entwicklung einer effizienten und emissionsarmen Holzschnitzelfeuerung kleiner Leistung
1996
ENET 90010013/37
- 636 VON ROLL AG, Peter Straub, Departement Umweltechnik, Hardturmstrasse 133, Postfach, 8037 Zürich
Untersuchung von Strömungsverhältnissen in Nachbrennkammern für Sondermüll- und Hausmüllverbrennungsanlagen
1995
ENET 6100015/15
- 637+ Thomas Nordmann, TNC Consulting AG, Rheinfelsstrasse 1, 7000 Chur
Gebäudesanierungs-Expertensystem
1996
ENET 6100001/5
- 638 Prof. Dr. Meinrad K. Eberle, Institut für Energietechnik, ETH-Zentrum, 8092 Zürich
Gesetzmässigkeiten des wandnahen Wärmeübergangs in instationären Verbrennungssystemen - Berechnung und Messung mittels Laserdiagnostik
1997
ENET 9100199/7
- 639 VSHL, Ludwig Weng, Olgastrasse 6, Postfach 73, 8024 Zürich
Computer Based Training CBT - Lernprogramm-Reine «Haustechnik»
1997
ENET 6100005/14

- 640 EMPA, Gerhard Zweifel, Abt. Haustechnik, Überlandstrasse 129, 8600 Dübendorf
Integration von Gebäudesimulationsprogrammen für Energie, Lufttransport und Tageslicht
1997
ENET 6100002/2
- 641 Prof. Dr. Daniel Favrat, LENI-DME, EPFL-Ecublens, 1015 Lausanne
Compresseur de réfrigérant hermétique et sans huile
1997
ENET 6100002/2
- 642 ABB KRAFTWERKE AG, Dr. Rolf Althaus, KWRA, 5401 Baden
Minderung der NO_x-Emission einer Gasturbinenbrennkammer durch axial gestufte Mager-Verbrennung
1997
ENET 6100015/14
- 644 ERATEC Engineering AG, Dr. Jean-Pierre Tschudi, Hohfuhrenweg 4, 3250 Lyss
Wärme-Kraft-Koppelung über Panzermotor
1997
ENET 6100015/13
- 645 ÖKOZENTRUM LANGENBRUCK, Christian Gaegauf, Schwengstrasse 12, 4438 Langenbruck
Bau und Test eines 1.5 KW Freikolben-Stirling-Generators
1997
ENET 6100004/19
- 646 EMPA, Dr. Peter E. Egolf, Abt. 178, Überlandstrasse 129, 8600 Dübendorf
Transluzente Latentwärmespeicher in Gebäudefassaden zur solaren Beheizung und Beleuchtung von Innenräumen
1997
ENET 6100001/4
- 647 RADIAMON S.A., Jean-Jacques Monbaron, 55 rue de France, 2400 Le Locle
Développement d'une chaudière à gaz avec brûleur catalytique
1997
ENET 6100015/11
- 648 ABB MANAGEMENT AG, Klaus Döbbling, Forschungszentrum CHCRC.T, 5405 Baden-Dättwil
Mechanismen und Modellierung der Stickoxidbildung in mageren hochturbulenten Vormischflammen
1995
ENET 9004004/33
- 651 ABB MANAGEMENT AG, Dr. Peter Ernst, Forschungszentrum, CHCRC.M, 5405 Baden-Dättwil
Hochfeste ferritische Chromstähle für Temperaturen über 620 °C
1997
ENET 6100015/8
- 653 Prof. Dr. Rolf Pfeifer, Universität Zürich, Institut für Informatik, Winterthurerstrasse 190, 8057 Zürich
Informatikgestütztes Energie- und Qualitätsmanagement
1997
ENET 6100023/9
- 655 Peter Siegl, Kruggasse 1, 8872 Weesen
Verbesserung der Wirtschaftlichkeit und wissenschaftliche Absicherung der Planungsgrundlagen von Hypokausten-Heizungen
- 656 Thomas Nordmann, TNC CONSULTING, Rheinfelsstrasse 1, 7000 Chur
Integrale Photovoltaik-Schallschutzelemente für den Einsatz entlang von Verkehrsträgern (Autobahn und Eisenbahnlinien)
1997
ENET 9401201/1
- 657 LECLANCHE S.A., Hans Desilvestro, 1401 Yverdon-les-Bains
Optimierung des Ladeverfahrens für Nickel-Metallhydrid Akkumulatoren
1997
ENET 6100020/2
- 658 Reto Pasquale Miloni, Rütistrasse 2c, 8134 Adliswil
Forschungs- und Demonstrationsmodule für neue Tageslichttechnologien
1997
ENET 6100003/1
- 659 SULZER INNOTECH AG, Dr. Jos Weber, 1508, 8401 Winterthur
Teilprojekt A: Auswirkungen und Kontrolle mikrobieller Adhäsion und Belagsbildung in wasserführenden Systemen der Energietechnik (EAWAG); Teilprojekt B: Nachweis mikrobieller Aktivität in technischen Systemen und Entwicklung von Strategien zu ihrer Bekämpfung (SULZER INNOTECH AG)
1997
ENET 6100002/9
- 660 RECOTRON AG, L. Diedlberger, Eigenweg 2, 7310 Bad Ragaz
Entwicklung einer Schwallspäleinrichtung zur Anwendung mit Ölkondensationskesseln
1997
ENET 6100015/7
- 662 PENTOMAG AG, Felix Lehr, Nauenstrasse 63a, Postfach, 4002 Basel
Untersuchung und Anwendung eines regenerierbaren Sorptionsmaterials zur Trocken-Entschwefelung von Rauchgasen
1997
ENET 6100015/6 (nur Zwischenbericht)
- 663 Prof. Dr. Hans Peter Geering, Institut für Mess- und Regeltechnik, ETH-Zentrum, 8092 Zürich
Optimale Regelung von Automobilkatalysatoren
1997
ENET 9002002/12
- 664 Prof. Dr. Meinrad K. Eberle, Institut für Energietechnik, Laboratorium für Verbrennungsmotoren und Verbrennungstechnik, ETH-Zentrum, 8092 Zürich
Entwicklung eines Verfahrens zur Einspritzoptimierung von DI Dieselmotoren
1997
ENET 6100015/31
- 667 MICROSENS S.A., Dr. Alain Grisel, 7 rue Jaquet-Droz, 2007 Neuchâtel
Système multicapteur pour le contrôle de brûleurs domestiques
1997
ENET 6100015/30

- 670 Dr. Konstantinos Boulouchos, Institut für Energietechnik, ETH-Zentrum, NO H 47, 8092 Zürich
Verbrennungsführung für tiefste NOx-Emissionen bei mageren Vormischbrennern
1997
ENET 9100015/5
- 671 Prof. Dr. Albin Bölcs, Laboratoire de thermique appliquée et de turbomachines, EPFL-Ecublens, 1015 Lausanne
Wärmeübergangsmessungen an filmgekühlten Turbinenschaufeln mit Variationen der Kühlgeometrie
1997
ENET 6100015/29
- 678 Prof. Hans Peter Geering, Institut für Mess- und Regeltechnik, ETH-Zentrum, 8092 Zürich
Moderne Regelungstheorie zur Verbesserung der Abgasemissionen im realen Fahrbetrieb von Motorfahrzeugen
1997
ENET 6100021/9
- 679 Lothar Griesser, c/o EWI, Bellerivestrasse 36, Postfach, 8034 Zürich
Verbesserung der Wirkung von Automobil-Abgaskatalysatoren durch Vorwärmung mittels eines katalytischen Benzin-Brenners
1997
ENET 6100021/5
- 681+ ABB INDUSTRIE AG, Dr. Alexander Stoev, Abt. IAE, 5300 Turgi
High Efficiency IGBT-Energiewandler im MVA-Bereich
1997
ENET 6100004/18
- 682 Prof. Arvind Shah, Institut de Microtechnique, Université de Neuchâtel, 2 rue A.-L. Breguet, 2000 Neuchâtel
Aluminium-Fassadenelemente mit direkt abgeschiedenen amorphen Silizium-Solarzellen
1997
ENET 9401251/6
- 688 Prof. Dr. Lino Guzzella, Institut für Energietechnik, ETH-Zentrum, 8092 Zürich
Optimale Antriebssysteme für Leichtfahrzeuge
1997
ENET 9555285/2
- 690+ Willi Mahler, Stegstrasse 4, 8912 Obfelden
Entwicklung und Erprobung eines neuartigen Konzeptes für die Lärmdämmung von Kommunal- und anderen Fahrzeugen
1997
ENET 6100021/8
- 695 ABB MANAGEMENT AG, Dr. Thomas Sattelmayer, Forschungszentrum, Abt. CHCRC.T, 5401 Baden-Dättwil
Vorverdampfung und Vormischung in schadstoffarmen Ölbrennern
1997
ENET 6100015/3
- 695.1 Dr. Jürg Gass, Institut für Energietechnik, ETH-Zentrum, 8092 Zürich
Tropfenverdampfung und Tropfenzündung in Oelsprays unter Druck
1997
ENET 6100015/4
- 698 Dr. Alfred Moser, Institut für Energietechnik, ETH-Zentrum, 8092 Zürich
Wärmetransport durch Strahlung in Gebäuden
1997
ENET 6100003/1
- 699 Peter Siegl, Kruggasse 1, 8872 Weesen
Messungen der thermischen Komfortbedingungen im Testraum mit wassergeführten Wandstrahlungsheizungen
- 700 TTM, Andreas Mayer, Fohrhölzlistr. 14b, 5443 Niederrohrdorf
Druckwellenlader in Register-Resonanz-Schaltung
1997
ENET 6100015/2
- 702 Daniel Rhyner, ecopower energy solutions AG / Ingenieur Schule Biel
WKK-Anlage (Mini-BHKW) mit Drehzahl-regulierter Leistungsdosierung
1997
ENET 6100005/11

