

Mars 2001

ENET NEWS

Nouvelles de la recherche énergétique



OFEN
SuisseEnergie a besoin de la recherche

Petits aménagements hydrauliques
Énergie douce dans la tourmente

Systèmes pour le bâtiment
Parents par le cœur

www.energieforschung.ch

 **suisse énergie**

OFEN

SuisseEnergie a besoin de la recherche4

Fondements de l'économie énergétique

Des plans qui suscitent de l'opposition6

Gestion de parcs immobiliers et efficacité
énergétique6**Photovoltaïque**

Des modules posés intelligemment9

Aspects environnementaux du
photovoltaïque11**Chaleur solaire**Des systèmes hybrides pour
passer la nuit12**Petits aménagements hydrauliques**

Énergie douce sous pression14

Systématiser pour la pratique16

Produire du courant, puis boire18

**Énergie éolienne**

Là où règnent d'autres lois20

BoisMoins d'oxydes d'azote par l'étagement
de la combustion21**Chaleur ambiante**

Améliorer l'étude23

Systèmes pour le bâtiment

Parents par le cœur25

PIV: isoler en plus mince27

Électricité

Les supraconducteurs ont de l'avenir30

**Énergie nucléaire**

La sûreté par le savoir33

Piles à combustible

Une anode qui abaisse les coûts36

Couplage chaleur-force

Le réglage à succès38

Manifestations39

Nouvelles publications40**Impressum**

ENET-NEWS

Nouvelles de la recherche énergétique

Mars 2001 / N° 47

Paraît quatre fois l'an en français
et en allemand.

Éditeur

Office fédéral de l'énergie OFEN

Monbijoustrasse 74

CH-3003 Berne

Rédaction

ENET Communication

Jürg Wellstein

Parkstrasse 15

CH-4106 Therwil

Tél. +41 61 726 92 18

téléfax +41 61 726 92 11

enet.kommunikation@bro.ch

Traduction française

Jean-Marc Suter

Reproduction autorisée seulement avec
l'indication de la source.

Papier sans chlore

Imprimé en Suisse.

Photo de couvertureTurbine Kaplan pour le banc d'essai du
laboratoire de recherche MHyLab à Mont-
cherand.

Le petit „e“ dans le cercle rouge

Me connaissez-vous déjà? En tant que logo du nouveau Programme d'action „SuisseEnergie“, je suis fier de mes parents. Ils ont beaucoup réfléchi. Ils voulaient exprimer quelque chose d'important. Le „e“ dans le cercle rouge représente un nouvel „amour pour l'énergie“. Rouge comme le feu! Ou peut-être aussi comme un sujet brûlant, ou bien avant tout comme la couleur de notre drapeau suisse? Le petit „e“, semblable au @ moderne, est certainement un signe de la société de communication dans laquelle, en réseau, on discute et apporte des réponses, aussi aux questions en rapport avec l'énergie. Mais regardez bien! Les deux mots „Suisse“ et „Énergie“ sont accolés. Le lien étroit entre ces termes saute aux yeux, le mot „Énergie“ imprimé en gras souligne mon importance. Nous appartenons l'un à l'autre, après les 10 ans du Programme d'action Energie 2000. Car, en tant que SuisseEnergie, je continue d'agir par conviction pour susciter de nouveaux rapports avec l'énergie. Je communique un comportement sensibilisé à l'utilisation de l'énergie et stimule par ce moyen dans toutes les couches sociales la compréhension de la notion d'„énergie“ dans l'échelle des valeurs. Mais je représente aussi

ce qu'il y a de passionnant, d'innovant et d'étonnant dans la recherche énergétique. J'aimerais poursuivre systématiquement



l'œuvre de pionnier de mon prédécesseur et soutenir ainsi une façon de traiter l'énergie qui serve de modèle pour l'avenir. On attend beaucoup de moi; je suis impatient de relever le défi et d'agir en éclairer au service de l'utilisation intelligente de l'énergie. Avec mon cercle rouge et le petit „e“, je veux montrer de manière convaincante ce que je sais faire en tant que forum de l'information et instigateur d'actions. Je me réjouis de devenir pour vous tous un confident qui réapparaît chaque fois que l'énergie en Suisse va de l'avant.

Votre logo SuisseEnergie

Recherche énergétique 2000

La publication „Recherche énergétique 2000 – Rapports de synthèse des chefs de programme“ rassemblant les synthèses annuelles des chefs des programmes de l'OFEN, va paraître sous peu. Comme chaque année, il donne une vue d'ensemble de l'avancement et des résultats des projets (co)financés par l'OFEN.

La version imprimée est disponible auprès d'ENET; le site internet de l'OFEN publie une version électronique.

www.admin.ch/bfe

Diplôme postgrade sur l'énergie

En septembre 2001, l'EPFL qui coopère ici avec cinq universités européennes recommence un cycle d'études postgrades sur l'énergie, en cours d'emploi professionnel. Il s'adresse aux cadres de l'industrie et de l'administration qui s'occupent de production ou de distribution d'énergie ou d'applications industrielles grandes consommatrices d'énergie. De bonnes connaissances de français et d'anglais sont nécessaires pour suivre les cours. Délai d'inscription: 31 mai 2001.

<http://postgrade-energie.epfl.ch>

Liste des projets 1998/1999

Plus de 950 projets sont répertoriés dans la nouvelle publication de l'OFEN „Recherche, développement et démonstration dans le domaine de l'énergie en Suisse – Liste des projets 1998/1999“. Elle donne une vue d'ensemble des travaux R+D et P+D encouragés par la Confédération, les Cantons et les Communes. La première partie est consacrée à des données statistiques. La numérotation des projets permet de commander facilement d'autres documents plus détaillés.

Pour commander: ENET

SuisseEnergie a besoin de la recherche

Le nouveau programme d'action place haut la barre et s'appuie aussi sur les résultats de la recherche énergétique

Le nouveau programme SuisseEnergie est en route, lancé avec succès le 30 janvier 2001. Il est construit à partir des éléments d'Energie 2000 qui ont fait leur preuve et tire parti des structures mises en place, pour pouvoir tendre systématiquement vers de nouveaux buts. Au terme de la loi sur l'énergie, les Cantons et des organisations spécialisées sont maintenant des partenaires privilégiés. Mais un rôle important est aussi dévolu aux chercheurs du domaine de l'énergie; en effet, leurs résultats doivent déboucher sur des produits et des technologies utilisant rationnellement l'énergie et mettant en œuvre les sources d'énergie renouvelables. Quels sont les buts et les intentions du nouveau programme d'action et quel rapport y a-t-il concrètement avec la

„SuisseEnergie et sa stratégie tournée vers l'avenir, c'est aussi une manière de se préoccuper des générations futures.”

recherche énergétique? Hans Luzius Schmid, directeur de SuisseEnergie, répond à ces questions.

Sur quelle base le programme subséquent SuisseEnergie a-t-il été développé?

Hans Luzius Schmid: d'une part, nous avons des objectifs en matière de politique de l'énergie et du climat, comme une réduction de 10% des émissions de CO₂ d'ici à 2010, en comparaison avec 1990; d'autre part, nous aspirons à un approvisionnement sûr et durable en énergie. La base à proprement parler est l'article constitutionnel sur l'énergie. SuisseEnergie et sa stratégie tournée vers l'avenir, c'est aussi une manière de se préoccuper des générations futures, de nos enfants, auxquels nous pensons en prenant nos décisions.

Comment jugez-vous la situation initiale en ce qui concerne la thématique de l'énergie?

Les perspectives énergétiques les plus récentes montrent une croissance continue de



Hans Luzius Schmid: „La recherche énergétique contribuera de manière essentielle à l'élaboration des bases du Programme d'action.”

la demande, en particulier pour les carburants, les procédés industriels et l'énergie électrique. Malheureusement, la croissance économique et l'augmentation de la consommation d'énergie sont encore aujourd'hui étroitement liées. Notre trop grande dépendance du pétrole, qui persiste, et les prix instables qui en découlent, de même que le caractère limité des réserves d'agents énergétiques fossiles, exigent des efforts nettement plus considérables que jusqu'à présent. Energie 2000 a dévoilé les possibilités et les limites des mesures volontaires. Elles aussi nécessitent du temps et de l'argent; elles se basent sur le progrès technique et donc sur la recherche et le développement, comme fondement des changements requis en matière de production et d'utilisation de l'énergie.

Comment le choix des quatre secteurs dans l'organisation de SuisseEnergie a-t-il été établi?

Le Conseil fédéral a fixé aussi pour SuisseEnergie des objectifs quantitatifs ambitieux, qui concordent avec ceux de la loi sur le CO₂



et avec nos engagements découlant de la Convention sur le climat; ils doivent être valables jusqu'à l'horizon 2010. Les quatre secteurs, c'est-à-dire le bâtiment, l'économie, la mobilité et les sources d'énergie renouvelables, correspondent aux trois plus importants secteurs de la consommation d'énergie et au fait que les sources d'énergie renouvelables sont partout importantes. Ainsi, cette organisation répond-elle de façon optimale aux exigences du marché. Par ces quatre domaines, nous voulons, de manière ciblée, rendre la population dans son ensemble plus consciente des questions énergétiques et, entre autre, diffuser des résultats de recherches et développements qui montrent le chemin. Ainsi, les personnes prêtes à agir seront plus nombreuses à renouveler, par exemple, leur installation de production de chaleur, à conduire économiquement leur voiture, ou encore à utiliser du bois. Ce qui est important, c'est que nous puissions ainsi, au-delà des groupes pionniers, atteindre des cercles de personnes toujours plus larges. Sur la base de mon expérience, j'ai confiance que notre approche sera couronnée de succès.

À votre avis, des changements de priorité sont-ils nécessaires dans le domaine de la recherche énergétique?

Encourager la recherche et le développement, ainsi que les installations pilotes et de



Lancement le 30 janvier 2001

SuisseEnergie a été lancé par 51 manifestations dans toutes les parties du Pays. Des boissons ont été distribuées à cette occasion: de l'énergie nouvelle pour tous!

démonstration, reste une tâche primordiale de la Confédération, qui continue de se baser sur le *Plan directeur de la recherche énergétique de la Confédération* formulé et régulièrement mis à jour par la Commission fédérale pour la recherche énergétique (CORE). La recherche doit toutefois davantage faire corps avec le Programme d'action, ce qui va aussi être facilité par la nouvelle organisation de l'OFEN. D'ailleurs, nous attendons une amélioration de la situation financière en raison de l'importance accrue de la recherche pour les Hautes

En matière de recherche énergétique, quel est votre souhait?

La recherche énergétique et le développement doivent conduire plus fréquemment à des technologies de haute efficacité, et aussi contribuer à ce que celles-ci puissent être commercialisées le plus rapidement et largement possible. Souvent, cela est un problème non seulement technique, mais aussi économique, politique et de société. La recherche peut et doit concourir à la résolution de cette problématique générale.

„La recherche énergétique doit conduire plus fréquemment à des technologies de haute efficacité.“

Écoles spécialisées, avec donc une participation financière renforcée des Cantons; d'autres améliorations viendront du Conseil des EPF et d'une coopération optimisée avec la CTI. Le transfert des résultats de la recherche à la pratique sera accéléré grâce à SuisseEnergie. Cependant, nous ne perdons pas de vue que les cycles d'innovation, de la recherche de base à la commercialisation, durent souvent longtemps, de par la nature même du système. D'où l'intérêt particulier pour nous des projets pilotes et de démonstration, puisqu'ils se placent à la fin de cette chaîne de l'innovation et contribuent substantiellement à l'accélération de la commercialisation des nouveaux produits utilisant efficacement l'énergie.

À part les aspects énergétiques, le Programme d'action SuisseEnergie veut réduire les émissions de CO₂, aussi par égard pour les générations futures.
(Photo: SSES)



Liens internet

Energie 2000, le Programme d'action achevé

www.energie2000.ch

SuisseEnergie, avec de nouveaux objectifs pour la nouvelle décennie

www.suisse-energie.ch

L'Agence de l'énergie pour l'économie (AEnEC) d'économiesuisse et de l'USAM, l'un des piliers du Secteur Économie

www.energie-agentur.ch

L'Agence suisse des énergies renouvelables et de l'efficacité énergétique (ASER), une organisation faitière pour de nombreuses activités

www.aee.ch

L'Office fédéral de l'énergie, qui dirige le Programme d'action

www.admin.ch/ofen

Des plans qui suscitent de l'opposition

Faut-il verser des indemnités? –

Les grands projets d'infrastructure entre résistance et acceptation

Christoph A. Schaltegger

WWZ
Université de Bâle
CH-4003 Bâle

Ruedi Meier

Chef du programme „Fondements de l'économie énergétique” de l'OFEN
Bolligenstrasse 14b
CH-3006 Berne

Martin Beck

Responsable du domaine „Fondements de l'économie énergétique” de l'OFEN

Les projets d'infrastructures de grande envergure suscitent encore et toujours de l'opposition auprès de la population concernée. Une étude du Centre des sciences économiques (WWZ) de l'Université de Bâle, étude soutenue par l'OFEN, montre les dessous de la question controversée des indemnités et esquisse des solutions. Les termes systématiques du problème et la formulation de thèses ont été étayés d'exemples nationaux, comme le projet de dépôt de déchets radioactifs au Wellenberg, l'agrandissement de l'aéroport de Zurich „Airport 2000”, le projet de la Greina et le four pour déchets spéciaux de Bâle, avec, en complément, une vue d'ensemble com-

parative internationale. Pourquoi les sociétés démocratiques ont-elles aujourd'hui de la peine à réaliser de grands projets d'infrastructure? L'étude de René L. Frey et de Christoph A. Schaltegger va au fond de cette thématique complexe en mettant progressivement en lumière divers aspects.

Une répartition asymétrique des avantages et des coûts engendre de l'opposition

Les projets de grande envergure apportent en général des avantages largement perçus, mais dont les retombées négatives, comme le bruit, se concentrent souvent sur la population riveraine, par exemple, autour d'un

Gestion de parcs immobiliers et efficacité énergétique

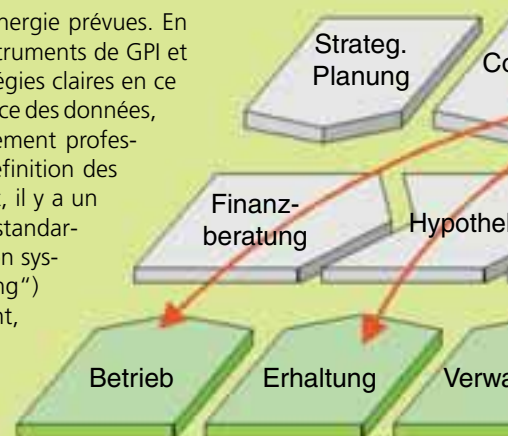
Dans votre entreprise, des mesures ont-elles déjà été prises en matière de gestion coordonnée du parc immobilier et de l'énergie? Telle était l'une des questions posées à 200 entreprises, de grande taille pour la plupart, de différentes branches de l'économie. Sur la base de cette collecte de données, complétée par 20 interviews et par 5 études de cas, une analyse de la gestion coordonnée d'un parc immobilier (GPI) et de l'énergie (GE) a été effectuée. Le but de cette étude était de clarifier la position des responsables de GPI, la compréhension de la GPI et sa mise en œuvre, puis de formuler en conséquence des recommandations d'amélioration.

Une enquête avec une foule de résultats

Dans l'ensemble, on peut affirmer que les intéressés attachent beaucoup d'importance à l'intégration de la gestion de l'énergie à celle du parc immobilier. On constate dans les deux domaines une similitude dans les données nécessaires, dans la problématique de mise en œuvre et dans la gestion optimale des locaux conduisant à la réali-

sation des économies d'énergie prévues. En outre, le recours à des instruments de GPI et de GE demande des stratégies claires en ce qui concerne la transparence des données, leur saisie et un dépouillement professionnels, enfin la claire définition des interfaces. Manifestement, il y a un grand besoin d'indices standardisés et d'une comparaison systématique („benchmarking”) qui fonctionne. Cependant, des structures de données qui diffèrent d'une entreprise à l'autre empêchent aujourd'hui encore de comparer les indices entre eux.

Parmi les tâches relevant de la GE, relevons l'adaptation des contrats d'entretien, la définition et la saisie des indices énergétiques, les statistiques énergétiques, l'élaboration de directives, le „contracting” et la formation du personnel. Jusqu'ici, la GE a montré qu'elle permettait surtout de réduire les factures d'énergie; la réduction de la consommation arrive, quant à elle, en seconde position par-

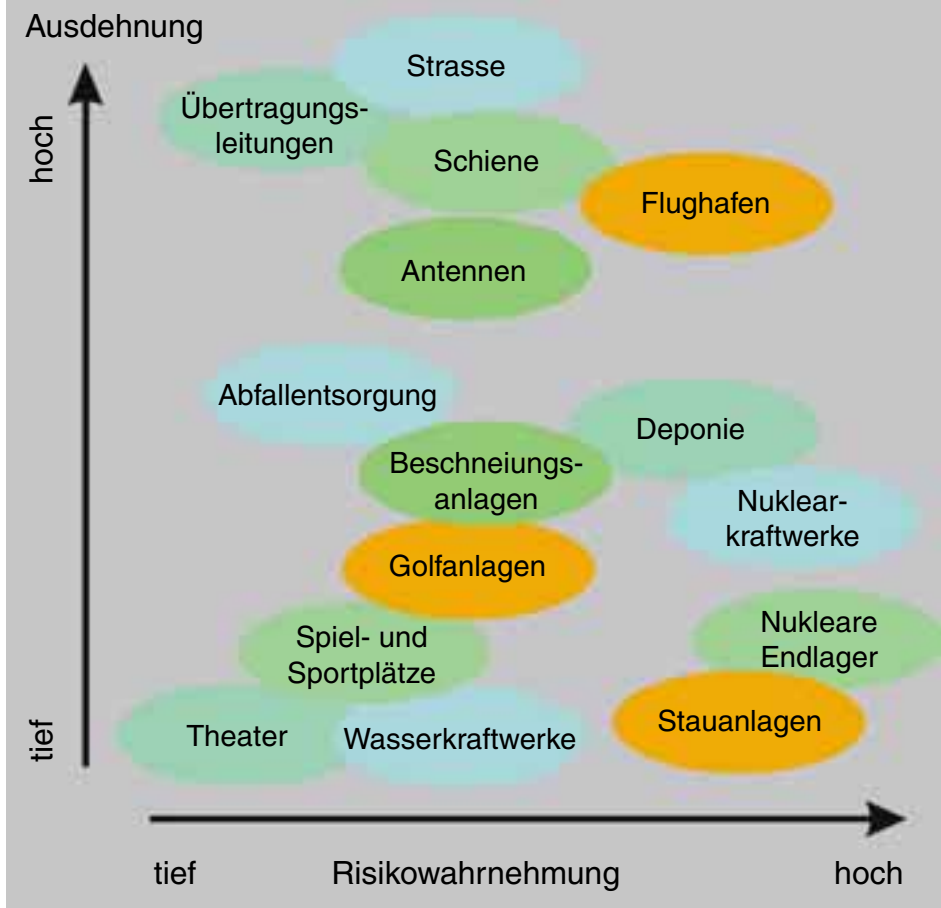


L'architecture des processus d'une entreprise, avec les processus de direction (ligne supérieure), ceux des activités principales de l'entreprise (ligne intermédiaire) et ceux de la logistique au sens large (ligne inférieure). FM/EM signifie en allemand GPI/GE. (Diagramme: pom + Consulting SA)

Lien internet

Le programme „Fondements de l'économie énergétique” de l'OFEN

www.ewg-bfe.ch

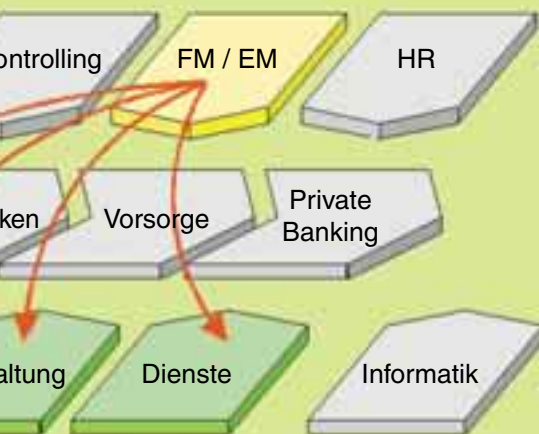


La perception du risque des équipements d'infrastructure.

aéroport. Ici, la répartition des profits et des coûts, des avantages et des inconvénients, est asymétrique, ce qui soulève de l'opposition. C'est un fait qui se vérifie dans la plupart des sociétés démocratiques. En Suisse, la population a la possibilité de donner son avis, de sorte que la radicalisation de l'opposition peut en général être freinée grâce à ces institutions démocratiques. En même temps, les consultations et votations offrent la chance de pouvoir tester l'acceptation des projets d'infrastructure à un stade embryonnaire déjà.

Des ventes aux enchères comme instruments de la politique d'infrastructure

Pour apporter une solution aux conflits d'intérêts, les sciences économiques ont développé des concepts de vente aux enchères. On y définit et soupèse les profits et les moins-values des deux parties. Les adversaires d'une installation obtiennent alors



mi les avantages de la GE. Bien que la GPI/GE encourage la transparence des coûts, la prise en compte du cycle de vie complet et la standardisation, il arrive aussi que l'on rencontre certains problèmes, au niveau de la saisie et de l'effort considérable qu'elle nécessite, ainsi que du caractère dominant de l'informatique ou du manque de prise de conscience de la méthode.

Que faire? Informer et mieux former!

L'étude confirme également, en résumé, qu'une gestion de l'énergie qui fonctionne ne peut être réalisée qu'en conjonction avec une gestion du parc immobilier. On a constaté que souvent des connaissances théoriques en GPI/GE existent, mais pas chez ceux qui pré-

Que sont la GPI et la GE?

La mission principale de la gestion du parc immobilier (GPI) est l'optimisation des biens immobiliers (sur leur durée de vie entière) et des services qu'ils offrent; la GPI applique une planification ciblée, des contrôles et une saine gestion, de manière à soutenir l'activité principale de l'entreprise. La gestion de l'énergie – au sein de celle du parc immobilier – a pour objectif de réduire au strict nécessaire la consommation d'énergie, les émissions de polluants et les coûts énergétiques, dans le cadre des objectifs fixés. Cela sous-entend une amélioration de l'efficacité énergétique et la mise au point de directives en matière d'écologie.

sident aux destinées de l'entreprise (direction et „top-management“). Le plus souvent, la GPI sert en priorité à la transparence des coûts. L'échange d'expériences en vue d'améliorations n'a lieu que ponctuellement. C'est pourquoi il faut proposer d'encourager l'information, la formation, la mise en place de bases de données du savoir, de cahiers des charges et d'indices, toutes mesures plus judicieuses et nécessaires les unes que les autres.

Constatant que l'industrie et les services consomment environ 25% de la chaleur et 65% de l'électricité, même si ce secteur n'englobe que 15% du nombre total des bâtiments, on peut faire une première estimation des économies possibles grâce à la GE; tout calcul précis reste cependant très aléatoire.

Le rapport final:

Facility Management (FM) und Energieeffizienz

P. Staub, K. Weibel, Th. Zaugg

peut être commandé auprès d'ENET

de ses partisans une compensation financière. Toutefois, si les parties échouent dans l'estimation globale de la valeur du projet, on renonce à sa réalisation.

L'indemnisation est cependant loin de faire l'unanimité. L'argument de la corruption est régulièrement avancé. On peut interpréter cela comme un signe de la négligence de certains éléments ou mécanismes au cours de la prise de décision.

communication basées sur la démocratie, autorisant la participation des intéressés et la discussion de solutions alternatives, jouent un rôle important dans l'établissement d'une relation de confiance.

L'étude propose aussi de définir la notion de régions spéciales, dans lesquelles ceux qui jouissent des avantages et ceux qui supportent les coûts sont associés dans un processus démocratique.



*Une répartition asymétrique des avantages et des coûts engendre de l'opposition chez les personnes concernées.
(Photo: CFF, Alain D. Boillat)*

De l'information et des prestations en nature comme alternatives aux indemnités

Une politique adéquate d'information ainsi que des prestations en nature en guise de „réparations“ constituent des alternatives efficaces aux indemnités qui ne sont pas toujours ressenties comme morales. L'estimation des risques peut se corriger au moyen d'une information objective et la perception d'une atteinte potentielle à la vie même peut se modifier en fonction de sa faible probabilité de réalisation.

En outre, quand il s'agit de considérations à long terme, il faut jouer franc jeu et faire preuve de compétence. Des méthodes de

L'étude:

Abgeltungen bei Infrastrukturanlagen? – Grossprojekte zwischen Widerstand und Akzeptanz;

René L. Frey, Christoph A. Schaltegger, WWZ, Université de Bâle.

www.unibas.ch/wwz/wipo

peut être commandée auprès de l'organe de distribution des publications fédérales:

www.admin.ch/edms

(n° OCFIM/EDMZ: 805.217 d)

Liste des projets 2001/2002

Conçue comme instrument de travail et base de discussion, la nouvelle liste des projets 2001/2002 du programme Fondements de l'économie énergétique (FEE) donne de nombreux renseignements sur les projets en cours et les nouveaux. Elle répond aux objectifs suivants:

- concrétisation du programme prioritaire FEE de 1995;
- identification de nouvelles lignes de force et de nouveaux thèmes de recherche;
- communication des intentions du programme de recherche FEE;
- amélioration et exercice de la coordination.

Les recherches demandent du temps; il faut donc planifier à moyen terme. Pour que les politiciens et le grand public disposent à temps des éléments dont ils ont besoin pour prendre leurs décisions, il faut anticiper considérablement les thèmes confiés à la recherche en matière de fondements de l'économie énergétique.

Pour commander:

www.ewg-bfe.ch

Des modules posés intelligemment

On demande des systèmes d'intégration au bâtiment qui permettent la pose à prix avantageux

Stefan Nowak

Chef du programme Photovoltaïque de l'OFEN
c/o NET Nowak
Énergie &
Technologie SA
CH-1717 St-Ursen

Urs Wolfer

Responsable du
domaine Énergie
solaire de l'OFEN

À part les aspects relevant de la recherche, l'intérêt pour le photovoltaïque se concentre aujourd'hui sur les solutions proposées pour l'intégration au bâtiment. Ce dernier aspect est devenu partie intégrante de la technique, qui jette un défi à l'architecture solaire. On lui demande des exemples optimisés; à elle de porter le flambeau! Parallèlement, il faut trouver des systèmes de montage intelligents qui permettent la pose des installations classiques de taille petite ou moyenne à un prix avantageux. Vu que l'intégration au bâtiment peut changer considérablement la situation au niveau des applications, à condition que les solutions proposées soient adéquates, l'Office fédéral de l'énergie a encouragé les deux projets que nous allons décrire.

SOLRIF – Solar Roof Integration Frame – Un système de cadre modulaire

Le développement de SOLRIF avait pour but l'élimination des surcoûts des systèmes intégrés aux toitures et façades par rapport aux systèmes apposés, sur ou contre ces éléments de construction. SOLRIF fait ap-

pel à des profilés spéciaux d'aluminium extrudé, de forme optimale, permettant l'intégration des modules photovoltaïques de toutes dimensions aux toitures à pans inclinés. Comme les profilés peuvent être coupés au millimètre près, on peut les utiliser aussi bien pour les petits champs de panneaux solaires que pour les grands. En choisissant des panneaux standardisés et en effectuant le montage – facile – sur place, sur le lattage de la toiture, on obtient des solutions de prix avantageux pour toutes les in-



clinaisons, de 15° à 90°. Aucun composant supplémentaire n'est nécessaire à l'étanchéité du toit. Horizontalement, les éléments sont joints, les uns contre les autres, tandis que verticalement, seuls les profilés se recouvrent. Ainsi, on peut remplacer fa-

Dans le système SOLRIF, la liaison entre les modules photovoltaïque est assurée par des profilés extrudés d'aluminium s'emboîtant latéralement les uns dans les autres.

Montage de modules SOLRIF: même sur une toiture peu inclinée, l'eau de pluie et les impuretés qu'elle contient s'écoulent rapidement, grâce à la forme du profilé et à la technique de montage.



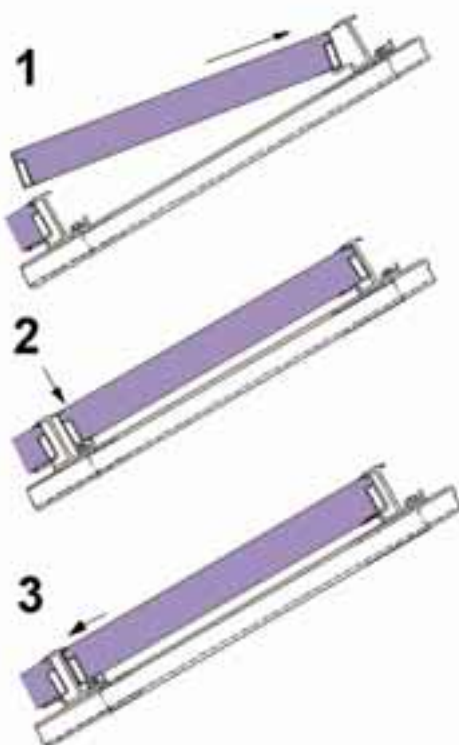
cilement, le cas échéant, n'importe lequel des modules solaires.

Le projet SOLRIF, dirigé par Enecolo SA à Mönchaltorf et Ernst Schweizer SA à Hedingen, a été réalisé de 1998 à la mi-décembre 2000; dans la deuxième phase, il a été possible de réduire la quantité de matière utilisée pour les profilés d'aluminium. En outre, les premiers pas vers une normalisation des éléments ont été faits, tout comme des essais du comportement en cas de foudre. Des adaptations ont permis d'augmenter à 8 mm l'épaisseur maximum des lamifiés à un seul verre (jusqu'ici: 5 mm seulement). Si l'inclinaison est faible ou la situation critique, l'exécution standard, qui prévoit un cadre sur trois côtés seulement – l'extrémité inférieure restant libre –, prévient le dépôt de salissures et les pertes d'énergies pouvant en résulter. La diversité architectonique est assurée, grâce à la souplesse au niveau de la taille et de la combinaison avec les tuiles ainsi que par le libre choix de la teinte des profilés d'aluminium.

Des installations d'essai ont permis l'évaluation du montage et l'étude du comportement dans des situations météorologiques extrêmes; SOLRIF a passé ces tests avec succès.

AluTec – Suspendre les modules dans le profilé

Le système de montage AluTec convient aussi bien aux toitures à pans inclinés qu'à la pose de modules photovoltaïques contre des façades. Il a été mis au point par Urs Bühler Energy Systems à Cham de façon à permettre un montage aussi aisé que possible de modules aux cadres les plus divers. Les profilés AluTec sont adaptés à toutes les épaisseurs usuelles des cadres, de 20 à 51 mm.



Un montage rapide des modules, en trois temps.

D'une puissance de 32,56 kWp, l'installation P+D de la Coopérative d'électricité de Hünenberg, cofinancée par le Canton de Zoug et l'OFEN, a été mise en service en avril 2000 après un montage de courte durée par l'entreprise kottmann energie sa de Lucerne. Depuis lors, la puissance totale

L'Energy-Monitor met les informations à portée de main

Dans les installations pilotes et de démonstration, il est important de rendre visibles et aisément compréhensibles les données énergétiques et météorologiques. Mais tous les visiteurs n'éprouvent pas le même besoin d'être informés. L'écran tactile permet de consulter des données plus ou moins détaillées, à la propre convenance du visiteur: données sur la production d'énergie, le vent et l'ensoleillement, ou alors des explications sur l'installation elle-même.



À titre d'exemple, mentionnons que l'Energy-Monitor développé par Urs Bühler Energy Systems est utilisé dans l'installation photovoltaïque pilote de la Coopérative d'électricité de Hünenberg.

u.bue_cham@bluewin.ch

Liens internet

Le monde du photovoltaïque en raccourci
www.pvportal.com

SOLRIF – L'intégration en toiture avec profilé d'aluminium
www.enecolo.ch
www.solarstrom.ch
www.schweizer-metallbau.ch

Le système de montage AluTec:
Diffusion internationale:
www.solarmarkt.ch
Pose et diffusion en Suisse:
www.kottmann-energie.ch

des installations posées à l'aide du système AluTec dans plusieurs pays européens dépasse 1 MWp.

À intervalle régulier, choisi en fonction des conditions prévisibles d'exposition au vent et à la neige, des crochets ou des vis spéciales sont posés sur le toit; ils supportent des profilés verticaux du type AluVer, avec tout ce qu'il faut pour le passage des câbles. On pose ensuite les profilés AluTec horizontaux dans lesquels se glissent les modules solaires, sans aucun outil. Aucun travail n'a besoin d'être exécuté sur les produits photovoltaïques du marché, ce qui ré-



Installation AluTec, aux Pays-Bas, dans laquelle l'étanchéité de la toiture est assurée par un seul film sous les modules.

duit considérablement le risque de détérioration de ces produits.

La pose des panneaux est rapide, tout ayant été préparé d'avance; pour les grandes surfaces de toiture, on peut même utiliser sur le toit un chariot de transport spécial, qui améliore du même coup la sécurité du travail des monteurs.

La forme choisie pour la traverse du profilé AluTec, située dans la partie supérieure,

donne une apparence symétrique à chaque module et, avec sa hauteur maximum de 0,6 mm, cause un risque minime de retenue des salissures sur les modules.

Récemment, le système de montage AluTec a été employé aussi dans un nouveau groupe de bâtiments en Hollande, avec un film posé sous les modules pour assurer l'étanchéité de la toiture. Le système convient donc aussi à l'intégration complète à la toiture.

Aspects environnementaux du photovoltaïque

Dans une étude mandatée par l'OFEN, Rolf Frischknecht et Niels Jungbluth ont collecté les données anciennes ou nouvelles publiées dans la littérature spécialisée sur les aspects environnementaux de la fabrication des installations photovoltaïques. C'est la certification de l'électricité produite à partir de sources d'énergie renouvelables qui a poussé les chercheurs à procéder à cette actualisation; la certification est attestée par le label de qualité „Naturemade star” de l'Association pour l'électricité écologique (VUE). Certes, différents types de cellules solaires (monocristallines, polycristallines, amorphes, etc.) ont déjà été étudiés sous cet angle par le passé; mais des données énergétiques très importantes, sur la cristallisation et le nettoyage du silicium, par exemple, varient considérablement d'un auteur à l'autre. La plupart des publications se limitent à la considération de l'énergie primaire, sans donner aucune indication sur les émissions au cours de la fabrication proprement dite, notamment pendant le nettoyage des „wafers”. Seules quelques études se basent sur des enquêtes

personnelles récentes de leurs auteurs auprès des fabricants. On remarque malgré tout quelques-uns des progrès réalisés ces dernières années.

Ce faisant, il faut se souvenir que les procédés de fabrication des „wafers”, des cellules et des panneaux sont l'objet d'une évolution technique très rapide. On peut ainsi deviner facilement que des réductions considérables de la consommation énergétique et matériel spécifique sont possibles au chapitre du nettoyage et que l'écobilan peut être influencé par ce biais, pour certaines qualités de silicium. Il faudra actualiser les données sur la production, par l'analyse de nouveaux ateliers de production en Europe, au Japon et en Amérique du Nord; ainsi, on pourra s'appuyer sur des données plus sûres pour le calcul de l'écobilan des installations photovoltaïques.

Étude:
Umweltaspekte von Photovoltaikanlagen;
Rolf Frischknecht; Niels Jungbluth

„Naturemade”, la référence pour l'électricité écologique

Derrière Naturemade, le label de qualité de l'association VUE fondée en 1999, on trouve le Forum du biogaz, les Entreprises électriques EWB (Ville de Berne), EWZ (Ville de Zurich) et EEF (Fribourg), le Forum suisse des consommateurs, des organisations de protection de l'environnement et les deux réseaux interactifs Suisse Éole et Swissolar.

La production d'électricité respectueuse de l'environnement se veut une affaire sérieuse. C'est pourquoi Naturemade offre une certification avec un standard de qualité à l'appui:

- Naturemade star – L'électricité produite écologiquement à partir de sources d'énergie renouvelables, les critères d'évaluation tenant compte du cycle de vie entier de l'installation de production (écobilan) comme des aspects locaux et régionaux (centrales hydrauliques avec prestation écologique supplémentaire).
- Naturemade basic – L'électricité produite à partir de sources d'énergie renouvelables. Ce standard pose des exigences moins grandes au niveau local ou régional.

Naturemade, CH-8006 Zurich
www.naturemade.org

Des systèmes hybrides pour passer la nuit

Des études montrent les avantages de la combinaison du solaire avec le thermique classique

Daniel Favrat
LENI-DGM-EPFL
CH-1015 Lausanne

Yassine Allani
COGENER
PSE-EPFL
CH-1015 Lausanne

Jean-Christophe Hadorn
Chef du
programme Chaleur
solaire (R+D)
c/o Hadorn Conseils
CH-1035 Bournens

Urs Wolfer
Responsable du
domaine Énergie
solaire de l'OFEN

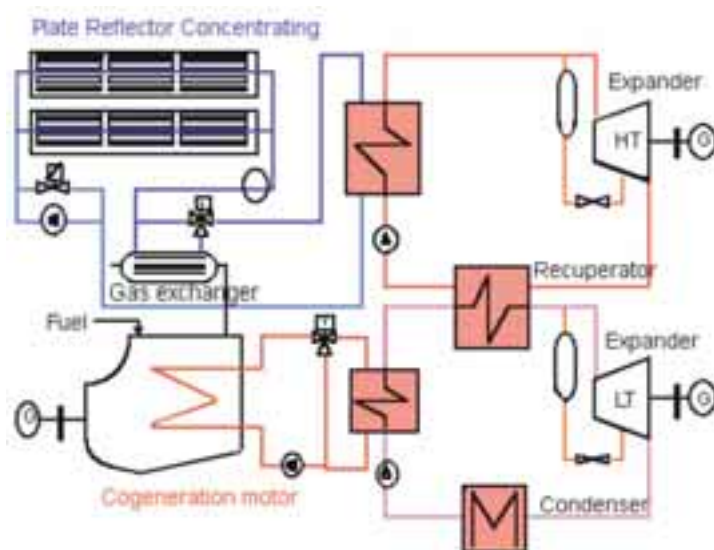
Au soleil de Californie, des centrales solaires à capteurs cylindro-paraboliques produisent du courant électrique depuis des années. Une huile caloporteuse est chauffée à 400 °C, puis utilisée pour produire de la vapeur qui entraîne des générateurs. C'est l'une des techniques de conversion du rayonnement solaire en électricité qui rencontre le plus de succès.

Une équipe interdisciplinaire, un objectif commun

COGENER est un groupe interdisciplinaire d'ingénieurs travaillant avec quatre départements de l'EPFL au développement de systèmes écologiques. La coopération avec les pays en voie de développement et leurs institutions officielles figure au premier plan de leurs préoccupations. COGENER s'est formé dans le cadre du transfert de technologie et de l'aide au lancement de nouvelles entreprises organisés par le Service des relations industrielles (SRI) de l'EPF de Lausanne.

Comme complément aux grandes installations solaires, l'équipe de COGENER et du LENI-EPFL, le Laboratoire d'énergétique

industrielle, met au point de petits systèmes hybrides complets – des unités compactes – utilisant des techniques de combustion classiques parallèlement au rayonnement solaire. Elle a notamment développé un réflecteur-concentrateur plan qui, à l'aide de miroirs en forme de lames, concentre le rayonnement sur un capteur à tubes sous vide. Le prototype, installé à Lausanne, a produit son premier kilowattheure solaire en novembre 2000.



Compenser les fluctuations du rayonnement solaire

Pour assurer l'approvisionnement en énergie et compenser les variations de l'énergie solaire incidente causées par la nuit et la météo, on recourt à un moteur diesel intégré à l'installation, qui peut aussi fonctionner au bio-diesel. Cette exploitation décentralisée est un avantage dans un pays en voie de développement. L'électricité produite localement peut aussi servir à la production de froid, au pompage de l'eau et à son dessalement.

Diagramme de l'installation avec concentrateur plan et moteur diesel (HSPS).

Liens internet

Laboratoire d'énergétique industrielle (LENI) de l'EPF de Lausanne
<http://leniwww.epfl.ch>

COGENER – le collectif d'ingénieurs pour les systèmes alternatifs à énergie solaire
<http://psewww.epfl.ch/Entreprises/cogener.html>



Concentrateur plan (CEP).

duction de vapeur. Un champ de capteurs de 200 MW environ produit des températures de 390 °C, tandis que deux turbines à gaz de 25 MWe rejettent des effluents gazeux à 540 °C environ.

Les calculs d'optimisation ont été effectués pour différentes puissances et configurations de turbines à vapeur avec différents modes d'exploitation. Les calculs de rentabilité ont montré que les centrales solaires hybrides d'une puissance de l'ordre de 100 MWe seront compétitives sur le marché, face aux centrales thermiques classiques, pourvu que le prix des capteurs baisse et que la taxe sur le CO₂ soit introduite.

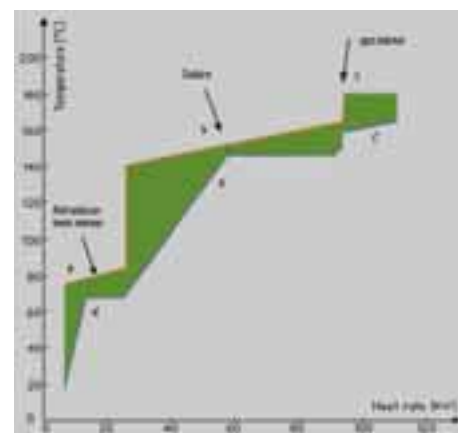
La technologie pinch.

L'un des objectifs de l'étude LENI/COGENER était la détermination de la puissance maximum quand le rayonnement solaire varie. Il est arrivé que l'huile caloporteuse atteigne 380 °C pendant le fonctionnement. À la température plus modeste de 165 °C, le rendement global du système combiné est de 22%.

Optimisation mathématique de la conception de l'installation

Parallèlement, une installation solaire combinée équipée de capteurs cylindro-paraboliques et de turbines à gaz a été analysée pour les conditions de la Tunisie. Dans un premier temps, on a réuni une approche mathématique de l'optimisation et une analyse thermodynamique des goulets d'étranglement („pinch technology“), de façon à pouvoir, par exemple, réduire les pertes du transfert de chaleur dans le générateur de vapeur.

Dans cette installation d'envergure, l'énergie thermique des gaz de combustion de la turbine et celle de l'huile caloporteuse du circuit solaire se combinent pour la pro-



Études:

- Concept d'une minicentrale électrothermo-solaire hybride adaptée aux pays en voie de développement
- Thermoeconomic analysis of Advanced Solar-Fossil Combined Power Plants

Énergie douce sous pression

Rénovations et améliorations d'installations freinées par les questions de rentabilité

Hanspeter Leutwiler

Chef du programme Petits aménagements hydrauliques de l'OFEN
Case postale
CH-8910 Affoltern
am Albis

Martin Rügsegger

Responsable du domaine Petits aménagements hydrauliques de l'OFEN

La roue du moulin au bord du ruisseau s'entend à la ronde... La production d'énergie à l'aide de roues à eau a beaucoup contribué à l'essor économique des pays européens; pendant des siècles, c'était une image familière. Mais cela a bien changé aujourd'hui: les petits aménagements hydrauliques disparaissent ou sont mis hors service; une perte pour le bilan énergétique. Pourtant, les réalisations exemplaires de ces dernières années montrent clairement comment les installations existantes peuvent être rénovées et modernisées, assurant ainsi une production locale et permanente d'électricité, respectueuse de l'environnement.

Hanspeter Leutwiler, chef du programme Petits aménagements hydrauliques de l'OFEN et directeur de l'Association des usiniers suisses (ADUR), présente la situation actuelle.

À votre avis, quelles sont les possibilités de développement des petits aménagements hydrauliques et quelle est actuellement l'ambiance que vous ressentez en la matière en Suisse?

Hanspeter Leutwiler: Nous admettons qu'il est possible de doubler la production de ces aménagements hydrauliques sans porter atteinte au paysage. Je parle, d'une part, de la rénovation des installations existantes, surtout celles à basse chute, et d'autre part, de la mise en valeur de l'eau potable et des eaux usées. Pour chaque ouvrage en contact avec l'eau, il faudrait examiner les possibilités d'utilisation énergétique. Il y a aussi des cas exotiques, comme la production d'électricité à partir de l'eau s'écoulant d'un tunnel. Celui de Seelisberg en apporte la preuve éloquent. En ce qui concerne les rénovations, selon moi, l'ambiance est à l'attente, bien que la volonté politique et certaines conditions cadres existent. Plusieurs questions se posent toutefois en rapport avec la rentabilité, ce qui retient actuellement les investisseurs.

Vous pensez aussi à la loi sur le marché de l'électricité (LME), n'est-ce pas. Quelles conséquences aura-t-elle sur les petits aménagements hydrauliques?

D'une manière générale, cette loi fixe des principes favorables à la force hydraulique; il n'y a qu'à penser au droit de passage du courant et aux prêts pour la rénovation des installations. Nous constatons que des mesures d'accompagnement graduelles bien



choisies sont prévues pour les trois catégories d'intervenants les plus importantes: les producteurs indépendants, les auto-producteurs (dont de nombreuses entreprises industrielles) et les entreprises électriques. Il faut cependant attendre l'ordonnance d'application pour connaître les détails et savoir quelle sera l'influence des recommandations de l'année 2000 – 15 centimes le kWh – sur le tarif de reprise du courant produit par les petits aménagements. Plusieurs inconnues subsistent, la plus importante étant la décision du souverain si le référendum aboutit.

Hanspeter Leutwiler: „Là où les constructions et l'eau se rejoignent, on devrait en tout cas examiner la possibilité d'utiliser l'énergie.“

Comment voyez-vous la suite des événements?

On n'arrêtera pas la libéralisation du marché de l'électricité – si nous interprétons bien les signes des temps. Mais la force hydraulique devrait gagner en importance grâce à la taxe sur le CO₂ qui renchérit les énergies fossiles et grâce à d'autres questions controversées de politique énergétique.

Quel est votre avis sur les développements techniques et la recherche dans le domaine des petits aménagements hydrauliques?

Si l'on examine la répartition des coûts de construction des petits aménagements, on arrive vite à la conclusion qu'il faut essayer d'endiguer les coûts de génie civil en innovant au niveau des turbines. Plusieurs projets réalisés ces dernières années ont confirmé le bien-fondé de cette stratégie. Par ailleurs, une étude soignée du projet et une mise en œuvre conforme à l'état de la technique permettent en général d'augmenter considérablement la puissance. C'est pour cela que l'on a créé notamment le laboratoire de recherche MHyLab qui apporte son soutien aux entreprises actives dans le domaine de la petite hydraulique. En outre, des instituts des EPF ainsi que quelques Hautes Écoles spécialisées étudient divers aspects.



Hanspeter Leutwiler: „Il faut pousser la systématisation de la technique.“

Pouvez-vous nous donner les points forts des travaux de développement?

Au plan technique, il faut chercher à systématiser, en particulier pour arriver à une application simplifiée de composants industriels. D'autre part, des constructions de types nouveaux sont possibles, telles les

centrales immergées, les turbines à siphon, les centrales à ciel ouvert et celles construites selon la technique des pompes immergées.

Les perspectives d'avenir sont-elles différentes pour les petits aménagements hydrauliques et les pico-centrales, encore plus petites?

Par pico-centrale, nous désignons des installations de puissance inférieure à 20 kW environ, le plus souvent conçues comme centrales à basse chute. Elles subissent actuellement une pression économique énorme, à laquelle s'ajoute celle des dispositions légales sur les eaux résiduelles. Il faut se souvenir cependant que ces pico-centrales pourraient avoir un potentiel de développement important. L'objectif devrait être d'exploiter de manière douce les énergies que la nature nous offre.

Liens internet

Renseignements et conseils
www.infoenergie.ch
www.iskb.ch

Publications, notices et statistiques
www.smallhydro.ch



Répartition des coûts de rénovation des petits aménagements hydrauliques.

1 génie civil env. 50–70%

2 électronique 10%

3 turbine 20%

4 générateur et son arbre 10%.

Systématiser pour la pratique

Le MHyLab met au point, pour la pratique, les bases de l'étude de petites installations hydroélectriques.

Fondée en 1993, la fondation d'intérêt public MHyLab (Mini-Hydraulics Laboratory) a mis en service en 1997 à Montcherand, près d'Orbe, son laboratoire de recherche et de développement sur la mini-hydraulique. L'objectif du MHyLab est la réalisation de travaux systématiques visant au développement de turbines dans la gamme de puissance de 20 à 1000 kW. Son savoir-faire en matière de turbines permet aux entreprises intéressées de mettre sur le marché des produits de qualité, assortis de garanties de performance. Trois critères sont fondamentaux dans une petite centrale: des coûts de fabrication aussi bas que possible, un rendement élevé, une fiabilité à toute épreuve. Le MHyLab agit aussi comme centre d'information et de conseil pour les petits aménagements hydrauliques.

Le Laboratoire, un résultat du Programme Energie 2000

Raymond Chenal, instigateur du MHyLab, aujourd'hui son conseiller: „Le Programme Energie 2000 et plus particulièrement le programme promotionnel DIANE, lancé en même temps, nous ont montré comment l'utilisation de la force hydraulique à l'aide de petites turbines peut être poursuivie et modernisée. La nécessité de développer

une systématique de conception nous est alors apparue, en même temps que le besoin d'un organe de conseil indépendant, par exemple à l'intention des communes désirant utiliser localement la force hydraulique malgré les moyens limités dont elles disposent. Voilà pourquoi, entre autres, nous avons ouvert ce laboratoire.“

Le MHyLab est intégré à la centrale électrique de Montcherand, sur la rivière Orbe, et dispose ainsi de la conduite forcée de l'usine. Le banc d'essai, spécialement aménagé pour la recherche, comprend les deux circuits suivants:

- Le circuit ouvert, dans lequel l'alimentation du banc d'essai se fait par un piquage sur la conduite forcée de la centrale. Avec un débit de 90 l/s pour une hauteur de chute de 80 m; ces conditions sont idéales pour les turbines Pelton.
- Le circuit fermé, dans lequel une ou deux pompes en parallèle permettent de travailler dans un domaine de fonctionnement très large, de 120 l/s sous une hauteur de chute de 50 m à 450 l/s sous 20 m de chute. Ces conditions conviennent aux turbines Francis et Kaplan.

Après la turbine Pelton, voici la Kaplan

Vincent Denis, responsable du laboratoire: „Nous nous trouvons actuellement à un tournant de nos activités de développement. Ces trois dernières années, nous avons étudié tout le domaine d'application des turbines Pelton, pour des hauteurs de chute de 60 à 650 m. Nous avons pu optimiser la géométrie de la turbine et de ses augets en fonction de critères particuliers. Nous sommes dorénavant en mesure de définir la configuration idéale d'une installation complète en fonction de conditions locales données. Nous venons de commencer un programme similaire pour les turbines Kaplan, avec le soutien financier de l'OFEN, du PSEL et de la Ville de Lausanne. Nous pouvons repro-

duire chez nous les conditions rencontrées dans les aménagements hydrauliques de la pratique. Parallèlement à cette activité de recherche et de développement, nous voulons poursuivre l'activité de conseil et d'étude d'installations, qui nous permet de garder de manière permanente le contact avec la pratique.“

Il peut sembler étonnant qu'on exige un rendement élevé et des performances ga-



Vincent Denis (à droite) et Norbert Tissot commencent les essais de laboratoire d'une turbine Kaplan à quatre pales.

ranties pour les puissances inférieures à 1 MW. Il faut cependant se souvenir que le rendement reflète le comportement hydrodynamique du système et qu'il a ainsi un effet direct non seulement sur le volume de la production électrique, mais encore sur la fiabilité fonctionnelle et la durée de vie de l'installation. L'OFEN encourage également le projet „Prime de qualité“ qui cherche à caractériser celle-ci par des études, des profils hydrauliques, des aspects relevant de la technique des matériaux, etc.

Un banc d'essai pour un développement de pointe

La pièce maîtresse du banc d'essai est la turbine couplée à la génératrice à courant



Le Laboratoire des petits aménagements hydrauliques, le MHyLab, est situé dans le bâtiment de l'usine électrique de Montcherand, dans les gorges de l'Orbe.

continu et munie d'un dispositif de mesure du couple mécanique. Les différentes grandeurs mesurées – débit, température de l'eau, pression, couple, etc. – sont saisies et dépouillées sur un PC. Pour les essais des turbines Kaplan, qui couvriront un domai-

ne de chute de 3 à 30 m, on fait varier le débit en modifiant l'angle des pales mobiles de la turbine. On calcule le rendement pour chaque point de fonctionnement (chute, débit). La cavitation, qui va délimiter le domaine d'utilisation, est étudiée en faisant

varier la contre-pression à l'aval de la turbine.

Vincent Denis: „L'un des objectifs de nos études est – comme pour les tests Pelton – la systématisation possible du concept. Ces essais de laboratoire sur des modèles entre la vraie grandeur et l'échelle 1 : 3 nous permettent de connaître le comportement hydrodynamique, ce qui nous donne une



François Viret s'occupe des travaux de montage sur le banc d'essai.

Turbine d'essai en cours de montage avec, à l'arrière-plan (à gauche), le réservoir aval créant la contre-pression pour l'étude de la cavitation des turbines à réaction.



La jeunesse suisse fait de la recherche – aussi au MHyLab

Parmi les visiteurs du MHyLab, relevons des élèves des écoles qui ont fait le déplacement de Montcherand à l'occasion d'une semaine d'action de la Fondation „La science appelle les jeunes“. Après une introduction à la théorie des petits aménagements hydrauliques et aux multiples applications, le groupe visite un certain nombre d'installations. Il est ainsi mieux sensibilisé à cette forme intéressante d'utilisation de l'énergie.

grande sûreté de prédiction de l'énergie produite."

Le rendement du groupe turbine/génératrice reste donc un facteur décisif pour le calcul de la rentabilité. Pour les turbines Pelton, de 1 à 4 injecteurs, le MHyLab est aujourd'hui en mesure de livrer le profil hydraulique idéal de la roue et des autres composants de la turbine, ce qui simplifie énormément la fabrication, par exemple, des augets qui sont réalisés sur une machine-outil CNC.

Des contacts suivis avec les établissements de formation et l'industrie

Norbert Tissot, ingénieur de développement: „Le MHyLab se charge de l'étude de petits aménagements hydrauliques et four-



Génératrice à courant continu et vitesse variable, permettant de modifier les conditions hydrauliques, avec un accouplement direct sur l'arbre de la turbine.

nit les données nécessaires à la fabrication. Nous cherchons à établir des partenariats de longue durée avec les fabricants, sans entrer en concurrence avec eux, et participons ainsi au développement d'un standard de qualité dans le domaine des petites centrales. Cette méthode favorise la fabrication locale des composants. En contact avec l'EPFL, les HES des Cantons de Genève (EIG) et de Vaud (EIVD) et l'Institut national polytechnique de Grenoble (INPG), nous échangeons nos expériences et notre savoir-faire et mettons judicieusement à profit les synergies développées entre les instituts d'enseignement et notre laboratoire."

Dans le cadre d'Energie 2000, le MHyLab assure aussi, pour la Romandie, le service de conseil en matière d'utilisation de la

Produire du courant, puis boire

Au début des années 90 déjà, dans le cadre du programme DIANE de l'OFEN, on a reconnu que les centrales utilisant l'eau potable pourraient apporter une contribution intéressante à la production d'énergie à partir de sources d'énergie renouvelables. À l'époque, on parlait de plus de 325 sites en Suisse et d'une production annuelle de plus de 120 GWh. Les estimations faites à ce jour laissent penser que ce potentiel est beaucoup plus important. L'énergie à disposition correspond à la différence de niveau entre les prises d'eau et les chambres de mises en charge des réseaux de distribution d'eau potable.

Deux communes et une turbine

Les deux Communes de St-Maurice et d'Évionnaz, situées dans le Bas-Valais, ayant bâti en 1985 une adduction commune pour la distribution d'eau potable, ont eu l'idée d'exploiter la chute entre la prise d'eau et la chambre de partage pour produire de l'électricité. Jean-Didier Roch, vice-président de la Commune de St-Maurice, tenait beaucoup à une solution de rendement énergétique élevé: „Dans la chambre de partage de la Rasse, l'eau potable est répartie entre les deux communes dans le rapport de 1 à 5. Avec une dénivella-

tion de 509 m, entre le captage de la source et la chambre, les conditions étaient réunies pour produire de l'énergie. Grâce au soutien du MHyLab, un premier projet datant de 1997 a pu être amélioré, puis réalisé l'année suivante. Bien sûr, il a fallu auparavant fixer la répartition des bénéfices entre les deux communes. Le courant produit depuis lors est vendu aux Services industriels de la Ville de Lausanne par l'intermédiaire de leur usine de Lavey, dont le personnel assure l'entretien de notre installation. Avec un prix de revient de 5 c le kWh produit, notre installation est rentable. Le bénéfice annuel, en chiffres ronds 150'000 francs



La petite centrale a été construite en 1998 sur la chambre de partage de l'eau potable de la Rasse.

Jean-Didier Roch a poussé à la réalisation de l'utilisation de l'énergie et peut aujourd'hui surveiller toutes les données de la production d'électricité à l'écran de la mini-centrale automatisée.





Actuellement, l'étude des petites turbines Pelton est achevée.

Turbiner l'eau potable ou l'eau usée?

Dans les deux cas, outre l'intérêt financier, l'avantage principal est un écobilan positif, car des infrastructures existantes sont complétées de façon à remplir une seconde fonction, la production d'électricité. Pour les eaux usées, on estime à environ 50 GWh par an la production totale possible répartie sur environ 130 installations; seul un petit nombre d'entre elles a pu être réalisé à ce jour.

par année, est réparti à raison d'un tiers pour Évionnaz et de deux tiers pour St-Maurice. La durée d'amortissement est de dix ans. À ce jour, nous n'avons fait que des expériences positives avec notre mini-centrale."

La nouvelle centrale a été construite sur la chambre de partage de la Rasse. La conduite d'amenée a été partiellement remplacée par une conduite de diamètre plus important, 30 cm, pour réduire la perte de charge et améliorer ainsi le rendement global. Le groupe consiste en une turbine Pelton à deux injecteurs et une génératrice. La disposition verticale rend superflu le palier de la turbine, les efforts étant repris par le palier principal de la génératrice. Afin d'éviter tout risque de pol-

Alimentation des deux injecteurs de la turbine Pelton à axe vertical, en acier inoxydable.

force hydraulique. Il dispose d'une collection de brochures abordant de manière ciblée les thèmes des réparations d'installations, de leur rénovation et de leur modernisation.

Liens internet
www.ambios.ch/mhyllab

Évaluation préliminaire d'une installation

Le MHyLab offre ses prestations aux producteurs d'énergie indépendants, aux entreprises du secteur public, aux fabricants des composants de centrales, aux autorités et aux institutions internationales. Le client fournit les données nécessaires et le MHyLab lui livre par exemple les éléments suivants:

- le choix du type de turbine
- les courbes de rendement et de puissance en fonction du débit, pour la chute nominale et la chute extrême en cas de crue
- la vitesse de rotation
- pour les turbines axiales, la hauteur maximum d'aspiration
- le profil hydraulique de la turbine.

Dans une quinzaine de cas jusqu'ici, le MHyLab a fait lui-même l'étude des installations et a suivi l'exécution des travaux.

lution de l'eau, aucun dispositif de régulation ou de lubrification utilisant de l'huile n'est prévu. Pour les mêmes raisons, toute l'installation ainsi que le by-pass ont été réalisés en acier inoxydable. Ce *by-pass*, situé à l'amont de la turbine, est utilisé quand le débit est insuffisant pour faire fonctionner le groupe ou lors de travaux d'entretien. Il est muni de vannes actionnées électromécaniquement.

Production automatisée d'électricité

Le rendement mécanique de cette installation est d'environ 90%. La production annuelle de 2 à 2,5 GWh couvre les besoins de 550 ménages environ.

Pour ce projet, le MHyLab a effectué l'étude d'optimisation de la centrale, puis a conçu la turbine et fourni les documents, permettant à des entreprises locales de réaliser et de livrer la plupart des composants. Ceux-ci comprennent aussi le dispositif de télé-surveillance, relié à la centrale de Lavey qui peut ainsi commander l'installation à distance. À l'écran du PC, des statistiques complètes donnent à chaque instant la vue d'ensemble de la production et des valeurs mesurées (débit, puissance, etc.).

Caractéristiques techniques

L'installation de la Rasse, qui utilise l'eau potable, a les caractéristiques suivantes:

- chute: 509 m
- débit maximum: 180 l/s
- puissance mécanique maximum: 753 kW
- puissance électrique: 714 kW
- production annuelle: 2 à 2,5 GWh
- génératrice triphasée 380 V
- turbine Pelton à deux injecteurs et 24 augets; diamètre de roue: 595 mm



Là où règnent d'autres lois

Nouvelle initiative en vue de la réalisation d'éoliennes adaptées aux conditions alpines

Detlev Hillmann

ABB Industrie SA
CH-5300 Turgi

Robert Horbaty

Chef du
programme Énergie
éolienne de l'OFEN
c/o ENCO Sàrl
CH-4438
Langenbruck

Markus

Geissmann

Responsable du
domaine Énergie
éolienne de l'OFEN

Les éoliennes sont l'objet de développements technologiques qui portent des fruits, d'autant plus que, d'une manière générale, la production d'électricité à partir de sources d'énergie renouvelables occupe une place toujours plus importante. L'énergie éolienne est, à l'échelle mondiale, la forme de production d'énergie qui croît le plus rapidement. Dans de nombreux pays, des parcs d'éoliennes ont été installés sur les crêtes des collines, le long des côtes ou en pleine mer; d'autres sont à l'étude.

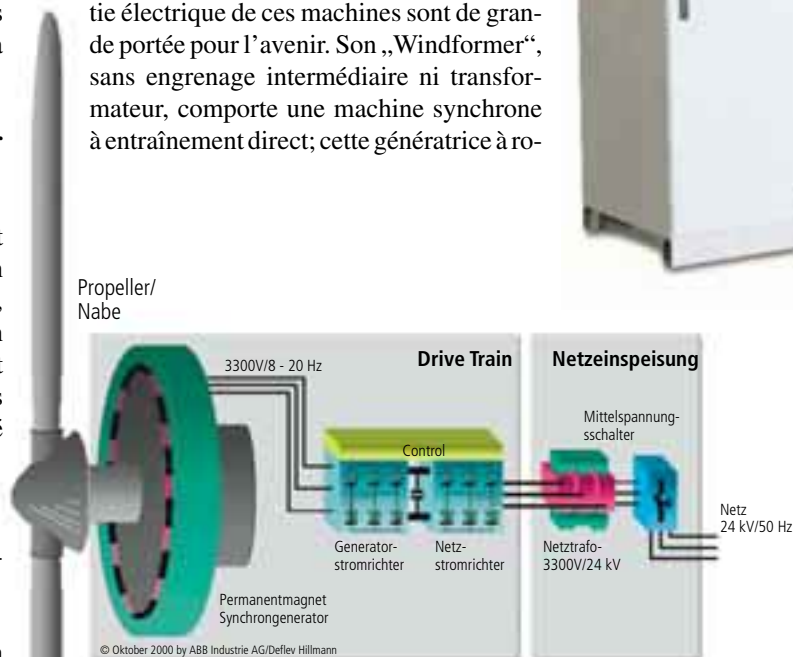
De nouveaux développements pour les conditions extrêmes

Ces dernières années, l'attention s'est aussi portée en Suisse sur l'utilisation de l'énergie éolienne dans les Alpes, qui a fait l'objet de plusieurs études. Un catalogue spécial d'exigences résultant des conditions climatiques et des contraintes de génie civil extrêmes a été élaboré. Les éoliennes classiques n'arrivant pas à satisfaire ces conditions et conduisant à une situation insatisfaisante, il faut repenser le problème.

Avec sa nouvelle stratégie formulée en l'an 2000, le groupe ABB désire se positionner encore plus solidement sur le marché des sources d'énergie renouvelables. Il se propose maintenant de réaliser une éolienne adaptée aux Alpes suisses.

de vitesse parfois très élevées. En troisième lieu, il nous faut un concept modulaire pour simplifier transport et montage. Enfin, et c'est tout aussi important, l'ensemble doit être fiable et d'apparence réussie.

Actuellement, ABB et ses partenaires industriels développent une éolienne en fonction de ces exigences. Les concepts techniques les plus récents d'ABB pour la partie électrique de ces machines sont de grande portée pour l'avenir. Son „Windformer“, sans engrenage intermédiaire ni transformateur, comporte une machine synchrone à entraînement direct; cette génératrice à ro-



Génératrice à aimant permanent avec moteur intérieur.

tor à aimant permanent travaille à vitesse de rotation variable.

Moins de pièces = fiabilité accrue

Detlev Hillmann: „Une vitesse de rotation faible et le nombre limité des pièces dans l'habitacle de la turbine sont forcément synonymes d'usure réduite, de taille plus limitée, de temps de montage réduit, etc. On trouve notamment aussi dans nos équipements les convertisseurs de fréquence les plus modernes de la plate-forme ACS

Liens internet

Association suisse
pour l'énergie
éolienne
www.suisse-eole.ch

ABB: un aperçu
www.abb.com

Définition d'un cahier des charges

Detlev Hillmann, de ABB Industrie SA à Turgi, explique les exigences extrêmes que l'on trouve dans le cahier des charges d'une telle turbine: „Pour l'essentiel, nous pouvons distinguer quatre sujets de préoccupation importants: tout d'abord le froid jusqu'à -40 °C, avec le risque de givrage qu'il implique. Puis les conditions de vent changeantes avec, de plus, des points

d'ABB, qui reposent sur une nouvelle technologie de semiconducteur et permettent aussi le transport de courant continu vers une station centrale.“



Convertisseur de fréquence ACS 1000.

Tous les composants indispensables à la partie électrique, à la surveillance et à l'entretien doivent être logés dans le pied de l'éolienne, de façon à limiter les frais de construction de l'installation.

Les pales du rotor sont ajustables, car les vents faibles doivent aussi pouvoir être utilisés de manière optimale. Pour ces vents, la position angulaire des pales est choisie de manière à donner la puissance maximum possible. Quand le vent fraîchit, une réduction programmée de puissance intervient progressivement, pour ménager l'installation. Globalement, de nombreuses solutions ciblées devront être trouvées pour satisfaire aux conditions particulières régnant dans les Alpes.

Moins d'oxydes d'azote par l'étagement de la combustion

Un projet le confirme: moins d'oxydes d'azote émis grâce à l'introduction étagée du combustible

Thomas

Nussbaumer

Chef du projet de recherche
Verenum
CH-8006 Zurich

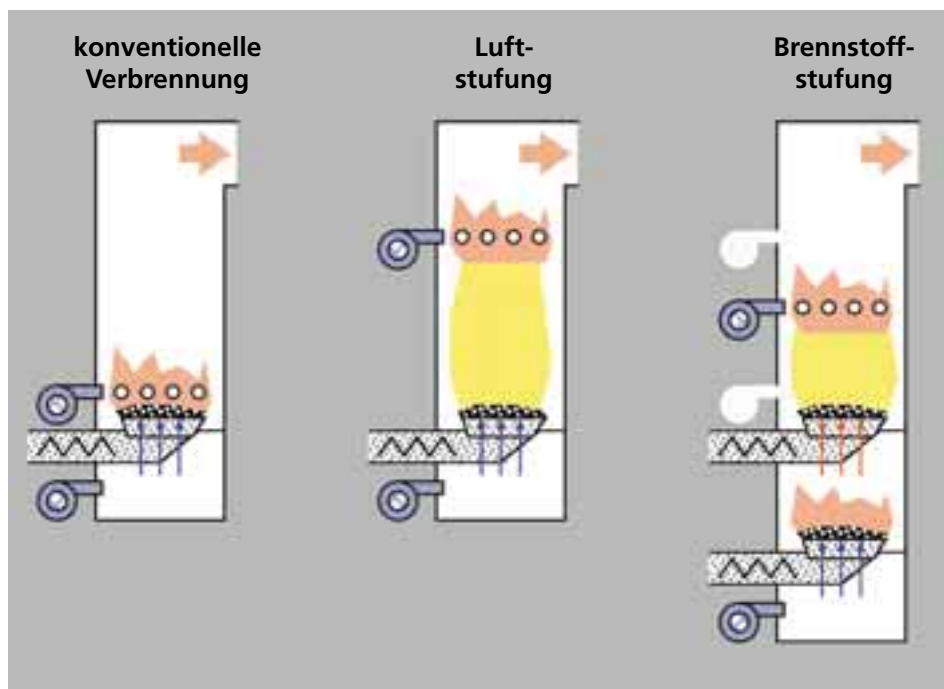
Daniel Binggeli

Responsable
du domaine Bois
de l'OFEN

Parmi les polluants produits par la valorisation thermique du bois et de la biomasse en général, les oxydes d'azote (NO_x) figurent dans le groupe le plus nuisible à la santé. Pour prendre des mesures et réduire ces émissions, il faut d'abord savoir comment ces oxydes sont produits. Tel était l'objectif d'un projet de recherche qui a étudié, à côté de l'introduction étagée d'air dans la chaudière – un procédé connu –, l'introduction étagée de combustible, qui l'est moins.

Dans l'introduction étagée d'air, le premier étage de combustion travaille avec un défi-

Les modes d'exploitation possibles de l'installation d'essai: combustion classique; introduction étagée d'air, avec zone de réduction; introduction étagée de combustible.



cit d'air. La seconde admission d'air a lieu après un temps de séjour suffisamment long; elle achève l'oxydation (combustion) des gaz de fumée. Dans l'introduction étagée de combustible, l'adjonction d'un second combustible au cours du processus crée une zone riche en combustible. Dans

Projet:
Brennstoffstufung zur Stickoxidminde-
rung in einer Unters-
schubfeuerung;
R. Salzmann,
Th. Nussbaumer.

Documentation sur les chauffages à bois automatiques

La réalisation de chauffages à bois automatiques, rentables et respectueux de l'environnement demande des connaissances spécifiques. Les deux nouveaux ouvrages de référence sur les notions de base et la technique, d'une part, et sur l'étude du projet et sa réalisation, d'autre part, offrent une base pour les installations d'une puissance de 100 kW à 5 MW. La démarche optimale selon le Modèle de prestations 95 de la SIA (V112/1 et /2) y est décrite, des études préalables à la mise en service et l'exploitation, en passant par l'avant-projet et le projet définitif. On y trouve aussi des indications sur l'optimisation et la rénovation d'installations existantes. Les deux documentations, de 175 et 110 pages A4 respectivement, ont été conçues comme éléments d'une série de plusieurs tomes baptisée „Assurance Qualité dans les installations de chauffage au bois“; il existe aussi différentes plaquettes et notices plus brèves sur le sujet, disponibles en français.

Les deux manuels sont aussi beaucoup utilisés dans les cours d'un jour organisés par l'ASEB à l'intention des concepteurs-projeteurs en chauffage.

Pour commander:

Documentation en allemand en deux parties:

„Automatische Holzheizungen: Grundlagen und Technik“;

Thomas Nussbaumer, Jürgen Good, Andres Jenni, Ruedi Bühler

„Automatische Holzheizungen: Planung und Ausführung“;

Thomas Nussbaumer, Jürgen Good, Andres Jenni, Ruedi Bühler und Hans Rudolf Gabathuler

Prix: 1 tome isolé: 50 CHF;

la série de 2: 70 CHF

Association suisse pour l'énergie du bois (ASEB), ch. de Mornex 6, 1001 Lausanne, ou ENET n° 200140 et 200141.

celle-ci, les oxydes d'azote créés dans la première zone de combustion peuvent être réduits à l'aide des composés libérés par le second combustible.

Installation à deux foyers volcans

On a pu tester de manière optimale les différents types de processus à l'aide d'une installation expérimentale comportant deux foyers volcans. Dans l'étagement de l'introduction du combustible, le premier étage fonctionne avec un excès d'air de 20 à 30% par rapport à la concentration stœchiométrique. Le deuxième étage est refroidi à l'eau, ce qui protège cette grille de la surchauffe et permet d'agir, dans certaines limites, sur la température des gaz de combustion en provenance du premier étage, situé au-dessous. L'installation d'essai a été équipée de diverses sondes de température et de deux unités d'analyse des gaz.

Pour l'introduction étagée du combustible, les deux paramètres les plus importants des essais sont la stœchiométrie et la température dans la zone où se produit la réduction. Par exemple, on a constaté une diminution sensible des émissions à partir de 750 °C déjà. La réduction des oxydes d'azote augmente quand la quantité d'air admise diminue. On a aussi observé que, dans la gamme optimale de température, l'introduction étagée de combustible a pour conséquence que la réduction des oxydes d'azote dépend beaucoup moins de la stœchiométrie que dans le cas de l'introduction étagée d'air.

Confirmé par la théorie

Un modèle simplifié a permis l'étude théorique de l'introduction étagée de combustible. Cette étude a confirmé les observations qualitatives, même si les prédictions quantitatives sont très approximatives à cause des simplifications choisies pour le modèle. Il est possible cependant de donner une estimation de l'effet de la variation des paramètres.

Malgré la réduction réjouissante des émissions, l'introduction étagée de combustible présente le désavantage d'être plus complexe; cette technique est plus coûteuse, car il y a deux admissions indépendantes de combustible, avec les régulations correspondantes. Point positif: la réduction souhaitée des émissions de NO_x a été observée aussi bien à charge partielle qu'à pleine charge.

Comment se forment les oxydes d'azote NO_x?

Pour comprendre le mode d'action de l'introduction étagée du combustible, il faut analyser le mécanisme de formation des oxydes d'azote (NO_x) à partir de l'azote constitutif (N) du combustible. Cet azote traverse les quatre phases de la combustion du bois (séchage, pyrolyse, gazéification, oxydation complète) sous diverses combinaisons chimiques. D'abord, ce sont HCN et les amines NH₃. Ces composés peuvent soit s'oxyder en NO, soit donner de l'azote moléculaire N₂. La transformation de l'azote du bois en N₂ comme celle du NO déjà formé en N₂ peut être influencée par l'introduction étagée d'air ou de combustible, qui crée une zone de réduction avec un mélange riche en combustible. Les paramètres importants sont l'excès d'air (symbole λ), la température, le temps de séjour et la qualité du mélange.

Améliorer l'étude

Un manuel technique pour l'étude de chauffages avantageux à pompe à chaleur pour les maisons à basse consommation d'énergie

Martin Zogg

Chef du programme Chaleur ambiante, rejets thermiques et Couplage chaleur-force (UAW) de l'OFEN
Kirchstutz 3
CH-3414 Oberburg

Fabrice Rognon

Responsable du domaine Chaleur ambiante et Couplage chaleur-force de l'OFEN

Un nouveau manuel résume les résultats du vaste projet de recherche de l'OFEN sur les chauffages avantageux à pompe à chaleur pour les maisons à basse consommation d'énergie. Il s'applique aux maisons dont l'indice de dépense d'énergie pour le chauffage est au plus de 200 MJ/m².an (ou 55 kWh/m².an), avec distribution de la chaleur par voie hydraulique. Ce manuel technique est destiné en premier lieu à l'étude des chauffages à pompe à chaleur des bâtiments répondant aux exigences du standard *Minergie*; il donne cependant aussi une ouverture vers les maisons dites passives, dont les besoins annuels en énergie de chauffage sont nettement plus modestes.

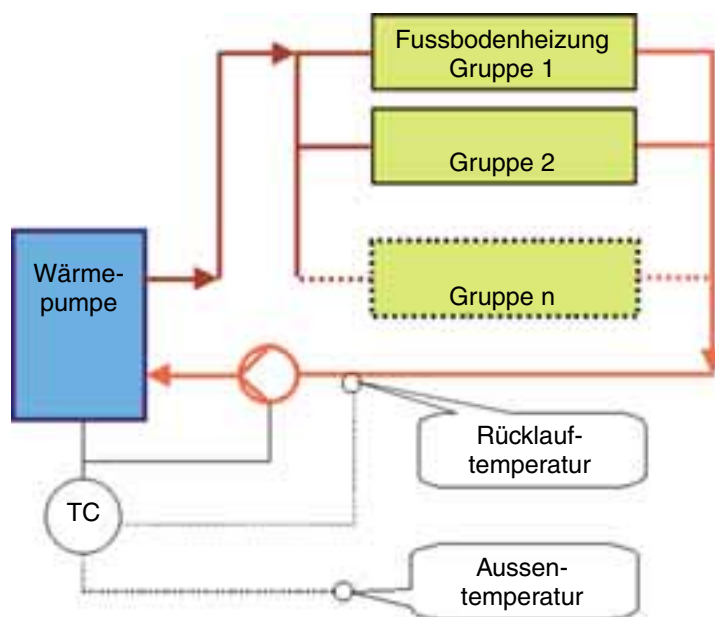
La partie consacrée au détail des connaissances de base comprend un certain nombre de caractéristiques énergétiques de divers systèmes de chauffage ainsi que des comparaisons de leur rentabilité et de leurs effets sur l'environnement. On y trouve aussi des indications sur la régulation des installations de pompe à chaleur et sur l'optimisation du bâtiment et du système de distribution de la chaleur, avec des instructions pour le dimensionnement de sondes géothermiques et la préparation de l'eau chaude sanitaire utilisant l'air extrait comme source de chaleur. Nous relatons ici les résultats marquants du projet.

Intégration directe de la pompe à chaleur

Dans le cas des chauffages par le sol dont la température de départ ne dépasse pas 30 °C, les pompes à chaleur peuvent être raccordées directement au circuit hydraulique de distribution de la chaleur, sans accumulateur de chaleur ni vanne mélangeuse ou thermostatique. C'est une solution simple et avantageuse. Grâce à l'effet d'autorégulation de ces chauffages à basse température, la régulation fonctionne aussi sans autres avec un asservissement de la température de retour aux conditions météorologiques extérieures. Cependant, des concepts de réglage plus modernes permet-

tent de mieux mettre à profit les périodes de disponibilité du courant à tarif réduit et d'emmagasinier la chaleur avant les périodes de coupure de la compagnie d'électricité.

Pour obtenir une qualité suffisante de l'air ambiant, il faut prévoir, vu l'étanchéité de l'enveloppe du bâtiment, une ventilation mécanique douce. La solution la plus avantageuse consiste à recourir à des appareils de ventilation séparés dans chaque pièce et à un chauffe-eau à pompe à chaleur utilisant l'air extrait comme source froide. Il est vrai que cette pompe à chaleur séparée sur l'air extrait n'apporte aucune économie supplémentaire d'énergie par rapport à la



préparation de l'eau chaude à l'aide de la pompe à chaleur du chauffage.

Le dimensionnement de la pompe est crucial

Il est essentiel de porter toute l'attention nécessaire au dimensionnement de la pompe de circulation du mélange eau-glycol transportant la chaleur des sondes géothermiques à la pompe à chaleur. On peut faire ici des

Principe du raccordement hydraulique simplifié et de la régulation d'une pompe à chaleur couplée à un chauffage à basse température par le sol.

Manuel technique:
Kostengünstige Wärmepumpenheizung für Niedrigenergiehäuser:
Grundlagen, Planungsvorgehen und Praxisbeispiele;
Th. Afjei, A. Büh-ring, M. Dürig, A. Huber, P. Keller, E. Shafai, P. Widmer, G. Zweifel;
Schlussbericht à commander auprès d'ENET (CHF 40.-)

économies énormes. Pour les sondes jusqu'à 100 m de profondeur, c'est un écoulement laminaire qui conduit le plus souvent à la consommation d'énergie la plus basse! Pour prévenir la surchauffe du bâtiment par beau temps, celui-ci devrait avoir une inertie thermique suffisante (parties massives). Il faut aussi prévoir un dispositif d'ombrage, en particulier pour les constructions en bois. Il faut faire l'étude du chauffage, de la préparation de l'eau chaude et de la ventilation en même temps que celle du bâtiment lui-même.

Des exemples pour expliquer la systématique

La deuxième partie du manuel présente la systématique de la démarche à adopter pour l'étude, sur la base du Modèle de prestations 95 de la SIA; on y trouve de nombreux exemples. La dernière partie résume les résultats des phases antérieures du projet, dans lesquelles deux exemples de maisons à basse consommation d'énergie répondant aux exigences du standard Minergie ont été étudiées (pompe à chaleur air/eau avec chauffe-eau séparé à pompe à chaleur sur l'air extrait; pompe à chaleur pour le chauffage et l'eau chaude, avec sonde géothermique). Enfin, on présente encore une maison passive dont la demande d'énergie de chauffage n'est que de 50 MJ/m².an (14 kWh/m².an) et le chauffage est à air chaud.

Liens internet

Haute École spécialisée des Deux Bâle (FHBB) à Muttens; formation continue du Département de la Construction
www.fhbb.ch/weiterbildung

Groupe promotionnel suisse pour les pompes à chaleur (GSP)
www.fws.ch

Projet de l'OFEN „Chauffage à basse température avec pompe à chaleur“, phases 1 – 4:
www.waermepumpe.ch/fe/projekte/nth

Rénovations de chauffages — De nouvelles possibilités avec les pompes à chaleur

L'aula de la HES de Berthoud (École d'ingénieurs et d'architecture) accueillera le 8 mai 2001 la 8^e journée d'étude du Programme de recherche Chaleur ambiante, rejets thermiques et couplage chaleur-force de l'OFEN. Une nouvelle génération de pompes à chaleur a été développée en vue du remplacement des vieilles chaudières et des chauffages centraux électriques. Utilisant l'air comme source froide, ces nouvelles machines sont même en mesure de s'adapter aux températures de départ élevées que l'on rencontre dans les installations de chauffage à rénover. La conférence dressera un bilan réaliste des possibilités actuelles et futures.

Programme et inscription:

www.waermepumpe.ch/fe (Veranstaltungen)



Chauffage à pompe à chaleur pour les maisons à basse consommation d'énergie

Un séminaire se tiendra le 20 juin 2001 à l'Institut d'énergétique de la HES des Deux Bâle (FHBB) à Muttens, consacré aux particularités des chauffages à pompe à chaleur des maisons à basse consommation d'énergie et des maisons passives. Il s'adresse aux concepteurs-projetants, architectes, conseillers en énergie (Services de l'énergie, entreprises électriques) et aux fabricants d'appareils ainsi qu'aux spécialistes désireux d'utiliser des pompes à chaleur dans des bâtiments Minergie et des maisons passives.

Le nouveau manuel technique „Kostengünstige Wärmepumpenheizung für Niedrigenergiehäuser“ (Chauffages à pompes à chaleur avantageux pour maisons à basse consommation d'énergie) donne les bases, décrit la meilleure démarche d'étude et analyse, à l'aide d'exemples pratiques, les expériences faites en conditions réelles de fonctionnement. Des indices et des comparaisons de coûts servent à l'évaluation et au choix du système. Des outils pour le calcul aisé du coefficient de performance annuel moyen et le dimensionnement de la pompe de circulation des sondes géothermiques seront présentés. Les connaissances les plus récentes en la matière ainsi qu'un certain nombre de conseils pratiques seront donnés sur la base de mesures faites pendant deux ans sur trois installations pilotes.

Le séminaire est organisé en collaboration avec le Groupement promotionnel suisse pour les pompes à chaleur (GSP).

Inscription:
a.witmer@fhbb.ch
Tel. 061/467 45 44

Parents par le cœur

Concepts et standards différents – Un seul but commun

Mark Zimmermann

Chef du programme
Systèmes pour le bâtiment de l'OFEN
c/o EMPA
CH-8600 Dübendorf

Martin Stettler

Responsable du domaine Bâtiment de l'OFEN

Le bâtiment est le domaine contribuant le plus à la consommation globale d'énergie. Il suffit de penser à la grande durée de vie tant des immeubles d'habitation que des bâtiments commerciaux et administratifs, pour se rendre compte de l'importance cruciale du choix de la technique énergétique dans ce secteur. En Suisse, la production de chaleur, par exemple, accapare le tiers de la consommation finale d'énergie. D'un autre côté cependant, il existe de nombreux moyens, éprouvés et disponibles aujourd'hui déjà, d'économiser une bonne partie

de cette consommation. Nous passons en revue les nombreux standards et concepts tendant à limiter la consommation d'énergie dans le secteur de la construction.

Les premières décisions sont les plus importantes

Le fait même de construire influence l'environnement dans une large mesure. Dans le bilan d'énergie, la part de la fabrication des matériaux et des produits utilisés est considérable. Des décisions importantes en

Standards

Maison à basse consommation d'énergie

Ce terme exprime l'exigence de besoins en énergie fortement réduits par rapport à des projets traditionnels de bâtiments d'habitation ou commerciaux. Il n'y a aucune définition exacte de ce terme. Ce concept se base sur la norme SIA 380. Depuis qu'il a été lancé, d'autres standards plus exigeants l'ont déjà supplanté dans la pratique: Minergie et la „Maison passive“. De plus, on travaille à une nouvelle norme SIA 2010 qui adoptera le niveau des exigences de ces standards.

Indice de consommation d'énergie thermique:

- moins de 70 kWh/m²-an environ

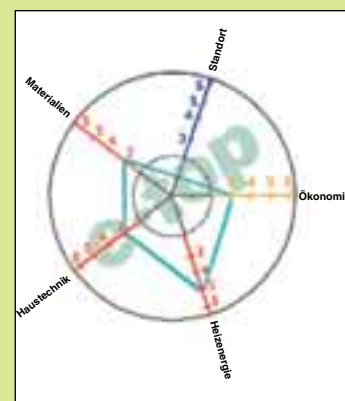
Standards

Rating e-top

Cet outil à l'usage du concepteur a été mis au point dans le cadre du Programme Energie 2000. Il vise la durabilité du concept et facilite la prise de décision dans la phase initiale et l'attribution du mandat qui la suit.

L'évaluation (rating) selon cinq critères différents conduit à un profil caractérisant:

- la situation et le potentiel de location
- l'économie
- la demande d'énergie de chauffage (ici, on vise des indices de dépense d'énergie réduits de moitié par rapport aux valeurs courantes)
- les installations techniques, eau chaude comprise
- les matériaux.



Dans ce concept, le recours aux sources d'énergie renouvelables, les questions de transport, ainsi que le choix de matériaux ménageant l'environnement sont considérés comme importants et y ont été intégrés.

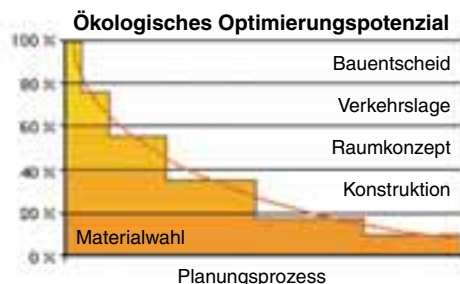
www.energie2000.ch/Oekobau

Liens internet

Centre pour l'énergie et la durabilité dans le bâtiment – LFEM/EMPA
www.empa.ch/zen

rapport avec l'énergie sont prises tout au début de l'étude du projet déjà; les concepteurs en prennent aujourd'hui de mieux en mieux conscience. À ce stade, le choix des matériaux joue un grand rôle, puisqu'il détermine la part de l'énergie grise, utilisée pour fabriquer ces matériaux. Il faut donc aussi inclure cette utilisation des ressources dans les considérations globales, au même titre que l'engagement de moyens d'exploitation pendant la durée d'utilisation du bâtiment. Aujourd'hui, on discute aussi plus souvent qu'il y a quelques années encore, la possibilité de rénover ou de réparer un bâtiment.

Le confort d'habitation s'est modifié en Europe centrale et, avec lui, les besoins en énergie. Il s'agit de réduire autant que pos-



Les décisions importantes sont prises au début de l'étude du projet. Les éléments déterminants sont ici la situation du point de vue des transports, le programme des locaux, le type de construction, le type d'installation.

sible ces besoins, par des concepts et des standards. Manifestement, il y a en la matière une grande variété de termes, ce qui sème la confusion. Une partie de ces concepts reflète l'histoire d'un enchaînement de développements; une autre partie sont des standards qualitatifs ou quantitatifs, ou un mélange des deux.

La base convainc tout le monde

Les idées à la base de la plupart des concepts peuvent cependant toutes être ramenées aux lignes de force suivantes:

CEPHEUS – La coopération européenne au sein du programme THERMIE

Le projet CEPHEUS (Cost Efficient Passive Houses as EUropean Standards) concerne environ 265 unités d'habitation relevant de 15 projets partiels réalisés dans cinq pays européens. En Suisse, ce sont les 17 maisons passives du lotissement „Wegere“ à Nebikon. Les installations techniques comprennent un puits canadien, une ventilation mécanique douce avec récupération de chaleur et une pompe à chaleur. Les maisons dont la construction est achevée font l'objet actuellement de mesures. Les résultats seront publiés en été 2001.

Renseignements: HTA Luzern
(HES de Suisse centrale)
W. Betschart

www.htalu.ch

Standards

Le standard Minergie

Minergie est un standard suisse qui jouit aujourd'hui d'un large consensus. Il a pour objet les immeubles d'habitation et les bâtiments administratifs et commerciaux. Il se base sur trois éléments: une enveloppe étanche à l'air, une isolation thermique maximum et une ventilation mécanique. L'obtention d'un confort élevé figure en bonne place parmi les objectifs.

Les bâtiments réalisés selon le standard Minergie ne doivent pas coûter plus de 10% plus cher que des bâtiments correspondants de conception traditionnelle.

Indice de dépense d'énergie thermique (eau chaude comprise):

- nouvelles constructions: au plus 45 kWh/m²·an
- constructions d'avant 1990: au plus 90 kWh/m²·an



*Maison Minergie „Casa-Vita“ à Mollis. Ce standard est appliqué de plus en plus souvent en Suisse.
(Photo: SSES)*

Pour le calcul de cet indice, l'électricité utilisée à la production de chaleur et celle consommée par la ventilation sont comptées double.

Pour les appareils électro-ménagers, la valeur limite est de 17 kWh/m²·an.
www.minergie.ch

La „Maison passive“

Le standard „Maison passive“ utilise comme seul moyen de chauffage le préchauffage de l'air frais; il n'y a donc aucune installation de chauffage (ni non plus de climatisation).

Indices de dépense d'énergie:

- au plus 15 kWh/m²·an pour la chaleur;
- pour le ménage entier (eau chaude, ventilation, éclairage, appareils, etc.): au plus 42 kWh/m²·an, l'électricité utilisée pour le chauffage étant multipliée par le facteur 2,72.

- une réduction massive des déperditions thermiques;
- une utilisation optimale de l'énergie solaire;
- des équipements auxiliaires, une récupération de chaleur et des appareils de haut rendement;
- une mise en œuvre des matériaux de construction en accord avec les exigences environnementales.

Dans la pratique, cela signifie:

- que l'enveloppe du bâtiment aura une isolation thermique maximum;
- qu'une ventilation mécanique créera un climat confortable à l'intérieur du bâtiment;
- que les installations techniques tiendront compte des multiples possibilités de recourir aux sources d'énergie re-

PIV: isoler en plus mince

L'isolation thermique détermine dans une large mesure l'efficacité énergétique d'un bâtiment. On sait que la transmission de chaleur par les fenêtres a pu être réduite de façon draconienne ces dernières années grâce à des développements techniques impressionnants. Le reste de l'isolation du bâtiment utilise l'air comme milieu isolant; la conductivité thermique de ce gaz fixant des limites aux propriétés isolantes des matériaux, les épaisseurs de parois deviennent considérables. Cependant, de nouvelles possibilités apparaissent actuellement pour le bâtiment grâce aux PIV, les **panneaux isolants sous vide**, qui sont déjà utilisés avec succès dans les applications industrielles: l'épaisseur de paroi reste modeste malgré les excellentes propriétés isolantes. Les PIV sont constitués de matériaux microporeux emballés sous vide entre des films scellés.



Laine minérale et PIV (à droite), une comparaison éloquentes des épaisseurs de paroi.

En janvier 2001, une conférence internationale organisée par le LFEM (EMPA)/ZEN a montré les applications futures possibles des PIV. Elle a été suivie d'un atelier qui était en même temps la réunion de lancement du nouveau projet de recherche et de développement „High Performance Thermal Insulation Materials (HiPTI)“ de l'AIE.

Ces travaux AIE qui englobent les aspects spécifiques des applications du bâtiment comprennent les notions de

base des concepts et des matériaux, les applications et la mise au point de systèmes, les projets de démonstration, enfin l'élaboration de critères de qualité et de bases de dimensionnement.

www.empa.ch/zen

Standards

Le standard „Maison passive“ tolère une certaine consommation d'énergie pour le chauffage et ne prétend donc pas à une exploitation en autarcie. C'est le perfectionnement logique du concept de la maison à basse consommation d'énergie; il présuppose une réduction conjointe de l'énergie pour l'eau chaude et de l'électricité pour le ménage. L'orientation sud et l'absence d'ombrage permettent de mettre efficacement en œuvre le solaire passif.

En outre, l'enveloppe du bâtiment et la récupération de chaleur doivent obéir à des critères sévères.

www.passivhaus-info.de
www.passivhaus-institut.de

Facteur 4

Le point de départ est ici la définition formulée par Ernst Ulrich von Weizsäcker, né à Zurich et membre du Club de Rome depuis 1991: „Prosperité double – Ressources naturelles mises deux fois moins à contribution“. Cette idée d'une politique et d'une économie durables profite à la fois à l'environnement et aux consommateurs.

En ce sens, „Facteur 4“ va bien au-delà du concept des bâtiments économes en énergie et englobe des notions telles que la protection de la nature, la diversité des espèces, les aliments, etc.

www.faktor4.de

La maison à la plus basse consommation d'énergie

L'utilisation du superlatif dans cette dénomination indique que l'on recherche une réduction encore plus importante des besoins en énergie, par rapport au standard de la Maison passive, avec des indices de dépense en chute libre.

Indice de dépense d'énergie thermique:

- au plus 5 kWh/m²-an

Les éléments mis en jeu sont ici les apports solaires thermiques à l'air des locaux, le chauffage contrôlé de l'air, les capteurs solaires pour l'eau chaude, l'utilisation de la lumière du jour et de l'eau de pluie, le photovoltaïque et une régulation optimale pour tous les composants.

nouvelables et d'utiliser rationnellement les énergies classiques;

- que l'architecture permettra de mettre fortement à contribution les sources d'énergie renouvelables, y compris le solaire passif;
- enfin, que les matériaux et la technique de construction seront choisis selon des critères écologiques.

La construction de maisons à basse consommation d'énergie a été rendue possible, dans une large mesure, par un certain nombre de développements techniques. Quelques exemples parmi d'autres: les fenêtres à vitrages réfléchissant le rayonnement thermique et comportant une lame de gaz rare, les matériaux isolants pour éléments de parois de valeur k inférieure à $0,15 \text{ W/m}^2\text{K}$, une grande variété de capteurs solaires, les pompes à chaleur. Le re-

tour en force du bois comme matériau de construction a aussi apporté une contribution importante; il est disponible actuellement sous forme modulaire et stimule l'innovation.

Profits et pertes

Des exemples récents montrent que de tels concepts de bâtiments peuvent être aussi économiquement compétitifs. Une partie des standards partent du principe que l'investissement ne doit pas dépasser de manière significative celui d'un bâtiment de conception classique; par ailleurs, la maison productrice d'énergie, avec un bilan énergétique positif à l'exploitation, n'est plus une fiction: elle a été réalisée. Tous les concepts ont en commun l'objectif suivant: plus de confort sans frais supplémentaire ou, en d'autres termes, le même confort

avec une consommation d'énergie réduite. Il coule de source que des données techniques ou économiques différentes conduisent au développement de concepts différents. Souvent, il est impossible de comparer exactement les concepts entre eux, à cause d'un trop grand nombre de facteurs et d'éléments divergents, conduisant à une vision biaisée des indices. Par ailleurs, les spécialistes discutent entre eux abondamment des priorités, de l'esthétique architecturale, des pondérations et des différences entre valeurs calculées et mesurées. À condition d'avoir toujours présent à l'esprit l'objectif de la réduction de la consommation d'énergie et de la diversification de l'approvisionnement, ces controverses ont du bon et servent la cause du développement et de la commercialisation des technologies durables dans le bâtiment.

Standards

La „Maison à énergie zéro“

Il s'agit dans ce concept d'épuiser entièrement toutes les possibilités de production d'énergie à partir de sources renouvelables. Le terme est un peu dépassé, car il ne dit pas assez clairement ce que l'on entend par énergie zéro. En lieu et place, on préfère aujourd'hui des standards définissant clairement des valeurs cibles pour le chauffage, les autres consommateurs d'énergie et l'énergie grise.

Standard 21

Dans ce futur standard du bâtiment, ses promoteurs suisses désirent tenir compte aussi bien de l'énergie que des aspects économiques et écologiques, sociaux ou relevant de l'écobiologie ou de la santé. Son point de départ est l'„Agenda 21“, le document final de la Conférence de Rio de 1992 à laquelle un programme d'action global et local a été décidé pour le 21^e siècle.

Le Standard 21 suisse va surtout intégrer des éléments existants comme le Rating e-top et Minergie.

En ce qui concerne la santé, le Standard 21 veut notamment limiter les températures et les mouvements de l'air ainsi que l'exposition au bruit, au radon et autres substances nocives des bâtiments. Il aborde aussi la répartition flexible des surfaces de locaux et les services en rapport avec l'habitat.

www.agenda-21.ch

Standards

La „Maison à énergie plus“

Le qualificatif „plus“, introduit par Rolf Disch, D-79115 Freiburg, le promoteur de ce concept, indique que la maison peut devenir un fournisseur net d'énergie, à condition de mettre en œuvre des techniques adéquates. Ces maisons solaires produisent plus d'énergie que ses occupants n'en emploient.

En général, une „maison à énergie plus“ est en bois, préfabriquée, munie d'une isolation thermique maximum. Tout le pan sud du toit est recouvert d'un générateur photovoltaïque. L'injection dans le réseau public du courant produit localement, avec la rémunération correspondante, donne un bilan d'énergie positif. Cependant, ce concept peut être remis en question aussi longtemps que l'électricité solaire sera produite en été et consommée en hiver.

Indice de dépense d'énergie thermique:

- environ 10 à $15 \text{ kWh/m}^2\text{an}$

www.rolfdisch.de

Innovons avec le bois

„Spacehouse“ – Copions la nature

La légèreté n'exclut pas la solidité, nous dit la nature. Une nouvelle technique de construction en bois s'inspire de cette vérité. L'importance croissante du bois comme matériau de construction, et des exigences imposées à l'isolation thermique ont entraîné un surcroît de travail au cours de l'étude et du montage. La technologie „Spacehouse“ de l'architecte David Muspach est une réponse à cette évolution. Elle combine des poutrelles de bois, des nœuds de liaison en acier chromé, des vis et des éléments d'appui, ce qui donne une charpente légère et stable. Selon les exigences, il y a de 8 à 16 poutrelles de bois arrivant à un nœud. On peut produire ces poutrelles localement.

www.spacehouse.com



Architos – Un réseau sur mesure

Des architectes suisses ont fondé l'année dernière, conjointement avec la maison Renggli SA à Schötz, une nouvelle association dont les membres s'engagent à mettre en œuvre une architecture durable et une façon de construire qui ait une haute efficacité énergétique. Le réseau combine la connaissance des avantages de l'architecture moderne basée sur le bois et celle des technologies les plus récentes. Les 14 architectes font des plans sur mesure et utilisent de préférence les éléments de bois préfabriqués industriellement de Renggli SA.

www.architos.ch
www.renggli-haus.ch

Annonce



FORUM
GESUNDES
BAUEN

FORUM POUR
UNE CONSTRUCTION
SAINE

Reconstruire au lieu d'assainir?

Une journée d'étude du Forum pour une construction saine consacrée au projet de recherche du même nom et placée **placée sous le patronage de l'Office fédéral de l'énergie**.

Les propriétés spécifiques de la construction traditionnelle pour un mode de bâtir durable, écologique et économique alliées aux multiples possibilités de conception constituent le cadre approprié à cette journée d'étude où la question posée sera examinée dans une optique future.

Date: 13 juin 2001
 Heure: de 14 h à 17 h 15
 Lieu: Hôtel Allegro, au „Kursaal“ de Berne
 Finance d'inscription: fr. 150.—, apéritif inclus

Objectifs: En se plaçant dans une optique globale, se poser la question dans quelles circonstances une démolition et une reconstruction s'avèrent plus judicieuses qu'un assainissement, réfléchir aux moyens à engager pour encourager une stratégie de construction de remplacement. Il sera répondu à toutes ces questions sur la base des résultats issus du projet de recherche. Les réponses complétées par des exemples auront pour but de stimuler la recherche de solutions proches de la pratique. Combinés de manière optimale, les aspects écologiques, sociaux et économiques déboucheront sur un concept offrant le plus grand nombre d'atouts possible aux clients.

Public-cible: Investisseurs, maîtres d'ouvrage, architectes, concepteurs, spécialistes en énergétique et entrepreneurs.

Manifestation placée sous la conduite de Ruedi Meier, de Berne

Programme: Présentation des résultats du projet de recherche „Reconstruire au lieu d'assainir“ et conclusions présentées par les chefs de projet Armin Binz, professeur et Walter Ott. Evaluation d'exemples tirés de la pratique dans l'optique de l'investisseur, du développement de l'habitat et des aspects de la durabilité.

Demandez la documentation relative à cette journée d'étude au
 tél. 01-258 82 82, par fax au 01-258 83 21 ou par
 e-mail fgb@baumeister.ch

Les supraconducteurs ont de l'avenir

La technologie des supraconducteurs à haute température (SHT) promet des avantages substantiels dans les réseaux électriques

Roland Brüniger

Chef du programme
Électricité de l'OFEN
c/o R. Brüniger SA
CH-8913
Ottenbach

Erwin Gautschi

Responsable du domaine
Électricité de l'OFEN

La supraconductivité est le phénomène physique caractérisé par la disparition quasi-complète de la résistance électrique dans un matériau. On l'a découverte d'abord à très basse température, au voisinage du zéro absolu (-273°C). Mais c'est à partir du moment où des supraconducteurs à haute température (SHT) – soit environ -140°C – ont été découverts qu'une intense activité de recherche a débuté, avec pour objectif la fabrication d'appareils et d'installations supraconducteurs. En effet, la température de travail plus élevée allait permettre dorénavant de refroidir le tout à l'aide de l'azote liquide au lieu de l'hélium liquide, ce qui représente une réduction de coût considérable.

Des applications potentielles étonnantes

Une étude conjointe d'ABB et des EPF de Lausanne et Zurich sur les applications de la technologie SHT dans les réseaux électriques avait pour objectif de jeter un regard visionnaire sur les futures possibilités d'application dans un réseau modifié. Il en est résulté des objectifs de recherche et de développement et une estimation des implications techniques et financières. Il n'a pas été possible cependant de prédire avec précision le bilan énergétique ni la rentabilité du recours à la technologie SHT.

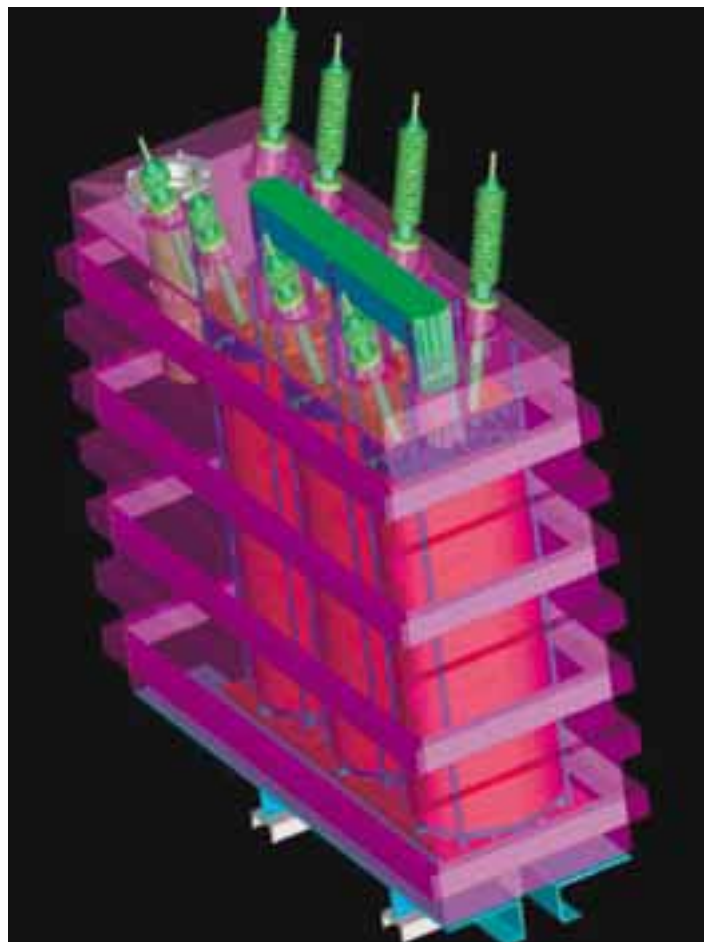
Le réseau de transport de l'énergie électrique de l'Europe de l'Ouest a été continuellement optimisé. Il est composé de transformateurs, de sous-stations pour le contrôle des flux et de lignes de transport. Aujourd'hui, il jouit d'un taux de disponibilité de plus de 99,9% et ses pertes globales de transport sont d'environ 7%. L'intégra-

tion de toute technologie nouvelle doit tenir compte de cette réalité. Elle doit notamment se concentrer sur la réduction des pertes et l'amélioration simultanée de la rentabilité.

Des avantages évidents

Si l'on veut utiliser de manière rentable des composants supraconducteurs dans le réseau actuel, il faut tenir compte de plusieurs de leurs avantages, qui pourraient bien ultérieurement devenir primordiaux en fonc-

Un transformateur SHT de 10 MVA, avec limiteur de courant intégré.



Rapport final:
Application of high
Temperature Super-
conductivity in
Power Systems;
G. Schnyder,
J. Rhyner, D. Poli-
tano, M. Sjöström;
mars 2000

tion de nouvelles contraintes d'exploitation ou de prescriptions environnementales.

À côté de pertes de transport minimales, c'est surtout la densité de courant élevée dans le matériau supraconducteur qui représente un critère à l'avantage de la nouvelle technologie. Dans les matériaux SHT connus, elle atteint environ 100 A/mm², ce qui surpasse nettement la densité de courant dans les conducteurs classiques en aluminium ou en cuivre. La mise à profit de la transition de l'état supraconducteur à l'état normal

présentent une réduction de la fiabilité de l'ensemble.

Solutions pour des applications réalisables à court terme

Aucun obstacle technique ne s'oppose à l'utilisation à court terme de limiteurs de courant basés sur les matériaux supraconducteurs, indépendamment de la puissance nominale et à tous les niveaux de tension. L'évolution des économies réalisables sur les coûts déterminera dans quelle mesure on



Le transformateur supraconducteur de 630 kVA développé en 1997 utilise des bandes SHT comme enroulement.

permet de limiter le courant à la densité de courant critique, autre propriété du supraconducteur intéressante pour le réseau électrique.

Des composants supplémentaires, un risque accru

Le recours à la technologie SHT implique obligatoirement une installation de réfrigération. La disponibilité de l'ensemble est ainsi subordonnée au bon fonctionnement de cette installation auxiliaire; par rapport au transport classique par câble ou ligne aérienne, ces composants supplémentaires re-

La découverte de la supraconductivité

La supraconductivité à basse température a été découverte au début du 20^e siècle. Elle a permis de produire, dans les années soixante, des fils conducteurs capables de transporter des courants de centaines d'ampères et adaptés à la construction de gros aimants. Une des applications a été l'imagerie par résonance magnétique (IRM) utilisée notamment pour l'examen du corps humain. En 1986, les deux chercheurs Müller et Bednorz ont découvert une céramique supraconductrice à haute température. Le refroidissement à -140 °C suffisait dorénavant et on pouvait utiliser pour cela de l'azote liquide, une immense simplification par rapport à la situation antérieure, avec une réduction correspondante des coûts. Ce fut le signal de départ de nombreux développements nouveaux.

pourra recommander ces nouveaux composants dans les installations nouvelles, parallèlement à un redimensionnement des éléments utilisés dans les réseaux régionaux et industriels de distribution. Dans les installations existantes, le recours à ces limiteurs sera aussi financièrement intéressant par la formation de boucles et de mailles plus serrées, aussi bien pour le raccordement de centrales que pour les réseaux régionaux ou à basse tension.

Les transformateurs à enroulements supraconducteurs sont aussi réalisables techniquement à court terme. En fonctionnement, ils se comportent comme les transformateurs classiques. Intégrer un limiteur de courant SHT au transformateur est même

Liens internet

Tout sur le programme de recherche
Électricité de l'OFEN
www.electricity-research.ch

Les supraconducteurs à haute température,
dans le cadre des développements
d'ABB
www.abb.com

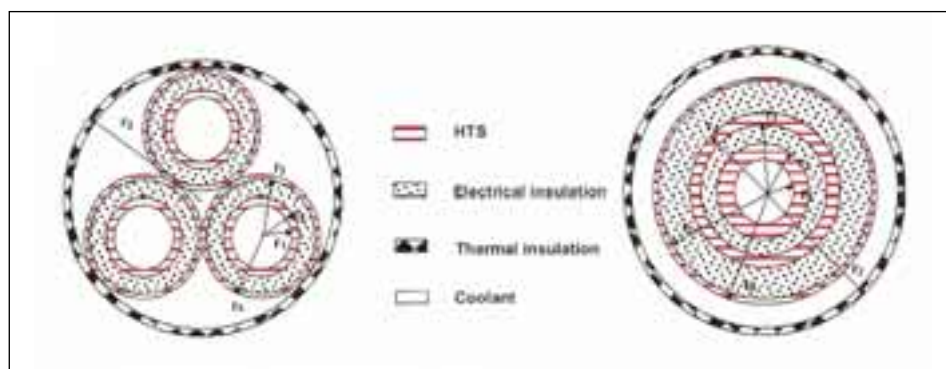
un grand avantage à l'exploitation. La technologie SHT réduit les pertes, le poids et le volume des transformateurs. À volume égal, on peut donc „placer“ plus de puissance. Et puis l'impact environnemental est plus faible: on n'a plus besoin d'huile isolante, ce qui réduit les frais d'installation et de recyclage et évite le danger d'une contamination des eaux.

Esquisses de solutions pour les applications à moyen terme

En remplaçant des tronçons de câbles de cuivre par des câbles SHT, on peut transporter une puissance supérieure tout en réduisant les pertes électriques. Avec le rem-



Essai d'un limiteur de courant.



Disposition coaxiale (à gauche) et concentrique des différentes phases dans un câble supraconducteur.

placement des lignes aériennes, des perspectives nouvelles s'ouvrent donc pour les lignes de transport; les nouvelles installations seront plus respectueuses de l'environnement et permettront de faire face à la demande croissante d'énergie des agglomérations. On peut imaginer que certaines liaisons alpines soient assurées par des câbles dans les tunnels routiers et ferroviaires.

La construction des câbles supraconducteurs est importante: à côté de la version coaxiale bien connue, une version concentrique est possible pour les câbles triphasés. Ces variantes suppriment toutes deux l'effet du champ magnétique à l'extérieur du câble, un aspect intéressant pour le transport à courant élevé. Ces câbles pourraient

aussi convenir à un système à courant continu, ce qui est une variante intéressante parce que rendant superflus certains niveaux de tension du réseau électrique.

La mise sur pied de réseaux de distribution comportant des câbles et des transformateurs supraconducteurs de faible résistance ohmique augmentera la capacité de transport et la stabilité du réseau, suite à la réduction de l'impédance de court-circuit. Car les chutes de tension et la puissance réactive à transporter se trouveront réduites.

Limiteur de courant

Les caractéristiques des limiteurs supraconducteurs de courant leur permettent de limiter ou de retarder la montée du courant en cas de court-circuit. Cela protège les appareils et les éléments de l'installation situés en aval, qui peuvent être dimensionnés pour des courants plus faibles.

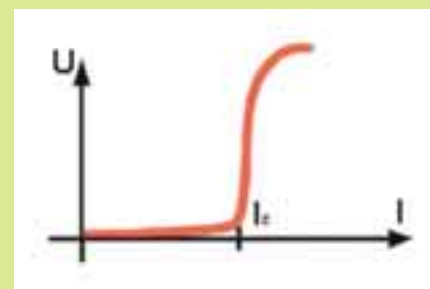


Diagramme courant/tension, avec la transition de l'état supraconducteur à l'état normal observée à la densité de courant critique I_c .

Les limiteurs de courant permettent donc aussi de redimensionner les transformateurs, les sous-stations, les sectionneurs de puissance, les câbles, etc. La durée de vie des éléments du réseau s'en trouve prolongée, car ceux-ci sont soumis à des tensions mécaniques plus faibles.

La sûreté par le savoir

La CORE, par ses recommandations, indique à la recherche nucléaire la direction à suivre

Wolfgang Kröger

Chef du programme OFEN „Sûreté nucléaire et élimination des déchets”
c/o Institut
Paul Scherrer,
CH-5232 Villigen

Christophe de Reyff

Responsable du domaine
Énergie nucléaire
de l'OFEN

La sûreté des centrales nucléaires actuelles et l'élimination des déchets nucléaires doivent être assurées. Tels sont les thèmes prioritaires du programme de politique énergétique et du *Plan directeur de la recherche énergétique de la Confédération*, élaboré par la Commission fédérale pour la recherche énergétique (CORE). Avec une contribution de presque 40% à la couverture des besoins, les centrales nucléaires sont, avec la force hydraulique, le pilier de l'approvisionnement du pays en électricité. C'est pourquoi la recherche en matière de sûreté est extrêmement importante pour l'exploitation de ces installations; mais elle l'est au moins autant pour assurer la relève du personnel hautement qualifié dans ces questions nucléaires. Car ce savoir sera irremplaçable en matière de sûreté, indépendamment de l'importance du nucléaire à long terme. Par ailleurs, ces connaissances spécifiques sont aussi demandées dans les applications non énergétiques de la technique nucléaire, notamment en médecine, dans la recherche en général et dans l'industrie.

Le financement, un défi

Dans son Plan directeur, la CORE prévoit une réduction possible des moyens publics, compensée par le renforcement de l'engagement de l'économie privée. Ce déplacement des sources de financement ne doit cependant pas entraver les activités de recherche, ni au niveau du personnel, ni qualitativement.

L'Institut Paul Scherrer (PSI) à Villigen est l'acteur principal de la recherche nucléaire en Suisse. Cette recherche est financée par les collectivités publiques avec une part importante de moyens fournis par l'économie; tous les travaux s'effectuent au sein d'un réseau international de collaborations. C'est pourquoi il s'agira pour le PSI dans les prochaines années de poursuivre l'optimisation de l'élaboration des connaissances de base en matière de sûreté, de déchets ra-

dioactifs et de sujets de recherche importants pour l'avenir, conformément à la stratégie de la CORE.

Fusion: de nombreux points d'interrogation

La fusion nucléaire reste une option intéressante comme source d'énergie du futur, à côté de la fission nucléaire qui est à la base de toutes les centrales actuelles. Les travaux de recherche nécessaires sont très vastes; c'est pourquoi il n'est guère possible de faire de pronostic quant à la faisabilité technique de la fusion, sa rentabilité ou son acceptation par le public. Les chercheurs suisses de l'EPF de Lausanne, au Centre de recherche en physique des plasmas (CRPP) et du PSI ont là aussi travaillé de manière

Le PSI, un institut pluridisciplinaire et international

En tant que centre de recherche pour les sciences naturelles et celles de l'ingénieur, l'Institut Paul Scherrer (PSI) à Villigen collabore avec les Hautes Écoles, d'autres instituts, les Hautes Écoles spécialisées et l'industrie, de Suisse et de l'étranger. Avec ses quelque 1200 collaborateurs, il est le plus grand institut de recherche et en même temps le seul en son genre en Suisse. Son département de recherche du corps solide et des sciences des matériaux étudie les structures les plus fines et les nouveaux matériaux. En biologie et en médecine, le PSI s'occupe de méthodes de diagnostic et de traitement des tumeurs. En physique des particules élémentaires, il étudie les constituants les plus petits de la matière. Enfin, ses recherches en matière d'énergie se concentrent sur des sujets contribuant à une utilisation durable et globale de l'énergie et au renforcement de la sûreté des techniques énergétiques.

Un tour d'horizon: www.psi.ch

Source:
Plan directeur de la recherche énergétique de la Confédération 2000 – 2003, élaboré par la Commission fédérale pour la recherche énergétique (CORE).

exemplaire, en collaboration internationale bien sûr. Ils profitent aussi des échanges entre scientifiques et des résultats de la recherche dans le domaine des matériaux, comme les autres techniques énergétiques, telles que l'énergie solaire, les piles à combustible, les échangeurs de chaleur, etc. Sans oublier que ces instituts ont une mission de formation au plus haut niveau, avec des emplois correspondants à créer ou à maintenir.

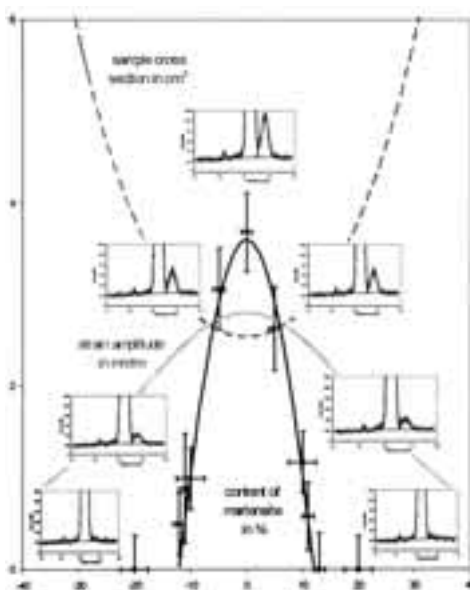
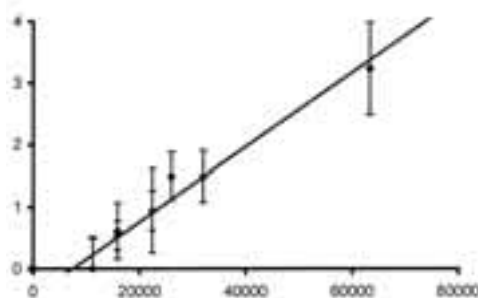
Le projet „Détection anticipée de dommages dus à la fatigue affectant les composants“, de l'Institut Paul Scherrer

Reconnaître à temps les modifications de structure dans les matériaux des conduites des centrales nucléaires est indispensable à leur sécurité et à leur fonctionnement fiable. C'est pourquoi, les chercheurs du PSI s'occupent activement des méthodes non destructives de localisation de la fatigue de l'acier inoxydable; ils ont acquis un certain nombre de connaissances nouvelles en la matière. Le projet FEVER, encouragé aussi par l'OFEN (DSN – Division principale de la sécurité des installations nucléaires), a pour but la caractérisation et la surveillance des modifications microstructurales dans les aciers austénitiques des conduites, au stade précédant les fissures lors de la fatigue oligocyclique (nombre de cycles à la rupture: entre 10'000 et 100'000). Les tensions thermomécaniques

se produisent typiquement pendant les démarrages et les déclenchements ainsi que lors du changement des paramètres d'exploitation. Les études ont montré jusqu'ici qu'un changement de phase de l'austénite en martensite, induit par la déformation, se produit au fur et à mesure que le nombre de cycles augmente.

Teneur en martensite (%) en fonction du nombre de cycles de déformation.

À l'aide de diffractomètres couplés à la source de neutrons SINQ de l'Institut Paul Scherrer, on a pu observer des corrélations entre la teneur locale en martensite et le nombre de cycles effectués (durée de vie). La diffraction neutronique est une méthode d'expérimentation idéale pour l'observation des changements de structure cristalline



Teneur en martensite (%) en fonction de la position axiale dans l'échantillon.

Liens internet

CORE – La Commission fédérale pour la recherche énergétique
www.admin.ch/bfe/d/index

L'Institut Paul Scherrer: le Département de recherche en énergie et sécurité nucléaires:
www1.psi.ch/www_nes_hn/

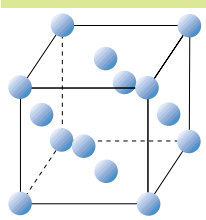
En Suisse, la Division principale de la sécurité des installations nucléaires (DSN) est l'organe de la Confédération chargé de la sûreté en matière d'énergie nucléaire
www.hsk.psi.ch



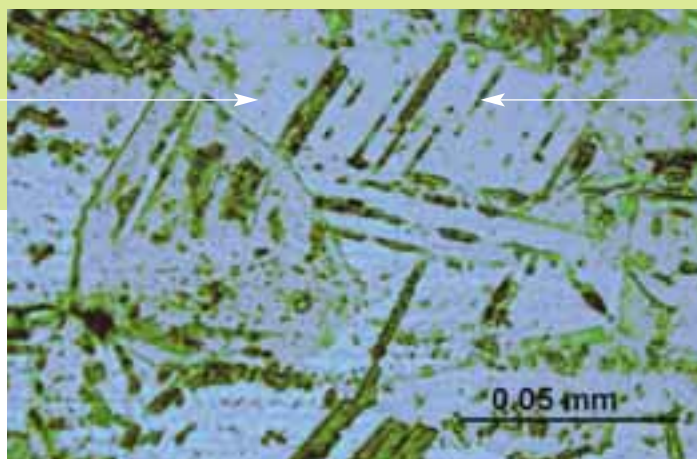
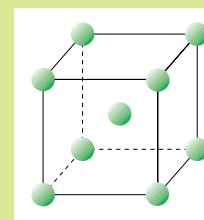
Photo de l'examen d'un échantillon à l'aide de la source de neutrons SINQ.

Austénite et martensite

L'austénite est un type d'acier constitué de cristaux mixtes cubiques centrés de fer γ pouvant contenir, à côté du carbone, des éléments dissous, tels le nickel, le chrome ou le molybdène. Les aciers austénitiques ne sont pas magnétiques. On les utilise souvent dans la construction d'appareils, car ils résistent très bien à la corrosion et ont des propriétés mécaniques excellentes, à basse température. Le plus grand danger pour l'acier austénitique est cependant la corrosion fissurante due à la contrainte.



La martensite est une structure d'acier qui se présente en général sous la forme d'aiguilles; elle augmente la dureté et la résistance mécanique. Elle se forme sous l'effet des changements de température ou par suite de déformations. La martensite est magnétique.



Micrographie d'un acier austénitique contenant des aiguilles de martensite transformée (en noir).

ne; l'austénite et la martensite ont en effet des structures différentes. C'est ainsi qu'il a été possible pour la première fois de chiffrer la teneur en martensite des zones concernées par la fatigue oligocyclique et de déterminer les facteurs influents, en appliquant une méthode non destructive. Au-delà de certaines valeurs limites, la concentration de martensite croît de manière presque linéaire, aussi bien à amplitude de charge croissante qu'avec le nombre des cycles.

On a ensuite fait des mesures de l'intensité du champ magnétique de fuite, à l'aide de détecteurs très sensibles et de sondes à courants de Foucault miniaturisées, pour passer de la caractérisation du matériau à une méthode non destructive de surveillance en

temps réel. Il faut dire que la détection de la martensite à ces concentrations minimales, de 0,5 à 3% en volume, n'est pas évidente. Les deux procédés de mesure utilisés sont parvenus sans autres à la résolution nécessaire, créant ainsi une base solide pour la détection anticipée.

Rapport de recherche du PSI:
Microstructural investigations and monitoring of low-cycle fatigue degradation in meta-stable austenitic steel;
M. Grosse, D. Kalkhof, M. Niffenegger.

Une anode qui abaisse les coûts

Une nouvelle construction des cellules abaisse les coûts de fabrication et d'exploitation des installations SOFC

Beat Gut

LFEM/EMPA,
Section des Céramiques à hautes performances
CH-8600 Dübendorf

Ludwig Gaukler

EPFZ
CH-8092 Zurich

Martin Rügsegger

Responsable du domaine
Piles à combustible de l'OFEN

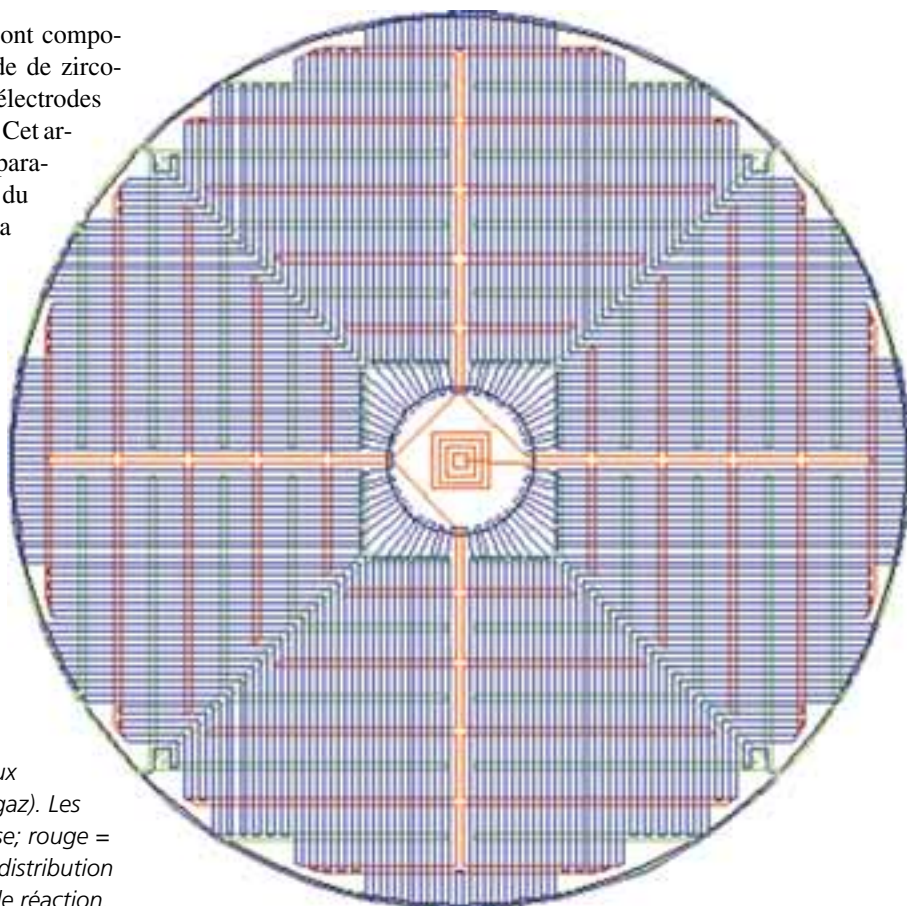
Les piles à combustible du type SOFC (*Solid Oxide Fuel Cell*) sont prévues surtout pour la production d'électricité et de chaleur en mode stationnaire; à l'avenir, elles devraient occuper une place de plus en plus importante sur le marché de l'énergie. Il est vrai que les coûts de production et d'exploitation sont encore élevés. Actuellement, en réponse à ces considérations, le LFEM/EMPA, l'EPFZ et l'EPFL ont un projet de recherche commun encouragé par l'OFEN, avec pour objectif de perfectionner la cellule qui est à la base du concept et sa fabrication. Contrairement à la construction utilisée jusqu'ici dans laquelle l'électrolyte servait d'appui mécanique, c'est l'anode qui doit jouer ce rôle de support (AS-PEN).

d'utiliser en conséquence de l'acier inoxydable, ce qui réduit considérablement les coûts de fabrication. Autre avantage: une durée de vie plus longue pour la pile entière grâce à des contraintes thermiques réduites.

Le projet a été lancé il y a un an; ses premiers résultats: la mise au point de substrats „frittés“ utilisés comme anodes et la construction d'une cellule expérimentale de 35 mm de diamètre. La production des cellules dépend en effet du nouveau concept et des procédés de fabrication correspondants.

Le nouveau concept permet d'abaisser la température

Les cellules SOFC classiques sont composées d'un électrolyte en dioxyde de zirconium avec, des deux côtés, des électrodes créées par traitement de surface. Cet arrangement assure à la fois la séparation électrochimique de l'air et du gaz et la stabilité mécanique. La pile est formée de plusieurs cellules et complétée par des plaques d'interconnexion en alliages de chrome, coûteuses. La nouvelle cellule AS permet d'abaisser la température de fonctionnement de 900 °C à 700 – 800 °C et



Exemple de géométrie des canaux d'alimentation en combustible (gaz). Les sillons ont été tracés à la fraiseuse; rouge = amenée de combustible; bleu = distribution fine; vert = évacuation des gaz de réaction.

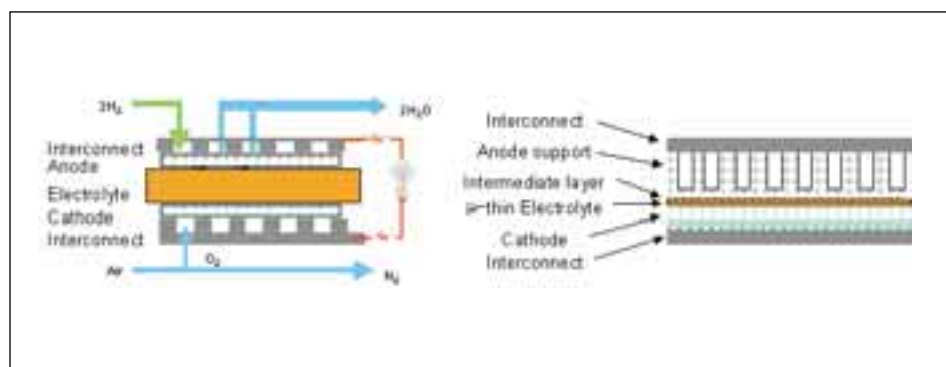


Diagramme comparatif: concept actuel de la cellule à électrolyte support (à gauche); nouvelle construction à anode support (à droite).

De nouveaux matériaux pour la surface anodique

Dans un premier temps, l'anode déposée sur la plaque d'interconnexion était composée d'un nouveau mélange 50/50% d'oxyde de zirconium et de nickel. Des échantillons d'essai ont été préparés par un procédé de dépôt approprié. Plus tard, on a employé une anode d'oxyde de nickel-cérium-gadolinium (Ni-CGO) qui présente une meilleure activité catalytique et de meilleures performances électrochimiques entre 600 et 800 °C.

En même temps, on a étudié les différents paramètres du dépôt, par pulvérisation, de la couche intermédiaire contenant le cérium, puis de l'électrolyte au zirconium.

Des canaux pour les gaz intégrés au substrat

Pour la cellule AS, on a profité du développement de nouveaux substrats de céramique pour étudier différentes géométries des canaux de circulation du gaz. Le but était l'ob-

Cette année, on poursuit les recherches sur les cellules AS et procède aux tests électrochimiques sur une cellule de 120 mm de diamètre. Si tout se déroule comme prévu, on fabriquera et étudiera ensuite une pile de cellules. Des tests fonctionnels et l'examen d'un certain nombre de points en rapport avec la production seront les étapes suivantes sur la route d'une pile à combustible SOFC plus proche de la rentabilité.

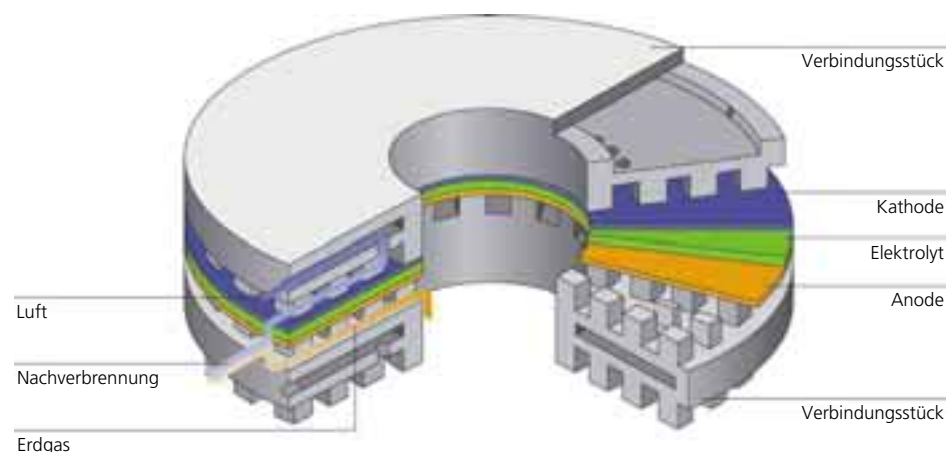
Liens internet

EPFZ: le groupe SOFC de l'Institut des matériaux non-métalliques (Ceramics)
<http://lomer.ethz.ch>

EPFL: Laboratory for Photonics & Interfaces (LPI)
<http://dcwww.epfl.ch/icp/ICP-2>

LFEM/EMPA: Section des Céramiques à hautes performances
www.empa.ch/deutsch/fachber/abt123

Sulzer Hexis: le leader suisse de la fabrication des piles à combustible SOFC
www.hexis.com



Construction actuelle d'une pile, avec ses disques d'interconnexion coûteux à la fabrication.
(Diagramme: Sulzer Hexis SA)

tention d'une répartition homogène du combustible gazeux et d'un échappement des gaz de réaction qui présente une perte de charge aussi faible que possible. Des prototypes de cellules ont été fabriqués et soumis à des essais électrochimiques avec, en même temps, une analyse des gaz dans l'anode en divers points de mesure.

Le réglage à succès

Une régulation pour le *SwissMotor* bientôt intégré aux installations combinées chaleur-force modulaires

Martin Zogg

Chef du programme Chaleur ambiante, rejets thermiques et couplage chaleur-force (UAW) de l'OFEN
Kirchstutz 3
CH-3414 Oberburg

Fabrice Rognon

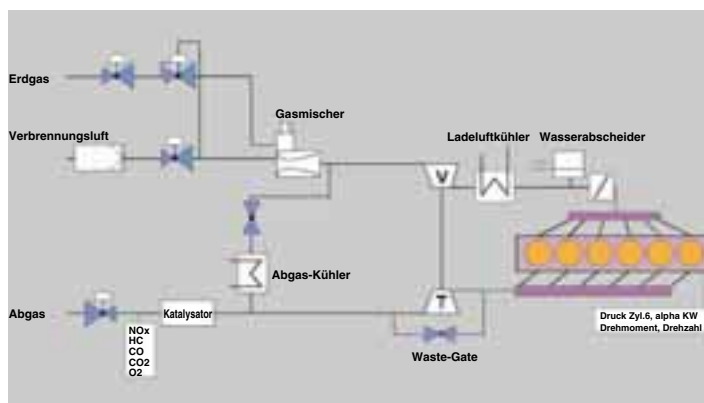
Responsable des domaines Chaleur ambiante et Couplage chaleur-force de l'OFEN

L'Institut des techniques énergétiques de l'EPF de Zurich (Laboratoire des moteurs à combustion interne et des techniques de combustion, LVV) a mis au point un nouveau concept de moteur à gaz, suralimenté et à recirculation des gaz d'échappement, et l'a soumis à des tests en collaboration avec ses fabricants, les maisons Liebherr et Dimag. Par rapport aux moteurs classiques fonctionnant avec un mélange stœchiométrique, ce moteur à gaz baptisé „SwissMotor“ atteint un rendement mécanique supérieur d'environ 20% au rendement classique, avec des émissions de polluants nettement moindres. Dans la classe de puissance de 150 à 200 kW, on a même atteint les 40% en plus, à cylindrée égale. Une stratégie de régulation particulière a été développée pour le SwissMotor dans le cadre d'un projet partiel, sur mandat de l'OFEN et avec la collaboration de l'Institut de métrologie et de réglage automatique (IMRT) de l'EPFZ. Elle contrôle l'adaptation automatique du fonctionnement du moteur et du système de traitement des gaz d'échappement aux variations de charge du

moteur et de composition du gaz naturel. Cette régulation a été mise à l'épreuve au LFEM/EMPA à Dübendorf où des mesures complexes ont été effectuées sur le banc d'essai pour l'étude des régimes non stationnaires. Voici les résultats des tests:

Les mesures confirment le concept de régulation

Les boucles de réglage suivantes sont déterminantes en regard des exigences à sa-



Le couplage chaleur-force, un exemple d'approvisionnement décentralisé en électricité

Le 11 mai 2001 au Centre de recherche ABB à Dättwil aura lieu une conférence de la Fondation suisse pour l'énergie (FSE) consacrée aux possibilités, aux obstacles et aux perspectives du couplage chaleur-force dans le contexte de la libéralisation du marché de l'électricité. L'utilisation rationnelle de l'énergie est la priorité numéro un de la politique énergétique suisse. Les techniques nécessaires pour cela existent. L'exemple type en est le couplage chaleur-force (CCF) qui offre la possibilité de décentraliser la production d'électricité. Les entreprises suisses disposent en la matière d'un savoir-faire technologique important. C'est pourquoi l'élimination des obstacles et la promotion active du CCF à partir d'un rendement électrique de 33% sont des éléments incontournables d'une politique de l'énergie qui se veut durable et novatrice.

Organisation: Fondation suisse pour l'énergie (FSE),
CH-8005 Zurich
inge.tschernitschegg@energiestiftung.ch

tisfaire: la régulation lambda (traitement des gaz d'échappement), la température d'entrée du gaz (puissance et tendance à cogner), la température des gaz d'échappement recirculés (effet sur le débit de recirculation et la tendance à cogner) et le moment de l'allumage (tendance à cogner, puissance et rendement). Les mesures ont montré que la nouvelle conception de la régulation permettait de satisfaire les exigences posées.

Les émissions de gaz d'échappement sont restées bien en-deçà des valeurs limites pourtant très sévères admises en ville de Zurich, aussi bien en régime stationnaire qu'à pleine puissance du moteur variable.

En ce qui concerne les variations de la composition du gaz observées couramment dans

Installation expérimentale pour l'essai de la régulation du SwissMotor à charge partielle et avec un gaz naturel de composition variable (extrait du rapport final).

Liens internet

La page d'accueil du programme de recherche UAW de l'OFEN
www.waermepumpe.ch/fe

Le Laboratoire des moteurs à combustion interne et des techniques de combustion
www.lvv.ethz.ch

L'Institut de métrologie et de réglage automatique (IMRT) de l'EPFZ
www.imrt.ethz.ch

Le LFEM/EMPA – le Laboratoire fédéral d'essai des matériaux et de recherche
www.empa.ch

les réseaux de distribution, la nouvelle régulation y répond de manière exemplaire. Même à la suite à de variations très brusques de composition, les pointes de CO et NO_x émises disparaissent en moins de 10 secondes.

Essais pratiques en préparation

Dans la prochaine phase du projet, le concept de régulation sera simplifié et ramené au strict nécessaire en vue de l'intégration du moteur aux installations combinées chaleur-force modulaires de la pratique. Puis suivront des essais en conditions réelles d'exploitation, ouvrant la voie à la commercialisation du SwissMotor dans ces installations combinées. On obtiendra ainsi un rendement électrique maximum avec des émissions minimum.

Rapport final:

Regelung des SwissMotors für den Einsatz in der Praxis;

Teilprojekt des Projektes SwissMotor;

Ch. Nellen, K. Boulouchos, Ch. Schaar,

Ch. Onder;

à télécharger: www.waermepumpe.ch/fe
 rubrique „Berichte“

ou à commander auprès d'ENET, n° de commande 0039708

	Manifestation	Page
Avril		
3	Berner Energie-Apéros: Neu Bauen statt Sanieren Schweiz. Hochschule für Holzwirtschaft, Biel www.okapublic.ch	
21	Journée de l'ADUR : Ouverture du marché, certification de l'électricité écologique Landhaus Solothurn www.iskb.ch	15
24	Berner Energie-Apéros: Passivhaus – zehnmal weniger Energie Gewerblich-industrielle Berufsschule Bern www.okapublic.ch	
25–26	Planungs-Workshop Passivhaus Schweiz. Hochschule für die Holzwirtschaft, Biel www.swood.bfh.ch	
Mai		
4–12	Zürcher Festival des Wissens – nachhaltige Begegnungen www.wissensfestival-zh.ch	
8	Wärmepumpentagung: Neue Wege zur Heizungssanierung mit Wärmepumpen HTA Burgdorf www.waermepumpe.ch/fe (Veranstaltungen)	24
9	Berner Energie-Apéros: Frischluf mit Komfortlüftung – Minergie und Passivhaus Hochschule für Technik und Architektur Bern www.okapublic.ch	
11	Journée de la FSE : Le couplage chaleur-force, exemple d'approvisionnement décentralisé en électricité Centre de recherche ABB, Dättwil Fondation suisse pour l'énergie (FSE), CH-8008 Zurich	38
14	Berner Energie-Apéros: Blockheizkraftwerke z.B. mit Brennstoffzellen – neue Perspektiven der Energieversorgung Hochschule für Technik und Architektur Bern www.okapublic.ch	
Juin		
13	Neu Bauen statt Sanieren? Fachtagung des Forum Gesundes Bauen Hotel Allegro, Kursaal Bern fgb@baumeister.ch	29
20	Seminar: Wärmepumpenheizung für Niedrigenergiehäuser Fachhochschule beider Basel FHBB www.fhbb.ch/weiterbildung	24
Septembre		
	Cycle d'études postgrades en énergie EPFL http://postgrade-energie.epfl.ch	3

Le calendrier de l'énergie de l'OFEN:

Aperçu chronologique des cours de formation et des manifestations du domaine de l'énergie, dans toute la Suisse et les régions limitrophes du pays.

Le calendrier paraît deux fois l'an, en février et en août. Ce dépliant peut être commandé gratuitement auprès de:

SYNETRUM SA, CH-3280 Morat

La version internet est mise à jour mensuellement:

www.admin.ch/bfe

Pour commander
 ● Formulaire de commande (à faxer)
 ou
 ● Site Internet d'ENET – www.energieforschung.ch

Recherche énergétique en général

Energie-Forschung 2000/Recherche énergétique 2000

Übersichtsberichte der Programmleiter/Rapports de synthèse des chefs de programme; BFE/OFEN; 150 S./p.; SFr. – Nr. 210030

ENET-NEWS Nr. 46 deutsch

BFE; 12.2000; 44 S., SFr. – Nr. 200156

ENET-NEWS Nr. 46 en français

BFE; 12.2000; 44 S., SFr. – Nr. 200157

Recherche, développement et démonstration dans le domaine de l'énergie en Suisse: liste des projets 1998/1999

BFE/OFEN; 11.2000; 58 p., SFr. – Nr. 200158

Biomasse

Praxiserhebung über Stickoxid- und Partikelemissionen automatischer Holzfeuerungen:

Erhebung und Auswertung von Emissionsdaten: Schlussbericht; Hasler, Ph., Nussbaumer, Th.; Jenni, A.; BFE; 12.2000; 81 S., SFr. 40.00 Nr. 200139

Neues Prüfverfahren für Stückholz-Speicheröfen:

Grundlagen für eine Prüfnorm zur Bestimmung von Wärmeleistung, Wirkungsgrad und Emissionen: Schlussbericht; Macquat, Y.; Gaegauf, Chr.; BFE; 09.2000; 32 S., SFr. 20.00 Nr. 200153

Sampling and analysis of particles and tars from biomass gasifiers:

Pergamon, Biomass and Bioenergy 18 (2000) 61–66; Hasler, Ph.; Nussbaumer, Th.; 07.2000; 6 p., SFr. – Nr. 200181

A new method for an economic assessment of heat and power plants using dimensionless numbers:

Pergamon, Biomass and Bioenergy 18 (2000) 181–188; Nussbaumer, Th.; Neuenschwander, P.; 01.2000; 8 S., SFr. – Nr. 200182

Deposit formation on a single cylinder during combustion of herbaceous biomass:

Elsevier, Fuel 79 (2000) 141–151; Kaufmann, H.; Nussbaumer, Th.; Baxter, L.; Yang, N.; 11.2000; 11 S., SFr. 15.00 Nr. 200183

Utilisation et distribution de l'électricité

Vernetzung im Haushalt, Auswirkungen auf den Stromverbrauch:

Schlussbericht; Aebischer, B.; Huser, A.; BFE; 11.2000; 58 S., SFr. – Nr. 200137

Vernetzung im Haushalt, Auswirkungen auf den Stromverbrauch:

Zusammenfassung Schlussbericht 200137; Aebischer, B.; Huser, A.; BFE; 11.2000; 5 S., SFr. – Nr. 200138

Transformateur supraconducteur à haute température 10 MVA:

Schlussbericht; Zueger, H.; BFE; 09.2000; 20 S., SFr. 15.00 Nr. 200173

Vernetzung im Haushalt: Auswirkungen auf den Stromverbrauch:

Schlussbericht; Aebischer, B.; Huser, A.; BFE; 11.2000; 60 S., SFr. 30.00 Nr. 200174

Networking in private households: Impacts on electricity consumption:

Final report; Aebischer, B.; Huser, A.; BFE; 11.2000; 59 S., SFr. 30.00 Nr. 200175

Flywheel energy storage for wind power generation FlyWiP

Jahresbericht 2000; Von Burg, P.; BFE; 01.2001; 4 S., SFr. – Nr. 210003

Study on methodologies for establishing a system for cross-border tarification in the internal electricity market:

Jahresbericht 2000; Glavitsch, H.; BFE; 01.2001; 14 S., SFr. – Nr. 210004

Assessing the Impact on High Temperature Superconductors:

Jahresbericht 2000; Vécsey, G.; BFE; 01.2001; 3 S., SFr. – Nr. 210005

Betreuung des Kompetenzzentrums Energie und Informationstechnik:

Jahres-/Schlussbericht 2000; Aebischer, B.; BFE; 01.2001; 4 S., SFr. – Nr. 210006

Vernetzung im Haushalt:

Jahresbericht 2000; Aebischer, B.; BFE; 01.2001; 4 S., SFr. – Nr. 210007

Combustion

Ermittlung des geometrischen Aufbaus von Russ-Primärpartikeln und Validierung der Simulation des Russbildungs-Mechanismus:

Schlussbericht; Ineichen, B.; BFE; 12.2000; 63 S., SFr. 30.00 Nr. 200176

Erarbeitung eines thermodynamisch basierten Modellierungsverfahrens für den Otto-DI Verbrennungsprozess:

Jahresbericht 2000; Boulouchos, K.; Schänzlin, K.; Koch, Th.; BFE; 01.2001; 39 S., SFr. 20.00 Nr. 210023

Turbulente, chemisch reaktive Strömung in Motorbrennräumen:
Jahresbericht 2000; Boulouchos, K.; Frouzakis, C.; Lee, J.; BFE; 01.2001; 7 S., SFr. –
Nr. 210024

Flammstruktur und NOx-Bildung in turbulenten Vormischflammen:
Jahresbericht 2000; Herrmann, K.; Boulouchos, K.; BFE; 01.2001; 7 S., SFr. –
Nr. 210025

Modellierung und Validierung von reaktiven, instationären 2-Phasenströmungen:
Jahresbericht 2000; Schneider, B.; Kunte, S.; Ineichen, B.; Boulouchos, K.; BFE; 01.2001; 8 S., SFr. –
Nr. 210026

Common-Rail Brennverfahren für EURO-III und EURO-IV taugliche Nutzfahrzeugdieselmotoren:
Jahresbericht 2000; Bertola, A.; Boulouchos, K.; BFE; 01.2001; 6 S., SFr. –
Nr. 210027

Demonstration eines optischen Sensors zur Unterstützung der Entwicklung von schadstoffarmen motorischen Verbrennungssystemen:
Jahresbericht 2000; Schubiger, R.; Boulouchos, K.; Ineichen, B.; BFE; 01.2001; 6 S., SFr. –
Nr. 210028

Erarbeitung von Grundlagen für innovative Brennverfahren und motorische Arbeitsprozesse:
Jahresbericht 2000; Boulouchos, K.; BFE; 01.2001; 7 S., SFr. –
Nr. 210029

Bâtiments

Thermoaktive Bauteilsysteme tabs:
Handbuch; Koschenz, M.; Lehmann, B.; BFE; 07.2000; 102 S., SFr. 60.00
Nr. 200172

Bois

Automatische Holzheizungen: Grundlagen und Technik:
Bericht; Nussbaumer, Th.; Good, J.; Jenni, A.; Bühler, R.; BFE; 01.2001; 110 S., SFr. 50.00
Nr. 200140

Automatische Holzheizungen: Planung und Ausführung:
Bericht; Nussbaumer, Th.; Good, J.; Jenni, A.; Bühler, R.; Gabathuler, H.-R.; BFE; 01.2001; 175 S., SFr. 50.00
Nr. 200141

Machbarkeitsstudie mit Wirtschaftlichkeitsberechnung: Wärme-kraftkopplung mit Holz:
Schlussbericht; Abbühl, H.P.; Reinhardt Holz AG; BFE; 12.2000; 58 S., SFr. 30.00
Nr. 200159

Auslegungsgrundlagen für Holzfeuerung:
Jahresbericht 2000; Nussbaumer, Th.; Bruch, Chr.; BFE; 12.2000; 4 S., SFr. –
Nr. 200164

Kontinuierliche Teermessung mittels FID bei Holzvergaser:
Jahresbericht 2000; Hasler, Ph.; Nussbaumer, Th.; BFE; 12.2000; 1 S., SFr. –
Nr. 200165

Grundlagen zur Teerbildung bei der Holzvergasung:
Jahresbericht 2000; Nussbaumer, Th.; Morf, Ph.; BFE; 12.2000; 8 S., SFr. –
Nr. 200166

International Energy Agency Bioenergy Agreement, Task 19 Biomass Combustion:
Jahresbericht 2000; Nussbaumer, Th.; BFE; 12.2000; 5 S., SFr. –
Nr. 200167

Grundlagen der Aerosolbildung bei Holzfeuerung:
Jahresbericht 2000; Oser, M.; Nussbaumer, Th.; BFE; 12.2000; 8 S., SFr. –
Nr. 200168

Praxiserhebung über Partikel- und Stickoxidemissionen automatischer Holzfeuerungen:
Jahresbericht 2000; Hasler, Ph.; Nussbaumer, Th.; BFE; 12.2000; 7 S., SFr. –
Nr. 200169

Énergie nucléaire: recherche réglementaire en sécurité

Stress corrosion crating of reactor pressure vessel steels under boiling water reactor conditions:
Eurocorr 2000, 10.–14. September, 2000; Heldt, J.; Seifert, H.P.; PSI; 12.2000; 10 S., SFr. 15.00
Nr. 200177

Strain-induced Corrosion Cracking of Low Alloy Reactor Pressure Vessel Steels in Oxygenated High Temperature Water:
ICG-EAG 2000; Heldt, J.; Seifert, H.P.; PSI; 12.2000; 26 S., SFr. 15.00
Nr. 200178

Spannungsrissskorrosion von Stählen für Reaktorkomponenten in Heisswasser:
Schlussbericht; Seifert, H.P.; Heldt, H.; Ineichen, U.; Tirbonod, B.; Tschanz, U.; BFE; 02.2000; 43 S., SFr. 20.00
Nr. 200179

Modelling of the Stress Corrosion Cracking Behaviour for Low Alloy Steels in High Temperature Water:
PSI-Bericht Nr. 00–08, ISSN 1019–0643; Tirbonod, B.; PSI; 11.2000; 114 S., SFr. 50.00
Nr. 200180

Transfert du radiocobalt rejeté par la centrale de Mühleberg dans les systèmes aquatiques de l'Aar et du lac de Bienne (Suisse):
Hydroécol. Appl. (1999) Tome 1/2 Vo. 11, pp. 1–28; Albrecht, A.; 11.2000; 28 S., SFr. 15.00
Nr. 200184

Impact of Preferential Flow on Radionuclide Distribution in Soil:
Environmental Science & Echnology, Vol. 34, No. 18, 2000; Bundt, M.; Albrecht, A.; Froidevaux, P.; Blaser, P.; Flühler, H.; 11.2000; 5 S., SFr. –
Nr. 200185

Photovoltaïque

A sunny outlook for solar power: Can new dye-sensitised ceramics outperform silicon cells?:

Artikel; Hodgson, S.; Wilkie, J.; Material World; 08.2000; 4 S., SFr. – Nr. 200136

New generation of Hybrid Solar PV/T collectors:

Final Report DIS 56360/16868; LESO-PB EPFL; Enecolo AG; Ernst Schweizer AG; BFE; 06.2000; 55 S., SFr. 30.00 Nr. 200148

Increasing the Deposition Rate of Microcrystalline and Amorphous Silicon Thin Films for Photovoltaic Applications – Phase IV: 1997 – 1999:

Final Report DIS 2755/63180; CRPP EPFL; BFE; 06.2000; 17 S., SFr. 15.00 Nr. 200149

Mikromorphe Solarzellen, basierend auf amorphem und mikrokristallinem Silizium:

Schlussbericht DIS 19431/59014; Shah, A.; BFE; 08.2000; 49 S., SFr. 20.00 Nr. 200150

Qualitätssicherung von Photovoltaikanlagen:

Schlussbericht DIS 2744/61703; Graf, J.-D.; Häberlin, H.; BFE; 07.2000; 88 S., SFr. 40.00 Nr. 200151

Centrale di prova per componenti e sistemi per progetti nel campo della tecnica fotovoltaica: TISO – periodo V: 1997 – 1999:

Rapporto finale DIS 2183/60154; Camani, M.; Travaglini, G.; Cereghetti, N.; Chianese, D.; Rezzonico, S.; BFE; 02.2000; 108 S., SFr. 40.00 Nr. 200152

Chaleur ambiante/Couplage chaleur-force

Kostengünstige Niedrigtemperaturheizung mit Wärmepumpe:

Phase 3: Messungen an drei Funktionsmustern, Benutzereinfluss, Vergleich verschiedener Heiz- und Regelkonzepte: Schlussbericht; Afjei, Th.; Betschart, W.; Bonvin, M.; Geering, H.P.; Ginsburg, S.; Keller, P.; Shafai, E.; Wittwer, E.; Zweifel, G.; BFE; 12.2000; 118 S., SFr. 50.00 Nr. 200142

Internationale Zusammenarbeit in Normengremien im Jahr 2000:

Schlussbericht; Afjei, Th.; Montani, A.; Eggenschwiler, K.; BFE; 12.2000; 39 S., SFr. 30.00 Nr. 200143

Oil migration on single and two stage heat pump systems:

Calibration tests and process design Phase 1: Intermediate Report; Zehnder, M.; Favrat, D.; BFE; 12.2000; 34 p., SFr. 20.00 Nr. 200144

Dynamischer Wärmepumpentest: Phase 1, Etappe 3; Modellansatz für die prüftechnische Charakterisierung der Minderwärmeproduktion: Schlussbericht; Shafai, E.; Zogg, D.; Ehrbar, M.; Wirth, L.; BFE; 11.2000; 35 S., SFr. 20.00 Nr. 200145

Regelung des Swiss Motors für den Einsatz in der Praxis – Teilprojekt des Projektes Swiss Motor:

Schlussbericht; Nellen, Ch.; Boulouchos, K.; Schaer, Ch.; Onder, Ch.; BFE; 11.2000; 14 S., SFr. 15.00 Nr. 200146

Gekoppelte Kälte- und Wärmeerzeugung mit Erdwärmesonden: Handbuch zur Systemauslegung:

Schlussbericht; Good, J.; Huber, A.; Widmer, P.; Nussbaumer, Th.; et al.; BFE; 02.2001; 50 S., SFr. 20.00 Nr. 210001

Ölfreier CO₂-Kleinkompressor:

Jahresbericht 2000; Baumann, H.; BFE; 01.2001; 2 S., SFr. – Nr. 210008

Chauffage et climatisation à l'aide de l'air de l'alluvion ancienne dénoyée:

Rapport annuel 2000; Dériaz, Chr.; OFEN; 01.2001; 4 S., SFr. – Nr. 210009

Standardschaltungen für Kleinwärmepumpenanlagen:

Jahresbericht 2000; Afjei, Th.; BFE; 01.2001; 4 S., SFr. – Nr. 210010

Charakteristiken von Vielzellen- und Scrollkompressoren:

Jahresbericht 2000; Zingerli, A.; Ehrbar, M.; BFE; 01.2001; 6 S., SFr. – Nr. 210011

Kleinwärmepumpe mit Ammoniak, Phase 2:

Jahresbericht 2000; Kopp, Th.; BFE; 01.2001; 4 S., SFr. – Nr. 210012

Ausbau der Cal-Programme Phase 1: Konzept und Gebäude:

Jahresbericht 2000; Zweifel, G.; Stalder, M.; BFE; 01.2001; 4 S., SFr. – Nr. 210013

Pulsbreitenmodulation für Kleinwärmepumpen – Phase 2:

Jahresbericht 2000; Gabathuler, H.R.; BFE; 01.2001; 4 S., SFr. – Nr. 210014

Systemauslegung für Gewerbekälteanlagen mit Erdwärmennutzung

Jahresbericht 2000; Widmer, P.; BFE; 01.2001; 4 S., SFr. – Nr. 210015

Kurztestmethode für Wärmepumpenanlagen, Phase 5:

Jahresbericht 2000; Zogg, D.; Shafai, E.; BFE; 01.2001; 7 S., SFr. – Nr. 210016

Intégration énergétique de procédés discontinus à l'aide d'algorithmes génétiques (GABSOBHIN):

Rapport annuel 2000; Krummenacher, P.; BFE/OFEN; 01.2001; 4 S., SFr. – Nr. 210017

Pompe à chaleur air-eau à haute température (Phase 2):

Rapport annuel 2000; Zehnder, M.; OFEN; 01.2001; 3 p., SFr. – Nr. 210018

Abfalllösungsmittelbewirtschaftung in der chemischen Industrie:

Jahresbericht 2000; Jahn, Chr.; Hofstetter, Th.; BFE; 01.2001; 8 S., SFr. – Nr. 210019

Analyse und Modellierung des Energiebedarfs in Batch-Prozessen:

Jahresbericht 2000; Bieler, P.S.; BFE; 01.2001; 8 S., SFr. – Nr. 210020

Erweiterung des Programms WPCalc mit dem Erdsondenmodul EWS:

Jahresbericht 2000; Stalder, M.; BFE; 01.2001; 4 S., SFr. – Nr. 210021

Feldmessung einer Retrofit Wärmepumpe:

Jahresbericht 2000; Trüssel, D.; BFE; 01.2001; 2 S., SFr. – Nr. 210022

Bâtiments

Verwaltungsgebäude Buchenhof Aarau, Messkampagne des saisonalen Erdspeichers:

Schlussbericht 57908/17549; Widerkehr, S.; BFE; 12.2000; 25 S., SFr. 15.00
Nr. 200170

Optimisation d'un stockage de chaleur en dalle active dans un immeuble d'habitation:

Rapport final DIS 29789/69652; Fromentin, A.; Pahud, D.; Travaglini, G.; BFE; 11.2000; 58 S., SFr. 30.00
Nr. 200171

Photovoltaïque

PV-Dachintegration von Solarmodulen mit integriertem Inverter und Hybridnutzung am Schindeldach des Bauernhauses „Zaugg“, Band 1 (Bericht):

Schlussbericht DIS 20735/60338; Eckmanns, A.; Stucki, B.; BFE; 12.2000; 16 S., SFr. 15.00
Nr. 200154

PV-Dachintegration von Solarmodulen mit integriertem Inverter und Hybridnutzung am Schindeldach des Bauernhauses „Zaugg“, Band 2 (Anhang):

Schlussbericht DIS 20735/60338; Eckmanns, A.; Stucki, B.; BFE; 12.2000; 77 S., SFr. 30.00
Nr. 200155

SOLRIF (Solar Roof Integration Frame):

Schlussbericht DIS 29909/69804; Ruoss, D.; BFE; 12.2000; 68 S., SFr. 30.00
Nr. 200160

PVSYST 3.0: Ergonomie et fonctionnalité:

Rapport final DIS 21280/65847; Roecker, Chr.; Bonvin, J.; Mermoud, A.; BFE; 10.2000; 28 S., SFr. 15.00
Nr. 200161

Pilotanlage 2 kWp für modulintegrierte Wechselrichter:

Schlussbericht DIS 17222/56790; Crastan, V.; Haldi, R.; BFE; 11.2000; 30 S., SFr. 15.00
Nr. 200162

Kälte- und Wärme-Erzeugung mit Wärmepumpen und Erdwärmesonden im Restaurant Grauholz:

Schlussbericht Projekt-Nr. 31544; Huber, R.; BFE; 11.2000; 10 S., SFr. 15.00
Nr. 200163



das Energie-Netz

le réseau de l'énergie

la rete dell'energia

Bundesamt für Energie

Office fédéral de l'énergie

Ufficio federale dell'energia

Formulaire de commande des publications et services d'ENET

N° des publications	Titre	Nombre

ENET offre des services spéciaux aux entreprises

- ☐ Assistance au développement de produits et à l'innovation de produit, par de nouvelles technologies
- ☐ Solution de problèmes d'actualité (assistance scientifique et technique)

Société, organisation: _____

Nom: _____ Prénom: _____

Adresse: _____

NPA: _____ Lieu: _____

Téléphone: _____ Téléfax: _____

E-mail: _____

Pour commander:
● Formulaire de commande (à faxer)
ou
● Site Internet d'ENET: www.energieforschung.ch