

# UMGEBUNGS- UND ABWÄRME, WÄRME-KRAFT-KOPPLUNG

Überblicksbericht  
zum Forschungsprogramm 1999

**Martin Zogg**

[martin.zogg@bluewin.ch](mailto:martin.zogg@bluewin.ch) [www.waermepumpe.ch/fe](http://www.waermepumpe.ch/fe)

---



## Systemoptimierung

Versuchsanlage zur Erprobung von *FuzzyWatch*, einer neuen Methode zur Betriebsüberwachung und Fehlererkennung mit minimalem Messaufwand für Wärmepumpen und Kältemaschinen.

## Programmübersicht und Programmziele

Über 50 % des gesamten Endenergiebedarfs der Schweiz werden als Niedertemperaturwärme für Raumheizung, Warmwasserbereitung und industrielle Prozesse benötigt. Dieses Forschungsprogramm will die Wissenslücken schliessen, um in Zukunft einen wesentlich **höheren Anteil der Niedertemperaturwärme aus Umgebungswärme** (Luft, Erdboden, Grund- und Oberflächenwasser) **oder aus Abwärme gewinnen** zu können. Durch die Kombination von Elektrowärmepumpen mit effizienten Wärme-Kraft-Kopplungsanlagen oder modernen Kombikraftwerken aber auch mit fortgeschrittenen Absorptionswärmepumpen lassen sich gegenüber den üblichen Öl- und Gasheizkesseln **bereits heute 30% bis 50% an Brennstoffen einsparen** und damit die **CO<sub>2</sub>-Emissionen** entsprechend **reduzieren**. In Zukunft sind noch deutlich höhere Einsparungen möglich. Die Wärmepumpentechnologie in Kombination mit effizienter Stromproduktion hat deshalb nichts an Aktualität eingebüsst. Zur Verbesserung der Effizienz und der Betriebssicherheit und zur Reduktion der Kosten diese Systeme und einer energieoptimalen Konzeption industrieller Prozesse wurden im Jahr 1999 **die folgenden Hauptziele** verfolgt:

- **Wärmepumpen für den Sanierungsmarkt:** Erarbeiten von Grundlagen zur Entwicklung einer kostengünstigen Wärmepumpe für hohe Temperaturhübe;
- **Systemoptimierung:** Entwickeln neuer Methoden für die **Betriebsüberwachung**, das **Testen**, das **Optimieren** und das **Regeln** von Wärmepumpenheizungssystemen;
- **Prozessintegration:** Weiterentwickeln und Umsetzen der Methoden zur Reduktion des Energiebedarfs komplexer industrieller Prozesse und haustechnischer Anlagen.

## Durchgeführte Forschungsarbeiten und erreichte Ergebnisse

### WÄRMEQUELLEN UND WÄRMEÜBERTRAGUNG

Erdwärme ist nach Umgebungsluft die wichtigste Wärmequelle für Wärmepumpen. Für eine fundiertere Auslegung von **Erdwärmesondenanlagen** wurden im Vorhaben **Geothermische Eigenschaften des Schweizer Molassebeckens** [8] das PC-Programm *SwEWS* für die Berechnung der benötigten geothermischen Stoffwerte Wärmeleitfähigkeit, spezifische Wärmekapazität und Dichte des Erdbodens für die typischen Gesteine des Schweizer Molassebeckens entwickelt. Das in einem früheren Vorhaben für einzelne Erdwärmesonden ausgearbeitete **Berechnungsmodul EWS** wurde zum Erfassen von Erdwärmesondenfeldern ausgebaut und validiert [11]. Damit lässt sich das zeitliche Verhalten von Erdwärmesondenfeldern mit frei wählbarem Wärmeentzugsprofil über Jahrzehnte in kurzer Zeit berechnen. In einem weiteren Schritt ist der Einbau dieser Programme ins BFE-Auslegungsprogramm für Wärmepumpenheizanlagen *WPCalc* geplant. Zur **hydraulischen Auslegung** von Erdwärmesondenkreisläufen wurde eine Exceltabelle bereitgestellt [10].

### WÄRMEPUMPEN UND BLOCKHEIZKRAFTWERKE

In der Schweiz wird bereits jeder dritte Neubau mit Wärmepumpen beheizt. Im wesentlich grösseren **Sanierungsmarkt** kommt es dagegen erst zu gelegentlichem Wärmepumpeneinsatz. Das Hauptgewicht der Forschungs- und Entwicklungsanstrengungen wurde deshalb auf eine für den Sanierungsmarkt geeignete Wärmepumpe gelegt. Diese muss grosse Temperaturunterschiede zwischen der Wärmequelle und den Wärmebezügern mit hoher Effizienz bewältigen können. Sie muss auch bei tiefen Aussentemperaturen eine hohe Wärmeleistung aufweisen, um einen monovalenten Betrieb zu gewährleisten. Zur Erfüllung des BFE-Pflichtenhefts für die Entwicklung einer **Swiss Retrofit Heat Pump** sind deshalb Verbesserungen in Richtung eines zweistufigen Kreisprozesses nötig. Sie werden in mehreren Forschungsprojekten parallel angegangen. **Kreisprozesse mit Zwischeneinspritzung** wurden in [17] mit einem kommerziellen Scrollkompressor und in [19] mit einem Prototypen eines neuen Scrollkompressors untersucht. In [21] wurden unterschiedliche **Enteisungsarten** an einer Luft/Wasser-Versuchswärmepumpe mit Zwischeneinspritzung verglichen. Der Lösung des Problems der **Schmierölwanderung** insbesondere in Kreisprozessen mit zwei Kompressoren wird in einem Folgeprojekt nachgegangen [20]. Nach den vielversprechenden Ergebnissen einer Computersimulation wurde ein Funktionsmuster eines Wärmepumpenprozesses mit **separatem Kreislauf zur Kondensatunterkühlung** gebaut und in Betrieb genommen. Diese Variante brachte gegenüber konventionellen Kleinwärmepumpenprozessen bei grossen Temperaturhüben eine Erhöhung der Leistungszahl um 5 bis 10% und der Wärmeleistung um gut 20%. [23]. Nach zahlreichen Rückschlägen wurde ein neues Funktionsmuster einer **Kleinwärmepumpe mit Ammoniak** als Arbeitsmedium gebaut und erfolgreich in Betrieb genommen. Ammoniak weist bei ökologischer Unbedenklichkeit

ausgezeichnete Stoffwerte auf. Den Eigenschaften und der optimalen Betriebsweise des hier eingesetzten drehzahlvariablen **Flügelzellenverdichters** mit Zwischeneinspritzung wird in [5] auch für andere Arbeitsmittel nachgegangen.

Die Forderung nach der Verwendung natürlicher Kältemittel wurde in zwei Projekten hinterfragt. In einer umfassenden Ökobilanz [3] wurde die **Umweltverträglichkeit natürlicher Kältemittel** mit den heute üblichen Fluorkohlenwasserstoffen (FKW) für Wärmepumpen [34], Kaltwassersätze, Solesätze und die Supermarktkühlung verglichen. Dabei werden die Kältemittelverluste, die Stromerzeugung für den Betrieb, die Herstellung sowie die Entsorgung der Anlagen einschliesslich der Kältemittel und der Transporte berücksichtigt. Im zweiten Vorhaben [1] wurden die mit der Verwendung von Ammoniak oder Kohlenwasserstoffen in Wärmepumpen und Kälteanlagen verbundenen **Risiken analysiert**. Daraus werden die **rechtlichen Konsequenzen** bei der Verwendung dieser Kältemittel für die schweizerische Gesetzgebung abgeleitet.

Viele BHKW-Anlagen erreichen die bei der Planung vorausgesetzte Jahresbetriebszeit nicht. Im Projekt zur **Betriebsoptimierung von Blockheizkraftwerken** [2] verdeutlichte eine Sensitivitätsanalyse den dominierenden Einfluss des bei der Planung oft überschätzten Wärmeleistungsbedarfs. Die eigentliche Betriebsoptimierung nach dem vorgeschlagenen Vergleich zwischen den Planungs- und den realen Betriebsdaten kann erst nach einem entsprechenden Ausbau des Programms *WKKCalc* erfolgen.

## SYSTEMOPTIMIERUNG

Beim üblichen taktenden Betrieb von Wärmepumpen (und Kältemaschinen) können erhebliche Leistungs- und Leistungszahleinbussen auftreten. Diese sollen künftig bei Wärmepumpentypenprüfungen ebenfalls erfasst und in Ausleistungsprogrammen berücksichtigt werden. Als Grundlage zum Verständnis dieser Taktverluste wurde eine detaillierte physikalische Modellierung der sich beim **An- und Abfahren von Wärmepumpen** abspielenden Vorgänge durchgeführt [4]. Aus den gefundenen Abhängigkeiten wurde eine empirische Funktion für die Taktverluste vorgeschlagen. Modell und Näherungsfunktion werden in der Folgephase [15] getestet. In dieser wird auch ein einfaches, aus der Kurztestmethode entwickeltes Modell mit wenig Anpassungsparametern erprobt werden. Dabei soll ein **Vorschlag für ein Testprozedere** ausgearbeitet werden. Für die entsprechenden Versuche wird eine Doppel-Klimakammer gebaut.

Ziel des Forschungsvorhabens **Kurztestmethode für Wärmepumpenanlagen** [25] ist es, die wichtigsten Anlagekenngrössen von Heizungssystemen mit Wärmepumpen aus möglichst wenigen, kostengünstigen Betriebsmessungen an installierten Anlagen in kurzer Zeit zu bestimmen. Damit soll eine bessere Betriebsoptimierung und Regelung sowie die laufende Betriebsüberwachung mit Fehlererkennung erreicht werden. Für spätere Phasen ist die Umsetzung in die Praxis durch die Spezifikationen eines Einbausets für Wärmepumpen und eines Diagnosesets für den temporären Anschluss eines externen Computers für weitergehende Diagnosen geplant. In der 4. Projektphase [16] wurde mit **FuzzyWatch** eine neue Methode zur Betriebsüberwachung von Wärmepumpen und Kältemaschinen entwickelt und an einer Wärmepumpe in einem Laborprüfstand erprobt. Dabei konnten mit einem Minimum an Temperatursensoren durch manuelle Eingriffe in der Versuchsanlage erzeugte Fehler zuverlässig erkannt werden.

Versuche über eine Heizperiode in einem Einfamilienhaus bestätigten die folgenden Vorteile der modellbasierten **Pulsbreitenmodulation** [7] gegenüber einer konventionellen aussentemperaturgeführten Rücklaufregelung: längere mittlere Laufzeit der Wärmepumpe, höherer Betriebsanteil bei Niedertarif, gezielter Wärmepumpeneinsatz für die Warmwasserbereitung zwischen den Heizbetriebsperioden, einfachere Benutzereingriffsmöglichkeit, Betrieb der Umwälzpumpe nur bei eingeschalteter Wärmepumpe, als externer Sensor genügt ein Aussentemperaturfühler - ein Raumtemperatursensor wird nicht benötigt. Fernziel ist eine Regelung, welche die massgebenden Einflussgruppen nach einer Inbetriebnahmephase selbst identifiziert und dann die Wärmepumpe automatisch mit diesen Parametern optimal regelt.

**Niedrigenergiehäuser** zeichnen sich durch einen hohen Wärmebedarfsanteil für die Warmwasserbereitung aus. Auch grosse Fensterflächen gegen Süden zur Erhöhung der passiven Solarenergienutzung wirken sich stärker aus als bei konventionellen Bauten. Um das Ziel eines hohen Komforts kostengünstig und mit möglichst geringer Umweltbelastung zu erreichen, werden im Projekt **Kostengünstige Niedrigtemperaturheizung mit Wärmepumpen** durch Gesamtsystemüberlegungen entsprechende Lösungen für die Praxis aufgezeigt [26]. Aufgrund der theoretischen Überlegungen und der Laborversuche in den Phasen 1 und 2 wurden in der laufenden Phase 3 drei Funktionsmuster (Sole/Wasser-, Luft/Wasser- und Luft/Luft-Wärmepumpe) mit neuen Niedrigenergiehäusern gebaut und in der Heizsaison 98/99 detailliert ausgemessen [13]. Nach den ersten Erfahrungen wurden diverse Verbesserungen angebracht. Die Versuche werden mit den drei modifizierten Anlagen in der Heizsaison 99/00 weitergeführt. Die resultierenden verallgemeinerbaren Aussagen werden in der parallel laufenden Phase 4 in einem technischen **Handbuch für Planer** von Wärmepumpenheizungsanlagen für Niedrigenergiehäuser [14] zusammengefasst.

In der Erzeugung von **Gewerbekälte** steckt ein erhebliches Energiesparpotential. Es lässt sich nutzen durch direkte Verwendung der Abwärme der Kältemaschinen und saisonal verschobene Nutzung über Wärmepumpen durch Pufferung der Kältemaschinenabwärme in Erdwärmespeichern. Eine entsprechende Pilotanlage wurde analysiert und mit Computersimulationen nachgebildet [25]. Im kommenden Jahr wird ein Planungshandbuch zur Konzeption und Auslegung solcher Anlagen ausgearbeitet.

Im Bereich der **Abwärmenutzung** konzentrierten sich unsere Forschungsbemühungen auf die energetische Integration von Batch-Prozessen, die komplexere Haustechnik und die Lösungsmittelbewirtschaftung. Bei der **Integration von Batch-Prozessen** [18] wurden vorhandene Methoden (Omnium Verfahren, Permutationsmethode, Pinch-Methode) anhand industrieller Fallbeispiele verglichen. Für die in Batch-Prozessen oft nötige indirekte Wärmeübertragung wurde die Pinch-Methode erweitert und die Modellierung mit den mathematischen Methoden der nichtlinearen Programmierung und durch genetische Algorithmen angegangen. Die systematische Konzipierung thermischer Anlagen der **komplexeren Haustechnik** mit der in der Prozesstechnik bewährten Pinch-Methode wurde am Beispiel eines Laborbaus entwickelt und erprobt [9]. Sie hat sich über die Erfassung typischer Betriebszustände als durchführbar – aber auch als recht aufwendig erwiesen. Lösungsmittel sind in der Prozesstechnik energetisch besonders relevant. In einem neuen Projekt wird deshalb ein Leitfaden zur **energetisch und ökologisch optimalen Behandlung verbrauchter Lösungsmittel** ausgearbeitet [22]. Im Berichtsjahr wurde eine systematische Analyse des Ist-Zustandes der Behandlung von Abfall-Lösungsmitteln in der schweizerischen chemischen Industrie durchgeführt.

## Nationale und internationale Zusammenarbeit

Die bedeutenden Forschungsaktivitäten des Energieforschungsfonds der Schweizerischen Gasindustrie **FOGA** wie auch der Forschungsfonds der Erdölvereinigung **FEV** im Bereich der Wärme-Kraft-Kopplung erlaubte uns eine Konzentration der beschränkten Mittel auf den Wärmepumpenbereich. Unsere Anstrengungen für eine thermodynamisch sinnvollere Erzeugung der Niedertemperaturwärme wird auch mit dem Projekt- und Studienfonds der Elektrizitätswirtschaft **PSEL** koordiniert. Der **PSEL** unterstützte mit dem BFE, den Nordostschweizerischen Kraftwerken **NOK** und dem Elektrizitätswerk der Stadt Zürich **EWZ** die Qualitätssicherung bei Wärmepumpen durch Beiträge an das **Wärmepumpentest- und Ausbildungszentrum Töss**. In der Fördergemeinschaft Wärmepumpen Schweiz **FWS** arbeiten das BFE, Branchenverbände von Planern und Installateuren, Hersteller von Wärmepumpen, Elektrizitätswerke und Dienststellen von Kantonen zur Verbreitung zuverlässiger und effizienter Wärmepumpenheizungsanlagen zusammen. 1999 wurde das Gütesiegel für Wärmepumpen erstmals verliehen. Der Qualitätssicherung dienen auch die diversen Weiterbildungskurse der **FWS**. Die Herbsttagung 1999 des **WKK-Fachverbands** befasste sich mit den Chancen und den Problemen der dezentralen Erzeugung elektrischer Energie in liberalisierten Märkten.

Die **internationale Zusammenarbeit** erfolgte vorwiegend durch **bilaterale Kooperation** mit Nachbarländern und durch Mitarbeit in Projekten der **Internationalen Energieagentur IEA**. Zwischen der **FWS** und den entsprechenden Organisationen in Deutschland und Österreich finden regelmässige **Dreiländertreffen** statt. Das Interesse der *Electricité de France* **EdF** an unserer Wärmepumpentechnologie konkretisierte sich durch die Übernahme des BFE-Planungsprogramms **WP-Calc** und die Erprobung unserer Heizkörperwärmepumpe. Eine weitere Zusammenarbeit bahnt sich im Bereich der Wärmepumpenentwicklung für den Sanierungsmarkt an. Eine **englische Delegation** liess sich in der Schweiz über die Aktivitäten der **FWS** und des **BFE** zur Förderung der Wärmepumpenheiztechnologie orientieren. Im Rahmen der schweizerischen Beteiligung am **IEA Heat Pump Programme HPP** fand 1999 in Berlin die sechste **IEA Heat Pump Conference** statt [30]. Wir konnten dabei ein internationales Publikum über unserer Forschungstätigkeiten im Bereich der Systemoptimierung orientieren [28]. Am Workshop zum Thema „Natural working fluids – a challenge for the future“ stellte die Schweiz die Ergebnisse aus [1] zur Diskussion. Innerhalb des **Swiss National Teams** [12] fand wiederum ein reger nationaler und internationaler Informations- und Gedankenaustausch auch im Bereich der für Wärmepumpen relevanten Normung statt. Die im HPP-Projekt **Compression Systems with Natural Working Fluids** unter aktiver Beteiligung der Schweiz erarbeiteten Planungsgrundlagen für die Anwendung natürlicher Kältemittel sind nun im Schlussbericht [29] verfügbar. Eine Teilnahme schweizerischer Firmen an den verstärkten internationalen Anstrengungen um **CO<sub>2</sub>** als Arbeitsmedium [32] und um die Verbesserung der Absorptionsaggregate [31] war bisher nicht zu initiieren. Entsprechend kam ein Beitritt der Schweiz zu den vielversprechenden neuen HPP-Projekten **Advanced Supermarket Refrigeration** und **Selected Issues on CO<sub>2</sub> as a Working Fluid in Compression Systems** noch nicht zustande. Nebst diesen IEA-Aktivitäten sichert das **BFE** die Teilnahme der Schweiz an dem für die Forschung und Entwicklung in der Wärmepumpen- und Kältetechnik wichtigen **International Institute of Refrigeration IIR**.

Im Rahmen der internationalen Zusammenarbeit im **IEA-Implementing Agreement on Process Integration** fand unter aktiver schweizerischer Beteiligung die erste **internationale Konferenz zur Prozessintegration** statt [31]. Leider konnte das Schweizer Projekt **Process Integration Methodologies accounting for Sustainability Factors** infolge zu

unterschiedlicher Auffassungen der Teilnehmerländer noch nicht gestartet werden.

## Transfer in die Praxis

Da an den meisten der ohnehin sehr anwendungsnahen Projektarbeiten private Firmen beteiligt sind, ist die **direkte Zusammenarbeit mit der Privatwirtschaft** sehr eng. Die im Jahr 1999 bearbeiteten Forschungsarbeiten sind **gute Grundlagen für eine industrielle Weiterentwicklung zu neuen Produkten**, dienen einer **besseren Auslegung** und einem **optimaleren Betrieb** von Wärmepumpenheizungssystemen. Die Arbeiten zur Prozessintegration ermöglichen die **Reduktion des Energiebedarfs verfahrenstechnischer Prozesse** und komplexer haustechnischer Anlagen. Mit den in der Fachpresse und in der **Internetseite** des Forschungsprogramms publizierten **Kurzfassungen** des Programmleiters wird laufend auf die Resultate abgeschlossener Vorhaben hingewiesen. Zahlreiche P+D-Projekte helfen, das in der Forschung Erarbeitete in zuverlässig funktionierende Anlagen umzusetzen. Der Umsetzung von F+E sowie von P+D-Ergebnissen dienen auch die gut besuchte **6. UAW-Tagung des Bundesamts für Energie** vom Mai 99 [27], die gemeinsam mit dem BUWAL durchgeführte Herbsttagung 1999 *Natürliche Kältemittel – jetzt oder später?* des Schweizerischen Vereins für Kältetechnik SVK und die gemeinsam mit dem Forschungsbereich „Rationelle Energienutzung in Gebäuden“ durchgeführte Veranstaltung *Passive Kühlung mit Lufterdregistern und Erdwärmesonden* mit Berichten aus [8] und [11].

Das auch vom BFE unterstützte **Wärmepumpentest- und Ausbildungszentrum Töss** leistet einen erheblichen Beitrag zur Sicherung der Wärmepumpenqualität und zur Erhöhung der Effizienz der im Handel angebotenen Wärmepumpen. Die von der *FWS* organisierte *Sonderschau für die Wärmepumpenheizung* an der 30. Fachmesse für Altbaumodernisierung mit flankierenden Workshops in Zürich bot erneut eine ausgezeichnete Gelegenheit, die Vorteile der Wärmepumpenheizung einer grossen Besucherzahl zu zeigen. Die *FWS* sorgt durch **Ausbildung** der entsprechenden Fachleute, **Beratung**, die Verleihung des **Gütesiegels** und die Herausgabe diverser **Dokumente** und Formulare für eine Erhöhung der Qualität der Wärmepumpentechnik. Der immer noch geringe Bekanntheitsgrad der Methoden der **Prozessintegration** wurde durch die Lancierung eines vierten BFE-Kurses für Energiefachleute aus der Prozessindustrie begegnet.

## Ausblick auf 2000

Entsprechend dem **Konzept für die Jahre 2000 bis 2003** [35] dienen die für 2000 geplanten Forschungsarbeiten in erster Linie dem Schliessen von Wissenslücken zur Entwicklung einer effizienten und kostengünstigen **Wärmepumpe für den Sanierungsmarkt** sowie dem Testen und dem Vergleich erster Funktionsmuster der *Swiss Retrofit Heat Pump*. Ebenfalls hohe Priorität wird der **Systemoptimierung** beigemessen. Nebst den oben beschriebenen laufenden Forschungsarbeiten wird dazu die Standardisierung der hydraulischen Schaltungen von Kleinwärmepumpenanlagen mit Luft, Erdreich und Solarwärme als Wärmequelle in Angriff genommen. Auch das BFE-Auslegungsprogramm für Wärmepumpenheizungen WPCalc soll einer gründlichen Überarbeitung unterzogen werden. Neue nationale und internationale Projekte sind für das Einbringen ökologischer Aspekte in die Prozessintegration vorgesehen. Am 9. Mai 2000 führen wir die 7. öffentliche **UAW-Tagung** mit dem Thema „**Effizientere Wärmepumpenheizungen durch Optimieren des Gesamtsystems**“ durch. Programm und Anmeldung bei ENET.

## Projets P+D

Fabrice Rognon, chef du programme P+D

### PROGRAMME P+D13, CHALEUR AMBIANTE (POMPES A CHALUER)

Durant l'année écoulée, nous avons enregistré 6 demandes nouvelles dont 4 ont été acceptées. Pour les 2 restantes, nous attendons des compléments d'information avant de statuer définitivement. Le nombre de requête est en recul par rapport à l'année passée, mais le nombre de contacts pour des nouveaux projets est en nette augmentation, surtout en Suisse romande. Outre deux mandats, 30 installations se trouvent à des stades divers de réalisation. Elles se répartissent de la manière suivante:

Sources de chaleur	air	sondes géothermiques	nappe phréatique	lac, rivière / STEP
Nombre	7	10	6	3/2

Systèmes principaux	CCF+PAC	air/eau monovalente	air/eau avec appoint	Nappe phréatique/eau
Nombre	7	5	2	11
dont CAD	4	0	1	7
dont réseau de source de chaleur		0	0	2

Les rapports suivants sont parus en 1999 et sont disponibles auprès de NovaEnergie:

- 10575 Messungen an drehzahlregulierter Wärmepumpenanlage im Unterwerk SAK Bronschhofen
- 00377 Umbau einer Oelheizung auf eine Wärmepumpenanlage hoher Leistungszahl
- 29145 Gasmotor-Wärmepumpe mit Aarewasser in Hinterkappelen, langfristige Erfolgskontrolle
- 26524 Centre de développement pour pompes à chaleur d'Yverdon

Afin de susciter des projets, nous avons lancé en coordination avec l'action d'Energie 2000 "Energie dans les STEP" un mandat de recherche de sites pour l'implantation de pompes à chaleur utilisant la chaleur résiduelle des stations d'épuration des eaux. Un second mandat analyse les potentiels technico-économiques des pompes à chaleur de grandes puissances. Trois projets ont ainsi vu le jour en 1999.

A l'avenir, les priorités restent: la rénovation de chauffages existants, l'utilisation de fluides frigorigènes neutres pour l'environnement, l'amélioration du coefficient de performance et l'abaissement des coûts.

### PROGRAMME P+D05, COUPLAGE CHALEUR-FORCE

Durant l'année écoulée, nous avons enregistré 5 demandes nouvelles. 2 sont acceptées, 2 sont refusées et 1 est en discussion. Afin de stimuler le programme, nous avons octroyé un mandat de recherche de sites démonstratifs d'implantation dans des STEP de petites et très petites installations de cogénération (puissance électrique de quelques kW à quelques dizaines de kW) fonctionnant au biogaz. Cette étude est menée conjointement avec l'action d'Energie 2000 "Energie dans les STEP". Un premier projet a été mis en chantier fin 1999.

Outre le mandat susmentionné, les 3 des 4 projets en cours fonctionnent au gaz nature et un utilise du biogaz de STEP. Dans tous les cas, la chaleur est utilisée. Les rapports suivants sont parus en 1999 et sont disponibles auprès de NovaEnergie:

- 15568 Couplage chaleur-force de l'école hôtelière de Lausanne, mesures et transfert, rapport final
- 00026 Wärmeverbund Sarnen, Erfolgskontrolle

Afin d'encourager l'utilisation de groupes chaleur-force en combinaison avec des pompes à chaleur, nous avons en outre publié un cahier d'aide à la planification destiné aux ingénieurs: Pompe à chaleur indirecte à moteur à gaz, Eggen, B. Rapport final, juin 1999, disponible chez NovaEnergie.

Les grandes lignes du programme n'ont pas changé vu la modestie du budget: priorité absolue est donnée aux technologies nouvelles et aux carburants renouvelables. Lors d'utilisation de combustibles fossiles, le rendement électrique doit être supérieur à 33%.

### Liste der Projekte

- [1] M. Wolfer, E. Seitz, BASLER & HOFMANN, Zürich & H-J. Seiler, LEGAL RESEARCH AND CONSULTING, Münsingen: *Ammoniak und Kohlenwasserstoffe als Kältemittel: Risikoanalyse - Produkthaftpflicht und Strafrecht* (SB) ENET 9934024
- [2] M. Erb, DR.EICHER + PAULI AG, Liestal: *Betriebsoptimierung von Blockheizkraftwerken, Phase I: Vergleich von Planungs- und Betriebskenngrößen* (SB) ENET 9826563
- [3] R. Frischknecht, ESU-SERVICES, Uster: *Umweltrelevanz natürlicher Kältemittel - Ökobilanzen von Wärmepumpen und Kälteanlagen* (SB) ENET 9933303

- [4] B. Gubser, L. Wirth, M.Ehrbar, FH-Buchs: *Dynamischer Wärmepumpentest, Phase 1, Etappe 2 Modellbildung* (SB) ENET 9720132
- [5] A. Zingerli, M. Ehrbar, FH-Buchs: *Charakteristiken von Vielzellen- und Scrollkompressoren* (JB) ENET 9720132
- [6] Th. Kopp, FH-Rapperswil: *Kleinwärmepumpen mit Ammoniak - Phase 2: Kompressor- und Ammoniakfallentest* (JB) ENET 9719746
- [7] H.R. Gabathuler, H. Mayer, GABATHULER, Diessenhofen & E. Shafai, R. Wimmer, IMRT/ETH-Zürich: *Pulsbreitenmodulation für Kleinwärmepumpenanlagen, Phase I* (SB) ENET 9723972
- [8] W. Leu, GEOFORM, Winterthur & B. Keller, MENGIS+LORENZ, Luzern & Th. Mégel, MEGEL GEOWATT, Zürich & U. Schärli, L. Rybach, , INSTITUT FÜR GEOPHYSIK / ETH-Zürich: *PC-Programm für geothermische Eigenschaften des Schweizer Molassebeckens - Benutzerhandbuch zum Programm SwEWS* (SB) ENET 9723763
- [9] U. Hofstetter, HELBLING INGENIEURUNTERNEHMUNG, Zürich: *Einsatz der Pinch-Methode in der Haustechnik* (SB) ENET 9825230; *Foliensammlung Haustechnik* (SB) ENET 9919272
- [10] A. Huber, HUBER ENERGIETECHNIK, Zürich: *Hydraulische Auslegung von Erdwärmesondenkreisläufen* (SB) ENET 9934023
- [11] A. Huber, HUBER ENERGIETECHNIK, Zürich & D. Pahud, LASEN / EPF-Lausanne: *Erweiterung des Programms EWS für Erdwärmesondenfelder* (SB) ENET 9819227
- [12] Th. Afjei, INFEL, Zürich: *Internationale Zusammenarbeit im Rahmen des IEA Heat Pump Centre* (JB) ENET 986187
- [13] Th. Afjei, INFEL, Zürich: *Kostengünstige Niedrigtemperaturheizung mit Wärmepumpe, Phase 3: Test an Funktionsmustern* (JB) ENET 986187
- [14] Th. Afjei, INFEL, Zürich & W. Betschart, M. Dürig, P. Keller, G. Zweifel, FH Zentralschweiz, Horw & A.Bühning, FRAUNHOFER-INSTITUT FÜR SOLARE ENERGIESYSTEME, D-79100 Freiburg & S. Ginsburg, IMRT / ETH-Zürich & A. Huber, P. Widmer, HUBER ENERGIETECHNIK, Zürich: *Kostengünstige Niedrigtemperaturheizung mit Wärmepumpe, Phase 4: Technisches Handbuch* (ZB) ENET 9816187
- [15] E.Shafai, IMRT / ETH-Zürich: *Dynamischer Wärmepumpentest, Phase 1, Etappe 3 Messverfahren, experimentelle Erprobung* (JB) ENET 9933684
- [16] D. Zogg, E.Shafai, IMRT / ETH-Zürich: *Kurztestmethode für Wärmepumpenanlagen - Phase 4: Parameteridentifikation und Fehlerdiagnose für das Teilsystem Wärmepumpe* (SB) ENET 9817822
- [17] D. Trüssel, KÄLTE-WÄRME-TECHNIK, Belp: *Wärmepumpe mit Zwischeneinspritzung und Zwischendruckkühlung* (JB) ENET 9931783
- [18] P. Krummenacher, LENI / EPF-Lausanne: *Energy Integration of Industrial Batch Processes, phase 2*, (SB) ENET 9655360
- [19] F. Brand, LENI / EPF-Lausanne: *Pompe à chaleur air-eau à haute température, phase 1* (JB) ENET 9934445
- [20] M. Zehnder, D. Favrat, LENI / EPF-Lausanne: *Migration d'huile dans les pompes à chaleur* (JB) ENET 9933683
- [21] M. Zehnder, D. Favrat, LENI / EPF-Lausanne: *Pompe à chaleur biétagée à haute performance, phase 2* (SB) ENET 9710478

- [22] Ch. Jahn, LTC / ETH-Zürich: **Lösungsmittelbewirtschaftung in der chemischen Industrie** (JB) ENET 9931269
- [23] G. Reiner, SULZER FRIOTHERM, *Rothenburg*, M. Zehnder, D. Favrat LENI / EPF-Lausanne, E. Zahnd, J. Cizmar, FH-Burgdorf, C. Brugnoli, CRYOTHERM, *Toffen*, P. Reis, REIS ENGINEERING, *Sutz-Lattrigen*: **Wärmepumpe mit Hilfskreislauf zur Kondensatunterkühlung, Phase 2: Experimentelle Untersuchung** (SB) ENET 9824787
- [24] G. Reiner, SULZER FRIOTHERM, *Rothenburg* & E. Shafai, R. Wimmer, D. Zogg, IMRT/ETH-Zürich & H.R. Gabathuler, H. Mayer, GABATHULER, *Diessenhofen* & H.U. Bruderer, SATAG THERMOTECNIK, *Arbon*: **Kurztestmethode für Wärmepumpenanlagen - Phase 3: Messung, Modellierung und Erprobung der Parameteridentifikation** (SB) ENET 9657407
- [25] J. Good, VERENUM, Zürich: **Systemauslegung für Gewerbekälteanlagen mit Erdwärmenutzung** (JB) ENET 9933304

(JB) Jahresbericht 1999 vorhanden      (ZB) Zwischenbericht vorhanden      (SB) Schlussbericht vorhanden

## Referenzen

- [26] Th. Afjei: **Haustechnik von morgen**, Schweizer Ingenieur und Architekt, 117(99)33, 32/38; Der Wandel in der Haustechnik, Bulletin SEV/VSE 90(1999)24, 13/17.
- [27] F. Rognon (Hrsg.): **Wärmepumpen - heute und morgen**, Tagungsband zur 6.UAW-Tagung, BFE 1999, ENET-Artikel 30931
- [28] E. Shafai, S. Ginsburg, R. Wimmer, D. Zogg: **Validation of a model for a residential heat pump system based on short-period measurements**, R. Wimmer, E. Shafai, H.R. Gabathuler, H. Mayer: **Pulse-width modulation for low-power heat pump heating systems**, IEA Heat Pump Conference Berlin 1999.
- [29] F. Stene: **Guidelines for Design and Operation of Compression Heat Pump, Air Conditioning and Refrigeration Systems with Natural Working Fluids**, Final Report from Annex 22 of the IEA Heat Pump Programme, IEA Heat Pump Centre, Sittard 1998. ISBN 90-73741-31-9
- [30] M. Zogg: **6<sup>th</sup> International Energy Agency Heat Pump Conference 1999**, Gas-Wasser-Abwasser, 79(99)7, 619/620, Heizung Klima 26(99)9, 56/57.
- [31] M. Zogg: **International Sorption Heat Pump Conference 1999**. Gas-Wasser-Abwasser, 79(99)4, 342, Heizung Klima 26(99)5, 54/55.
- [32] M. Zogg: **IEA/IIR/IZW-Workshop on CO<sub>2</sub> Technology in Refrigeration, Heat Pumping and Air Conditioning 1999**, Heizung Klima 26(99)5, 56.
- [33] M. Zogg: **International Conference on Process Integration PI'99**; Conference Proceedings, Vol. 1: Papers, Vol. 2: Posters, Copenhagen 1999, SVK-Bulletin (99)4, 2.
- [34] M. Zogg: **Umweltrelevanz natürlicher Kältemittel in Wärmepumpen**, Heizung Klima 26(99)11, 36/41.
- [35] M. Zogg, F. Rognon: **Konzept 2000/2003 für das F+E und das P+D-Programm im Bereich Umgebungs-wärme, Wärme-Kraft-Kopplung**, Bundesamt für Energie 1999; M. Zogg: **Umgebungswärmenutzung, Wärme-Kraft-Kopplung**, Schweizer Ingenieur und Architekt, 117(99)47, 14/16; **Swiss research projects on heat pumps**, European Heat Pump News, 1(99)3, 5/8.