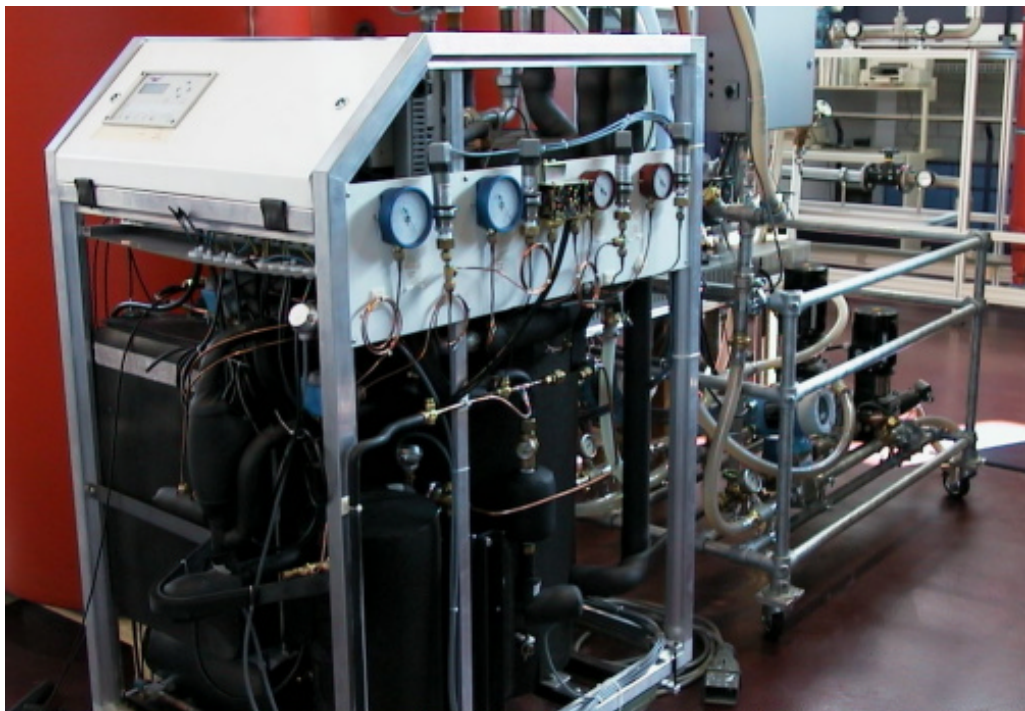


Jahresbericht 2001, 21. Januar 2002

# Programm Umgebungswärme, Abwärme, Wärme-Kraft-Kopplung Aktivitäten und Projekte 2001



**Bundesamt für Energie BFE**

Worbentalstrasse 32, CH-3063 Ittigen · Postadresse: CH-3003 Bern  
Tel. 031 322 56 11, Fax 031 323 25 00 · [office@bfe.admin.ch](mailto:office@bfe.admin.ch) · [www.energie-schweiz.ch](http://www.energie-schweiz.ch)

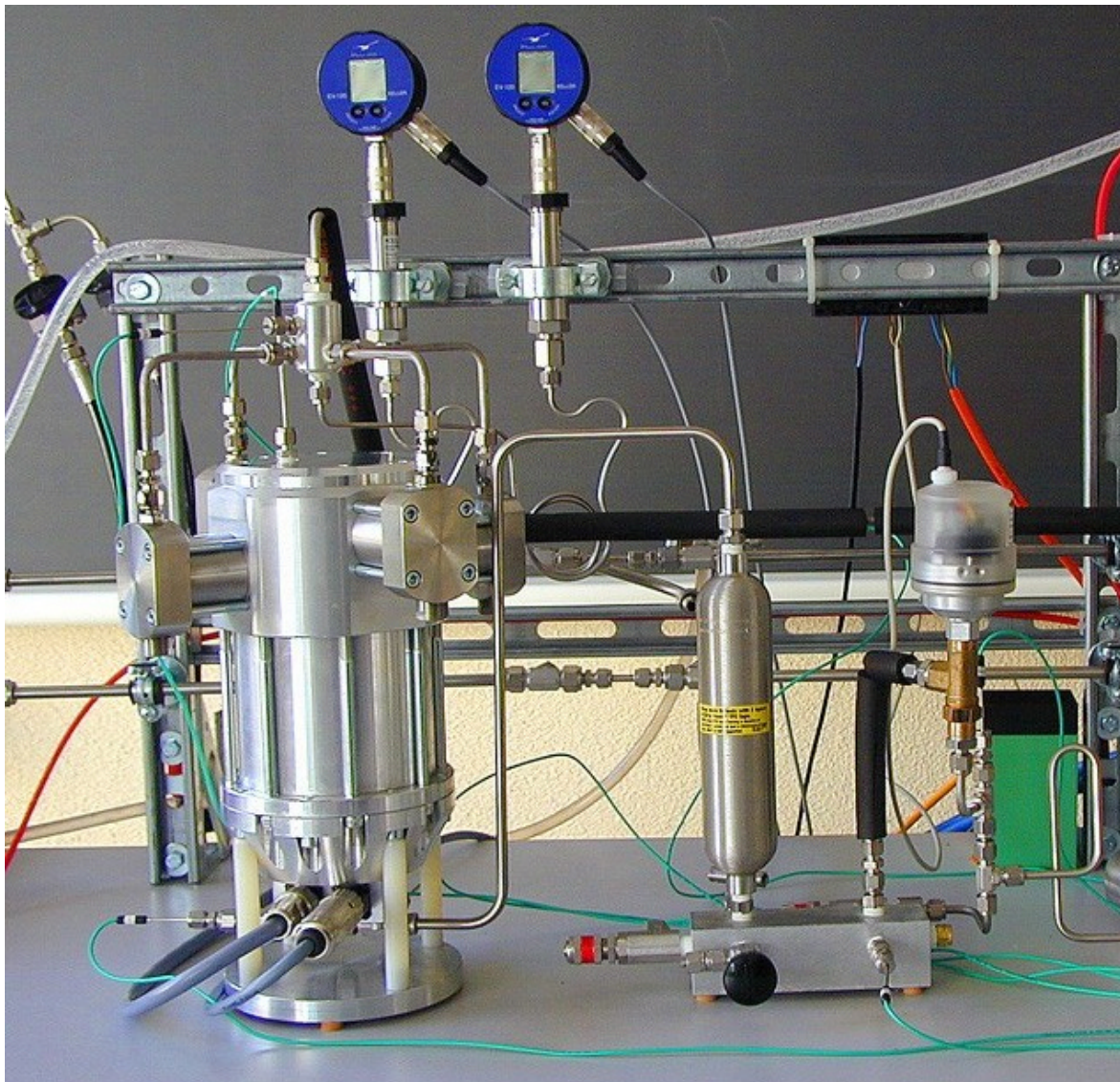
ENET-Bestellnummer: XYZ · ENET, Egnacherstrasse 69, 9320 Arbon

# UMGEBUNGSWÄRME, ABWÄRME, WÄRME-KRAFT-KOPPLUNG

Überblicksbericht zum Forschungsprogramm 2001

**Martin Zogg**

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



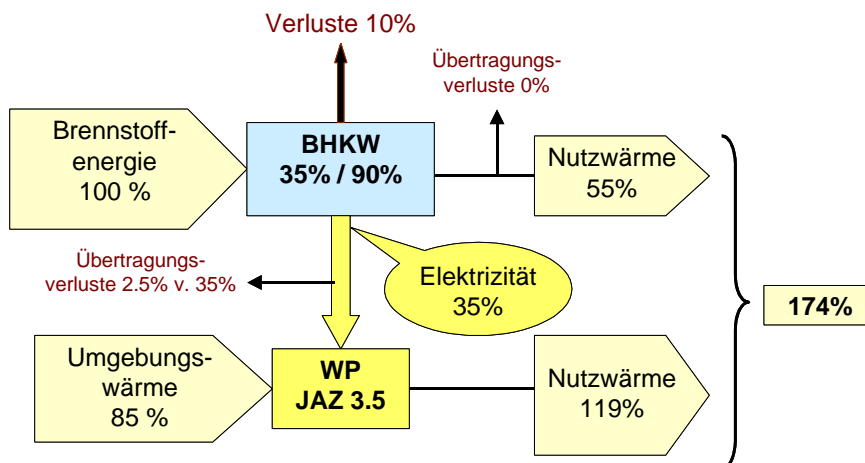
## **Kleinkompressor für Kohlendioxid**

Versuchs-Kolbenkompressor (links im Bild) für Kohlendioxid auf dem Prüfstand [ 1]. Der Kompressor ist die Schlüsselkomponente zur Entwicklung einer neuen Generation von Wärmepumpen mit natürlichem Arbeitsmittel zur Trinkwassererwärmung.

## Programmschwerpunkte und anvisierte Ziele 2001

Die Erzeugung von Niedertemperaturwärme für die Raumheizung, die Warmwasserbereitung und für industrielle Prozesse benötigt über die Hälfte des gesamten schweizerischen Endenergiebedarfs. Dieses Forschungsprogramm will Wissens- und Erfahrungslücken schliessen, um in Zukunft einen wesentlich höheren Anteil der Niedertemperaturwärme aus Umgebungswärme (Luft, Erdboden, Grund- und Oberflächenwasser) oder aus Abwärme zu gewinnen. Durch die Kombination von Kompressionswärmepumpen mit Wärme-Kraft-Kopplungsanlagen mit hohem elektrischem Wirkungsgrad oder modernen Kombikraftwerken 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**: Fig. 1. Und dies zu konkurrenzfähigen Wärmepreisen, wie der auf 38% gestiegene Anteil an Wärmepumpenheizungen in neu gebauten Einfamilienhäusern eindrücklich belegt. In Zukunft sind noch deutlich höhere Einsparungen absehbar (Näheres dazu in [ 30]). Im wesentlich grösseren Markt für Heizungssanierungen liegt der Wärmepumpenanteil noch unter 3%. Für eine deutliche Erhöhung sind noch bedeutende technische Weiterentwicklungen nötig. Die BFE-Energieforschung hat diese in den letzten Jahren forciert. Beachtliche Resultate liegen bereits vor ([ 28], [ 29]). Weitere Entwicklungsschritte werden folgen. Auch im Neubaubereich sind Verbesserung der Effizienz und der Betriebssicherheit sowie eine Reduktion der Kosten durchaus noch möglich. Im Jahr 2001 wurden deshalb in Umsetzung des Energieforschungskonzepts des Bundes die folgenden Hauptziele verfolgt:

- **Wärmepumpen für den Sanierungsmarkt:** Erarbeiten von Grundlagen zur Entwicklung effizienter Wärmepumpen für Temperaturhübe bis 75 K.
- **Systemoptimierung:** Entwickeln neuer Methoden für die Betriebsüberwachung, das Testen, das Optimieren und das Regeln von Wärmepumpenheizungssystemen; Erarbeiten von Standardschaltungen für kleine Wärmepumpenheizungssysteme bis 30 kW.
- Im Bereich **Abwärmenutzung:** Reduktion des Energiebedarfs komplexer chemischer Prozesse.



**Fig. 1:** Kombination eines Blockheizkraftwerks (BHKW) mit einer Kompressionswärmepumpe (WP). Gesamtwirkungsgrad des BHKWs 90%, elektrischer Wirkungsgrad 35%, Stromübertragungsverluste vom BHKW zur Wärmepumpe 2.5%, Jahresarbeitszahl der Wärmepumpe 3.5.

## Durchgeführte Arbeiten und erreichte Ergebnisse

### WÄRMEPUMPEN

Um einen echten Durchbruch der Wärmepumpe im Sanierungsmarkt zu erreichen, wurde das Hauptgewicht der Forschungs- und Entwicklungsanstrengungen auf eine für den **Sanierungsmarkt** geeignete Wärmepumpe gelegt. Diese muss auch grosse Temperaturunterschiede zwischen der Wärmequelle und den Wärmebezüglern mit hoher Effizienz, geringem Wärmeleistungsabfall und begrenzter Überhitzung des Arbeitsmittels im Kompressor bewältigen. Zur Erfüllung des BFE-Pflichtenhefts für die Entwicklung einer **Swiss Retrofit Heat Pump** (SRHP) wurden deshalb weitere Forschungsarbeiten durchgeführt. Das im Rahmen einer Ausschreibung zur SRHP erstplazierte Funktionsmuster wurde im Januar/März 2001 in einem ursprünglich mit einem Ölkessel beheizten Haus aus den Fünfzigerjahren erprobt [ 3]. Diese Felderprobung zeigte noch einen erheblichen Verbesserungsbedarf bei der Einbindung ins konventionelle Wärmeverteilsystem mit Heizkörpern und beim unkonventionellen Teilsystem zur indirekten Wärmeentnahme aus der Umgebungsluft. Durch einen neuen Wärmeträger konnte der Pumpenergiebedarf in diesem Teilsystem ohne Einbussen bei der geringen Temperaturdifferenz zwischen der Aussenluft und der Verdampfungstemperatur des Arbeitsmittels erheblich reduziert werden [ 7]. In der Heizsaison 2001/2002 werden weitere detaillierte Messungen in zwei bisher mit Ölkesseln beheizten Wohnhäusern (Zweifamilienhaus, Baujahr 1958 und Einfamilienhaus, Baujahr 1810) durchgeführt. Beide weisen bei einer Aussentemperatur von  $-12^{\circ}\text{C}$  Vorlauftemperaturen um  $60^{\circ}\text{C}$  auf. In beiden Häusern übernimmt das Funktionsmuster der SRHP auch die Warmwasserbereitung. Die Einbindung der Funktionsmuster in die bestehenden Wärmeverteilsysteme mit Heizkörpern erfolgt mit Schaltungen nach [ 9]. Die detaillierten Feldversuche sollen zeigen, ob die vom BFE gestellten Anforderungen für eine SRHP auch im praktischen Betrieb erreicht werden.

In einem gemeinsamen Projekt mit Electricité de France wird eine anderer Variante einer **Retrofitwärmepumpe** mit Aussenluft als Wärmequelle entwickelt [ 17]. Auch diese beruht auf einer Economizerschaltung. Sie wurde aber mit einem speziell für das Zwischenansaugen von verdampftem Arbeitsmittel ausgelegten Prototyp-Scrollkompressor ausgerüstet. Unter Einschluss von Ventilator und Steuerung wurde damit ohne Abtauen eine Leistungszahl von 3.1 bei Luft  $2^{\circ}\text{C}$  / Wasser  $50^{\circ}\text{C}$  und von 2.02 bei  $-12^{\circ}\text{C}$  /  $65^{\circ}\text{C}$  erreicht. Dies entspricht einem Gütegrad von je 0.460! Mit lange andauerndem Abtaubetrieb beträgt der gemessene Gütegrad bei  $2^{\circ}\text{C}$  /  $50^{\circ}\text{C}$  immer noch 0.407. Im praktischen Betrieb scheint damit der vom BFE geforderte Gütegrad von 0.425 durchaus erreichbar. Zur Vereinfachung wurde das elektronische Expansionsventil für den Economizerteilstrom erfolgreich durch eine Kapillare ersetzt. Für den effizienteren Einsatz von Wärmepumpen im Sanierungsmarkt ist zu hoffen, dass der untersuchte Prototypkompressor bald in Serie produziert wird.

Die thermodynamisch noch bessere Lösung wären echt zweistufige Prozesse. Hier treten aber Probleme mit der Schmierung der beiden Kompressoren auf. Dem Phänomen der Verlagerung des Schmieröls wird in [ 20] vertieft nachgegangen. Die bisher entwickelten Modellvorstellungen vermögen die beobachtete Tendenz einer laufenden Reduktion des Ölinhalts im Kompressor der zweiten Stufe und einer entsprechenden Anreicherung im Kompressor der ersten Stufe bereits wiederzugeben.

Bei grossen Kälteanlagen und Wärmepumpen ist Ammoniak als hervorragendes natürliches Arbeitsmittel längst Stand der Technik. Im Hinblick auf den oft diskutierten Ausstieg aus den Fluorkohlenwasserstoffen wurde deshalb die Machbarkeit einer **Ammoniak-Kleinwärmepumpe** für den Sanierungsmarkt untersucht [ 8]. Nach der Überwindung zahlreicher Schwierigkeiten und Enttäuschungen wurde ein neues Funktionsmuster gebaut und in Betrieb genommen: Fig. 2. An diesem sollen in einer nächsten Projektphase detaillierte Messungen vorgenommen werden. Dabei soll auch der Einfluss der für eine spätere Kommerzialisierung noch nötigen rigorosen Vereinfachungen ermittelt werden. Ein besonderes Problem ist die starke Erwärmung des Ammoniaks während der Verdichtung. Es wurde deshalb ein Vielzellenkompressor (Flügelzellenkompressor) als Alternative zu den sonst bei Kleinwärmepumpen üblichen Scroll- und Hubkolbenkompressoren eingesetzt. Beim Vielzellenkompressor wird das Arbeitsmittel während der Verdichtung durch den hohen



Schmierömlauf gekühlt. In einem separaten Vorhaben [ 5] wurden die Charakteristiken dieses auch für andere Anwendungen interessanten Kompressors ausgemessen und wertvolle Betriebserfahrungen gesammelt.

**Fig. 2:** Versuchsanlage einer Ammoniakkleinwärmepumpe (aus [ 8]).

Falls die Wärmeabgabe über eine grössere Temperaturspreizung (z.B. Warmwasserbereitung, Trocknung) erfolgen kann, ist auch Kohlendioxid ein interessantes natürliches Kältemittel für Wärmepumpen. Schlüsselkomponente für entsprechende Wärmepumpen ist der Kompressor. Um die mit der hohen Löslichkeit von Schmieröl in überkritischem Kohlendioxid verbundenen Probleme zu umgehen, sollte der Kompressor möglichst ölfrei arbeiten. Als schweizerischer Beitrag zu einem Vorhaben im Rahmen der Internationalen Energieagentur (IEA) wurde deshalb ein ölfreier **Kleinkompressor für Kohlendioxid** entwickelt [ 1] (Titelbild). Die Neukonstruktion (4 Zylinder, Bohrung 10 mm, Hub 16 mm) wurde auf dem Prüfstand im Hinblick auf die Eignung für die Warmwasserbereitung getestet. Dabei wurde CO<sub>2</sub> von 35 bar auf überkritische 80 bis 150 bar und Temperaturen bis 190°C bei Drehzahlen von 750 bis 2900 Umdrehungen pro Minute und Leistungsaufnahmen von 150 bis 950 W verdichtet. Der gemessene isentrope Wirkungsgrad liegt trotz fehlender Schmierfilmdichtung zwischen Kolben und Zylinder im gleichen Bereich wie bei konventionellen Kompressoren. Dies ist ein beachtlicher Erfolg! Nach einer entsprechenden Weiterentwicklung zur Seriereife ist zu hoffen, dass aus dem Funktionsmuster bald ein Seriekompressor wird und dass die Produktion in der Schweiz erfolgen kann.

In einer Potenzialstudie [ 2] wurde die Nutzung durchlässiger **Schotterschichten als Wärmequelle** für Wärmepumpen und zur Raumkühlung untersucht. Leider erwies sich diese bisher nicht verwendete Wärmequelle nur in seltenen Sonderfällen zur Beheizung von Einfamilienhäusern als energetisch sinnvoll. Das BFE-Programmmodul EWS für die vereinfachte Computersimulation des zeitlichen Verhaltens von **Erdwärmesonden** wird in einem gemeinsamen Vorhaben mit dem PSEL (Projekt- und Studienfonds der Elektrizitätswirtschaft) durch einen Vergleich mit dem dreidimensionalen Simulationsprogramm Fracture der ETHZ und den Messergebnissen an einer Testanlage mit einer 265m tiefen Erdwärmesonde validiert [ 13]. Weiter soll in diesem Projekt die optimale Länge von Erdwärmesonden untersucht werden.

## SYSTEMOPTIMIERUNG

Infolge der Abhängigkeit der Effizienz und der Wärmeleistung von Wärmepumpen vom Temperaturhub (Temperaturdifferenz zwischen Wärmequelle und Heizungskreislauf) setzen gute Wärmepumpenheizungssysteme eine besonders sorgfältige Auslegung, eine eingehende Betriebsoptimierung und eine gute Regelstrategie mit Einbezug der Wechselwirkungen zwischen Gebäude, Wärmeverteilungssystem, Wärmespeichersystem, Wärmepumpe und Wärmequelle voraus. Hier sind noch bedeutende Fortschritte möglich.

Das weit verbreitete **Auslegungsprogramm WPCalc** für grössere Wärmepumpenanlagen wurde durch den Einbau des Berechnungsmoduls **EWS** für Erdwärmesonden erweitert [ 21]. Das Programm WPCalc ermöglicht eine bessere Erfassung des Wärmeentzugs aus dem Erdreich sowie die Berücksichtigung von zwei Gesteinsschichten mit unterschiedlichen Wärmeleitfähigkeiten. Es liefert nun auch eine grafische Darstellung der sich über ein ganzes Betriebsjahr einstellenden Erdwärmesonden-Austrittstemperatur. Für die bisherigen Benutzer des Programms ist im Jahr 2002 ein Gratisupdate über [ 30] vorgesehen. Für die Auslegungsprogramme WPCalc und **WKKCalc** für Blockheizkraftwerke wird eine gründliche Überarbeitung fällig. Dazu wurde aufgrund einer Benutzerumfrage eine ausführliche Anforderungsliste mit einer umfassenden Dokumentation zusammengestellt [ 6].

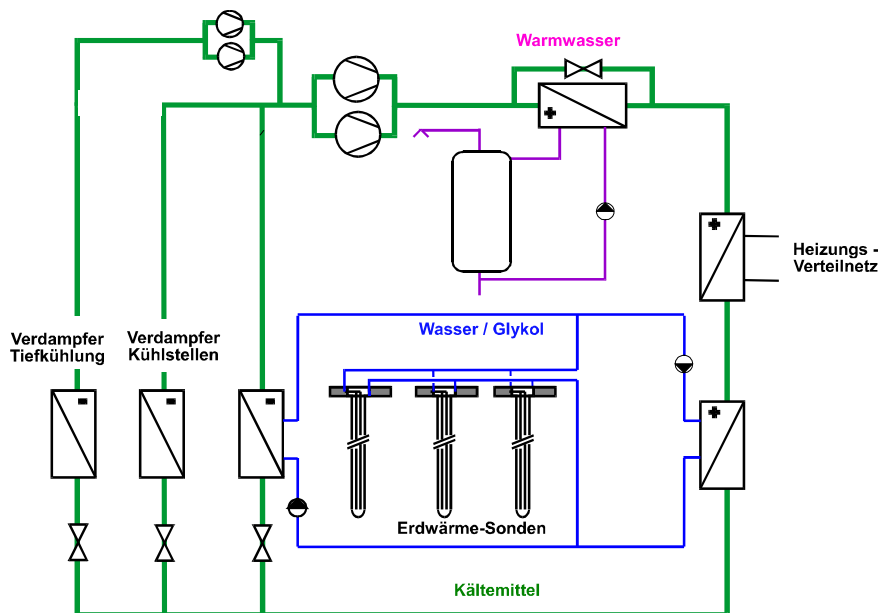
Aus Kostengründen können Kleinwärmepumpenanlagen nicht mit Simulationsprogrammen dimensioniert werden. Deshalb sollen für Kleinwärmepumpenanlagen bis 30 kW Heizleistung **Standardschaltungen** ausgearbeitet werden [ 9], [ 24]. Für diese werden aufgrund von Computersimulationen einfache Dimensionierungstabellen und Vorschriften für die Steuerung erarbeitet. Dies soll trotz geringem Planungsaufwand hohe Jahresarbeitszahlen der Wärmepumpenheizungen sicherstellen. Die Standardschaltungen wurden unter Einbezug der schweizerischen Hersteller und Anbieter von Wärmepumpen ausgewählt. Es werden sowohl Neubauten (Vorlauftemperatur bis 45°C) wie auch Sanierungsobjekte (Vorlauftemperatur bis 60°C) und unterschiedliche Warmwasserbereitungsmethoden berücksichtigt. Auch die thermische Solarenergienutzung soll einbezogen werden.

Die Anpassung der von Wärmepumpen abgegebenen Wärme an den Heizwärmebedarf erfolgt in der Regel durch taktenden Betrieb. Dabei entstehen bis zum Wiederaufheizen aller Komponenten der Wärmepumpe auf Betriebstemperatur Verluste. Die dadurch verursachte Minderleistung beim Takten ist ein in bisherigen Prüfungen nicht erfasstes Qualitätsmerkmal einer Wärmepumpe und sollte auch bei der Auslegung von Wärmepumpenheizungen durch Computersimulationen erfasst werden können. Die sich beim Takten von Wärmepumpen abspielenden Vorgänge wurden deshalb untersucht. Es wurde ein vollständiges Testprozedere für einen **dynamischen Wärmepumpentest** [ 4] entwickelt und an einer 10-kW-Wärmepumpe erprobt. Die Umsetzung in den praktischen Wärmepumpentest soll über [ 22] europäisch koordiniert werden.

Die Regelung von Wärmepumpen durch **Pulsbreitenmodulation** [ 10] beruht auf einer laufenden Bestimmung des Wärmebedarfs eines Gebäudes und einer zeitoptimalen Zufuhr dieses Wärmebedarfs durch die Wärmepumpe. Dieses Regelkonzept weist gegenüber der konventionellen aussentemperaturgeführten Rücklaufregelung erhebliche Vorteile auf (Näheres in [ 30]). Die Bestimmung des Wärmebedarfs kann im einfachsten Fall durch die Energiekennlinien eines Gebäudes erfolgen. Wesentliche Verbesserungen insbesondere bei Gebäuden mit geringer thermischer Trägheit und hohem Wärmegewinn durch Solarstrahlung sind durch physikalische Modelle zu erwarten. Diese erfassen die Einflüsse des Wärmeverteilungssystems, des Gebäudes und des Wetters. In der 2.Phase dieses Projekts werden entsprechende Regler durch Industriefirmen programmiert und in einem Einfamilienhaus während den Heizperioden 00/01 und 01/02 erprobt und mit der konventionellen witterungsgeführten Rücklauftemperaturregelung verglichen. Zur laufenden Ermittlung wesentlicher Parameter von Wärmepumpen und dem Erkennen allfälliger Fehlfunktionen während der Inbetriebnahme und im Betrieb wurden zwei **neue Fehlerdiagnosemethoden** entwickelt [ 14], [ 27]. Sie erleichtern die Betriebsoptimierung und geben beim späteren Betrieb Gewissheit über das

optimale Funktionieren der Wärmepumpe. Insbesondere erlauben sie aber die Auslösung eines Wartungseingriffs erst bei tatsächlichem Bedarf (zustandsorientierte Instandhaltung). Beide Methoden wurden in der fünften Projektphase an einer simulierten Wärmepumpe sowie anhand von Messungen an Wärmepumpen in einem Einfamilienhaus und auf zwei Prüfständen weiterentwickelt und erfolgreich erprobt. Die Methoden sind auch auf Kältemaschinen anwendbar. In einer nächsten Projektphase ist mit Beteiligung von Industriefirmen die Umsetzung in Wärmepumpensteuerungen vorgesehen.

In der geschickten Nutzung der Abwärme von Gewerbe- und Klimakälteanlagen zur Raumheizung und Warmwasserbereitung (Fig. 3) liegt gegenüber der noch häufigen getrennten Kälteerzeugung mit Rückkühlung und der Wärmeerzeugung mit Öl- oder Gaskesseln ein erhebliches Energiesparpotenzial. Kälte- und Wärmebedarf stimmen im Allgemeinen allerdings weder tageszeitlich noch saisonal überein. Das im Vorhaben **gekoppelte Kälte- und Wärmeerzeugung mit Erdwärmesonden** [ 12] ausgearbeitete Planungshandbuch zeigt das Auslegen von Wasserspeichern zum Ausgleich der tageszeitlichen Bilanzungleichgewichte und von Erdwärmesonden (beziehungsweise von Erdwärmesondenfeldern) zum Auffangen der saisonalen Bilanzunterschiede anhand eines Praxisbeispiels.



**Fig. 3:** Vereinfachtes Fließbild einer von der Firma KWT, CH-3123 Belp, für ein Restaurant ausgeführten Anlage zur gekoppelten Kälte- und Wärmeerzeugung mit direkter Verdampfung und kleinem Erdwärmesondenfeld (aus [ 12]).

### BLOCKHEIZKRAFTWERKE (BHKW)

Niedrigtemperaturwärme kann durch die Kombination BHKW-Wärmepumpen gemäss der Fig. 1 energieeffizient produziert werden. Für diese Kombination gibt es bereits einen erheblichen Überschuss der mit BHKWs produzierten elektrischen Energie gegenüber der von den Wärmepumpen konsumierten. Die Weiterentwicklung der konventionellen BHKW-Technik mit fossilen Brennstoffen und Verbrennungsmotoren wurde entsprechend der BFE-Strategie [ 23] zurückgestellt. Für den im Rahmen von BFE-Forschungsprojekten entwickelten emissionsarmen SwissMotor wird dagegen der Betrieb mit Biogas im Allgemeinen und mit Klärgas im Speziellen weiter verbessert. Ziel eines neuen Projekts [ 19] mit Unterstützung des Motoren- und des BHKW-Herstellers ist, mit der



Magermotorvariante des SwissMotors unter Einhaltung der schweizerischen Luftreinhalteverordnung einen mechanischen Wirkungsgrad von wenigstens 36% zu erreichen.

## VERFAHRENSTECHNISCHE PROZESSE

Bei der rationellen Energienutzung in verfahrenstechnischen Prozessen konzentrierten sich unsere Forschungsbemühungen auf die in der Schweiz wichtigen Batch-Prozesse und die Lösungsmittelbewirtschaftung. Die systematische Konzeption der Abwärmenutzung bei **Batch-Prozessen** gehört zu den schwierigsten Aufgaben der Prozessintegration. Während sich die Pinch-Methode für kontinuierliche Prozesse etabliert hat, kann sie auf Batch-Prozesse nur umständlich übertragen werden. Deshalb wurde ein neuer Lösungsansatz für die optimale Auslegung von Wärmeübertragernetzwerken mit **genetischen Algorithmen** verfolgt [ 18]. Dabei wurden Prozesse mit direkter Wärmeübertragung und Wärmezwischenspeicherung erfasst. Als Vorteile dieses Ansatzes erwies sich die für die Praxis wichtige Möglichkeit des Einbaus von Erfahrungsregeln – als Nachteile sind die hohe Rechenzeit und eine Instabilitätsgefahr bei der Lösungsfindung zu erwähnen. Auch bei der Verwendung genetischer Algorithmen muss das Lösungsverfahren in mehrere Teilschritte aufgeteilt werden. Die im Rahmen dieses Forschungsprojekts entwickelte Software muss für die Anwendung durch Ingenieure in der Praxis noch weiterentwickelt werden. Energiesparende Massnahmen werden nur dort durchgeführt, wo sie auch Wesentliches bringen. Deshalb werden **Batch-Prozesse** in Zusammenarbeit mit der chemischen Industrie anhand repräsentativer Fallbeispiele eingehend analysiert [ 15]. Infolge eines Brandes im untersuchten Produktionsgebäude musste auf ein anders Gebäude ausgewichen werden. Das Projekt erfuhr dadurch empfindliche Verzögerungen. Im Energiebedarf der chemischen Prozesstechnik spielen Lösungsmittel eine bedeutende Rolle. Nach einer detaillierten Analyse der **Lösungsmittelbewirtschaftung** in der chemisch-pharmazeutischen Industrie der Schweiz wurde mit dem ökologischen Vergleich zweier Optionen für Abfalllösungsmittelbehandlung begonnen [ 16]. Dabei wurden die Verbrennung eines Toluol-Methanol-Wasser-Gemisches in einer Sondermüllverbrennungsanlage und die Regeneration des Gemisches durch eine Rektifikation verglichen. Im untersuchten Fallbeispiel schnitt die Rektifikation günstiger ab als die Verbrennung.

## Nationale Zusammenarbeit

Da an den meisten der ohnehin sehr anwendungsnahen Projektarbeiten private Firmen beteiligt sind, ist die direkte Zusammenarbeit mit der Privatwirtschaft sehr eng. Mit den in der Fachpresse und in der Internetseite des Forschungsprogramms [ 30] publizierten Kurzfassungen des Programmleiters sowie den vollständigen Schlussberichten wird laufend auf die Resultate abgeschlossener Vorhaben hingewiesen. Der Umsetzung der Forschungsergebnisse diente auch die sehr gut besuchte 8. UAW-Tagung vom Mai 2001 [ 28]. Sie vermittelte die Ergebnisse laufender und abgeschlossener Projekte im Forschungsschwerpunkt „Wärmepumpen für die Heizungssanierung“ und gab Gelegenheit, das daraus entstandene Produkt einer zukunftsweisenden Retrofit-Wärmepumpe vorzustellen. In einem Seminar [ 25] wurden die Resultate früherer BFE-Forschungsprojekte zu Wärmepumpenheizungen für Niedrigenergie- und Passivhäuser mit Fachleuten aus der Praxis erörtert.

Die Zusammenarbeit mit dem Projekt- und Studienfonds der Elektrizitätswirtschaft **PSEL** für eine thermodynamisch sinnvollere Erzeugung der Niedertemperaturwärme wurde durch zwei gemeinsame Projekte [ 13], [ 21] intensiviert. Der PSEL unterstützte mit dem BFE und **mit dem Verband Schweizerischer Elektrizitätswerke VSE** die Qualitätssicherung von Wärmepumpen durch das Wärmepumpentestzentrum Töss. Dieses auch international anerkannte Prüfinstitut **wird durch das Elektrizitätswerk des Kantons Zürich EKZ** betrieben. Mit dem Energieforschungsfonds der Schweizerischen Gasindustrie **FOGA** und dem Forschungsfonds der Schweizerischen Erdölvereinigung **FEV** wurde die Reaktivierung der Weiterentwicklung der Diffusions-Absorptionswärmepumpe koordiniert. Die Aktivitäten des FOGA wie auch des FEV im Bereich der Wärme-Kraft-Kopplung

erleichterten uns eine Konzentration der beschränkten Mittel auf die Weiterentwicklung der Wärmepumpentechnik. In der Fördergemeinschaft Wärmepumpen Schweiz FWS arbeiten das BFE, Branchenverbände von Planern und Installateuren, Hersteller und Anbieter von Wärmepumpen, Elektrizitätswerke und Dienststellen von Kantonen zur Verbreitung zuverlässiger, effizienter und preiswerter Wärmepumpenheizungsanlagen zusammen. Nach dem bewährten Gütesiegel für Wärmepumpen wurde im Herbst 2001 ein Gütesiegel für Erdwärmesonden eingeführt. Zur Qualitätssicherung der ganzen Wärmepumpenheizungsanlage ist ein nationales Weiterbildungsmodul in Vorbereitung. Dank den gemeinsamen Anstrengungen der erwähnten Institutionen wurden in der Schweiz im Jahr 2001 gegen 40% aller Neubauten mit Wärmepumpen ausgerüstet und total 7835 Wärmepumpen in Betrieb genommen. Die Anliegen der dezentralen Erzeugung elektrischer Energie in liberalisierten Märkten durch Wärme-Kraft-Kopplung werden durch den **WKK-Fachverband** wahrgenommen.

## Internationale Zusammenarbeit

Die internationale Zusammenarbeit erfolgte im Jahr 2001 vorwiegend durch **bilaterale Kooperation** mit Nachbarländern [ 17], die Mitwirkung in für die Wärmepumpentechnik wichtigen internationalen europäischen Normengremien [ 23] und durch die Mitarbeit in Projekten der Internationalen Energieagentur IEA. **Zwischen der FWS und den entsprechenden Organisationen in Deutschland und Österreich finden regelmässige Dreiländertreffen statt. Die FWS ist assoziiertes Mitglied der European Heat Pump Association EHPA.** Im Rahmen der schweizerischen Beteiligung am **IEA Heat Pump Programme HPP** leisten wir mit dem Vorhaben [ 1] einen bedeutenden Beitrag zum IEA-Projekt Selected Issues on CO<sub>2</sub> as a Working Fluid in Compression Systems (Annex 27). Im Berichtsjahr wurde durch die Schweiz ein neuer IEA-Projektvorschlag zum Testen von Wärmepumpen zur kombinierten Raumheizung und Warmwasserbereitung ausgearbeitet. Nebst diesen IEA-Aktivitäten sichert das BFE die Mitgliedschaft der Schweiz an dem für die Forschung und Entwicklung in der Wärmepumpen- und Kältetechnik wichtigen International Institute of Refrigeration **IIR**.

## Pilot- und Demonstrationsprojekte (FV Überschrift 1)

Es gelten dieselben Richtlinien wie unter Durchgeführte Arbeiten und erreichte Ergebnisse aufgeführt.

## Bewertung 2001 und Ausblick 2002

Die im Konzept 2000/2003 für das F+E- und das P+D-Programm im Bereich Umgebungswärme, Wärme-Kraft-Kopplung [ 30] für das Jahr 2001 anvisierten Ziele konnten im Wesentlichen erreicht werden. Die gemeinsam mit Hochschulen und privaten Firmen bearbeiteten Forschungsarbeiten führten zu einer **neuen Generation von Wärmepumpen** für den Sanierungsmarkt ([ 1], [ 3], [ 5], [ 7], [ 8], [ 11], [ 17], [ 20]). Sie brachten bei der **Systemoptimierung** auch wesentliche Fortschritte auf dem Weg zu einer besseren Auslegung ([ 6], [ 9], [ 13], [ 21]) und einem optimaleren Betrieb ([ 4], [ 10], [ 12], [ 14]) von Wärmepumpenheizungsanlagen. Die teilweise gemeinsam mit der chemischen Industrie durchgeführten Arbeiten ([ 15], [ 16], [ 18]) lieferten wertvolle Erkenntnisse zur Reduktion des Energiebedarfs komplexer **chemischer Prozesse**. Die Internetseite des Forschungsprogramms [ 30] findet mit rund 1000 heruntergeladenen Dokumenten pro Monat eine erfreuliche nationale und internationale Beachtung. Zahlreiche P+D-Projekte helfen, das in der Forschung Erarbeitete in zuverlässig funktionierende Anlagen umzusetzen.

Bei der Herstellung und dem Vertrieb der im Rahmen des Forschungsprogramms entwickelten **neuen Wärmepumpengeneration** für den Sanierungsmarkt konnte das ursprüngliche Ziel einer Beteiligung aller schweizerischen Hersteller leider nicht erreicht werden. Ein bedeutender Hersteller verlagerte seine Produktion in Ausland. Der verbleibende schweizerische Hersteller fand einen potenten schweizerischen Partner für Marketing und Vertrieb.

Im Jahr **2002** sollen die erste Generation von Wärmepumpen für den Sanierungsmarkt aufgrund detaillierte Analysen des Verhaltens im realen Betrieb verbessert und weitere Grundsteine für eine zweite Generation mit natürlichen Kältemitteln gelegt werden. Bei der Systemoptimierung stehen Abschluss und Umsetzung der laufenden Vorhaben im Vordergrund. Neu sind Projekte zur Verbesserung des Abtauvorgangs bei Luft als Wärmequelle, der Analyse der Biofilmbildung bei Schmutzwasser als Wärmequelle, zur Entwicklung einer neuen Diffusionsabsorptionswärmepumpen, zur Neugestaltung der Calc-Programme sowie zum Test für Wärmepumpen mit kombinierter Heizung und Warmwasserbereitung vorgesehen.

## Liste der F+E-Projekte

(JB) Jahresbericht 2001 vorhanden

(SB) Schlussbericht vorhanden

ENET: Bestellnummer des Berichts bei ENET

Die Berichte können von [www.waermepumpe.ch/fe](http://www.waermepumpe.ch/fe) heruntergeladen werden

- [ 1 ] H. Baumann ([hpbaumann@bluewin.ch](mailto:hpbaumann@bluewin.ch)), BAUMANN ENGINEERING, Winterthur & FH Winterthur: **Ölfreier CO2-Kleinkompressor**, ENET 210125 (SB)
- [ 2 ] Ch. Dériaz ([gadz@gkb.com](mailto:gadz@gkb.com)), GEOTECHNIQUE APPLIQUEE DERIAZ, Petit-Lancy: **Chauffage et climatisation à l'aide de l'air de l'alluvion ancienne dénoyée**, ENET 210109 (SB)
- [ 3 ] J. Cizmar, E. Zahnd, FH Burgdorf & D. Trüssel ([trd@kwt.ch](mailto:trd@kwt.ch)) KWT KÄLTE-WÄRME-TECHNIK, AG, Belp: **Feldmessung einer Retrofit-Wärmepumpe**, ENET 210061 (SB)
- [ 4 ] B.Hubacher, M.Ehrbar ([ehrbar@ntb.ch](mailto:ehrbar@ntb.ch)), FH Buchs: **Dynamischer Wärmepumpentest, Phase 2 Validierung des Modellansatzes und Entwicklung einer Prüfprozedur**, ENET 210127 (SB)
- [ 5 ] A. Zingerli, M. Ehrbar ([ehrbar@ntb.ch](mailto:ehrbar@ntb.ch)), FH Buchs: **Charakteristiken von Vielzellen- und Scrollkompressoren**, ENET 210011 (SB)
- [ 6 ] G.Zweifel ([gzweifel@hta.fhz.ch](mailto:gzweifel@hta.fhz.ch)), M. Achermann, R. von Euw, FH Horw & M.Stalder, Stalder, Rifferswil & M.Erb, Eicher+Pauli, Liestal & E.Shafai, IMRT / ETH Zürich: **Ausbau der Calc-Programme, Phase 1: Konzept und Pflichtenheft**, ENET 210154 (SB)
- [ 7 ] Th. Kopp ([thomas.kopp@hsr.ch](mailto:thomas.kopp@hsr.ch)), M. Deller, K. Baschnagel, FH Rapperswil & D. Trüssel, KWT KÄLTE-WÄRME-TECHNIK AG, Belp & K. Eggenschwiler, EMPA Dübendorf: **Wärmequelle Luft für Retrofitwärmepumpen**, ENET 210164 (JB)
- [ 8 ] Th. Kopp ([thomas.kopp@hsr.ch](mailto:thomas.kopp@hsr.ch)), FH Rapperswil & NEK Umwelttechnik, Zürich & KAPAG, Zumikon & Ecopac, Herrliberg: **Kleinwärmepumpe mit Ammoniak, Phase 2: Bau eines Funktionsmusters**, ENET 210012 (SB)
- [ 9 ] Th. Afjei ([t.afjei@fhbb.ch](mailto:t.afjei@fhbb.ch)), U. Schonhardt, FH Muttenz & G. Zweifel, M. Achermann, R. von Euw, FH Horw, & H.R. Gabathuler, GABATHULER AG, Diessenhofen, & M. Erb,

- Eicher+Pauli, Liestal & P. Renaud PLANAIR, La Sagne: **Standardschaltungen für Kleinwärmepumpenanlagen**, ENET 210159 (JB)
- [ 10] H.R. Gabathuler, H. Mayer ([gabathuler.ag@bluewin.ch](mailto:gabathuler.ag@bluewin.ch)), GABATHULER, Diessenhofen & E. Shafai, R. Wimmer, IMRT/ETH Zürich: **Pulsbreitenmodulation für Kleinwärmepumpenanlagen, Phase 2**, ENET 210160 (JB)
- [ 11] H.R. Gabathuler, H. Mayer ([gabathuler.ag@bluewin.ch](mailto:gabathuler.ag@bluewin.ch)), GABATHULER AG, Diessenhofen & ROSCHI & PARTNER, Ittigen & KWT KÄLTE-WÄRME-TECHNIK AG, Belp & FH Burgdorf: **Messungen an Retrofit-Wärmepumpen, Phase 2**, ENET 210156 (JB)
- [ 12] A. Huber ([huber@igjzh.com](mailto:huber@igjzh.com)), P. Widmer, Huber Energietechnik, Zürich & Th. Nussbaumer, Verenum, Zürich & D.Trüssel, KWT KÄLTE-WÄRME-TECHNIK, AG, Belp & Ch.Schmid : **Gekoppelte Kälte- und Wärmeerzeugung mit Erdwärmesonden, Handbuch zum Planungsvorgehen**, ENET 210001 (SB)
- [ 13] Th. Kohl ([kohl@geo.phys.ethz.ch](mailto:kohl@geo.phys.ethz.ch)), S. Signorelli, Institut für Geophysik / ETH Zürich: **Validieren des Programms EWS und Optimieren der Erdwärmesondenlänge**, ENET 210155 (JB)
- [ 14] D. Zogg, E.Shafai ([shafai@imrt.mavt.ethz.ch](mailto:shafai@imrt.mavt.ethz.ch)), Institut für Mess- und Regeltechnik / ETH Zürich: **Kurztestmethode für Wärmepumpenanlagen - Phase 5: Test der Fehlerdiagnosesysteme**, ENET 210136 (SB)
- [ 15] P. S. Bieler, K. Hungerbühler ([hungerb@tech.chem.ethz.ch](mailto:hungerb@tech.chem.ethz.ch)), Laboratorium für technische Chemie / ETH Zürich: **Analyse und Modellierung des Energiebedarfs in Batch-Prozessen**, ENET 210162 (JB)
- [ 16] Th. Hofstetter, Ch. Capello, K. Hungerbühler ([hungerb@tech.chem.ethz.ch](mailto:hungerb@tech.chem.ethz.ch)), Laboratorium für technische Chemie / ETH Zürich: **Abfalllösungsmittelmanagement in der chemischen Industrie**, ENET 210161 (JB)
- [ 17] S. Guex, D. Favrat ([daniel.favrat@epfl.ch](mailto:daniel.favrat@epfl.ch)), Laboratoire d'énergie industrielle / EPF Lausanne, Electricité de France, Moret-sur-Loing, , SATAG THERMOTÉCHNIQUE, Arbon: **Pompe à chaleur air-eau à haute température, phase 2**, ENET 210018 (JB)
- [ 18] P. Krummenacher, D. Favrat ([daniel.favrat@epfl.ch](mailto:daniel.favrat@epfl.ch)), Laboratoire d'énergie industrielle / EPF Lausanne: **Intégration énergétique de procédés discontinus à l'aide d'algorithmes génétiques**, ENET 210144 (SB)
- [ 19] A. Roubaud, D. Favrat ([daniel.favrat@epfl.ch](mailto:daniel.favrat@epfl.ch)), Laboratoire d'énergie industrielle / EPF Lausanne: **BiogasMotor**, ENET 210164 (JB)
- [ 20] M. Zehnder, D. Favrat ([daniel.favrat@epfl.ch](mailto:daniel.favrat@epfl.ch)), Laboratoire d'énergie industrielle / EPF Lausanne: **Migration d'huile dans les pompes à chaleur**, ENET 210158 (JB)
- [ 21] M. Stalder ([m.stalder@energienetz.ch](mailto:m.stalder@energienetz.ch)), Ingenieurbüro Rifferswil & A. Huber, Energietechnik, Zürich & S.Albrecht, Informatik, Winterthur: **Erweiterung der Programms WPCalc mit dem Berechnungsmodul für Erdwärmesonden EWS**, ENET 210110 (SB)
- [ 22] S. Roth ([stefan.roth@axpo.ch](mailto:stefan.roth@axpo.ch)), A. Montani, Wärmepumpen-Testzentrum Töss, Winterthur & M. Ehrbar, FH Buchs & K. Eggenschwiler, EMPA Dübendorf: **Vertretung der Schweiz in Arbeitsgruppen des CEN TC113**, ENET 210163 (JB)

## Liste der P+D-Projekte

### Referenzen

- [ 23] **Die Wärmekraftkopplung im Programm EnergieSchweiz**, Strategie zur Wärme-Kraft-Kopplung, Bundesamt für Energie 2001, ENET ENET 210112, Download aus [ 23].
- [ 24] Th. Afjei: **Standard hydraulic circuits for small-scale heat pump plants**, IEA HPP / IPUHPC workshop „Hans-on Experiences with Heat Pumps in Buildings, 10-11 October 2001 Arnhem (NL).
- [ 25] Th. Afjei, A. Huber, A. Bühring: **Wärmepumpenheizung für Niedrigenergiehäuser**, gemeinsames Seminar der FH-Basel und der FWS, Muttenz, Juni 2001, ENET 210126.
- [ 26] P. Krummenacher: **Contribution to the Heat Integration of Batch-Processes**, Thèse, EPF Lausanne, 2001.
- [ 27] D. Zogg, E. Shafai, H.P. Geering: **A Fault Diagnosis System for Heat Pumps**, Preprints CCA-70, IEEE Joint International Conference on Control Applications (CCA) & International Symposium on Intelligent Control (ISIC), September 2001, Mexico City.
- [ 28] M. Zogg (Hrsg.): **Neue Wege zur Heizungssanierung mit Wärmepumpen**, Tagungsband zur 8.UAW-Tagung vom 8.Mai 2001, Bundesamt für Energie 2001, ENET 210047, Download aller Beiträge ab [ 30].
- [ 29] M. Zogg: **Wärmepumpen für die Heizungssanierung: Probleme und Lösungen**, Fachvorträge des Informationszentrums Wärmepumpen und Kältetechnik (IZW) an der Sonderschau Wärmepumpen der internationalen Messe für Kälte, Klima und Lüftung (IKK) 2001 am 11.Okt.01 in Hannover und [ 28] S. 11/19; Download ab [ 30].
- [ 30] **Internetsite des Forschungsprogramms [www.waermepumpe.ch/fe](http://www.waermepumpe.ch/fe)**. Rubrik „Berichte“: Download von Zusammenfassungen und der ausführlichen Schlussberichte durchgeführter Forschungsarbeiten; Rubrik „Publikationen“: Download von Publikationen des Programmleiters.