

Bereich
Umgebungswärme,
Wärme-Kraft-Kopplung

Konzept 2000/2003

für das F+E- und das P+D-Programm im Bereich
Umgebungswärme, Wärme-Kraft-Kopplung

ausgearbeitet durch
Dr. Martin Zogg, Leiter F+E-Programm
Kirchstutz 3, 3414 Oberburg
und
Fabrice Rognon, Leiter P+D-Programm
Bundesamt für Energie, 3003 Bern

im Auftrag des
Bundesamtes für Energie

Februar 1999

Das F+E- und P+D-Programm im Bereich Umgebungswärme, Wärme-Kraft-Kopplung möchte die Wissens- und Erfahrungslücken schliessen, um in Zukunft einen wesentlich höheren Anteil der **Niedertemperaturwärme aus Umgebungswärme und Abwärme** gewinnen zu können.

Die Ziele des **Programms 96/99** konnten im wesentlichen erreicht werden. Die Entwicklung von Absorptionswärmepumpensystemen musste infolge mangelnder Industriebeteiligung aus der Schweiz und einer Lizenzvergabe an einen holländischen Hersteller leider aufgegeben werden. Die Umsetzung kam dank einem hohen Anteil an gemeinsamen Projekten mit Hochschule und Privatwirtschaft, zahlreichen P+D-Projekten, diversen Ausbildungskursen und den Anstrengungen der Fördergemeinschaft Wärmepumpen gut voran.

An der Aktualität der Wärmepumpentechnologie und der BHKW-Wärmepumpen-Kombination mit ihrem **hohen und kurzfristig realisierbaren Potential bezüglich Reduktion der CO₂-Emission und des Bedarfs an fossilen Brennstoffen** hat sich nichts geändert. Um die **Zuverlässigkeit und den Wirkungsgrad** solcher Systeme zu **erhöhen**, deren **Preis zu senken** und die Fluor-Kohlenwasserstoff-Arbeitsmittel (FKW) durch **natürliche Arbeitsmittel** zu ersetzen, sind aber noch grosse Anstrengungen nötig. Während sich die Wärmepumpenheizung bei Neubauten mit einem Marktanteil von rund 37% (1997) erfreulich durchsetzt, ist das weit grössere Marktpotential der **Heizungssanierung** noch kaum erschlossen. In den Jahren **2000/2003** sollen deshalb **die nachstehenden Hauptziele** verfolgt werden:

- Entwickeln einer kostengünstigen monovalenten **Wärmepumpe hoher Effizienz** für den Sanierungsmarkt.
- Steigern der Effizienz und der Betriebssicherheit von Heizsystemen mit Wärmepumpen und Blockheizkraftwerken durch **neue Methoden zur Diagnose und Optimierung** und durch die Einführung eines **dynamischen Wärmepumpentests**.
- Entwickeln **neuer Regelstrategien** zur Erhöhung der Jahresarbeitszahl von Wärmepumpenheizungssystemen unter Berücksichtigung des Gesamtsystems Wärmequelle - Wärmepumpe – Wärmespeicher – Wärmeverteilsystem – Gebäude.
- Schliessen der Wissenslücken zur Verwendung **natürlicher Arbeitsmittel** in den Bereichen Arbeitsmittelverdichtung, Regelung, Reduktion des Flüssigkeitsbetriebsinhalts und Wärmetransport im Verdampfungs- und Kondensationsbereich.

Das Lösen aller anstehenden Aufgaben würde jährliche Aufwendungen allein im F+E-Bereich von ca. **3.25 MFr/a** bedingen. Da dies die verfügbaren Mittel übersteigt, ist vorgesehen, die im Abschnitt 2 aufgeführten Vorhaben im Rahmen der zur Verfügung gestellten Mittel nach Dringlichkeit - aber auch nach der Qualität der jeweils engagierbaren Forscherteams - auszuwählen.

1 Status

Die folgenden der im F+E-Programm 96/99 formulierten **Ziele** wurden **erreicht**:

Wärmequellen

- Klären des Nutzens von Erdregistern für **Luft/Wasser-Wärmepumpen**.
- Klären des Nutzens einer Sommerregeneration kleiner Erdwärmesondenfelder.
- Entwickeln und Testen eines Berechnungsmoduls für **Erdwärmesonden**.
- Untersuchen der Verdampfung mit Wärmeentzug aus der Luft durch **freie Konvektion** (stiller Verdampfer).

Wärmeübertragung

Verbessern der Berechnungsgrundlagen im Bereich des Wärmeübergangs und des Druckverlusts bei der **Verdampfung alternativer und natürlicher Arbeitsmittel** in Rohren mit und ohne Schmieröle.

Kompressionswärmepumpen

- Untersuchen **neuer Kleinwärmepumpen-Kreisprozesse** für die im Sanierungsmarkt geforderten hohen Temperaturhübe, und Untersuchen der Eignung von Ammoniak als Arbeitsmittel für Kleinwärmepumpen.
- Untersuchen **zweistufiger Kreisprozesse** für hohe Temperaturhübe bei Kleinwärmepumpen.
- Dynamischer Wärmepumpentest: Vorschlag einer neuen Messmethode.

Absorptions- und Stirlingwärmepumpen

- Untersuchen eines neuen Heizungskonzepts mit einer zentralen Absorptionswärmepumpe und dezentralen Kompressionswärmepumpen.
- Abschluss der Forschungsarbeiten an einer Freikolben-Stirling-Wärmepumpe.

Blockheizkraftwerke

- Entwickeln eines neuen Zündsystems für einen emissionsarmen **Gasmotor**.
- Erarbeiten einer Lösung zur externen Abwärmenutzung von **Mini-Brennstoffzellen-BHKWs**.
- Erproben von kostengünstigen Methoden zur **permanenten Emissionsüberwachung** von BHKWs.
- Experimentelle Untersuchung eines **Klein-BHKWs**.
- Entwickeln eines Lastreglers für einen **Stirling-Lineargenerator** als Mini-BHKW.

Systemoptimierung

- Ausarbeiten von Konzepten und Dimensionierungsgrundlagen für kostengünstige **Wärmepumpenheizungssysteme für Niedrigenergiehäuser**.
- Untersuchen der Vorteile der **Pulsbreitenmodulation** von Wärmepumpen gegenüber konventioneller Wärmepumpensteuerungen.
- Erste Schritte auf dem Weg zum Erfassen der realen Betriebskenngrößen von Wärmepumpenanlagen im Betrieb durch Modellbildung und **Parameteridentifikation**.
- **Validieren der Computersimulationsprogramme** WP-Calc, WKK-Calc und YUM-Holz.

P+D-Projekte (Fabrice Rognon)

Folgende Ziele des P+D-Programms Umgebungswärme und Wärme-Kraft-Kopplung wurden erreicht:

- Die direkte Umsetzung von F+E-Projekten wurde mehrmals realisiert.
- Die engere Zusammenarbeit mit dem Akteur-Netzwerk Fördergemeinschaft Wärmepumpen Schweiz wurde verwirklicht.
- Synergien mit der Beschleunigungsaktion Energie in ARA vom Ressort regenerierbare Energien von Energie 2000 wurden konkret genutzt.
- Schritte in Richtung einer monovalenten effizienten Wärmepumpe für den Sanierungsmarkt (Leistung unter 20kW) sind erfolgt.
- Die Steigerung der Effizienz der kleinen Wärmepumpen (Leistung unter 20kW) wurde nachgewiesen. Dies gilt insbesondere für Wärmepumpen Luft als Wärmequelle.
- Die Standardisierung von grösseren Wärmepumpen- und WKK-Anlagen hat deutliche Fortschritte gemacht. Dies widerspiegelt sich in den stets sinkenden Wärmegestehungskosten insbesondere bei grösseren Anlagen (bis 1'000kW).
- Die Kombination WKK-Wärmepumpe wurde mehrmals erfolgreich demonstriert. Dabei wurden Effizienz und Zuverlässigkeit markant erhöht.
- Neue Finanzierungskonzepte grösserer Projekte (Contracting) wurden initiiert.

Nicht erreicht wurden:

- Die Realisierung von 3 Projekten mit Absorptionswärmepumpen.
- Eine bessere Vereinheitlichung der Anschlussvorschriften insbesondere für grössere Projekte (Wärmeverbund).

Internationale Zusammenarbeit

Die **internationale Zusammenarbeit** fand im Bereich der **Wärmepumpenentwicklung** in erster Linie über die schweizerische Beteiligung im *Implementing Agreement for a Programme of Research, Development, Demonstration and Promotion of Heat Pumping Technologies* der **IEA** statt. Im Rahmen des Annex 17 hat die Schweiz wertvolle Beiträge zum Thema "Verdampfung" geleistet. Innerhalb des Annex 16 (Heat Pump Centre) haben die Mitglieder des Swiss National Teams zum nationalen und internationalen Erfahrungsaustausch beigetragen. Weiter erfolgte der internationale Wissens- und Erfahrungsaustausch durch das Mitwirken im Annex 22 (ökologisch verträgliche Arbeitsmedien) und im Annex 23 (Einzelraumwärmepumpen). Unsere Projektleiter und Projektmitarbeiter haben an zahlreichen internationalen Tagungen über ihre Ergebnisse orientiert.

2 Bedürfnisse, Ziele

An der Aktualität der Wärmepumpentechnologie und der BHKW-Wärmepumpen-Kombination mit ihrem **hohen und kurzfristig realisierbaren Potential bezüglich Reduktion der CO₂-Emission und des Bedarfs an fossilen Brennstoffen** hat sich nichts geändert. Durch die Kombination Blockheizkraftwerk (BHKW) / Elektrowärmepumpe mit einer Gasmotorwärmepumpe oder mit einer Absorptionswärmepumpe lassen sich gegenüber den üblichen Öl- und Gasheizkesseln **bereits heute 30 bis 45% an Brennstoffen einsparen und damit die CO₂-Emission entsprechend reduzieren**. Dasselbe gilt für die Kombination eines modernen Kombikraftwerks mit Elektrowärmepumpen: Bild 1.

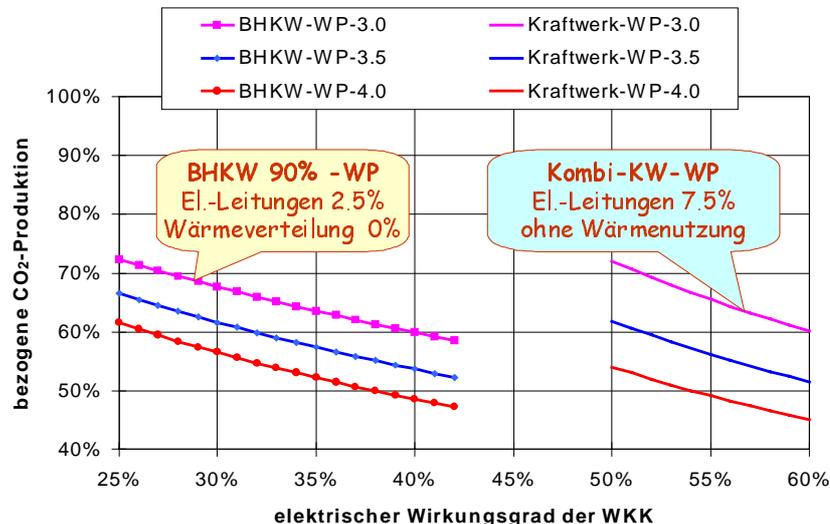


Bild 1: Verhältnis der CO₂-Produktion (bzw. des Brennstoffbedarfs) der Wärmeherzeugung mit WKK-WP-Systemen zu jener eines Kessels mit einem Nutzungsgrad von 100% (auf den unteren Heizwert bezogen) mit Berücksichtigung der Verluste in der elektrischen Nahübertragung. Rechter Bildteil: Kombination Kombikraftwerk (ohne Abwärmenutzung, elektrischer Wirkungsgrad 58%) - Wärmepumpe zum Vergleich.

Um die **Zuverlässigkeit und den Wirkungsgrad** solcher Systeme zu **erhöhen**, de-

ren **Preis zu senken** und möglichst auch die Fluorkohlenwasserstoff-Arbeitsmittel durch **natürliche Arbeitsmittel** zu ersetzen, sind noch grosse Anstrengungen nötig.

Während sich die Wärmepumpenheizung bei Neubauten mit einem Marktanteil von rund 37% (1997) erfreulich durchsetzt, liegt das weit grössere Marktpotential der **Heizungssanierung** noch brach. Deshalb ist die Entwicklung einer effizienten, kostengünstigen Wärmepumpe für den Sanierungsmarkt, die sogenannte *Swiss Retrofit Heat Pump (SRHP)*, das wichtigste Ziel für die Jahre 2000 bis 2003. Die *SRHP* soll gegenüber den heutigen Wärmepumpen

- eine **höhere Jahresarbeitszahl** bei **kleinerem Speichervolumen** erreichen,
- den Betrieb mit **Vorlauftemperaturen bis 60°C** ermöglichen,
- möglichst **natürliche Arbeitsmittel** verwenden und
- dank **modularem Aufbau**, gemeinsamer Entwicklung und **Serienproduktion** kostengünstiger werden.

Nach der Erprobung von zwei bis drei Funktionsmustern auf dem Prüfstand und durch Feldmessungen hoffen wir auf eine Unterstützung der weiteren Entwicklung zur Seriereife durch die KTI.

Soweit dazu die finanziellen und personellen Mittel ausreichen, sind daneben in den **Jahren 2000/2003 im Einzelnen die folgenden Probleme zu lösen** (thematisch geordnet; *Priorität 1*: unbedingt durchführen, *Priorität 2*: möglichst viele der aufgeführten Vorhaben sind durchzuführen - für einige bestehen IEA-Verpflichtungen, *Priorität 3*: wünschenswert - durchführen, wenn in 1 und 2 unvorhersehbare Hindernisse auftauchen):

Wärmeübertragung

- **Verbessern von Verdampfern und Kondensatoren:** Reduktion der mittleren Temperaturdifferenzen und des Holdups. Optimieren der Soleumwälz- bzw. der Gebläseleistung und des Abtauvorgangs. Schliessen entsprechender Wissenslücken in der Auslegung. Priorität 2

Kompressionswärmepumpen

- Erarbeiten von Grundlagen für eine **Swiss Retrofit Heat Pump:**
 - **neue Kreisprozesse** für gute Effizienz und Wärmeleistung bei hohem Temperaturhub
 - Komponenten mit **geringem Flüssigkeitsbetriebsinhalt**,
 - **intelligente Regelung** (Effizienz, Speichervolumen) mit Systemdiagnose,
 - **Sicherheitssysteme** für natürliche Arbeitsmittel,
 - Bau und Ausmessen von **Funktionsmustern**,
 - **Verallgemeinern** der Ergebnisse,
 - Erproben von Vereinfachungsmaßnahmen zur **Kostenreduktion**. Priorität 1
- **Dynamischer Wärmepumpentest** zum Erfassen der Leistungs- und COP-Minderung bei taktendem Betrieb, Test der Modellvorstellungen im Labor, Im-

plementieren in Töss, Vorschlag für eine entsprechende Abnahmenorm.

Priorität 1

- **Neue Technologie für das natürliche Arbeitsmittel CO₂:** Erarbeiten von Grundlagen zur Entwicklung von Wärmepumpen mit CO₂ als Arbeitsmittel.

Priorität 3

Absorptionswärmepumpen

- Experimentelle Analyse angekündigter ausländischer Fabrikate – insbesondere von Systemen mit der ursprünglich aus der Schweiz stammenden **Diffusions-Absorptionswärmepumpe**. Bei genügender Beteiligung eines schweizerischen Herstellers Erarbeiten von Grundlagen für eine Diffusions-Absorptionswärmepumpe höherer Leistung.

Priorität 3

Blockheizkraftwerke

- Effizienter **Teillastbetrieb** (variable Wärmeleistung), Systemoptimierung, Richtlinien. Priorität 2
- **Kurztestmethode / Fehlerdiagnose** (nach Abschluss der entsprechenden Arbeiten bei den Wärmepumpen). Priorität 2
- **WKK mit Biomasse**. Priorität 2

Systemoptimierung

- Kurztestmethode mit Parameteridentifikation zum Steigern der Effizienz und Betriebssicherheit von Heizsystemen mit Wärmepumpen (und später bei Erfolg auch von Blockheizkraftwerken). Entwickeln entsprechender Diagnose-, Optimierungs- und Regelungsmethoden zur **Systemoptimierung**. Erarbeiten von Grundlagen zum Verbessern der **Auslegung von Gesamtanlagen**.

Priorität 1

Zur Sicherstellung der Umsetzung sollen künftig anwendungsnahe Forschungsprojekte nur unterstützt werden, wenn bereits zu Beginn ein reales Interesse eines privaten Partners vorhanden ist und wenn dieser Partner auch bereit ist, am betreffenden Projekt aktiv mitzuarbeiten.

P+D-Projekte (Fabrice Rognon)

Die Prioritäten des F+E-Programms gelten auch für P+D-Projekte. Sie wurden durch aus Marktbeobachtungen stammende Stossrichtungen ergänzt. Je nach Anlagegrösse wurden deshalb teilweise andere Schwerpunkte gesetzt:

Für alle Leistungsklassen:

- Potential der Effizienzsteigerung ausschöpfen.
- Einsatz von schadstoffarmen WKK-Anlagen mit erneuerbaren Brennstoffen (z.B. Biogas bzw. Klärgas) fördern.
- Demonstration der Einsatzmöglichkeiten von schadstoffarmen WKK-Anlagen mit fossilen Brennstoffen mit einem elektrischem Wirkungsgrad über 33% und einem Jahresnutzungsgrad über 90%.

Für Anlagen unter 50kW_{th}:

- Zum Durchbruch im anspruchsvollen Sanierungsmarkt (höhere Effizienz bei hohen Vorlauftemperaturen und gegebenenfalls tiefen Quellentemperaturen) verhelfen.
- Demonstration der Einsatzmöglichkeiten von neuen, kostengünstigen, monovalenten Wärmepumpensystemen mit bedeutendem Anwendungspotential in Neubauten mit geringem Heizenergiebedarf.

Für Anlagen über 50kW_{th}:

- Weitere Demonstration der Kombination von WKK-Anlagen mit Wärmepumpen für örtliche getrennte Aggregate im gleichen Niederspannungsnetz.
- Standardisierungsgrad der Anlagen zwecks Verbilligung zur Marktreife bringen.
- Neue Konzepte für die Tarife der Primärenergien, für die Finanzierung (Wärmecontracting) und für die Substitution alter Systeme fördern.
- Hilfe zur Bildung substantzieller Wärmekollektive.
- Anschlussvorschriften vereinheitlichen.
- Bewilligungsverfahren für Wärmequellennutzung und Netzanschluss vereinfachen.
- Einhalten bestimmter Limiten für die spezifischen Wärmegestehungskosten.

3 Einbettung, Koordination, Umsetzung

Der die Wärmepumpen betreffende Teil dieses Programms ist ein wichtiges Glied in der Förderung regenerierbarer Energien. Diese Förderung umfasst im Wesentlichen folgende Themenbereiche und Institutionen:

Themenbereiche	Institutionen
Forschung und Entwicklung	Hochschulen, Fachhochschulen, Bund und Kantone
Pilot- und Demonstrationsanlagen	Bund und Kantone
flankierende Massnahmen:	

- Aus- und Weiterbildung	Bund, Kantone, Fachverbände, Fördergemeinschaft Wärmepumpen Schweiz (FWS)
- Schaffung von Planungswerkzeugen	Hochschulen, Fachhochschulen, Bund, Verbände
- Qualitätssicherung	Bund, Wärmepumpentestzentrum (WPZ), Fördergemeinschaft Wärmepumpen Schweiz (FWS)
- Marketing, Erfolgskontrollen, Behandlung von Tariffragen	Fördergemeinschaft Wärmepumpen Schweiz (FWS)
- Information Bauherren	Bund (Novaenergie), Kantone, Elektrizitätswerke
Lufthygienische Aspekte	BUWAL, Kantone

Die hohe Zahl der Beteiligten führt trotz dem gemeinsamen Ziel zu einem grossen Koordinationsbedürfnis. Alle Beteiligten müssen die Forschungs- und Entwicklungsergebnisse in einer Form erhalten, die ihnen ein möglichst rasches Erfassen der für sie relevanten Informationen erlaubt. Die Absichten der Programmleitung und die Resultate der Projekte bedürfen aber auch des kritischen Dialogs unter den Beteiligten. Dafür werden weiterhin Workshops zu den einzelnen Forschungsprojekten (in der Regel zu Beginn, beim Erreichen von Meilensteinen und vor der Abgabe des Schlussberichts) sowie Fachseminare durchgeführt. Die jährlich stattfindenden Übersichtstagen sind weiterzuführen.

Die Fördergemeinschaft Wärmepumpen Schweiz und die zentrale Fachstelle für die berufliche Aus- und Weiterbildung des BFE sind wichtige Institutionen zur Verbreitung und Umsetzung der F+E- und der P+D-Ergebnisse. Die enge Zusammenarbeit zwischen diesen Institutionen ist fortzuführen. Zu Verbesserung der Umsetzung in die Praxis ist eine weitere aktive Beteiligung von Industriepartnern an den F+E-Projekten anzustreben.

4 Internationale Zusammenarbeit

Die bisherige Zusammenarbeit im Bereich Wärmepumpen und Prozessintegration in der IEA ist weiterzuführen. Diverse Projekte konnten in diesem Rahmen bisher ohne übertriebenen administrativen Aufwand in internationaler Arbeitsteilung erfolgreich angegangen werden. Vom regen internationalen Erfahrungsaustausch profitieren auch unsere schweizerischen Aktivitäten.

Unsere Bemühungen zur Reduktion des Bedarfs an fossilen Brennstoffen und zur Reduktion der Emissionen werden durch unsere europäischen Nachbarn weit stärker gestützt, als durch die in der IEA ebenfalls wichtigen USA und Japan. Eine vermehrte Beteiligung am Forschungsprogramm der EU ist deshalb trotz unserer politisch schwierigen Lage anzustreben.

5 Erforderliche Mittel

Bei der Beurteilung des **Finanzbedarfs für das Forschungsprogramm** ist zu bedenken, dass der NEFF aufgelöst wurde und dass die Folgefonds PSEL, FEV und FOGA manche Programmbereiche nicht abzudecken vermögen. Aufgrund der Erfahrungen in den Jahren 96/99 ist für das fristgerechte Erreichen der in Punkt 2 genannten Ziele des Forschungs- und Entwicklungsprogramms mit den folgenden Aufwendungen in Millionen Franken zu rechnen (Details in der folgenden Tabelle):

(ohne Teuerung, mit IEA-Beiträgen)	2000 [MFr]	2001 [MFr]	2002 [MFr]	2003 [MFr]
Total wünschbar bis und mit den Vorhaben mit Priorität 3	3.25	3.25	3.25	3.25
Total minimal	2.15	2.15	2.15	2.15

Für das P+D-Programm Umgebungswärme und Wärme-Kraft-Kopplung ist die Einhaltung des Budgets auf dem Niveau vom 1998 notwendig.