



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Eidgenössisches Departement für
Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation UVEK
Bundesamt für Energie BFE

ENERGIEFORSCHUNGSPROGRAMM

WÄRMEPUMPEN, WÄRME-KRAFT- KOPPLUNG, KÄLTE

FÜR DIE JAHRE 2008–2011

Impressum

Datum: 24. Juli 2009

Autoren:

Prof. Dr. Thomas Kopp, c/o Hochschule für Technik HSR, 8640 Rapperswil tkopp@hsr.ch und
Andreas Eckmanns, Bundesamt für Energie, 3003 Bern, andreas.eckmanns@bfe.admin.ch

Begleitgruppe:

Kurt Rohrbach, BKW, CORE-Pate

Adrian Altenburger, SWKI

Dr. Hans Ulrich Bruderer, Viessmann AG

Ettore Conti, WKK-Fachverband

Pius Gruber, SVK

Prof. Dr. Walter Janach, FH-Vertreter

Dr. Richard Phillips, BFE Marktbereich

Im Auftrag des Bundesamt für Energie, CH-3003 Bern, Tel. 031 322 56 11, www.bfe.admin.ch

Bezugsort der Publikation: www.bfe.admin.ch/forschung/waermepumpe

Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung.....	4
Résumé	5
Summary	6
1. Einleitung	7
2. Ausgangslage	8
Stand der Technologie international und in der Schweiz	8
Weltweiter und Schweizer Markt	9
Potenziale in der Schweiz.....	9
3. Nationale Akteure.....	10
4. Internationale Zusammenarbeit	10
5. Technische und wirtschaftliche Zielsetzungen.....	11
6. Mitteleinsatz für die Forschung im Bereich Wärmepumpen, Wärme-Kraft-Kopplung, Kälte	11
Öffentliche Hand	11
Privatwirtschaft.....	11
7. Forschungsschwerpunkte in den Jahren 2008–2011	12
Wärmepumpen und Kälteanlagen	12
WKK-Anlagen	12
Standardisierung zur Senkung der Kosten	13
Die Schwerpunkte im Überblick.....	13
Schwerpunkt 1: Verbesserung von Komponenten und der thermodynamischen Kreisprozesse bei Wärmepumpen und Kälteanlagen	14
Schwerpunkt 2: Effizienzverbesserung bei WKK-Anlagen und Reduktion der Schadstoffemissionen	15
Schwerpunkt 3: Ganzheitliche Systemoptimierung von Wärmepumpen – WKK – Kälte – Speicherung.....	16
Schwerpunkt 4: Hocheffiziente Systeme für die Warmwasseraufbereitung.....	17
Schwerpunkt 5: Miniaturisierung und neue Wege für den Einbau von Heiz- und Kühlsystemen mit Wärmepumpen (plug and play)	18
Schwerpunkt 6: Umweltverträgliche Arbeitsmedien für Wärmepumpen und Kältemaschinen	18
Pilot- und Demonstrationsprojekte (P&D).....	18
8. Umsetzung der Ziele	19
Referenzen	20

Zusammenfassung

Das Forschungsprogramm Wärmepumpen, Wärme-Kraft-Kopplung, Kälte unterstützt die Entwicklung von modernen Heiz- und Kühlsystemen. Eine kurzfristige Reduktion des CO₂-Ausstosses um 50 % im Bereich Gebäudebeheizung ist möglich, indem der von Wärme-Kraft-Kopplungsanlagen produzierte Strom in Wärmepumpen eingesetzt wird, um Niedertemperaturnutzwärme zu erzeugen. Mittelfristig soll keine fossile Energie mehr für Heizzwecke eingesetzt werden. In der Kälteerzeugung und -anwendung sind gemäss Aussagen von Branchenvertretern heute schon Energiereduktionen von 25 % möglich. Der Weg zur Erreichung dieser Ziele führt über verbesserte Effizienz der Komponenten und eine optimale Systemintegration. Kostenreduktionen sind Voraussetzung um eine rasche Marktpenetration zu erreichen. Diese können u.a. durch Standardisierung der Systeme erreicht werden. Um die ehrgeizigen Ziele der Eidgenössischen Forschungskommission CORE zu erreichen, müssen die heute vorhandenen finanziellen Mittel erhöht werden.

Forschungsschwerpunkte für das Forschungsprogramm Wärmepumpen, WKK, Kälte:

1. **Verbesserung von Komponenten und der thermodynamischen Kreisprozesse bei Wärmepumpen und Kälteanlagen:** Komponentenverbesserungen bei Wärmepumpen; Verbesserungen der Kreisprozesse
2. **Effizienzverbesserung bei WKK-Anlagen und Reduktion der Schadstoffemissionen:** Effizienzverbesserung bei WKK-Anlagen; Reduktion von Schadstoffemissionen bei WKK-Anlagen
3. **Ganzheitliche Systemoptimierung von Wärmepumpen – WKK – Kälte – Speicherung:** Ganzheitliche Systembetrachtung von Wärmequelle – Wärmepumpe – Wärmespeicherung – Wärmeabgabe mit dem Gebäude und dessen Nutzung; Exergieanalysen; Entwicklung von Systemen für Mehrfachnutzung; Gesamtansätze WP / WKK / Kälte / Speicher; Temperaturniveaus bei Kälteanlagen; Planungsrichtlinien für die Kombination verschiedener Technologien
4. **Hocheffiziente Systeme für die Warmwasseraufbereitung:** Systeme für Warmwasseraufbereitung; Standardisierung zur Senkung der Kosten
5. **Miniaturisierung und neue Wege für den Einbau von Heiz- und Kühlsystemen mit Wärmepumpen (plug and play):** Neue Wege für den Einbau des Heizungssystems (plug and play); Miniaturisierung mittels Kleinstkompressoren und Mikrowärmetauschern zwecks Integration in Gebäudeelemente; Standardisierung zur Senkung der Kosten
6. **Umweltverträgliche Arbeitsmedien für Wärmepumpen und Kältemaschinen:** Neuartige Kältemittel; Magneto-kalorischer Effekt

Pilot- und Demonstrationsanlagen sollen in allen 6 Schwerpunktbereichen gefördert werden.

Résumé

Le programme de recherche Pompes à chaleur, couplage chaleur-force (CCF), froid soutient le développement de systèmes de chauffage et de refroidissement modernes. A court terme, il est possible de réduire de moitié les émissions de CO₂ au niveau du chauffage des bâtiments en utilisant le courant issu d'installations de CCF pour alimenter des pompes à chaleur qui produisent de la chaleur utile à basse température. A moyen terme, les énergies fossiles ne devraient plus être plus utilisées pour chauffer. Dans le secteur du refroidissement, il est d'ores et déjà possible, de l'avis de représentants de la branche, de diminuer la consommation d'énergie de 25%. L'atteinte de ces objectifs passe par une efficacité accrue des composants et une intégration optimale au niveau du système. Une pénétration rapide du marché exige par ailleurs une baisse des coûts pouvant notamment être obtenue par une standardisation des systèmes. Les objectifs ambitieux fixés par la Commission fédérale pour la recherche énergétique (CORE) nécessiteront une augmentation des fonds actuellement disponibles.

Points clés du programme de recherche Pompes à chaleur, CCF, froid:

1. **Amélioration des composants et des cycles thermodynamiques des pompes à chaleur et des installations frigorifiques** : améliorations des composants des pompes à chaleur; améliorations des cycles
2. **Amélioration de l'efficacité des installations CCF et réduction des émissions polluantes** : amélioration de l'efficacité des installations CCF; réduction des émissions polluantes des installations CCF
3. **Optimisation globale du système pompe à chaleur – CCF – froid – stockage** : considération du système dans son ensemble (source de chaleur – pompe à chaleur – stockage de chaleur – émission de chaleur dans le bâtiment et son utilisation); analyses exergétiques; développement de systèmes polyvalents; concepts de systèmes globaux pompe à chaleur / CCF / froid / stockage; niveaux de température des installations frigorifiques; directives de planification pour la combinaison de différentes technologies
4. **Systèmes de production d'eau chaude hautement efficaces** : systèmes de production d'eau chaude; standardisation pour réduire les coûts
5. **Miniaturisation et nouvelles possibilités d'intégration de systèmes de chauffage et de refroidissement avec des pompes à chaleur (plug and play)** : nouvelles possibilités d'intégration du système de chauffage (plug and play); miniaturisation grâce à des compresseurs et des échangeurs thermiques miniatures, en vue d'une intégration dans les éléments du bâtiment; standardisation pour réduire les coûts
6. **Médias de travail respectueux de l'environnement pour les pompes à chaleur et les groupes frigorifiques** : agents réfrigérants novateurs; effet magnéto-calorique

Les installations pilote et de démonstration doivent être encouragées dans les 6 domaines susmentionnés.

Summary

The research programme «Heat pumping technologies, cogeneration, refrigeration» supports the development of modern heating and cooling systems. A short-term reduction of CO₂-emissions of 50 % in the area of heating of buildings is possible if electricity produced by cogeneration plants is used to power heat pumps which produce heating energy. No fossil energy shall be used to produce heating energy for buildings in the mid-term. Representatives of the refrigeration production and refrigeration application postulate that energy reductions up to 25 % shall be reachable already nowadays. These goals can be arrived at by an increased efficiency of components and an optimised system integration. Reduction of production cost is essential to achieve a sufficient market penetration in short-term view. Cost reduction can be reached among other things by system standardisation. To fulfill the ambitious goals of the Swiss energy research commission CORE, today's financial budget has to be increased.

Main research activities in the research programme «Heat pumping technologies, cogeneration, refrigeration»:

1. **Improvement of components and of thermodynamic cycles of heat pumps and refrigeration plants:** Improvements of components; improvements of thermodynamic cycles
2. **Improvement of efficiency of cogeneration plants and reduction of emission of pollutants:** Improvement of efficiency of cogeneration plants; reduction of emission of pollutants of cogeneration plants
3. **Overall optimisation of the total system (heat pumps – cogeneration – refrigeration – storage facilities):** Overall system examination and optimisation of the total system heat source – heat pump – heat storage – heat distribution within the building and its use; exergy analysis; development of systems for multi-use purpose; overall view of the heat pump / cogeneration / refrigeration / storage facility; temperature level in refrigeration plants; planning guide-lines for the combination of different technologies
4. **Highly-efficient systems for sanitary hot water production:** systems for sanitary hot water production; standardisation to reduce costs
5. **Miniaturisation and new solutions for installing heating and cooling systems with heat pumps (plug and play):** New solutions for the installation of the heating system (plug and play); miniaturisation using micro-compressors and micro-channel heat exchangers to create elements of the building; standardisation to reduce costs
6. **Environmental friendly working mediums for heat pumps and refrigeration plants:** new refrigerants; magnetocaloric effect

Pilot and demonstration plants shall be supported in all research domains.

1. Einleitung

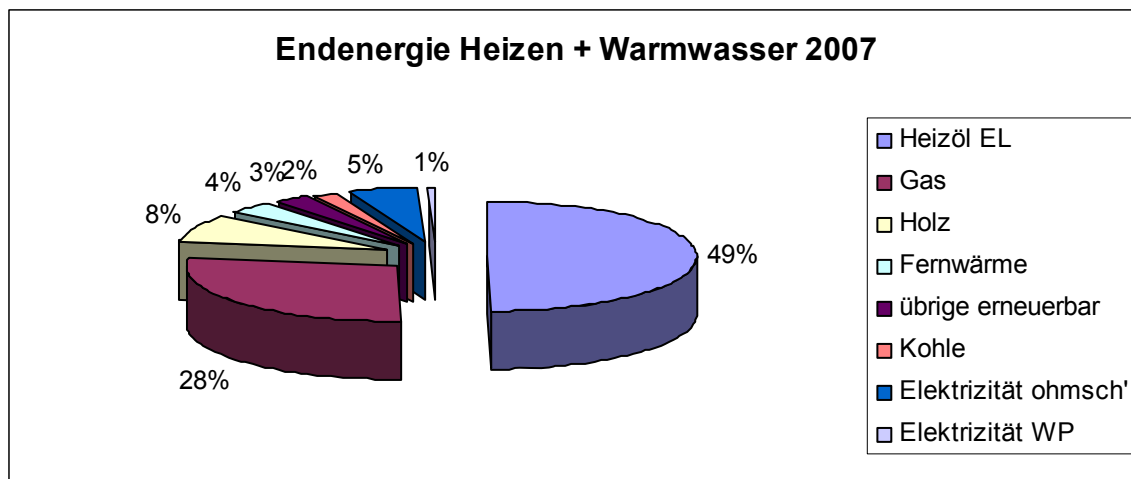
Die von der Eidgenössischen Forschungskommission CORE festgelegten strategischen und quantitativen Ziele für die schweizerische Energieforschung geben den allgemeinen Rahmen zum vorliegenden Konzept. Im Besonderen dienen die in diesem Dokument festgelegten Forschungsschwerpunkte der Erfüllung folgender quantitativer CORE-Ziele:

- Wärme in Gebäuden: ohne fossile Brennstoffe
- Energie in Gebäuden: Halbierung des Verbrauchs

Damit bewegt sich das Forschungsprogramm Wärmepumpen, WKK, Kälte konsequent entlang der von der CORE aufgezeigten Roadmap.

Die Analyse des für Heizen verwendeten schweizerischen Energieverbrauchs zeigt folgendes Bild:

In der Schweiz werden für Heizen inkl. Warmwasserbereitung etwa 45 % des Endverbrauches benötigt. Davon werden etwa 50 % von den Haushalten, 30 % von der Industrie und 20 % vom Dienstleistungssektor konsumiert. Die gegenwärtige Energiesituation der Schweiz zeigt immer noch eine grosse Abhängigkeit von nichterneuerbarer Primärenergie. Der Anteil der Endenergie, die nicht fossilen Ursprungs ist, beträgt nur 20,1 %. Gemäss der Schweizerischen Gesamtenergiestatistik [1] wurden im Jahr 2007 189'570 TJ Heizöl extra-leicht und 104'830 TJ Gas eingeführt. Dies entspricht 47 % bzw. 27 % des Endverbrauchs für Heizen und Warmwasser. Demgegenüber wurden 31'000 TJ (8 %) Holzenergie, 15'450 TJ (4 %) Fernwärme, 10'060 TJ (3 %) übrige erneuerbare Energie und 7'450 TJ (2 %) Kohle zu Heizzwecken eingesetzt. Der Elektrizitätsverbrauch für die Wärmeerzeugung belief sich auf 22'540 TJ (6%), davon 2'560 TJ (1%) für WP. Die Schweiz ist also noch sehr weit weg von einer umweltverträglichen Energieversorgung für die Anwendung Heizen.



Figur 1: Verteilung der Heizenergie in der Schweiz auf die Energieträger

Die gewünschte Innentemperatur in den Gebäuden soll zwischen 20 und 22 °C betragen. Die Verlustwärmeströme durch die Gebäudehülle werden in den Heizperioden durch Freisetzung von Heizenergie innerhalb der Gebäudehülle kompensiert. Diese Heizenergie wird vor allem durch Verbrennungsprozesse produziert. Die energetischen Wirkungsgrade der Feuerungsapparate liegen zwar heute über 93 %, hingegen wird der Brennstoff exergetisch extrem schlecht ausgenutzt. Heute wird aus der chemischen Energie der Brennstoffe mehrheitlich nur Niedertemperaturwärme produziert. Die Thermodynamik zeigt aber, dass chemische Energie möglichst in nutzbare mechanische Energie (Wellenenergie an Kurbel- und anderen Abtriebswellen) und nutzbare Abwärme gewandelt werden sollte.

Damit ergibt sich das zukünftige Energiekonzept: Keine chemische Energie soll direkt durch Verbrennung in Niedertemperaturwärme umgewandelt werden. Aus jedem Brennstoff soll in mittelgrossen Energieanlagen von einigen 100 kW bis wenigen MW Wellenenergie produziert werden, die zwecks universeller Verwendung vorzugsweise direkt in elektrische Energie weiter umgewandelt wird. Die entstehende Abwärme soll in der näheren Umgebung dieser Energiewandlung genutzt werden. Die

elektrische Energie kann durch das vorhandene elektrische Netz weiteren geografisch fein verteilten Nutzern zugeführt werden, die ihre Heizbedürfnisse mit elektrisch angetriebenen Wärmepumpen decken. 2007 wurden aber erst 3'244 GWh (dies entspricht knapp 5 %) Elektrizität aus den Generatoren von thermischen Stromerzeugern produziert. Dabei wurde nur die Hälfte der anfallenden Abwärme genutzt [2].

Legt man heute einen Wirkungsgrad von 40 % für die Produktion von mechanischer Wellenenergie in einem Gas- oder Dieselmotor und eine Jahresarbeitszahl (JAZ) der Wärmepumpen von 3,6 zugrunde, kann durch die Kombination von Wärme-Kraft-Kopplung und Wärmepumpen eine Energieeinsparung und damit CO₂-Reduktion von 50 % erreicht werden.

Heute sind etwa 130'000 Wärmepumpen in der Schweiz in Betrieb, die etwa 1,2 % der Elektrizität verbrauchen [3, 1]. Bis 2020 sollten gemäss UVEK 400'000 Wärmepumpen installiert sein, die etwa 4 % der Elektrizität benötigen werden [3]. Heute noch vorhandene Elektrospeicherheizungen sollten dann nicht mehr im Einsatz stehen. Gemäss der Analyse des schweizerischen Energieverbrauches 2000–2006 nach Verwendungszwecken [4] wurde 2006 die Heizenergie zu 1,3 % mit Wärmepumpen aber immer noch zu 5,3 % mit ohm'schen Widerstandsheizungen bereitgestellt.

Der Bedarf von Kälte in Form von Prozesskälte und Kühlenergie für Gebäude nimmt stetig zu und ist nicht mehr aus unserer heutigen Gesellschaft wegzudenken. Der Energiebedarf für die Bereitstellung ist beträchtlich und besteht vorwiegend aus elektrischer Energie, die als Antriebsenergie für die notwendigen Kompressoren und Ventilatoren eingesetzt wird. In Deutschland betrug der Strombedarf der Kälteindustrie 14 % des elektrischen Endenergieverbrauchs (Stand 1999) [5]. In der Schweiz werden heute 12–15 % des Stromverbrauchs in Kälteanlagen umgesetzt [6]. Da Kältemaschinen und Wärmepumpen technisch gleich aufgebaut sind, bestehen die gleichen technischen Verbesserungspotenziale. Im Bereich der Prozesskälte oder der Klimatisierung von grösseren Gebäuden zeigen sich ebenfalls grosse exergetische Verbesserungspotenziale in der Verteilung der Kälte an die dezentral zu kühlenden Stellen.

2. Ausgangslage

STAND DER TECHNOLOGIE INTERNATIONAL UND IN DER SCHWEIZ

Im internationalen Vergleich befindet sich die Schweiz im Bereich Wärmepumpen, Wärme-Kraft-Kopplung, Kälte mindestens auf dem gleichen technologischen Niveau wie die weiteren Mitgliedländer des IEA-Heat Pump Programmes. Alle drei Teilbereiche *Wärmepumpen*, *Wärme-Kraft-Kopplung* und *Kälte* befinden sich im Entwicklungsschritt der Optimierung.

Der den Wärmepumpen und Kältemaschinen zugrunde liegende thermodynamische Kreisprozess besteht aus mehreren Schritten, die jeweils durch apparative Komponenten technisch umgesetzt werden. Die Hauptelemente sind Kompressor, Verdampfer- und Kondensatorwärmetauscher sowie das Expansionsorgan. Im Kreisprozess zirkuliert ein speziell ausgewähltes Arbeitsmedium (Kältemittel). Die F&E-Aktivitäten sind auf die Verbesserung der einzelnen Komponenten, der Regelung und den Einsatz von umweltfreundlichen Arbeitsmedien fokussiert. Es ist aber auch eine zunehmende Aktivität bezüglich Systemintegration festzustellen.

In WKK-Anlagen werden *Internal Combustion Engine (ICE)* wie Diesel- und Gasmotoren sowie Gas- und Dampfturbinen und *External Combustion Engine (ECE)* wie Stirling- oder *Organic Rankine Cycles (ORC)*-Prozesse eingesetzt. Auch hier betreffen die F&E-Aktivitäten vor allem Wirkungsgradverbesserungen der Komponenten. Zunehmend können Aktivitäten zur Verstromung von Niedertemperaturwärme beobachtet werden. Diese Wärme im Temperaturbereich von 150 bis 300 °C stammt aus Prozessabwärme oder aus Verbrennungsreaktionen von biogenen, regenerativen Brennstoffen. Hier stehen die hohen Kosten einer breiten Marktumsetzung immer noch im Wege.

Kälteanlagen müssen im Allgemeinen eine sehr hohe Zuverlässigkeit aufweisen, da beim Ausfall einer Kälteanlage, z.B. in einem Kühlager, grosser finanzieller Schaden entstehen kann. Anlagenplaner und -anbieter, von welchen Zuverlässigkeitsprobleme bekannt werden, können im Markt nicht überleben. Energieeffizienz ist deshalb zweitrangig, was dazu führt, dass viele Kälteanlagen noch energetische Sparpotenziale aufweisen. Abwärme wird im Sommer praktisch nicht genutzt, aber auch im Winter laufen viele Anlagen noch ohne Abwärmenutzung. Als Grund kann eine damit einhergehende Verkomplizierung der Anlagen und notwendige Absprachen zwischen Kälteerzeuger

und Abwärmenutzer genannt werden. In Kälteanlagen zirkuliert ebenfalls ein Arbeitsmedium. Die natürlichen Kältemittel Ammoniak und Kohlendioxyd haben im frühen 20. Jahrhundert die Kältetechnik verbreitet und wurden nach dem 2. Weltkrieg durch die sogenannten Sicherheitskältemittel, die aber Fluor- und Chloratome enthalten, abgelöst. Durch die schädigende Wirkung des Chlors vor allem auf die Ozonschicht und des Fluors auf den Treibhauseffekt werden die natürlichen Arbeitsmedien Ammoniak, Kohlendioxyd und auch Propan und Butan in jüngster Zeit wieder vermehrt eingesetzt. Die Ablösung der Sicherheitskältemittel bedingt aber noch einigen Forschungsbedarf. Zum Teil weisen die natürlichen Kältemittel signifikante produktspezifische Nachteile auf, so dass höhere Umweltverträglichkeit mit verminderter energetischer Effizienz gekoppelt ist.

WELTWEITER UND SCHWEIZER MARKT

In der Schweiz haben Wärmepumpen heute ähnliche Marktanteile wie Öl- bzw. Gaskessel [7]. Im Neubaubereich von Einfamilienhäusern sind die Wärmepumpen bereits Marktführer [8]. Im internationalen Vergleich sind nur in Japan und in Schweden bedeutendere Marktanteile und eine effiziente F&E-Aktivität zu verzeichnen.

Bei kleineren Geräten werden Grossserien in spezialisierten Werken hergestellt, insbesondere bei Haushalts-Kühlschränken. Grosswärmepumpen oder Blockheizkraftwerke mit Leistungen im MW-Bereich werden auftragsspezifisch hergestellt. Bei kleineren Wärmepumpen erfolgt die Herstellung meist in Kleinserien. 2007 wurde in Deutschland ein Werk eröffnet mit einer Kapazität von 40'000 Einheiten pro Jahr [9]. Die Verkaufszahlen von Wärmepumpen sind weltweit steigend. Bei WKK-Anlagen hängt die Marktakzeptanz noch mehr von den national geltenden Rahmenbedingungen ab als bei Wärmepumpen. Kälteanlagen werden überall zunehmend benötigt, bedingt durch die heutige Lebensmittelherstellung und -lagerung, die moderne (Glas-) Architektur und den Klimawandel.

POTENZIALE IN DER SCHWEIZ

Bis 2050 sollten in der Schweiz keine Heizsysteme mehr vorhanden sein, die auf Verbrennung von fossilen Energieträgern basieren. Ebenfalls sollten keine Elektrospeicher-Heizungen mehr existieren. Der Strom für den Antrieb der Wärmepumpen muss aus erneuerbarer Wasserkraft, aus dem freiwerdenden Strom der heutigen Elektroheizungen und aus WKK-Anlagen stammen. Die WKK-Anlagen können auch mit biogenem regenerativem Brennstoff betrieben werden.

Mit WKK-Anlagen können alle Brennstoffe exergetisch aufgewertet werden. WKK-Anlagen könnten heute schon in allen grösseren Heizungsanlagen eingesetzt werden und dort Feuerungen ersetzen. In der Schweiz sind Tausende grösserer Feuerungsanlagen mit einer Gesamtleistung von 13.3 GW in Betrieb [10]. Bei kleineren Blockheizkraftwerken für Ein- und Mehrfamilienhäuser, die heute ebenfalls angeboten werden, muss aus technischer Sicht allerdings der Schadstoffausstoss beachtet werden. Additive Massnahmen zur Abgasnachbehandlung sind teuer und kompliziert. Deshalb sollten aus umweltökonomischen Überlegungen keine kleinen WKK-Anlagen installiert werden.

Im Bereich Kälte könnten heute schon CO₂-Einsparungen im Bereich 25 % erfolgen [11]. Die Verbesserungsmassnahmen liegen in der verbesserten Wartung, der optimierten Enddrucksteuerung des Kompressors, einer modernen Abtaustuerung und einer richtigen Nutzung der Kälteanlage.

Bei allen Bereichen ist nicht nur die Betrachtung des einzelnen technischen Gerätes wichtig, sondern die verbesserte Integration in ein Gesamtsystem, das die Wärme oder Kälte schlussendlich zu den Nutzern bringt. Es ist müssig, darüber zu diskutieren, welches Heizsystem das Beste sei, wenn das Gebäude schlecht isoliert ist. Ein Kältekonzept, worin eine Kälteanlage in der hintersten Ecke eines Supermarktkomplexes Kälte produziert, die dann an schlecht positionierte und vielleicht veraltete Verkaufsstellen geleitet wird, ist gesamthaft schlecht. Bei der Optimierung des Wärme- und des Kältebedarfs ist aber auch die saisonale Verzögerung zu beachten. Verbesserungen sind deshalb auch mit saisonalen Speicherkonzepten zu erreichen.

3. Nationale Akteure

In den Bereichen Wärmepumpen, Wärme-Kraft-Kopplung, Kälte sind die Marktakteure in der Schweiz vor allem KMU und Importeure. Jede verkaufte Einheit muss auch lokal installiert werden, deshalb sind viele kleine Installateur-Firmen am Marktsegment beteiligt. Die Forschung geschieht vor allem an den Fachhochschulen und produktspezifisch auch bei den Herstellern. Die *EPFL* führt immer wieder Forschungsarbeiten durch, zum Teil mit aus der *EPFL* entstandenen Spinoffs. Leider ist an der *ETHZ* keine Aktivität in der Wärmepumpenforschung mehr zu verzeichnen. Das Institut für Energietechnik der *ETHZ* beteiligt sich an der Grundlagenforschung von Verbrennungsmotoren. Forschungsaktivitäten im Bereich Kälte sind weniger häufig als im Bereich Wärmepumpen. Ein eigenes Fachgebiet Kältetechnik wird nur noch an den *Hochschule für Technik* in Buchs und an der *Abteilung Gebäudetechnik* der *Hochschule Luzern* unterrichtet. Andererseits forscht die Fachhochschule in Yverdon (HEIG-VD) intensiv an der magnetischen Kühlung. Die Forschungsaktivitäten der KMU sind auf die Verbesserung der eigenen Produkte ausgerichtet. Firmenübergreifende Projekte sind sehr selten. Hingegen kommt eine Zusammenarbeit zwischen einer Firma und einer Fachhochschule oft vor. Firmen scheuen zum Teil den Aufwand für die Publikation der Forschung durch Berichte und Vorträge. Sie ziehen Publicity, die sich auf die eigene Firma fokussiert, vor. Die Marktorganisation *Fördergemeinschaft Wärmepumpen Schweiz (FWS)* [8] fördert den Einsatz von qualitativ guten Wärmepumpensystemen nationaler und internationaler Hersteller und vergibt ein Gütesiegel für Wärmepumpen. Der Verband AWP, Arbeitsgemeinschaft Wärmepumpen Schweiz [12] vereinigt die Wärmepumpen-Hersteller und -Lieferanten. Er befasst sich mit technischen Fragen zu Wärmepumpenkomponenten und -systemen. Standardwärmepumpen können am *Wärmepumpentestzentrum (WPZ)* in Buchs SG nach international anerkannten Normen getestet werden. Die Hauptresultate werden in einem Bulletin publiziert [13].

Im Bereich WKK gibt es derzeit zwei Verbände. Der *Schweizerische Fachverband für Wärmekraftkopplung* [14] wurde 1991 gegründet und vereint die wesentlichen Hersteller und Importeure. Ihm wurde seit längerer Zeit ungenügende Aktivität und Branchenvertretung vorgeworfen, was Ende 2008 zur Gründung eines neuen Verbandes *Verband Effiziente Energie Erzeugung (V3E)* geführt hat [15].

Die Kältebranche der Schweiz ist im *Schweizerischer Verein für Kältetechnik (SVK)* [16] vereint. Der SVK vertritt die marktpolitischen Anliegen der Kältebranche. Er übt keine eigene Forschungsaktivitäten aus, unterhält aber technische Kommissionen.

4. Internationale Zusammenarbeit

International ausgerichtete Forschung wird vor allem an den Fachhochschulen von Muttenz (Wärmepumpensysteme), Luzern (Exergieanalysen) und am Wärmepumpentestzentrum in Buchs SG (Prüfmethoden) sowie an der EPFL (WP Komponenten und Systeme, Cogeneration) ausgeführt. Das BFE ist als Vertreter der Schweiz im *Implementing Agreement Heat Pumping Technologies* der IEA [17] die Drehscheibe für Informationen und Aktivitäten. In folgenden Annexes (IEA-HPP-Projekte) beteiligt sich die Schweiz:

Annex 32 „Economical Heating and Cooling Systems for low Energy Houses“: Die Schweiz stellt mit K. Wernhöner, FHBB den Operating Agent (int. Projektleitung). Im Rahmen dieser Tätigkeit wurde auch ein regelmässiger Austausch mit dem Gebäudeprogramm der IEA (ECBCS) etabliert.

Annex 34 „Thermally Driven Heat Pumps for Heating and Cooling“: Schweizer Beteiligung durch EPFL, Prof. Favrat mit dem Projekt „Pompe à chaleur thermique à double cycle de rankine“.

Zwei weitere, neue Annexe mit Schweizer Beteiligung sind in Vorbereitung.

2008 organisierte ein National Organizing Committee aus der Schweiz mit Vertretern des BFE und der FWS die 9th *International Heat Pump Conference*, welche vom 20.–22. Mai in Zürich [18] statt fand. Die Konferenz war mit über 450 Teilnehmern aus 32 Ländern ein voller Erfolg. Die internationalen Entwicklungen im Normenwesen werden in Zusammenarbeit mit dem Branchenverband FWS verfolgt. Die Aktivitäten innerhalb der *European Heat Pump Association (EHPA)* werden direkt von der FWS verfolgt. Die Schweiz ist Mitglied im *International Institute of Refrigeration (IIR)*, die Vertretung erfolgt durch das BFE.

5. Technische und wirtschaftliche Zielsetzungen

Das Forschungsprogramm Wärmepumpen, Wärme-Kraft-Kopplung, Kälte strebt die schnellere und gezieltere Erreichung einer auf regenerativer Energie basierten Versorgung der Schweiz mit Nutzwärme und Nutzkälte an. In der aktuellen Phase der Optimierung können keine Technologiesprünge erreicht werden, die Verbesserungen werden schrittweise eingeleitet werden müssen. Das Programm nimmt dazu gezielte Aktivitäten vor und animiert damit auch die Hersteller zur Bereitstellung von Produkten mit höheren Wirkungsgraden und Standardisierung. Meistens begründen höhere Wirkungsgrade auch komplexere Systeme, die zu höheren Kosten führen. Auch das tiefe Preisniveau der nichterneuerbaren Energieträger gibt wenig Anreiz für innovative Lösungen. Ausgeklügelte Systeme werden sich dann wirtschaftlich durchsetzen, wenn das Preisniveau der nichterneuerbaren Energieträger zunimmt, gegebenenfalls durch staatliche Massnahmen künstlich herbei geführt. Nur zu fordern, dass technisch und ökologisch bessere Lösungen kostengünstiger werden, führt nicht zum Ziel. Die konkreten Zielsetzungen liegen in allen Bereichen des Forschungsprogramms in der Steigerung der Effizienz, der Systemoptimierung und der Senkung der Kosten.

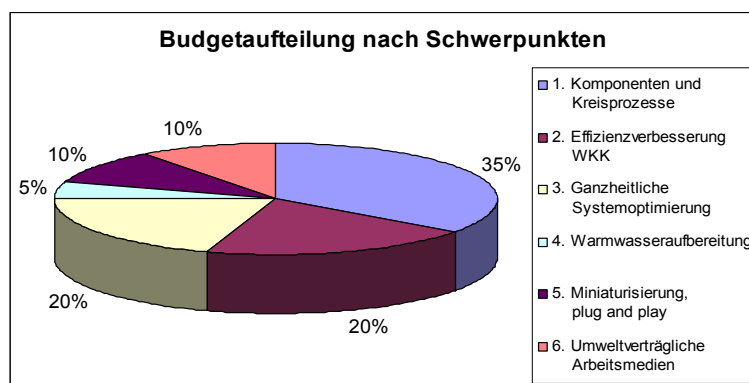
6. Mitteleinsatz für die Forschung im Bereich Wärmepumpen, Wärme-Kraft-Kopplung, Kälte

ÖFFENTLICHE HAND

Die gesamten Forschungsmittel der öffentlichen Hand sollen gemäss CORE im Bereich Wärmepumpen / Kälte von heute rund 2 Mio. CHF mittelfristig auf 6 Mio. CHF erhöht werden, P&D-Projekte sollen auf dem Niveau von jährlich ca. 3 Mio. CHF gehalten werden. Im Bereich Wärme-Kraft-Kopplung sollte im Vergleich zu den heutigen 1,5 Mio. CHF auf 2 Mio. CHF erhöht werden, wovon die Hälfte auf P&D-Projekte entfallen soll. Die Fachhochschulen leisten bei den Forschungsprojekten gesamthaft einen Eigenaufwand von ca. 0,2 Mio. CHF und mehrere Kantone tragen Projektkosten im Bereich von ca. 0,2 Mio. CHF mit.

Das BFE-Forschungsprogramm Wärmepumpen, WKK, Kälte trägt mit jährlich ca. 1,3 Mio. CHF F&E-Budget sowie mit einer steigenden Anzahl P&D-Projekte (separates BFE-Budget) wesentlich dazu bei, dass die von der CORE beabsichtigte Forschungstätigkeit erreicht wird.

Der weitaus grösste Teil dieser Finanzmittel ist für die Programmschwerpunkte vorgesehen. Die Zuteilung der Mittel auf die Forschungsschwerpunkte (vgl. Kapitel 7. Forschungsschwerpunkte) ist wie in Figur 2 dargestellt vorgesehen:



Figur 2: Aufteilung der Mittel auf die Schwerpunkte

PRIVATWIRTSCHAFT

Die Eigenleistungen der beteiligten Projektpartner und Firmen zugunsten von BFE-Projekten war ca. 0,4 Mio. CHF pro Jahr. Im industriellen Umfeld wurden etwa 1,2 Mio. CHF für Forschung und Entwicklung aufgewendet. Weitere Unterstützung von F&E-Aktivitäten stammt von Branchenverbänden oder grösseren Vereinigungen wie *Foga*, *EV*, *Axpo Naturstromfonds*, *Swisslectric Research*, *Gebert-Rüf-Stiftung*, die in unseren Bereich gesamthaft ca. 0,2 Mio. CHF investieren.

7. Forschungsschwerpunkte in den Jahren 2008–2011

Die Forschungsschwerpunkte leiten sich vom anzustrebenden Bestfall ab: Eine dezentrale Elektrizitätsproduktion mittels Wärme-Kraft-Kopplung und Wasserkraft produziert die elektrische Antriebsenergie für Wärmepumpen und Kältemaschinen, die mit Bestkomponenten aufgebaut sind und optimal in den Wärme oder Kälte verlangenden Gebäuden oder Systemen integriert sind.

WÄRMEPUMPEN UND KÄLTEANLAGEN

Der Wirkungsgrad COP und die Jahresarbeitszahl JAZ von kleineren und mittleren Wärmepumpen respektive Kälteanlagen sollen in allen Anwendungsfällen gemäss Tabelle 1 gesteigert werden. Diese Ziele können allerdings nur erreicht werden, wenn alle technischen und physikalischen Möglichkeiten ausgenutzt werden und sind entsprechend laufend kritisch zu überprüfen.

	1985	1995	2008	2025	2050
Wärmequelle Luft; Jahresarbeitszahl im Feldbetrieb					
Neubau	2.0	2.5	3.2	5	7
Sanierung	1.5	2.2	3.0	4	6
Warmwasser	1.5	2.0	2.7	4	6
Wärmequelle Erdreich und Gewässer; Jahresarbeitszahl im Feldbetrieb					
Neubau	2.2	3.0	4.5	6	8
Sanierung	2.0	2.8	3.5	5	7
Warmwasser	1.5	2.5	3.0	5	6

Tabelle 1: Jahresarbeitszahl JAZ von kleineren und mittleren Wärmepumpen resp. Kälteanlagen

WKK-ANLAGEN

Bei Wärme-Kraft-Kopplungsanlagen besteht der Forschungsbedarf primär in der weiteren Erhöhung des Wirkungsgrades der Motoren und Turbinen nach Tabelle 2. Die Aktivitäten hierzu sind mit den Forschungsprogrammen *Kraftwerk2020* und *Verbrennung* abzustimmen.

	2008	2025	2050
Elektrische Leistung bis 100 kW			
Elektrischer Wirkungsgrad	35 %	40 %	50 %
Gesamtwirkungsgrad	85 %	90 %	90 %
Elektrische Leistungen ab 100 kW bis 1000 kW			
Elektrischer Wirkungsgrad	40 %	45 %	50 %
Gesamtwirkungsgrad	90 %	95 %	95 %
Elektrische Leistung über 1000 kW			
Elektrischer Wirkungsgrad	45 %	50 %	55 %
Gesamtwirkungsgrad	90 %	90 %	95 %
Unterhaltskosten für den ganzen Leistungsbereich (Rp / kWh)	3	2	1

Tabelle 2: Kennzahlen zur angestrebten Entwicklung der motorischen Wärme-Kraft-Kopplung

STANDARDISIERUNG ZUR SENKUNG DER KOSTEN

Die Standardisierung zur Senkung der Kosten ist in allen Teilbereichen des Programms anzustreben. Je tiefer die Kosten, desto grösser die Verbreitung der Technologie. In den Bereichen Kleinwärmepumpen und Haushaltskälte ist die Standardisierung und damit eine günstige Produktion weit fortgeschritten. Bei Grossanlagen ist eine Standardisierung der Geräte wahrscheinlich nicht möglich. Allerdings könnten optimierte und standardisierte Konzepte angeboten und eingesetzt werden, die aus Forschungsarbeiten (z.B. Eruiierung der Exergieverluste) und durch vertiefte Untersuchung von ausgeführten Grosswärmepumpen hervorgehen.

DIE SCHWERPUNKTE IM ÜBERBLICK

Schwerpunkt 1: Verbesserung von Komponenten und der thermodynamischen Kreisprozesse bei Wärmepumpen und Kälteanlagen

- Komponentenverbesserungen bei Wärmepumpen
- Verbesserungen der Kreisprozesse

Schwerpunkt 2: Effizienzverbesserung bei WKK-Anlagen und Reduktion der Schadstoffemissionen

- Effizienzverbesserung bei WKK-Anlagen
- Reduktion von Schadstoffemissionen bei WKK-Anlagen

Schwerpunkt 3: Ganzheitliche Systemoptimierung von Wärmepumpen – WKK – Kälte – Speicherung

- Ganzheitliche Systembetrachtung von Wärmequelle – Wärmepumpe – Wärmespeicherung – Wärmeabgabe mit dem Gebäude und dessen Nutzung
- Exergieanalysen
- Entwicklung von Systemen für Mehrfachnutzung
- Gesamtansätze WP / WKK / Kälte / Speicher
- Temperaturniveaus bei Kälteanlagen
- Planungsrichtlinien für die Kombination verschiedener Technologien

Schwerpunkt 4: Hocheffiziente Systeme für die Warmwasseraufbereitung

- Systeme für Warmwasser-Bereitung
- Standardisierung zur Senkung der Kosten

Schwerpunkt 5: Miniaturisierung und neue Wege für den Einbau von Heiz- und Kühlsystemen mit Wärmepumpen (plug and play)

- Neue Wege für den Einbau des Heizungssystems (plug and play)
- Miniaturisierung mittels Kleinstkompressoren und Mikrowärmetauschern zwecks Integration in Gebäudeelemente
- Standardisierung zur Senkung der Kosten

Schwerpunkt 6: Umweltverträgliche Arbeitsmedien für Wärmepumpen und Kältemaschinen

- Neuartige Kältemittel
- Magneto-kalorischer Effekt

SCHWERPUNKT 1: VERBESSERUNG VON KOMPONENTEN UND DER THERMODYNAMISCHEN KREISPROZESSE BEI WÄRMEPUMPEN UND KÄLTEANLAGEN

Fokusthema: Komponentenverbesserungen bei Wärmepumpen

Zur Erreichung der Ziele gemäss Tabelle 1 müssen alle Komponenten verbessert werden, insbesondere für hohe Temperaturen. Die durchgeführten Exergieanalysen zeigen auf, wo wieviel Verbesserungspotenzial vorhanden ist. Hier spielen die Schlüsselkomponenten Kompressor, Wärmetauscher insbesondere Verdampfer und Expansionsventil eine zentrale Rolle. Kompressoren sollten ölfrei sein, damit das Arbeitsmedium auch direkt in die Wärmequellenwärmetauscher strömen kann. Die Expansionsenergie wird in bisherigen Wärmepumpen und Kältemaschinen nicht genutzt, der Druckabbau erfolgt durch verlustbehaftete isenthalpe Drosselung. Expansionsturbinen erhöhen die Wirkungsgrade je nach Arbeitsmedium um 8 bis 45 %.

Fokusthema: Verbesserungen der Kreisprozesse

Aber auch der zugrunde liegende Kreisprozess kann noch verbessert werden: zweistufige Prozesse verbessern die isentropen Wirkungsgrade. Je nach Kältemittel bedingen die zu erreichenden Zustände überkritische Kreisprozesse. Diese Betriebsweise weist besondere Eigenschaften auf, da nun keine Kondensation auf einem bestimmten Temperaturniveau mehr entsteht. Der Kondensator wird durch den so genannten Gaskühler ersetzt. Durch die hohen Drücke von über 100 bar sind die konstruktiven Möglichkeiten eingeschränkt. Die Steuerung muss vom On/Off-Betrieb auf kontinuierliche Leistungsregelung umgestellt werden, dazu werden frequenzgesteuerte Antriebssysteme für den Kompressor und die Ventilatoren benötigt.

Weitere Themen (2. Priorität)

- Grosswärmepumpen: Kleinere Wärmepumpen mit Leistungen zwischen 5 und 50 kW sind Serienprodukte, die in Klein- und Mittelserien produziert werden. Für grössere Leistungen werden Serienwärmepumpen parallel im Verbund eingesetzt oder es werden speziell abgestimmte Anlagen ausgelegt. Alle bisherigen Messungen an Grosswärmepumpen zeigen kleinere Leistungszahlen als bei kleineren Geräten. Die dafür vorhandenen Gründe müssen eliminiert werden. Sie liegen in der Technik bzw. deren Auslegung, indem – besonders im Teillastbetrieb – nicht optimal abgestimmte Komponenten eingesetzt werden. Zum anderen Teil liegen sie aber auch darin, dass grosse Leistungen schwieriger umzusetzen sind, wenn aus exergetischen Gründen nur kleine Temperaturdifferenzen gefahren werden dürfen. Eine zentrale Erdbohrung verursacht bei hohen Bezugsleistungen stärkere Temperaturgefälle und damit Exergieverluste als mehrere kleinere, dezentral verteilte Bohrungen. Das hier sicherlich vorhandene Leistungsoptimum muss noch bestimmt werden. Aufgrund der geschilderten Marktsituation muss hier ein besonderes Augenmerk auf den Wissenstransfer sowie die Aus- und Weiterbildung gelegt werden.
- Testverfahren und deren internationale Harmonisierung: Produkte, die Serienfabrikation erreicht haben, müssen stetig von unabhängiger Seite getestet werden. Die Testverfahren sollen repräsentativ für den Einsatz sein. International operierende Anbieter sehen sich verschiedenen nationalen Randbedingungen ausgesetzt. Hier entsteht permanent ein Bedarf an Diskussion und Abstimmung im internationalen Umfeld. Da Forschung und Entwicklung im Bereich Wärmepumpen stark mit internationalen Kontakten verknüpft sind und die Resultate firmenunabhängig sein sollen, sind die Harmonisierungsaktivitäten der Testverfahren weiterhin unter Aufsicht des BFE durchzuführen. Praktische Tests bedingen gut ausgerüstete Messstände und sind zeitintensiv und teuer. Es müssen deshalb Extrapolationsmethoden diskutiert werden, die aus punktuellen statischen Messungen Aussagen zum ganzen Jahreseinsatz ermöglichen.

SCHWERPUNKT 2: EFFIZIENZVERBESSERUNG BEI WKK-ANLAGEN UND REDUKTION DER SCHADSTOFFEMISSIONEN

Fokusthema: Steigern der Effizienz bei Wärme-Kraft-Kopplungsanlagen

Bei Wärme-Kraft-Kopplungsanlagen besteht der Forschungsbedarf primär in der weiteren Erhöhung des Wirkungsgrades der Motoren und Turbinen nach Tabelle 2. Dabei sind strukturellen Änderungen auf der Wärmeverbrauchseite (sinkender Wärmebedarf von neuen und sanierten Gebäuden) Rechnung zu tragen. Hier kann auch auf Resultate in den Forschungsprogrammen *Kraftwerk2020* und *Verbrennung* gehofft werden.

Fokusthema: Reduktion von Schadstoffemissionen, insbesondere von NO_x auf Werte von Heizkesseln

Die Apparate sollen einen minimalen Schadstoffausstoss aufweisen. Die gültigen Grenzwerte für NO_x können bei schnellen internen Verbrennungsvorgängen nur durch externe Zusatzmassnahmen wie verschiedene Katalysatorverfahren eingehalten werden. Dadurch werden die Kosten pro Leistung erhöht womit kleinere Systeme unwirtschaftlich werden und auch apparativ zu kompliziert sind.

Weitere Themen (2. Priorität)

- Senkung der Kosten, insbesondere der Wartungskosten während des Betriebs um den Faktor 3: Investitions- und Wartungskosten sollen gesenkt werden. Feldeinsätze von WKK-Anlagen bedingen deshalb Motoren im grösseren Leistungsbereich und damit auch potentielle Abnehmer für die Nutzung der Abwärme.
- Erhöhung der Zuverlässigkeit, insbesondere durch Steuerung und Diagnose: In den meisten denkbaren Einsatzfällen sind mehrere Grund- oder Werkeigentümer betroffen, die sich über den Systembetrieb in allen Konsequenzen absprechen müssen. Hier ist ein beträchtliches Defizit in Bezug auf Flexibilität und Abbau von Ängsten feststellbar. Die Verbreitung von WKK-Anlagen hängt wesentlich vom Kostenniveau der fossilen Energieträger ab. Gegenwärtig sind diese Kosten immer noch zu tief, damit sich die unter Umständen verschiedenen Grundeigentümer auf gemeinsame Lösungen und damit auch Investitionen einigen können.
- Optimierung von WKK-Anlagen für biogene Brenn- und Treibstoffe: WKK-Anlagen können alternativ mit biogenen Brennstoffen betrieben werden. Die Abstimmung WKK mit biogenen Brennstoffen ist nach wie vor ein Forschungsgebiet.

SCHWERPUNKT 3: GANZHEITLICHE SYSTEMOPTIMIERUNG VON WÄRMEPUMPEN – WKK – KÄLTE – SPEICHERUNG

Fokusthema: Ganzheitliche Betrachtung vom System Wärmequelle – Wärmepumpe – Wärmespeicherung – Wärmeabgabe zusammen mit dem Gebäude und dessen Nutzung

Der Wirkungsgrad COP der Wärmepumpen ist direkt abhängig von der Temperatur der zugeführten Wärme und der Temperatur der abgeführten Nutzwärme. Die Gebäude sollten auf eine Innentemperatur von 20 bis 22 °C beheizt werden. Nehmen wir eine Temperatur von 20 °C an und eine Anlage mit einer Erdsonde und einer Erdtemperatur von 5 °C, ergibt sich ein theoretischer Wirkungsgrad COP von 19,5. Dies bedeutet, dass bei Zufuhr von einer Einheit hochwertiger Antriebsenergie in Form von mechanischer Wellenenergie die Wärmepumpe 19,5 Energieeinheiten Wärme von 20 °C abgeben kann. Nun muss aber die Energie zuerst vom Quellmedium an die Wärmepumpe und dann auch von der Wärmepumpe in das zu beheizende Gebäude strömen. Dazu werden «treibende Gefälle», hier treibende Temperaturgefälle, benötigt. Nehmen wir in der Erdsonde ein Temperaturgefälle von 5 °C, im Verdampfer der Wärmepumpe von 5 °C, im Kondensator der Wärmepumpe 5 °C und in der Wärmeverteilung 15 °C an, reduziert sich der zu erwartende Wirkungsgrad schon auf 7,0, obwohl noch keine internen Verluste in Kompressor, Expansionsventil, Hilfsantrieben und Steuerung berücksichtigt wurden. Es ist also extrem wichtig, dass die Temperaturdifferenzen zwischen Wärmequelle und Wärmepumpe und zwischen Wärmepumpe und zu beheizendem Raum möglichst gering sind. Das kann nur erreicht werden, wenn die Wärmepumpe sowohl im Wärmeverteilsystem als auch architektonisch gut in das Gesamtsystem integriert wird. Betreffend dieser Systemintegration sollen zukunftsweisende, praxistaugliche Lösungen entwickelt werden.

Fokusthema: Exergieanalyse

In den vergangenen Jahren wurden Forschungsarbeiten auf dem Gebiet der Exergieanalyse von Wärmepumpen und Heizsystemen durchgeführt. Diese Erkenntnisse müssen vertieft werden und in weiteren Projekten müssen die Erkenntnisse umgesetzt werden.

Fokusthema: Entwicklung von Systemen für Mehrfach-Nutzung

Systemintegration bedeutet auch, dass im heute existierenden Gebäudepark und bei zukünftigen energetisch verbesserten Gebäuden optimal abgestimmte Heiz- und Konditioniersysteme entwickelt werden müssen. Heutige Wärmepumpen für Minergiegebäude können nicht nur heizen, sondern auch kühlen, Luft be- und entfeuchten, Abwärme rückgewinnen und Warmwasser bereiten. Es ist klar, dass je mehr Wärmerückgewinnung verwirklicht wird, desto weniger Zusatzenergie aufgewendet werden muss.

Fokusthema: Gesamtansätze WP/WKK/Kälte/Speicher

Bei allen Heiz- und Kühlaufgaben ist der saisonale Temperaturverlauf der Umgebung eine sehr wichtige Randbedingung. Es wird Nutzwärme verlangt, wenn es kalt ist und es wird Nutzkälte verlangt, wenn es warm ist. Die Lösung dieser Problematik könnte auch mit Speicherung gesucht werden. Nutzkälte wird vom Winter in den Sommer gespeichert (vergl. frühere Eisspeicher) und Nutzwärme vom Sommer in den Winter. Der dazu erforderliche Aufwand muss technisch minimiert werden und es müssen Gesamtansätze WP/WKK/Kälte/Speicher erforscht werden. Es entsteht ein Systemkomplex aus mehreren Bausteinen für welchen die kostenoptimalen Lösungen gesucht werden müssen. Dazu gehören auch Grundlagen für den Einsatz zweiphasiger Stoffe in der Wärmespeicherung und -verteilung.

Fokusthema: Temperaturniveaus bei Kälteanlagen

Dass eine WKK-Anlage eine Systemlösung darstellt, wurde schon vorgängig erwähnt. Auch bei Kälteanlagen entsteht immer abzuführende Wärme. Der energetische Bestfall ist, wenn diese Abwärme auf einem möglichst tiefen Temperaturniveau an die Umgebung abgeführt werden kann. Damit kann sie aber nicht mehr als Nutzwärme eingesetzt werden. Man muss also eine nutzbare Abwärme mit einer höheren Antriebsleistung für die Produktion der Kälte erkaufen, es entsteht eine Optimierungsaufgabe, die durch Forschungsaktivitäten geklärt werden soll.

Weitere Themen (2. Priorität)

- Planungsrichtlinien für die Kombination verschiedener Technologien: Als Systemintegration kann auch die Kombination mit anderen Technologien verstanden werden. Heute werden Kombinationen Holz/Wärmepumpe und Solarthermie/Wärmepumpe schon im Markt angeboten. Die realisierten Anlagen vermögen aber die Erwartungen zum Teil nicht zu erfüllen, gerade die Kombination Solarthermie/Wärmepumpe wurde in einigen Anlagen sehr schlecht umgesetzt. Hier müssen dringend gute Planungsrichtlinien aufgrund von neuen theoretischen und praktischen Forschungsprojekten ausgearbeitet werden.
- Erschliessung von Wärmequellen: Vor allem bei grösseren Heizzentralen stellt sich die Frage der optimalen Quellwärmeerschliessung und der Nutzwärmeverteilung. Alternative Konzepte schlagen «kalte Fernwärme» vor, wo die Quellseite per Ringleitung an dezentral gelegene Wärmepumpen geleitet wird. Sowie Fernwärmenetze schon vorhanden sind, sind auch Fernkältenetze denkbar, zum Teil sind sie schon verwirklicht, z.B. in Stockholm. Im neuen Ferienresort Unterterzen wurde Ende 2008 eine kalte Fernwärmeverteilung in Betrieb genommen [19]. Die Frage, wie viel zentral und wie viel dezentral bereitete werden soll, ist noch nicht endgültig gelöst und soll weiter vertieft werden.
- Anpassungsfähige, auf Prognosen basierte Regelung von Wärmepumpen: Heutige Regelstrategien von Wärmepumpen berücksichtigen Sperrzeiten und teilweise auch Nacht- und Tagtarife der Stromkosten. Moderne Fussbodenheizsysteme sind allerdings träge und führen zu erhöhten Innentemperaturen bei schnellem Anstieg der Aussentemperatur oder bei intensiver Sonneneinstrahlung. Regelstrategien mit Einbezug von Meteoprognozen könnten hier eine Verbesserung erreichen.

SCHWERPUNKT 4: HOCHEFFIZIENTE SYSTEME FÜR DIE WARMWASSERAUFBEREITUNG

Fokusthema: Systeme zur Warmwasserbereitung

Die Warmwasserbereitung ist auch eine Systemaufgabe. Heute wird in den privaten Haushalten der Energiebedarf für die Warmwasserbereitung immer noch zu 26 % mit elektrisch betriebenen ohm'schen Warmwasserboilern erzeugt, erst knapp 1 % durch schon heute erhältliche Warmwasserpumpen [4]. Gegenwärtig laufen Forschungsprojekte zur optimalen Bereitung von Warmwasser mit Wärmepumpen, die sich nach klassischen Ansätzen orientieren. Forschungsbedarf besteht für neue Systeme, die auch die Abwasserwärmerückgewinnung, die Integration von Solarwärme und wiederum die Frage zentral/dezentral vertieft aufnehmen sollten. Zentral/dezentral kann sich auf mehrere Gebäude, auf ein grösseres Gebäude oder auch auf Gebäude/Zapfstelle beziehen.

SCHWERPUNKT 5: MINIATURISIERUNG UND NEUE WEGE FÜR DEN EINBAU VON HEIZ- UND KÜHLSYSTEMEN MIT WÄRMEPUMPEN (PLUG AND PLAY)

Fokusthema: Neue Wege für den Einbau des Heizungssystems (plug and play)

Heizsysteme bestehen heute immer noch aus einzeln geplanten und installierten Komponenten wie Heizkessel, Umwälzpumpe und Heizkreisregler, Expansionsgefäß. Es sollen Systeme entwickelt werden, die integrierte Lösungen enthalten, die kostengünstiger fabriziert und montiert werden können. Dies gilt insbesondere für Systeme mit Mehrfachnutzung.

Fokusthema: Miniaturisierung mittels Kleinstkompressoren und Mikrowärmetauschern zwecks Integration in Gebäudeelemente

Wärmepumpen sind im kleineren Leistungsbereich Standardprodukte. Sie werden aber meistens immer noch in einem separaten Raum aufgestellt. Kleinere Wärmepumpen könnten aber auch als Gebäudeelemente oder in Gebäudeelementen eingebaut werden, zum Beispiel als Wandelement-Wärmepumpe unter einem Fenster, die einen einzelnen Raum beheizen würde. Durch die Miniaturisierung und durch Serienfertigung könnten mehrere Wandelementwärmepumpen gesamthaft günstiger sein als eine zentrale Wärmepumpe und ein zugehöriges Wärmeverteilsystem. Dafür sind Kleinstkompressoren (high speed) und Mikrowärmetauschern (micro channels, nano tubes) unter 5 kW thermischer Leistung zu entwickeln.

SCHWERPUNKT 6: UMWELTVERTRÄGLICHE ARBEITSMEDIEN FÜR WÄRMEPUMPEN UND KÄLTEMASCHINEN

Fokusthema: Neuartige, umweltfreundliche Kältemittel

Die bisher eingesetzten Arbeitsmedien besitzen immer noch Umweltgefährdungspotenziale. ODP (Ozon Depletion Potential) und GWP (Greenhouse Warming Potential) sollten Null sein. Leider besitzen alle natürlichen Kältemittel individuelle Nachteile in verschiedenen Bereichen, die die Konzeption der Wärmepumpen und Kältemaschinen stark beeinflussen und Zusatzeinrichtungen verlangen. Ammoniak ist giftig und auch schon in kleinen unbedenklichen Konzentrationen stark riechbar, was zugleich als Vor- und auch als Nachteil betrachtet werden kann. Propan zeigt zwar sehr gute Wirkungsgrade, ist aber brennbar und in gewissen Konzentrationen mit Luft auch explosiv und Kohlendioxid im Wärmepumpeneinsatz führt zu einem überkritischen Prozess und bedingt hohe Drücke bis 120 bar. CO₂ ist für viele Anwendungen, zum Beispiel für den Einsatz in Wärmepumpen für Fussbodenheizungen, energetisch ungeeignet. In der Kälteindustrie muss CO₂ – eventuell auch in Kaskadenschaltungen – weiter untersucht und gefördert werden. Heute steht ein neues Kältemittel am Beginn der Felderprobung: HFO-1234yf besitzt ein ODP von 0 und ein GWP von 4 und wurde von der Autoindustrie als möglicher Ersatz für das heute weit verbreitete aber klimaschädliche Kältemittel R134a vorgeschlagen. Die Eignung für die Anwendung in Wärmepumpen und Kältemaschinen muss noch geprüft werden.

Fokusthema: Magneto-kalorischer Effekt

Sehr viel versprechend ist die magnetische Wärmepumpe, die nach dem magneto-kalorischen Effekt funktioniert und ganz ohne Kältemittel auskommt. Die Idee ist bestechend, doch ein funktionierender Prototyp existiert bis heute noch nicht. Zudem ist unklar, in welchen Mengen die benötigten magnetischen Ausgangsmaterialien beschafft werden können und welchen Marktpreis sie dereinst haben werden. Diese Wissenslücken sollen gefüllt werden.

PILOT- UND DEMONSTRATIONSPROJEKTE (P&D)

In allen Bereichen sollen wieder P&D-Projekte unterstützt werden, damit die Erkenntnisse aus der Forschung möglichst schnell in der Praxis bewiesen und verbreitet werden können. Dabei kann es sich entweder um eine Erstanwendung in der Praxis handeln oder um ein innovatives Projekt mit hoher Visibilität, das somit einen starken Demonstrationseffekt aufweist.

8. Umsetzung der Ziele

Die Art und Weise wie Forschungsprojekte durchgeführt werden, soll wie bisher fortgesetzt werden. Die Hauptakteure bleiben die Fachhochschulen wegen ihrer theoretisch fundierten Kenntnisse, gepaart mit der Nähe zur praktischen Umsetzung. Die Hochschulen engagieren sich v.a. in theoretisch ausgerichteten Projekten. Kleinere Ingenieur- und Entwicklungsfirmen engagieren sich ebenfalls im Forschungsprogramm. Insbesondere sind aber auch die Hersteller aufgefordert, sich vermehrt in die Forschung einzubringen. Der dadurch entstehende Know-how-Vorsprung soll diesen Firmen Marktvorteile verschaffen.

Referenzen

- [1] **Schweizerische Gesamtenergiestatistik 2007**, Bundesamt für Energie, Bern, 2008.
- [2] U. Kaufmann, St. Gutzwiller, J. Gülden: **Thermische Stromproduktion inklusive Wärmekraftkopplung (WKK) in der Schweiz, Ausgabe 2007**, Bundesamt für Energie, Bern, September 2008
- [3] F. Rognon: **Rund um Wärmepumpen in 10 Fragen – Antworten für Laien und Interessierte über Wärmepumpen und deren Anwendungen**, Bundesamt für Energie, Bern, August 2007.
- [4] A. Kirchner et al.: **Analyse des schweizerischen Energieverbrauchs 2000 – 2006 nach Verwendungszwecken**, Bundesamt für Energie, Bern, April 2008.
- [5] **Energiebedarf bei der technischen Erzeugung von Kälte in der Bundesrepublik Deutschland**, Statusbericht Nr.22 des Deutschen Kälte- und Klimatechnischen Vereins (DKV), Juni 2002.
- [6] M. Kaufmann: **Energiepolitik, Energieeffizienz und Kälte**, Vortrag am Kälte-Forum08, 27. November 2008
- [7] F. Rognon: **The Role of the State and the Economy in the Promotion of Heat Pumps on the Market**, Vortrag an der 9th International heat Pump Conference 20 – 22 May 2008 Zürich, Conference proceedings at IEA Heat Pump Centre (hpc@heatpumpcentre.org), S-501 15 Boras, Schweden
- [8] FWS, Fördergemeinschaft Wärmepumpen Schweiz, www.fws.ch
- [9] R. Donnerbauer: **Heizungsindustrie setzt auf Effizienz**, VDI-Nachrichten, Düsseldorf, 15.6.2007
- [10] R. Dettli, M. Baur, D. Philippen, M. Kernen: **Potenzial Erneuerbarer Energien in grösseren fossilen Feuerungen**, Schlussbericht Projekt 101'506, Bundesamt für Energie, Bern, Januar 2007.
- [11] Th. Lang: **Workshop Lücken zwischen den Gewerken**, Kälte-Forum 2008, Zürich, 27.11.2007
- [12] AWP Schweiz, Arbeitsgemeinschaft Wärmepumpen Schweiz, www.awpschweiz.ch
- [13] WPZ Testbulletin, neueste Ausgaben 01-2008 und 02-2008, (www.wpz.ch)
- [14] WKK-Fachverband, (www.waermekraftkopplung.ch)
- [15] Verband Effiziente Energie Erzeugung – V3E, Pressemitteilung der Gründungsversammlung vom 6. November 2008, (www.v3e.ch)
- [16] SVK, Schweizerischer Verein für Kältetechnik (www.svk.ch)
- [17] IEA Heat Pump Centre mit 4 mal jährlich erscheinendem Newsletter, (hpc@heatpumpcentre.org), S-501 15 Boras, Sweden.
- [18] **9th International IEA Heat Pump Conference 20 -22 May 2008, Zürich**: Conference Proceedings at Heat Pump Centre, S-501 15 Boras, Schweden
- [19] G. Lehner: **Niedertemperaturverteilung - Kalte Fernwärme in Tourismusregionen**, Vortrag an der 8. Fernwärme-Tagung, Biel, 15. Januar 2009 (Bezug Bezug Fernwärme Schweiz www.fernwaerme-schweiz.ch)