

# News aus der Wärmepumpen-Forschung

Gross-Wärmepumpen – Komponenten –  
Wärmepumpe und Solar

Mittwoch, 9. Juni 2010 HTI Burgdorf



16. Tagung des Forschungsprogramms  
Wärmepumpen, Wärme-  
Kraft-Kopplung, Kälte des  
Bundesamts für Energie (BFE)



Schweizerische Eidgenosse  
Confédération suisse  
Confederazione Svizzera  
Confederaziun svizra

Bundesamt für Energie BFE

# News aus der Wärmepumpen-Forschung

Gross-Wärmepumpen – Komponenten –  
Wärmepumpe und Solar

Tagungsband zur  
16. Tagung des Forschungsprogramms  
Wärmepumpen, Wärme-Kraft-Kopplung, Kälte

9. Juni 2010  
Berner Fachhochschule  
HTI Burgdorf

Herausgeber  
Bundesamt für Energie (BFE)



Schweizerische Eidgenossenschaft  
Confédération suisse  
Confederazione Svizzera  
Confederaziun svizra

**Bundesamt für Energie BFE**

## **Impressum**

Datum: Juni 2010

**Bundesamt für Energie**, Forschungsprogramm Wärmepumpen, WKK, Kälte  
Mühlestrasse 4, CH-3063 Ittigen  
Postadresse: CH-3003 Bern

[www.bfe.admin.ch](http://www.bfe.admin.ch)

Bezugsort der Publikation: [www.bfe.admin.ch/forschung/waermepumpe](http://www.bfe.admin.ch/forschung/waermepumpe)

## Vorwort

# News aus der Wärmepumpen- Forschung

*Unter dem Stichwort «Gross-Wärmepumpen» berichten wir an der diesjährigen Tagung von interessanten Feldmessungen, die grosse Unterschiede in den Leistungszahlen aufweisen und erklären die Ursachen von schlechten Anlagen. Dabei spielen das energietechnische Grundkonzept und die Anlagenplanung eine zentrale Rolle. Ein zweiter Schwerpunkt ist der Kombination «Wärmepumpen und Solarthermie» gewidmet. Die Schweiz beteiligt sich in diesem Gebiet in einer internationalen Forschungsaktivität im Rahmen der internationalen Energieagentur IEA. Weitere Stichworte sind «Wärmepumpe zum Heizen und Kühlen», «Leistungsgeregelte Wärmepumpen» und «neue Entwicklungen im Bereich Geothermie» als Energiequelle für Wärmepumpen. Ebenfalls werden die zukünftigen Aktivitäten der Fördergemeinschaft Wärmepumpen Schweiz FWS und der gegenwärtige Stand der BFE-Aktivitäten in den Bereichen Forschung und Markt präsentiert.*

*Die Präsentation von Forschungs- und Entwicklungsvorhaben wird aber nicht nur für Forschende von Interesse sein, sondern wir möchten auch Hersteller, Planer und Installateure ansprechen. Sie erhalten wertvolle Impulse für ihre jeweiligen Anwendungsgebiete, andererseits freuen wir uns, wenn Sie in den Diskussionen auch ihre Meinung und ihre Erfahrungen einbringen.*

**Prof. Dr. Thomas Kopp**

*ProgramMLEITER Forschung + Entwicklung*

**Andreas Eckmanns**

*Bereichsleiter Forschung*

**Dr. Richard Phillips**

*Bereichsleiter Markt*

Avant-propos

## Nouvelles de la recherche sur les pompes à chaleur

*Sous la dénomination « grosses pompes à chaleur » cette année nous vous présenterons des mesures intéressantes prises sur le terrain et nous vous expliquerons les causes qui font que certaines installations soient mauvaises. A cet effet le concept énergétique et la planification de l'installation jouent un rôle central. Un deuxième point fort sera dédié à la combinaison « pompes à chaleur et solaire thermique ». La Suisse participe dans ce domaine à une activité de recherche internationale dans le cadre de l'agence internationale de l'énergie (AIE). D'autres mots-clés sont « pompe à chaleur pour chauffer et refroidir », « pompes à chaleur à puissance contrôlée » et « nouveaux développements dans le domaine de la géothermie » comme source d'énergie pour les pompes à chaleur. Les activités futures du Groupement promotionnel Suisse pour les Pompes à chaleur GSP seront également présentées, ainsi que la situation actuelle des activités de l'OFEN dans les domaines de la recherche et du marché.*

*La présentation des projets de recherche et développement n'est seulement pour les chercheurs, mais nous souhaitons qu'elle réponde aussi aux besoins et aux attentes des fabricants, des planificateurs et des installateurs. Vous obtiendrez ainsi des précieuses impulsions dans vos domaines d'applications respectifs. De plus vous aurez l'occasion de participer aux discussions en y apportant vos expériences et vos opinions.*

**Prof. Dr. Thomas Kopp**

*Responsable de programme de recherche et développement*

**Andreas Eckmanns**

*Responsable recherche*

**Dr. Richard Phillips**

*Responsable marché*

## Referenten

**Andreas Eckmanns**

dipl. el. Ing. FH  
Leiter Forschungsbereich Wärmepumpen, Wärme-Kraft-  
Kopplung, Kälte  
Bundesamt für Energie  
CH-3003 Bern  
*andreas.eckmanns@bfe.admin.ch*

**Richard Phillips**

Dr. Ing. dipl. EPF, EMBA  
Responsable marché pompe à chaleur, CCF, froid  
Office fédéral de l'énergie (OFEN)  
CH-3003 Berne  
*richard.phillips@bfe.admin.ch*

**Thomas Kopp**

Prof., Dr.sc.techn. ETHZ, dipl. Masch.Ing. ETHZ  
Programmleiter des BFE-Forschungsprogramms Wärmepumpen,  
Wärme-Kraft-Kopplung, Kälte  
Professor für Thermodynamik und Energietechnik  
Hochschule für Technik Rapperswil HSR  
CH-8640 Rapperswil  
*tkopp@hsr.ch*

**Jean-Christophe Hadorn**

dipl. Ing. EPFL, HEC MBA Lausanne  
BASE consultants SA  
8 rue du Nant  
CH-1207 Genève  
*jchadorn@baseconsultants.com*

**Peter Hubacher**

dipl. Ing. HTL/HLK  
Hubacher Engineering  
Tannenbergrasse 2  
CH-9032 Engelburg  
*he-ko@bluewin.ch*

**Jean-Philippe Borel**

Dr. ing. méc. EPFZ  
Ingénieur conseil, BEC Borel Energy Consulting  
Rue des Cerisiers 5  
CH-1530 Payerne  
*contact@borelenergy.ch*

**Andreas Meier**

M.Eng., dipl. Ing. FH  
Mayekawa Intertech AG  
Rosenbergstrasse 31  
CH-6300 Zug  
*ameier@mayekawa.ch*

**Lukas Gasser**

dipl Ing. FH  
Hochschule Luzern – Technik & Architektur  
CC Thermische Energiesysteme & Verfahrenstechnik  
Technikumstrasse 21  
CH-6048 Horw  
*lukas.gasser@hslu.ch*

**Thomas Afjei**

Prof, Dr. sc. techn. ETH  
Fachhochschule Nordwestschweiz, Hochschule für Architektur,  
Bau und Geomatik  
Institut Energie am Bau  
Sankt-Jakobs Strasse 84  
CH-4132 Muttenz  
*thomas.afjei@fhnw.ch*

**Stephan Peterhans**

dipl. Ing. HLK, FH/NDS U  
Fachvereinigung Wärmepumpen Schweiz FWS  
Steinerstrasse 37  
CH-3006 Bern  
*stephan.peterhans@fws.ch*

**Fabrice Rognon**

Ing. dipl. EPFZ en mécanique  
Planair SA, Ingénieurs conseils SIA  
Crêt 108a  
CH-2314 La Sagne  
*fabrice.rognon@planair.ch*

**Stéphanie Perret**

Ing. dipl. ENSIC en génie chimique, MSC Chalmers  
Planair SA, Ingénieurs conseils SIA  
Crêt 108a  
CH-2314 La Sagne  
*stephanie.perret@planair.ch*

**Beat Wellig**

Prof., Dr. sc. Techn. ETH  
Hochschule Luzern – Technik & Architektur  
CC Thermische Energiesysteme & Verfahrenstechnik  
Technikumstrasse 21  
6048 Horw  
*beat.wellig@hslu.ch*

# Inhaltsverzeichnis

<b>Ziele und Trends in der Energieforschung</b>	<b>9</b>
Andreas Eckmanns	
<b>Vue d'ensemble du marché de la pompe à chaleur en 2009 et perspectives futures</b>	<b>18</b>
Richard Phillips	
<b>Internationale Zusammenarbeit im IEA-HPP</b>	<b>28</b>
Thomas Kopp	
<b>Solaire et pompe à chaleur – Tâche 44 de l'AIE SHC &amp; HPP</b>	<b>43</b>
Jean-Christophe Hadorn	
<b>Feldmonitoring und Analysen an Grosswärmepumpen</b>	<b>52</b>
Peter Hubacher	
<b>Importance de la conception dans les installations à grosses pompes à chaleur</b>	<b>71</b>
Jean-Philippe Borel	
<b>CO<sub>2</sub>-Grosswärmepumpen</b>	<b>82</b>
Andreas Meier	
<b>Leistungsgeregelte Luft/Wasser-Wärmepumpe</b>	<b>90</b>
Lukas Gasser	
<b>Wärmepumpen zum Heizen und Kühlen, effiziente Systemlösungen im Annex 32</b>	<b>103</b>
Thomas Afjei	
<b>Aktivitäten der FWS nach 2010</b>	<b>118</b>
Stephan Peterhans	
<b>Meilleure valorisation de la géothermie par des sondes géothermiques profondes</b>	<b>130</b>
Fabrice Rognon & Stéphanie Perret	
<b>Potential von CO<sub>2</sub>-Erdwärmesonden</b>	<b>140</b>
Beat Wellig	
Abkürzungsverzeichnis	<b>152</b>
Nützliche Adressen	<b>153</b>



Andreas Eckmanns  
dipl. el. Ing. FH  
Leiter Forschungsbereich Wärmepumpen, Wärme-Kraft-Kopplung, Kälte  
Bundesamt für Energie  
CH-3003 Bern  
andreas.eckmanns@bfe.admin.ch  
www.bfe.admin.ch

## Ziele und Trends in der Energieforschung

### *Zusammenfassung*

*Das Forschungsprogramm Wärmepumpen, WKK, Kälte strebt die schnellere und gezieltere Erreichung einer auf regenerativer Energie basierten Versorgung der Schweiz mit Nutzwärme und Nutzkälte an. Die heutigen Zielsetzungen liegen deshalb in der Steigerung der Effizienz, der Systemoptimierung und der Senkung der Kosten. Die eidg. Forschungskommission CORE möchte die schweizerische Energieforschung erneut den künftigen Trends im Energiesektor anpassen. Sie orientiert sich dabei an den langfristigen Zielsetzungen von Wissenschaft und Politik, die für die nächsten Jahrzehnte eine markante Steigerung der Energieeffizienz bei gleichzeitiger starker Reduktion der CO<sub>2</sub>-Emissionen verlangen. Für das Forschungsprogramm WP, WKK, Kälte bedeutet dies, dass der Wärmepumpentechnologie bei der zukünftigen Wärme- und Kältebereitstellung eine Schlüsselrolle zufallen wird, da sie das Potenzial hat, CO<sub>2</sub>-frei betrieben zu werden. Forschungsaktivitäten im Bereich fossil betriebener WKK-Technologien zielen eher auf einen kurz- bis mittelfristigen Zielhorizont von 5 bis 10 Jahren ab. Danach gilt es die fossil betriebenen WKK-Anlagen durch eine emissionsfreie Technologie – z.B. Brennstoffzellen – abzulösen.*

### **Summary**

*The Heat pump technologies, cogeneration, refrigeration research programme aims to accelerate the Swiss energy supply of heat and cold on a renewable basis. Therefore, today's research goals are in the area of improvement of energy efficiency, system optimization and lowering of cost. The federal research commission CORE now aims to adapt the Swiss energy research on future trends in the energy sector. Doing so, the commission is oriented along the long term goals of science and politics which are for the next decades a remarkable increase in energy efficiency and in the same time a strong reduction of CO<sub>2</sub> emissions. In consequence this means for the research programme that heat pump technologies will have a leading role for the future provision of heat and cold as this technology has the potential of being operated CO<sub>2</sub> free. The research activities in the field of fossil powered CHP*

*technologies will have a short to mid-term time horizon of 5 to 10 years. After then they should be replaced by an emission free technology – e.g. fuel cells.*

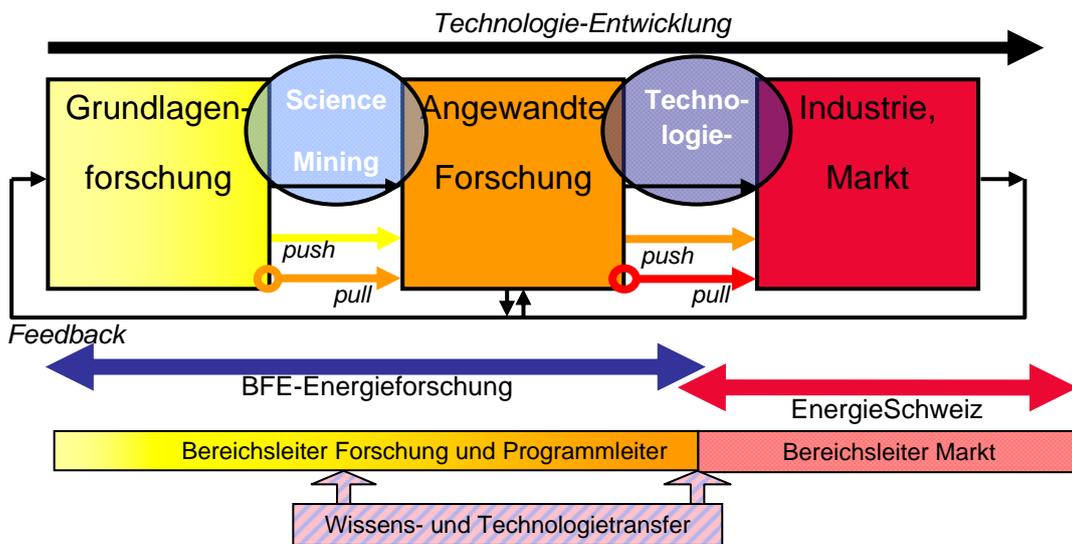
## Einleitung

Energieforschung ist ein Grundpfeiler der schweizerischen Energiepolitik. 1984 hat der Bundesrat ein erstes Konzept der Energieforschung des Bundes gutgeheissen und zugleich das Bundesamt für Energie (BFE) mit der systematischen Planung und Koordinierung der Energieforschung der öffentlichen Hand beauftragt. 1986 setzte das Eidgenössische Departement für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation (UVEK) die CORE – Commission fédérale pour la Recherche Energétique – als beratendes Organ für die Energieforschung ein. Zu den Aufgaben der Kommission gehört unter anderem, das Energieforschungskonzept des Bundes regelmässig zu überprüfen und den neuesten Entwicklungen anzupassen [1].

Das aktuelle Forschungskonzept der CORE betrifft die Jahre 2008 – 2011 und wurde bis 2012 verlängert. Es nennt strategische und quantitative Ziele für die schweizerische Energieforschung, die den allgemeinen Rahmen zu den Detailkonzepten der einzelnen Forschungsprogramme vorgeben. Für das Vierjahreskonzept des BFE-Forschungsprogramms „Wärmepumpen, WKK, Kälte“ sind folgende langfristige CORE-Ziele relevant:

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

Die Forschungsprogramme des BFE fördern zur Hauptsache angewandte Forschung. Für die Finanzierung von Projekten im Bereich Wärmepumpen, WKK, Kälte sind auch der Foga ([www.erdgas.ch](http://www.erdgas.ch)), der Axpo Naturstromfonds ([www.axpo.ch](http://www.axpo.ch)) sowie die kantonalen und städtischen Ämter im Energie- und Gebäudebereich wichtige Partner. Weitere Fördermöglichkeiten entlang der Innovationskette (Bild 1) bestehen für die Grundlagenforschung (v.a. Schweizerischer Nationalfonds) sowie für die Produkteentwicklung an der Schnittstelle zum Markt (v.a. Kommission für technische Innovation KTI).

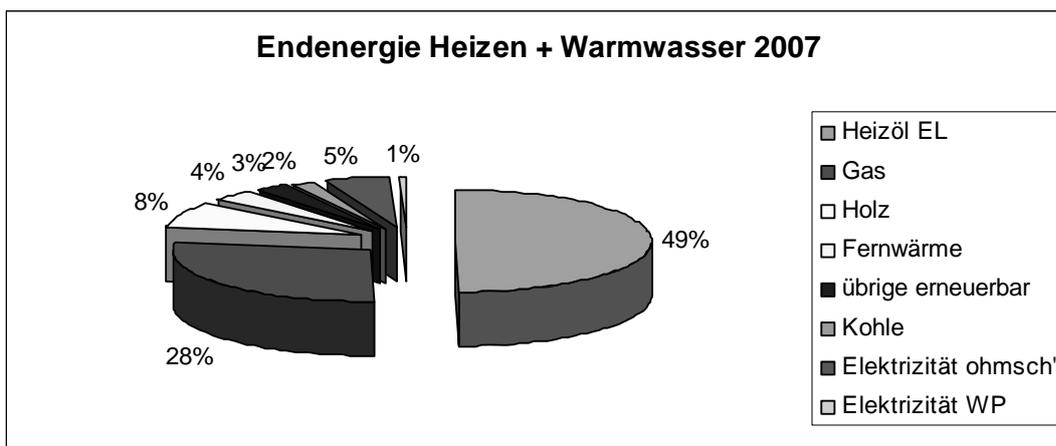


**Bild 1:** Forschung und Entwicklung entlang der Innovationskette, Grafik BFE

Das BFE-Forschungsprogramm Wärmepumpen, WKK, Kälte

### Ausgangslage

Die Schweiz wird heute zu drei Vierteln fossil beheizt. Strom für Wärmepumpen machen gerade einmal ein Prozent der gesamten Heizenergie aus, während immer noch 5 Prozent in ohm'schen Widerstandsheizungen verbraucht werden [2]. Wir sind also noch sehr weit weg von einer umweltverträglichen Energieversorgung für die Anwendung Heizen, wie Figur 1 zeigt.



**Figur 1:** Verteilung der Heizenergie in der Schweiz auf die Energieträger, Grafik BFE

Die Heizenergie für Gebäude wird heute hauptsächlich 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 [3].

Daraus lässt sich das angestrebte Energiekonzept ableiten: 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 verteilt und den Nutzern zugeführt werden, die ihre Heizbedürfnisse mit elektrisch angetriebenen Wärmepumpen decken.

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 CO<sub>2</sub>-Reduktion von 50 % erreicht werden. Dies legitimiert das Forschungsprogramm, auch die Technologie der fossil betriebenen WKK-Anwendungen mit Forschungsgeldern weiter voran zu bringen.

Der Bedarf von Kälte in Form von Kühlenergie für Gebäude und Prozesskälte nimmt stetig zu und ist nicht mehr aus unserer heutigen Gesellschaft wegzudenken. Der Energiebedarf für die Kältebereitstellung ist beträchtlich und besteht vorwiegend aus elektrischer Energie, die als Antriebsenergie für die notwendigen Kompressoren und Ventilatoren eingesetzt wird. In diesem Bereich soll mit dem Forschungsprogramm dazu beigetragen werden, dass der Anteil an elektrischer Energie sinkt. Da Kältemaschinen und Wärmepumpen technologisch gleich aufgebaut sind, bestehen in beiden Anwendungen weitgehend die gleichen technischen Verbesserungspotenziale.

In 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 die Gebäudehülle in einem schlechten Zustand ist. Ein Kältekonzept, worin eine Kälteanlage in der hintersten Ecke eines Supermarktkomplexes steht, die Kälte 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.

## Ziele des Forschungsprogramms

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 Standardkonfigurationen. Die konkreten Zielsetzungen liegen deshalb in allen Bereichen des Forschungsprogramms in der Steigerung der Effizienz, der Systemoptimierung und der Senkung der Kosten.

Oft begründen höhere Wirkungsgrade allerdings 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. Um dies zu erreichen, muss auch die Politik ihre Verantwortung wahrnehmen.

Nachfolgend sind die Forschungsschwerpunkte des BFE-Programms Wärmepumpen, WKK, Kälte 2008 – 2011 aufgelistet. Details dazu können aus [2] entnommen werden unter [www.bfe.admin.ch/forschung/waermepumpe](http://www.bfe.admin.ch/forschung/waermepumpe) →Dokumente, →Detailkonzept.

### **Forschungsschwerpunkt 1: Verbesserung von Komponenten und der thermodynamischen Kreisprozesse bei Wärmepumpen und Kälteanlagen**

- Komponentenverbesserungen bei Wärmepumpen
- Verbesserungen der Kreisprozesse

### **Forschungsschwerpunkt 2: Effizienzverbesserung bei WKK-Anlagen und Reduktion der Schadstoffemissionen**

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

### **Forschungsschwerpunkt 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

### **Forschungsschwerpunkt 4: Hocheffiziente Systeme für die Warmwasseraufbereitung**

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

### **Forschungsschwerpunkt 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

### **Forschungsschwerpunkt 6: Umweltverträgliche Arbeitsmedien für Wärmepumpen und Kältemaschinen**

- Neuartige Kältemittel
- Magneto-kalorischer Effekt

### **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.

### **Zukünftige Trends und langfristige Ziele**

Gemäss CORE soll die Energieforschung in der Schweiz erneut den künftigen Trends im Energiesektor angepasst werden [4]. Verschiedene aktuelle Studien und Strategiedokumente befassen sich mit der langfristigen Entwicklung des Energiebedarfs und der Bereitstellung von Energie. Insbesondere sind zu erwähnen:

- Zur Beschränkung der globalen Temperaturerhöhung auf 2,0 bis 2,4 C ist laut IPCC eine Reduktion der gesamten Treibhausgase um 25–40 % bis 2020 und 80–95 % bis ins Jahr 2050 nötig.
- Die ETH-Energiestrategie geht davon aus, dass jährliche CO<sub>2</sub>-Emissionen von 1 t CO<sub>2</sub> pro Kopf der Weltbevölkerung langfristig als nachhaltig bezeichnet werden können und betont gleichzeitig mit der Metapher der „2000-Watt-Gesellschaft“ die Bedeutung der Energie- und Materialeffizienz.
- Der IEA World Energy Outlook 2010 fordert eine Lösung für die CO<sub>2</sub>-Problematik und wünscht Aktionen der Politik.
- Die europäische Politik verfolgt mit der 20–20–20-Strategie bezüglich CO<sub>2</sub>, erneuerbaren Energien und Energieeffizienz eine kohärente und für die Mitgliedstaaten der EU verbindliche Strategie (20 Prozent CO<sub>2</sub>-Reduktion, 20 Prozent Anteil erneuerbare Energie am Energieverbrauch, 20 Prozent mehr Energieeffizienz bis 2020).

- Die schweizerische Energiepolitik strebt mit dem CO<sub>2</sub>-Gesetz bis 2020 ebenfalls eine substantielle Reduktion des CO<sub>2</sub>-Ausstosses von 30 Prozent im Vergleich zu 1990 an.

Allen diesen Studien und Strategien ist gemein, dass sie für die nächsten Jahrzehnte eine markante Steigerung der Energie- und Materialeffizienz bei gleichzeitiger starker Reduktion der Treibhausgasemissionen verlangen. Die CORE orientiert sich in ihren Arbeiten an diesen langfristigen Zielsetzungen von Wissenschaft und Politik.

Das Energieforschungskonzept des Bundes 2013 – 2016, welches aktuell durch die CORE ausgearbeitet wird, fokussiert neu auf vier strategische Schwerpunkte. Diese heissen:

- „Wohnen und Arbeiten der Zukunft“
- „Mobilität der Zukunft“
- „Energiesysteme der Zukunft“
- „Prozesse der Zukunft“

Sämtliche Betrachtungen in diesem Konzept beziehen sich auf den gesamten Lebenszyklus der einzelnen Bereiche. Die erzielten Fortschritte müssen einen angemessenen Nutzen in den drei Dimensionen einer nachhaltigen Entwicklung – Ökologie, Ökonomie, Soziales – erbringen, das heisst, eine Verbesserung in einer dieser Dimensionen darf nicht zu Lasten einer anderen erreicht werden.

Mit der Neugliederung in die vier Schwerpunkte können die Forschungsprogramme stärker untereinander vernetzt und damit besser programmübergreifende Projekte gefördert werden. Zudem sind die Ziele der Schweizer Energieforschung so besser kommunizierbar.

Ausserdem soll die Fokussierung der Energieforschung auf 4 Schwerpunkte auch den gezielten Einsatz der öffentlichen Gelder erleichtern. Die Aufwendungen der öffentlichen Hand für die Energieforschung in der Schweiz, die in den 1990er Jahren noch real 250 Mio. Franken betragen, bewegen sich heute auf relativ tiefem Niveau: 2007 waren es rund 170 Mio. Franken. Die CORE empfiehlt bereits im aktuellen Energieforschungskonzept, die Forschungsgelder der öffentlichen Hand auf mindestens 200 Mio. Franken im Jahr 2011 aufzustocken. Diesem Anliegen soll in Zukunft seitens der CORE mehr Ausdruck verliehen werden.

## **Wohnen und Arbeiten der Zukunft**

Der Schwerpunkt „Wohnen und Arbeiten der Zukunft“ umfasst die Erforschung und Entwicklung von Technologien, Konzepten und Massnahmen zur Minimierung des Energiebedarfs, zur effizienten Energieverwendung und zur Gewinnung von regenerativen Energien im Gebäudebereich. Für die Erarbeitung des Schwerpunkts Wohnen und Arbeiten und die Abstimmung der Inhalte mit den wichtigsten Stakeholdern ist der Autor im Sinne eines Primus inter pares verantwortlich.

Der Leitsatz des Schwerpunkts „Wohnen und Arbeiten der Zukunft“ könnte wie folgt lauten:

*„Auf dem Weg zum energieoptimierten und emissionsfreien Gebäudepark der Schweiz“*

Wohnen und Arbeiten der Zukunft soll möglichst energieautark und frei von Schadstoff- und Treibhausgasemissionen erfolgen. Dazu muss der Schweizer Gebäudepark in den nächsten Jahrzehnten stark verändert werden. Bestehende Gebäude müssen in ihrem Energieverbrauch bedeutend reduziert und CO<sub>2</sub>-frei betrieben werden. Neue Gebäude sollen über ihren Lebenszyklus betrachtet keine nicht erneuerbare Energie benötigen. Es gilt, die dafür nötigen Technologien, Konzepte und Massnahmen zur intelligenten Energieumwandlung und -nutzung im Gebäudebereich zu erforschen und das gewonnene Wissen für die Anwendung im Markt bereit zu stellen.

## **Bedeutung für das Forschungsprogramm WP, WKK, Kälte**

Bei der Wärmebereitstellung fällt der Wärmepumpe somit eine Schlüsselrolle zu. Sie ist als Technologie verfügbar und hat das Potenzial, CO<sub>2</sub>-emissionsfrei betrieben zu werden. Entsprechend müssen die vorhandenen Effizienzpotenziale nutzbar gemacht werden. Eine Systembetrachtung innerhalb der einzelnen Anwendungen ist dabei unabdingbar. Das gleiche gilt sinngemäss für die Kühlung, deren Verbreitung insbesondere im Dienstleistungssektor weiterhin zunehmen wird. Forschungsaktivitäten im Bereich fossil betriebener Wärme-Kraft-Kopplungstechnologien zielen eher auf einen kurz- bis mittelfristigen Zielhorizont von 5 bis 10 Jahren ab. Danach gilt es die fossil betriebenen WKK-Anlagen durch eine gänzlich CO<sub>2</sub>-emissionsfreie Technologie abzulösen. Aus heutiger Sicht steht dafür die Brennstoffzelle im Vordergrund.

## Quellen

- [1] Eidg. Energieforschungskommission, Konzept der Energieforschung des Bundes 2008 bis 2011, 2007.
- [2] Bundesamt für Energie, Schweizerische Gesamtenergiestatistik 2007, 2008.
- [3] T. Kopp und A. Eckmanns: Energieforschungsprogramm Wärmepumpen, Wärme-Kraft-Kopplung, Kälte für die Jahre 2008–2011, Bundesamt für Energie, 2009.
- [4] CORE / Bundesamt für Energie, Neuausrichtung der Schweizer Energieforschung Lanciert, Pressemitteilung vom 9. April 2010.

Richard Phillips  
Dr. Ing. dipl. EPF, EMBA  
Responsable marché pompe à chaleur, CCF, froid  
Office fédéral de l'énergie (OFEN)  
CH-3003 Berne  
[richard.phillips@bfe.admin.ch](mailto:richard.phillips@bfe.admin.ch)  
[www.bfe.admin.ch](http://www.bfe.admin.ch)

## Vue d'ensemble du marché de la pompe à chaleur en 2009 et perspectives futures

### *Résumé*

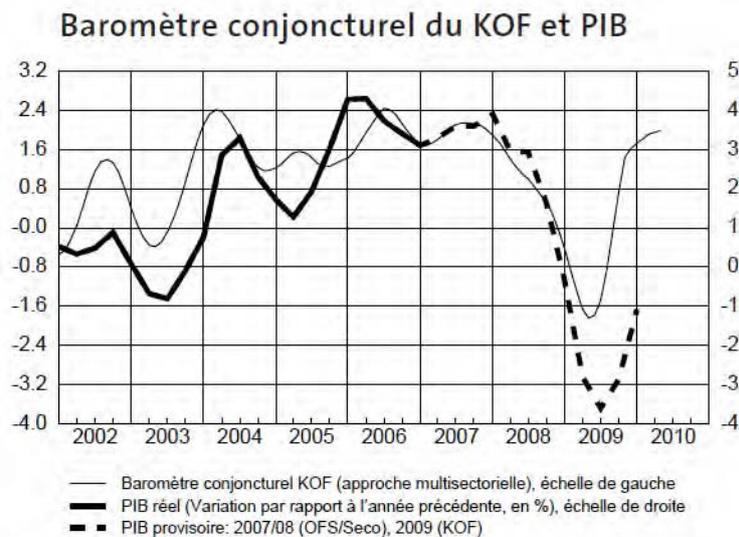
*Le marché de la pompe à chaleur dépend de plusieurs facteurs, telle que l'évolution du PIB et du prix des combustibles. Afin de pouvoir prédire l'évolution du marché, il existe des indicateurs, dont le baromètre conjoncturel qui a montré une contraction entre 2008 et 2009. Cependant, la vue d'ensemble de la situation des affaires par secteur a montré que le secteur des constructions avait bien résisté malgré la crise. En 2009 le marché Suisse de la pompe à chaleur a à nouveau dépassé la barre des 20'000 unités vendues. De plus, par rapport à certains pays européens, le marché Suisse a su garder son dynamisme malgré la crise. L'objectif des 400'000 pompes à chaleur installées d'ici 2020 est toujours réaliste, ce qui peut d'ailleurs être facilement démontré par une extrapolation de ventes. Les données actuelles du marché montrent une forte progression du domaine de la rénovation. Cette tendance devrait se poursuivre grâce à l'introduction de l'affectation partielle de la taxe CO<sub>2</sub> et du programme national d'assainissement des bâtiments.*

### *Zusammenfassung*

*Der Markt für die Wärmepumpen hängt von mehreren Faktoren ab, wie die Entwicklung des BIP und der Treibstoffpreise. Zur Vorhersage der Entwicklung des Marktes gibt es Indikatoren wie das Konjunkturbarometer, das einen Rückgang zwischen 2008 und 2009 zeigte. Jedoch zeigte der Überblick über die wirtschaftliche Lage nach Branche, dass das Baugewerbe trotz der Krise stabil geblieben ist. Im Jahr 2009 hat der Schweizer Markt der Wärmepumpen wieder die 20.000 verkauften Einheiten übertroffen. Zusätzlich und im Vergleich zu einigen europäischen Ländern hat der Schweizer Markt seine Dynamik trotz der Krise gehalten. Das Ziel von 400.000 installierten Wärmepumpen bis 2020 ist noch realistisch, was auch durch eine Hochrechnung des Umsatzes nachgewiesen werden kann. Die aktuellen Marktdaten zeigen einen starken Anstieg im Bereich der Sanierung. Dieser Trend dürfte sich dank der Einführung der CO<sub>2</sub> Teilzweckbindung und dem nationalen Gebäudesanierungsprogramm fortsetzen.*

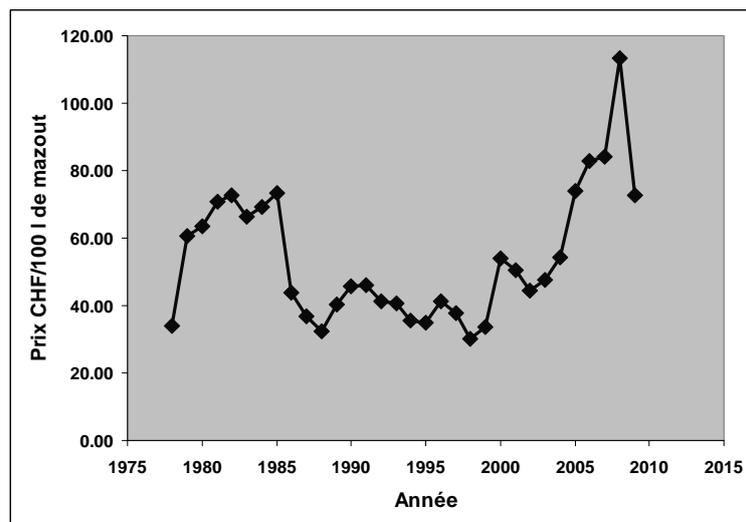
## Situation économique

Les paramètres qui permettent d'avoir une indication sur l'évolution du marché et de la consommation, ainsi que sur les éventuelles investissements dans le domaine des nouvelles constructions et de la rénovation dans les prochains mois à venir sont notamment l'évolution du PIB et l'évolution du prix des matières premières.



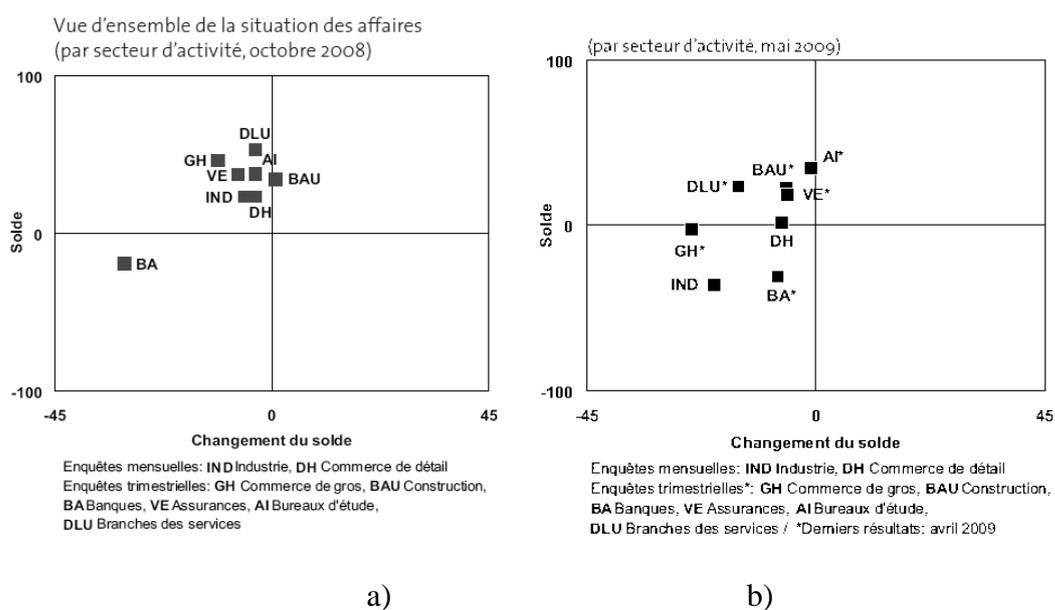
**Figure :1** Evolution du PIB et du baromètre conjoncturel du KOF depuis 2002 [1].

Certains instituts, tel que le KOF ont développé leurs propres indicateurs qui tiennent notamment compte de l'évolution de la situation des affaires issue d'enquêtes sur l'industrie et sur le commerce de détail. L'indicateur le plus connu du KOF est le baromètre conjoncturel<sup>1</sup>. La Figure 1 montre l'évolution du PIB et du baromètre conjoncturel depuis 2002. Les périodes 2008 et début 2009 sont marquées par une forte chute du PIB et par conséquent du baromètre conjoncturel. Cependant depuis le troisième trimestre 2009, les deux indicateurs n'ont cessé de remonter pour s'approcher des niveaux d'avant 2008.



**Figure 2:** Evolution moyenne annuelle du prix du mazout (quantité 1'501 l à 3'000 l) [2].

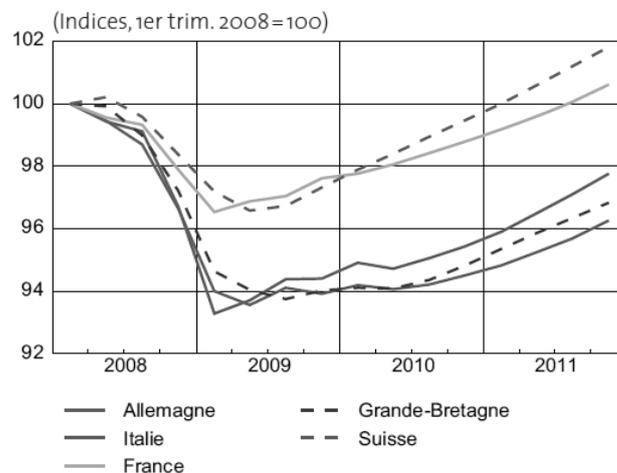
La Figure 2 montre l'évolution du prix du mazout<sup>2</sup>, qui après une forte augmentation en 2008 a fini par retrouver un niveau de prix comparable à celui de 2005. En d'autres termes, l'augmentation du prix du mazout a eu un effet positif en 2008, mais cet effet ne s'est pas maintenu aussi directement qu'en 2009. Cependant, on a pu voir que la volatilité du coût du mazout peut très rapidement atteindre des sommets. Le KOF a également développé une méthode graphique sous la forme d'un matrice qui permet d'avoir une vue d'ensemble de la situation des affaires par secteur, dont l'axe vertical indique le solde de la dernière enquête et l'axe horizontal la variation du solde [3].



**Figure 3:** Vue d'ensemble de la situation des affaires par secteur a) en octobre 2008 et b) en mai 2009 [4], [5].

La Figure 3a et 3b montrent, respectivement, la situation des affaires en octobre 2008 et en mai 2009 [4], [5]. En octobre 2008, on voit que tous les secteurs, à part les banques, ont un solde positif. Cependant tous les secteurs, sauf celui de la construction, prévoient un changement du solde négatif (arrivée de la crise). Au mois de mai 2009, beaucoup de secteurs ont un solde négatif (touchés de plein fouet par la crise), tandis que le secteur de la construction continue à maintenir un solde positif.

Les autres pays européens ont également été fortement touchés par la crise.

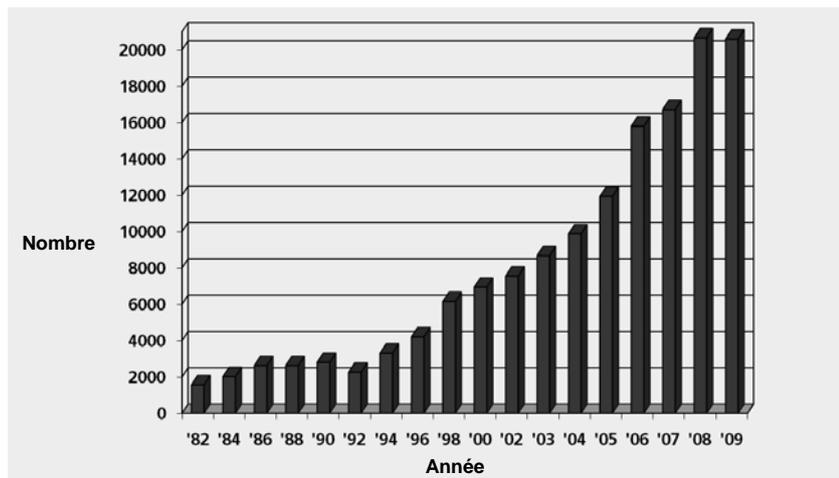


**Figure 4:** Evolution du PIB réel pour l'Allemagne, l'Italie, la France, la Grande-Bretagne et la Suisse [6].

La Figure 4 montre l'évolution du PIB réel entre 2008 et 2011 de l'Allemagne, de l'Italie, de la France, de la Grande-Bretagne et de la Suisse. Les cinq pays montrent une évolution du PIB similaire, bien que la Suisse et la France semblent avoir été moins profondément touchées.

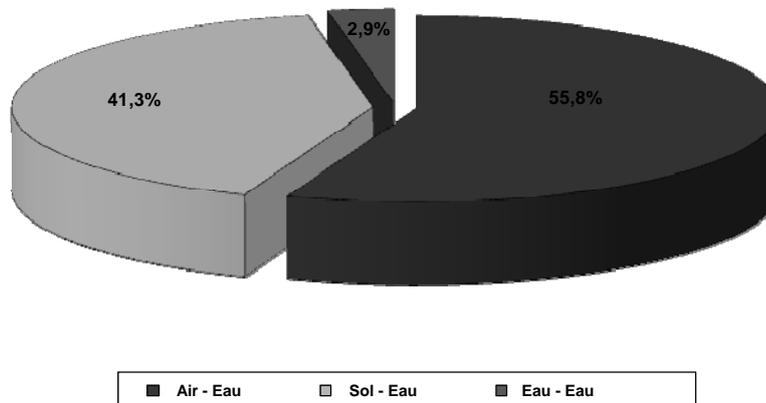
## Marché de la pompe à chaleur

Comme en 2008, les pompes à chaleur dominent toujours très largement dans le domaine des nouvelles villas individuelles où la part de marché atteint 83% [7]. Malgré l'environnement économique très défavorable aux investissements et à la baisse du prix du mazout, comme il a été mentionné précédemment le domaine de la construction a bien résisté à la crise, ce qui a permis malgré tout de franchir une nouvelle fois la barre des 20'000 unités vendues (voir Figure 5) [8]. Par contre le nombre de pompes à chaleur installées dans la rénovation a quant à lui augmenté de 703 unités, ce qui donne une répartition entre le neuf et la rénovation de 30.8% contre 22.4% en 2008 [9].



**Figure 5:** Evolution des ventes de pompes à chaleur entre 1982 et 2009 [8].

Comme les années précédentes les pompes à chaleur air/eau restent toujours dominantes avec un pourcentage de 55.8% en 2009 contre 57.5% en 2008 (voir Figure 6) [10].



**Figure 6:** Répartition des types de pompes à chaleur par source énergétique [10].

Les PAC eau/eau restent encore sous-exploitées avec un pourcentage de 2.9%. Les PAC air/air sont quant à elles les grandes absentes avec un pourcentage de 0.1% (seulement 25 installations ont été vendues en 2009). Un élément, qui a eu impact positif sur le marché de la PAC en 2009, est le programme d'encouragement pour le remplacement des chauffages électriques à accumulation dans le cadre du 2ème paquet conjoncturel [11]. Grâce à ce programme de relance plus de 1'000 demandes ont été acceptées pour le remplacement d'un chauffage électrique à accumulation par une pompe à chaleur, dont le 60% sont des PAC sol/eau.

Le taux de croissance en 2009 est légèrement négatif avec un pourcentage de -0.35% (contre +23.7% en 2008). En comparaison avec les autres pays européens, la Suisse et l'Autriche sont les deux seuls à avoir un taux de croissance proche de zéro, alors que les autres ont des taux de croissance négatives [12]:

France	- 30%
Finlande	- 20%
Allemagne	- 10%

Contenu de la situation économique, on peut dire que le marché suisse de la PAC en 2009 a bien su résister.

Année	Neuf		Rénovation		Total	
		Croissance		Croissance		Croissance
2004	7992		1880		9872	
2005	9399	17.61%	2537	34.95%	11936	20.91%
2006	12607	34.13%	3199	26.09%	15806	32.42%
2007	13768	9.21%	2954	-7.66%	16722	5.80%
2008	15025	9.13%	5645	91.10%	20670	23.61%
2009	14248	-5.17%	6348	12.45%	20596	-0.36%

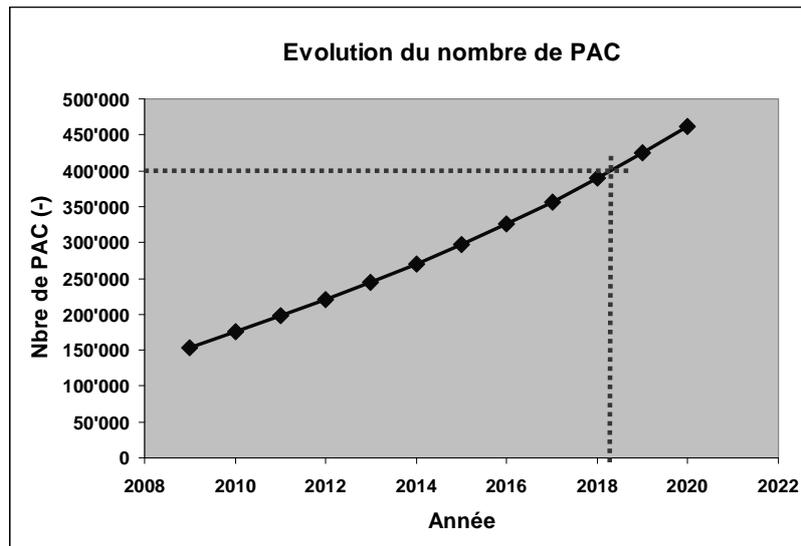
*Tableau 1: Taux de croissance du marché suisse de la PAC dans le neuf et dans la rénovation [9].*

## Potentiels et perspectives

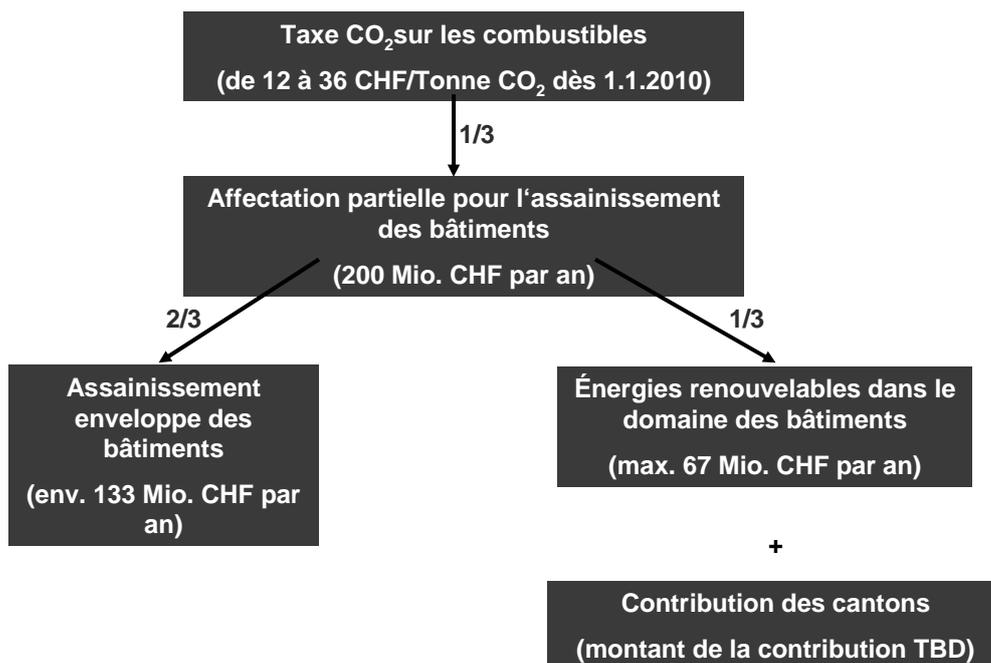
Le Tableau 1 montre le taux de croissance des pompes à chaleur dans le neuf, ainsi que dans la rénovation depuis ces cinq dernières années [9]. La rénovation montre des taux de croissance étonnant, notamment en 2008 avec un taux de plus de 90% et également en 2009 avec un taux de 12.5% (alors que le neuf a quant à lui un taux de -5.2%). Sur la base de ces données, il est possible d'extrapoler l'évolution du nombre des ventes pour ces dix prochaines années (voir Figure 7). Les hypothèses de base pour cette extrapolation sont :

- la croissance dans le neuf est fixée à 0%, car la part de marché y est déjà très élevée, ce qui limite donc le potentiel de croissance ;
- la croissance dans la rénovation est fixée à 12.5%, ce qui correspond au taux de croissance de 2009 et qui semble réaliste du fait de l'aspect très conjoncturel de ce marché.

Malgré cette approche restrictive, on voit que l'objectif des 400'000 PAC installées en 2020 peut être atteint, voir même dépassé [13]. De plus, à terme, le marché de la rénovation devrait prendre le dessus sur le marché du neuf. Sur la base de cette extrapolation, il devrait donc s'installer 157'452 PAC dans le domaine de la rénovation entre 2010 et 2020, ce qui ferait donc un total de 177'755 installation, soit une part de marché de 15% dans la rénovation contre 1.7% en 2009 [14].



**Figure 7:** Evolution du nombre de PAC installées sur la base des données 2009 avec un taux de croissance de 0% pour le neuf et de 12.45% pour la rénovation et avec 153'696 PAC installée en 2009.



**Figure 8:** Schéma de répartition de l'affectation partielle de la taxe CO<sub>2</sub> [15].

Les objectifs du marché pour 2020 sont ambitieux, surtout en ce qui concerne le marché de la rénovation. Cependant, certaines conditions cadres sont en voie de changement, telle que la révision de la loi sur le CO<sub>2</sub>, tandis que d'autres sont nouvellement entrées en vigueur cette année, tels que l'augmentation de la taxe CO<sub>2</sub>, l'affectation partielle de la taxe CO<sub>2</sub> et le programme national d'assainissement des bâtiments [15]. L'affectation partielle de la taxe sur le CO<sub>2</sub> permet de débloquer 200.0 millions de CHF par année sur 10 ans, dont 133.0 MCHF et 67.0 MCHF sont, respectivement, alloués au programme national d'assainissement de l'enveloppe des bâtiments et aux énergies renouvelables dans le domaine des bâtiments (voir Figure 8). Dans le cadre des 67.0 MCHF pour les énergies renouvelables, l'utilisation des rejets de chaleur et de la technique du bâtiment, les cantons doivent également mettre un montant au moins équivalent. En d'autres termes, un montant annuel d'au moins 134.0 MCHF sera à disposition sous forme de subventions cantonales, dont un montant environ 95.0 MCHF/an devrait être mis à disposition pour les énergies renouvelables dans le domaine du chauffage des bâtiments (capteurs solaires, pompe à chaleur et système de chauffage à bois). En d'autres termes, les conditions actuelles et pour ces dix prochaines années sont donc extrêmement favorables au développement de la pompe à chaleur dans le domaine de la rénovation.

## Conclusions

Les conditions économiques qui permettent d'avoir une indication sur l'évolution du marché, de la consommation et des investissements sont représentées sous forme d'indicateurs intégrant notamment l'évolution du PIB. L'un de ces indicateurs est le baromètre conjoncturel du KOF, qui après une forte baisse entre 2008 et 2009 est reparti à la hausse pour 2010. La vue d'ensemble de la situation des affaires par secteur a montré que le secteur de la construction a été relativement peu touché par la crise.

Malgré un contexte conjoncturel défavorable, le marché de la pompe à chaleur en Suisse a bien résisté et la barre de 200'000 unités vendues a à nouveau pu être franchie. Cependant le taux de croissance en 2009 par rapport à 2008 est légèrement négatif. Par contre le marché de la PAC dans la rénovation a un taux de croissance très largement positif. Quoiqu'il en soit, le marché suisse s'est relativement bien comporté en comparaison d'autres pays européens, qui ont eu un taux de croissance fortement négatif.

L'objectif des 400'000 PAC installées d'ici 2020 est toujours tout à fait réaliste malgré la crise de 2009. A terme et suite à certains changements, notamment à l'affectation partielle de la taxe CO<sub>2</sub> et au programme national d'assainissement des bâtiments, le nombre des ventes dans la rénovation devrait dépasser celui du neuf.

## **Abréviations**

KOF	Konjunkturforschungsstelle
MCHF	Millions de francs Suisse
PAC	Pompe à chaleur
PIB	Produit intérieur brut

## **Bibliographie**

**Positionnement actuel et futur de la pompe à chaleur dans la stratégie énergétique**, R. Phillips, News aus der WP-Froschung, 24. Juni 2009, HTI Brugdorf, 15 p.

**Les pompes à chaleur : Chauffage sûr, propre et écologique**. Berne : BBL, janvier 2009, 13 p.

## Références

- [1] KOF Bulletin, no 29, avril 2010, G7, page 9 sous lien Internet  
[http://www.kof.ethz.ch/publications/bulletin/archive/index\\_fr](http://www.kof.ethz.ch/publications/bulletin/archive/index_fr)
- [2] IPC – prix moyens annuels pour 100 l de mazout pour des quantités type (2000 – 2009), OFS sous lien Internet  
<http://www.bfs.admin.ch/bfs/portal/fr/index/themen/05/02/blank/key/durchschnittspreise.html>
- [3] Vue d'ensemble de la situation des affaires par secteur d'activité - Explications, KOF sous lien Internet  
[http://www.kof.ethz.ch/publications/bulletin/business\\_overview/index\\_fr](http://www.kof.ethz.ch/publications/bulletin/business_overview/index_fr)
- [4] KOF Bulletin, no 13, novembre 2008, G7, page 11 sous line Internet  
[http://www.kof.ethz.ch/publications/bulletin/archive/index\\_fr](http://www.kof.ethz.ch/publications/bulletin/archive/index_fr)
- [5] KOF Bulletin, no 20, juin 2009, G7, page 11 sous line Internet  
[http://www.kof.ethz.ch/publications/bulletin/archive/index\\_fr](http://www.kof.ethz.ch/publications/bulletin/archive/index_fr)
- [6] KOF Bulletin, no 29, avril 2010, G5, page 7 sous line Internet  
[http://www.kof.ethz.ch/publications/bulletin/archive/index\\_fr](http://www.kof.ethz.ch/publications/bulletin/archive/index_fr)
- [7] Marktanteil der Wärmepumpe neu erstellte Einfamilienhäuser, FWS, Zahlen & Fakten – Statistiken, sous lien Internet [http://www.fws.ch/stat\\_03.html](http://www.fws.ch/stat_03.html)
- [8] Wärmepumpen-Verkäufe Schweiz, FWS, Zahlen & Fakten – Statistiken, sous lien Internet [http://www.fws.ch/stat\\_01.html](http://www.fws.ch/stat_01.html)
- [9] Wärmepumpenverkäufe nach Einsatzgebiet, FWS, Zahlen & Fakten – Statistiken, sous lien Internet [http://www.fws.ch/stat\\_09.html](http://www.fws.ch/stat_09.html)
- [10] Wärmepumpenverkäufe nach Energiequelle, FWS, Zahlen & Fakten – Statistiken, sous lien Internet [http://www.fws.ch/stat\\_06.html](http://www.fws.ch/stat_06.html)
- [11] Programme d'encouragement pour le remplacement des chauffages électriques à accumulation, BFE, sous lien Internet  
<http://www.bfe.admin.ch/themen/03644/03646/index.html?lang=fr>
- [12] FWS Vereinsversammlung, Stade de Suisse, 24 avril 2010, Bern, transparent no 10.
- [13] Les pompes à chaleur : Chauffage sûr, propre et écologique. Berne : BBL, janvier 2009, p.3
- [14] Positionnement actuel et futur de la pompe à chaleur dans la stratégie énergétique, R. Phillips, News aus der WP-Froschung, 24. Juni 2009, Brugdorf, p. 21
- [15] Combustibles : augmentation de la taxe sur le CO2 en 2010, OFEV, sous lien Internet  
<http://www.bafu.admin.ch/dokumentation/medieninformation/00962/index.html?lang=fr&msg-id=27541>

Thomas Kopp  
Prof., Dr.sc.techn. ETHZ, dipl. Masch.Ing. ETHZ  
Programmleiter des BFE-Forschungsprogramms Wärmepumpen, Wärme-Kraft-  
Kopplung, Kälte  
Professor für Thermodynamik und Energietechnik  
Hochschule für Technik Rapperswil HSR  
CH-8640 Rapperswil  
tkopp@hsr.ch  
www.waermepumpe.ch

## Internationale Zusammenarbeit im IEA-HPP

### *Zusammenfassung*

*Die Aktivitäten der Internationalen Energieagentur IEA und insbesondere des Implementing Agreement «Heat Pumping Technologies» werden präsentiert. Im IA «Heat Pumping Technologies» arbeiten 13 Länder gemeinsam an der Erhöhung der Marktpräsenz und der technologischen Weiterentwicklung von Wärmepumpen und Kälte- und Klimatechnik. Eine wichtige Arbeitsmethode sind die Annex-Aktivitäten, in welchen bestimmte Forschungsgebiete gemeinsam bearbeitet werden. Als Beispiele können die Themen «Industrielle Wärmepumpen» oder «Wärmepumpen und Solarthermie» genannt werden. Zum Schluss des Vortrages wird die 10. Internationale IEA Heat Pump Conference vom Mai 2011 in Tokyo vorgestellt.*

### *Abstract*

*The paper presents the activities of the International Energy Agency IEA, in particular the Implementing Agreement «Heat Pumping Technologies». In the IA «Heat Pumping Technologies», 13 countries are working together to improve the market situation and the technological level of heat pumps and air conditioning and refrigeration equipment. An important methodology exists in Annex activities, where several groups are cooperating on defined subjects. The themes «Industrial Heat pumps» or «Heat Pumps and Thermal Solar Energy» could be mentioned as examples of Annex activities. To conclude the presentation, the 10<sup>th</sup> International IEA Heat Pump Conference in Tokyo in May 2011 is presented.*

## Internationale Energieagentur IEA

Die Internationale Energieagentur IEA [1] wurde als Folge der 1. Oelkrise 1974 gegründet und besteht heute aus 28 Mitgliedstaaten. Die ursprüngliche Aufgabe der IEA war die internationale Koordination von Massnahmen bei Engpässen der Ölversorgung. Heute beobachtet die IEA nach wie vor die Verfügbarkeit von fossilen Energieträgern. Die IEA mit ihren knapp 200 Mitarbeitern beschäftigt sich aber auch intensiv mit Fragen der Klimaveränderung und von weltweiten Energieperspektiven, insbesondere auch mit Nicht-Mitglied-Ländern. Die Aktivitäten können mit «the three E's» beschrieben werden: Energy security, Economic development und Environmental protection. So soll die Reihe der alle zwei Jahre publizierten Energy Technology Perspectives 2010 mit einer neuen Ausgabe fortgesetzt werden [2], die die Energieszenarien und –strategien bis 2050 beschreiben. Darin sollen unter Berücksichtigung von regionalen Unterschieden die wichtigsten Technologien und die Wege zu deren Implementierung dargestellt werden. Die IEA erarbeitet auch die energiepolitischen Grundlagen für die G20- und G8-Gipfel, zum Beispiel für den G8 Gipfel vom Juni 2008 in Hokkaido Japan [3].

Die IEA koordiniert die Aktivitäten in permanenten Arbeitsgruppen «Standing Groups» und «Working Parties». Zusätzlich können sich die verschiedenen Länder je nach Interesse in spezialisierten ‚Unterorganisationen‘, den sogenannten «Multilateral Technology Initiatives» oder «Implementing Agreements», zusammenschliessen. Im Moment bestehen 42 Agreements [4] von Advanced Fuel Cells bis Wind Energy Systems. Die Schweiz arbeitet in den unterstrichenen Implementing Agreements mit:

- *End-Use / Buildings:* Buildings and Community Systems ECBCS, District Heating and Cooling including the Integration of Combined Heat and Power, Energy Storage, Heat Pumping Technologies, Efficient Electrical End-Use Equipment
- *End-Use Technologies / Electricity:* Demand-Side Management, Electricity Networks Analysis Research & Development ENARD, High-Temperature Superconductivity on the Electric Power Sector
- *End-Use Technology / Industry:* Emissions Reduction in Combustion, Industrial Energy-Related Technologies and Systems
- *End-Use Technologies / Transport:* Advanced Fuel Cells, Advanced Materials for Transportation, Advanced Motor Fuels, Hybrid and Electrical Vehicules
- *Fossil Fuels:* Clean Coal Sciences, Enhanced Oil Recovery, Fluidized Bed Conversion, IEA Clean Coal Center, Greenhouse Gas R&D Programme, Multiphase Flow Sciences
- *Fusion Power:* ASDEX-Upgrade, Environmental- Safety and Economical Aspects of Fusion Power, Fusion Materials, Large Tokamaks, Nuclear Technology of Fusion Reactors, Plasma Wall Interaction in TEXTOR, Reversed Field Pinches, Spherical Tori, Stellarator Concept

- *Renewable Energy: Bioenergy, Geothermal, Hydrogen, Hydropower, Ocean Energy Systems, Photovoltaic Power Systems, Renewable Energy Technology Deployment, Solar Heating and Cooling, Solar-PACES, Wind Energy Systems*
- *Cross - Cutting Agreements: Climate Technology Initiative CTI, Energy Technology Data Exchange ETDE, Energy Technology Systems Analyzing Programme ETSAP*

In einem IA werden Fragen der entsprechenden Technologie bearbeitet und gemeinsame Aktivitäten in Promotion, Marktentwicklung und Forschung und Entwicklung umgesetzt. Die IA werden von Chair und Vice-Chair geführt und unterhalten meistens ein Sekretariat und eine website. Die gemeinsamen Forschungsaktivitäten, zu denen sich die Länder individuell bekennen, werden ‚Annex‘ genannt und von einem ‚Operating Agent‘ geleitet. Die Resultate der gemeinsamen Forschungsaktivitäten werden in Reports dargestellt, die üblicherweise zuerst den Mitgliedsländern offen stehen, also in der Regel nicht sofort öffentlich zugänglich sind. Dies ist ein Mechanismus, der die verschiedenen Länder zum gemeinsamen Arbeiten anhalten soll.

## **IA HPP (Heat Pump Programme)**

Dem 1978 gegründeten IA «Implementing Agreement for a Programme of Research, Development, Demonstration and Promotion of Heat Pumping Technologies» (oder auch IEA Heat Pump Programme (HPP) genannt) gehören derzeit 13 Staaten an: Austria, Canada, Finland, France, Germany, Italy, Japan, the Netherlands, Norway, South Korea, Sweden, Switzerland, United States.

Das HPP möchte eine weltweit tätige unabhängige Quelle sein für Informations- und Wissensverbreitung über Wärmepumpen, Air Conditioning und Kältetechnik. Insbesondere sollen Energiesparpotentiale und umwelttechnische Vorteile des Einsatzes von Wärmepumpen beleuchtet werden. Das Programm möchte Politiker, nationale und internationale Energiefachleute, Hersteller, Planer und Forscher erreichen. Die Führung des Heat Pump Programme liegt bei Chair Dr. Sophie Hosatte (Canada) und bei Vice-Chair Dr.Claus Börner (Germany).

Im Annual Report 2009 des Heat Pump Programmes [5] werden die strategischen Ziele des HPP wie folgt genannt:

- Quantifizierung der energie- und umwelttechnischen Vorteile von Wärmepumpen und weltweite Information
- Marktförderung von Wärmepumpen
- Unterstützung und Entwicklung von internationalen R&D-Aktivitäten
- Förderung der Zusammenarbeit und des Informationstransfers

Das Sekretariat des HPP nennt sich Heat Pump Centre HPC und ist beim Schwedischen Materialprüfinstitut SP in Borås angesiedelt. Die Führung des HPC obliegt Frau Dr. Monica Axell. Die Finanzierung der Aktivitäten des HPP erfolgt durch Beiträge der Mitgliedstaaten. ‚Kleine‘ Länder zahlen 10'000 €/Jahr, ‚mittlere‘ Länder 15'000 € und ‚grosse‘ Länder 40'000 €. Die Schweiz zahlt 10'000 € pro Jahr an das IEA HPP. Die website [www.heatpumpcentre.org](http://www.heatpumpcentre.org) wurde 2009 zwischen 15'000 und 20'000 mal pro Monat angewählt.

Der newsletter [6] wurde 2009 vier mal pro Jahr in einer Full-version für Leser aus Mitgliedstaaten und einer Short-version für weltweite Verbreitung kostenlos publiziert. Die Themen der Newsletter 2009 waren:

- Ground Source Heat Pumps (Volume 27, No 1/2009)
- Heat Pumps in year-round Space Conditioning Systems (Vol 27, No 2/2009)
- Heat Pumps are Renewable (Volume 27, No 3/2009)
- The Role of Heat Pumps in Future Energy Systems (Volume 27, No 4/2009)

2009 und im bisherigen 2010 haben auch Autoren aus der Schweiz Beiträge beigesteuert:

- Fabrice Rognon schrieb die Kolumne im Newsletter 1/2009, wo er die Zusammenarbeit zwischen Industrie, Markt und staatlichen Strategien und Regulierungen diskutierte [7].
- Carsten Wemhöner orientierte über die working meetings im IEA-HPP Annex 32 «Economical Heating and Cooling Systems for Low-Energy Houses» [8, 9]

Im Jahre 2010 sind folgende Themenbereiche geplant:

- ATES (Aquifer Thermal Energy Storage) / BTES (Borehole Thermal Energy Storage) Systems for Commercial Buildings (Vol 28, No 1/2010, März 2010 publiziert)
- Retrofit Heat Pumps for Buildings (Vol 28, No 2/2010, June 2010)
- ETP (Energy Technology Perspectives) 2010 (Vol 28, No 4/2010, September 2010)
- Supermarket Refrigeration (Vol 28, No 4/2010, Dezember 2010)

## **Annex-Aktivitäten im HPP (Heat Pump Programme)**

Viele interessante Forschungsaktivitäten werden in Form eines Annex unter Beteiligung von Forschergruppen aus mindestens 3 Ländern bearbeitet. Die Operating Agents koordinieren die Aktivitäten, organisieren regelmässige Arbeitstreffen und erarbeiten Zwischen- und Schlussreporte. Jeder Annex betreibt üblicherweise eine eigene website. Die Reports können beim Heat Pump Centre, üblicherweise unter Verrechnung einer Schutzgebühr, bestellt werden.

Annex-Arbeiten müssen von den partizipierenden Ländern finanziert werden, zusätzlich muss eine finanzielle Unterstützung an den Operating Agent für die Koordination bzw Führung des Annex geleistet werden.

### ***Gegenwärtig laufende Annex-Projekte (siehe auch kurze Inhaltsübersichten im Anhang):***

- Annex 31: **Advanced Modeling and Tools for Analysis of Energy Use in Supermarkets** (Canada, Germany, Sweden (Operating Agent Prof. Per Lundquist), United Kingdom (partly), USA). Informationen: <http://www.energy.kth.se/index.asp?pnr=10&ID=1270&lang=1>
- Annex 32: **Economical Heating and Cooling Systems for Low Energy Houses** (Austria, Canada, Germany, France, Japan, the Netherlands, Norway, Sweden, Switzerland (Operating Agent Carsten Wemhöner), USA). Dieser Annex wurde in [8 - 10] vorgestellt. An der heutigen Tagung wird auch der Stand des nationalen Projekts präsentiert [11]. Informationen: [www.annex32.net](http://www.annex32.net)
- Annex 34: **Thermally Driven Heat Pumps for Heating and Cooling** (Austria, Canada, Germany (Operating Agent Dr. Peter Schossig), Italy, the Netherlands, Norway, Switzerland, USA). Informationen: [www.annex34.org](http://www.annex34.org)

### ***2009 und bis dato konnten folgende Annex-Projekte abgeschlossen werden:***

- Annex 29: **Ground Source Heat Pumps – Overcoming Market and Technical Barriers** (Canada, Japan, Norway, Sweden, US, Austria (Operating Agent Prof. Hermann Halozan)). Der Schlussbericht ist mit einem Embargo von 1 Jahr belegt. Informationen: [www.annex29.net](http://www.annex29.net) (bisher 12'500 Besucher)
- Annex 30: **Retrofit Heat Pumps for Buildings** (France, Netherlands, Sweden, Germany (Operating Agent Prof. Hans-Jürgen Laue)). Informationen unter Projekte (Annexe) und Annex 30: <http://www.heatpumpcentre.org>

- Annex 33: **Compact Heat Exchangers in Heat Pumping Equipment** (Austria, Japan, Sweden, UK (Operating Agent Prof. David Reay), USA). Informationen: [www.compactheatpumps.org](http://www.compactheatpumps.org)

*Folgende Themen stehen kurz vor dem offiziellen Start eines eigenen Annex:*

- **Solar and Heat Pumps;** gemeinsamer Annex mit dem Implementing Agreement SHC «Solar Heating and Cooling». Dieser Annex wird von Jean-Christophe Hadorn (CH) als Operating Agent betreut und in einem eigenen Vortrag an dieser Tagung vorgestellt [12]. Die Schweiz wird sich mit mindestens zwei Forschungsprojekten aus dem Bereich Wärmepumpen und mehreren Projekten aus dem Bereich Solarthermie beteiligen. Der Annex soll 2014 abgeschlossen werden.
- **Application of Industrial Heat Pumps;** gemeinsamer Annex mit dem Implementing Agreement «Industrial Energy Systems and Technologies» Annex 13. Dieser Annex wird von Prof. H.J. Laue vom IZW e.V. Informationszentrum Wärmepumpen und Kältetechnik in Zusammenarbeit mit Laurent Levacher EDF France betreut. Im Annex sollen Hoch-Temperatur-Wärmepumpen und industrielle Wärmepumpen verbessert und deren Marktposition verbreitert werden. Aus der Schweiz besteht ein Interesse zur Beteiligung eines Herstellers von grösseren Wärmepumpen und von einem Forschungsinstitut. Das Ende des Annex ist auf 2012 geplant.
- **Transparent and Reliable Heat Pumps' Annual Energy and Environmental Performance – SPF Calculations Based on Laboratory Measured Data.** Dieser Vorschlag führt die Arbeiten des Annex 28 weiter, da international immer noch Diskussionen betreffend der Rechenmethode für den SPF bestehen und andererseits die EU in der ab 2013 in Kraft tretenden RES (European Renewable Energy Source Directive) die SPF-Werte für die Berechnung des erneuerbaren Energieanteils von Wärmepumpen benötigt. Operating Agent wird Roger Nordmann von SP Schweden. Die Schweiz möchte sich an diesem Annex mit der auf SPF-Berechnungen spezialisierten Forschergruppe um Prof. Dr. Th. Afjei der FH Nordwestschweiz beteiligen.
- **Field Measurements for Heat Pump Systems in Residential Buildings and Premises.** Dieser Annex soll die verschiedenen Feldmessungen und –methoden in verschiedenen Ländern vergleichen und verbesserte gemeinsame Methoden generieren. Obwohl in der Schweiz mit dem Projekt FAWA [13] eine breite Datenbasis vorhanden ist, soll sich die Schweiz auch an diesem neuen Annex beteiligen. Dadurch können die bisherigen Resultate eingebracht werden und es kann durch eine aktive Mitarbeit auch Einfluss auf die neuen Methoden genommen werden. Der Annex soll von Pia Tiljander von SP Schweden geleitet werden.

- **Quality Installation / Quality Maintenance Sensitivity Studies (Avoiding Efficiency Degradation due to Poor Installation and Maintenance).** Dieser Annex wurde von den USA vorgeschlagen, wo viele Luft/Luft-Wärmepumpen und Airconditioner in Betrieb stehen. Insbesondere werden die Kältemittelfüllungsgrade, zu grosse Luft- bzw Wasserströme, überdimensionierte Komponenten, undichte Luftkanäle und allgemeine Verschmutzungsprobleme als Verbesserungspotentiale angeführt. Die Schweiz wird sich an diesem Vorschlag eher nicht beteiligen, da diese Problemstellungen durch die Qualitätsanstrengungen der Fachbranche glücklicherweise nicht mehr derart prominent auftreten. Als Operating Agent stellt sich Van Baxter vom Oakridge National Laboratory in Zusammenarbeit mit dem DOE (Department of Energy) USA zur Verfügung.

Die Vorschläge für Annex-Aktivitäten werden von einzelnen IEA-HPP Mitgliedsländern portiert, sie sind je nach der Interessenlage der anderen Mitgliedsländer noch Skizzen oder schon konkretere Arbeitsprogramme. Die Schweiz ist bereit, sich in vielen interessanten Bereichen zu engagieren, muss sich aber auf diejenigen Gebiete beschränken, wo ein konkretes Interesse der Schweizerischen Wärmepumpen-Szene (Markt, Forschungsinstitute, BFE) vorliegt. Die Entscheidung über eine konkrete Beteiligung der Schweiz in einem neuen Annex wird vom BFE gefällt. Dabei werden auch externe Meinungen aus Forschung und Industrie eingeholt und es wird die personelle Situation der Interessierten und die Budgetsituation des BFE berücksichtigt. Vorschläge aus dem Publikum können jederzeit durch die BFE-Vertreter in das IEA-HPP eingebracht werden.

## 10<sup>th</sup> IEA HPP Heat Pump Conference, May 2011, Tokyo

Eine weitere Aktivität des IEA-HPP ist die Organisation einer internationalen Wärmepumpen-Konferenz in einem dreijährigen Rhythmus. Seit der 1. Konferenz 1984 in Graz wurden die Konferenzen in Orlando (1987), Tokyo (1990), Maastricht (1993), Toronto (1996), Berlin (1999), Peking (2002), Las Vegas (2005) und Zürich (2008) durchgeführt. Das Ziel der Konferenzen ist die Förderung der Wärmepumpen-Technologie durch Diskussion, Netzwerk-tätigkeit und Informations-Austausch. Es wird nicht nur über Forschung berichtet, sondern auch über Technologie- und Marktentwicklung, politische Rahmenbedingungen und ökologische Aspekte des Einsatzes von Wärmepumpen-Technologie. Dabei werden auch Beiträge des Einsatzes von Wärmepumpen-Technologie in den Bereichen Kälte- und Klimatechnik sowie Fernwärme vorgestellt.

Die 10. internationale Wärmepumpen-Konferenz mit dem Konferenztitel «**Heat Pumps – The Solution for a Low Carbon World**» findet vom 16. bis 19. Mai 2011 in Tokyo statt. Am 15. Mai 2011 werden Workshops zu den laufenden und kurz vor dem Start stehenden Annex-Aktivitäten angeboten. Konferenzort wird das «Chinzan-so» im Zentrum von Tokyo sein. Im Dezember 2009 wurde das 1<sup>st</sup> announcement [14] publiziert. Abstracts können weiterhin direkt elektronisch auf der Konferenz-Webseite [www.hpc2011.org](http://www.hpc2011.org) eingereicht werden.

Die Konferenz wird aus eingeladenen Referaten und Vorträgen und Postern der eingereichten Abstracts bestehen. Das IOC (International Organizing Committee) mit Thomas Kopp, Schweiz als Chair und Onno Kleevkens, Holland als Vice-Chair wird zusammen mit den Regional Coordinators Gerald Groff, USA für Nord- und Südamerika, Monica Axell, Schweden für Europa und Afrika und Makoto Tono, Japan für Asien und Ozeanien die Vorträge und Posterpräsentationen auswählen und zu einem interessanten Konferenzprogramm zusammenstellen. Alle Beiträge werden reviewt und in den Conference Proceedings publiziert.

Die Konferenz wird aus 8 Sessions mit folgenden Titeln bestehen:

- **Environmental-friendly Technology** – Advances in equipment design and development
- **Systems and Components** – Advanced electrically and thermally operated systems, and ground source systems
- **Applications** – Demonstrated energy efficiency and environmental advantages
- **Research and Development** – New developments and new refrigerants in heat pumping technologies (2 Sessions)
- **Policy, Standards, and Market Strategies** – Government, utility and professional society activities related on heat pumps
- **Markets** – Market status, trends, and future opportunities
- **International Activities** – Discussion of actions in response to climate change initiatives

Das 2<sup>nd</sup> announcement mit dem Konferenzprogramm wird im Herbst 2010 publiziert. Das NOC (National Organizing Committee) in Japan ist für den technischen und logistischen Ablauf besorgt und organisiert auch technische und nicht-technische Besichtigungen sowie eine Produkte-Ausstellung. Die Schweiz hat sich als Country Sponsor für diese Konferenz engagiert und auch Firmen haben die Möglichkeit, sich als Sponsor und Aussteller zu präsentieren. Der Programmleiter hofft auf eine rege Beteiligung von Referenten und Teilnehmern aus der Schweiz.

## Quellen

- [1] International Energy Agency IEA, 9 rue de la Fédération, F-750015 Paris; [www.iea.org](http://www.iea.org)
- [2] IEA: The Energy Technology Perspectives project ETP2010, [ETPproject@iea.org](mailto:ETPproject@iea.org)
- [3] IEA: In support of the G8 plan of action: TOWARDS A SUSTAINABLE ENERGY FUTURE, IEA programme of work on climate change, clean energy and sustainable development: [http://www.iea.org/G8/2008/G8\\_Towards\\_Sustainable\\_Future.pdf](http://www.iea.org/G8/2008/G8_Towards_Sustainable_Future.pdf)
- [4] IEA: Current implementing agreements, <http://www.iea.org/techno/ia.asp>
- [5] IEA Heat Pump Programme Heat Pump Centre ([hpc@heatpumpcentre.org](mailto:hpc@heatpumpcentre.org)): Annual Report 2009, Heat Pump Centre, c/o SP Technical Research Institute of Sweden, Box 857, SE-501 15 Borås, Sweden ; [www.heatpumpcentre.org](http://www.heatpumpcentre.org)
- [6] newsletter des IEA-HPP: download von [www.heatpumpcentre.org](http://www.heatpumpcentre.org).
- [7] Fabrice Rognon: Increasing deployment of heat pumps, IEA-HPP newsletter 1/2009 Vol.27, Seite 4
- [8] Carsten Wemhöner: IEA HPP Annex 32 working meeting in Graz, Austria, IEA-HPP newsletter 1/2009 Vol. 27, Seiten 10 – 11
- [9] Carsten Wemhöner: IEA HPP Annex 32 final working meeting in Montreal, Canada, IEA-HPP newsletter 1/2010 Vol. 28, Seiten 10 – 11
- [10] Carsten Wemhöner: Internationale Zusammenarbeit im IEA-HPP Annex 32 – Economical Heating and Cooling Systems for Low Energy Houses, 15. Tagung des Forschungsprogramms Wärmepumpen, Wärme-Kraft-Kopplung, Kälte des Bundesamtes für Energie (BFE), Burgdorf, 24. Juni 2009
- [11] Thomas Afjei, Ralf Dott, Carsten Wemhöner, Norbert Lederle: Wärmepumpen zum Heizen und Kühlen, effiziente Systemlösungen im Annex 32, 16. Tagung des Forschungsprogramms Wärmepumpen, Wärme-Kraft-Kopplung, Kälte des Bundesamtes für Energie (BFE), Burgdorf, 9. Juni 2010
- [12] Jean-Christophe Hadorn: Solar + Heat Pump – Nouvelle Annexe 44 IEA HPP & SHC, 16. Tagung des Forschungsprogramms Wärmepumpen, Wärme-Kraft-Kopplung, Kälte des Bundesamtes für Energie (BFE), Burgdorf, 9. Juni 2010
- [13] Markus Erb, Peter Hubacher, Max Ehrbar: Feldanalyse von Wärmepumpenanlagen FAWA 1996 – 2003, Bundesamt für Energie, Bern, Schlussbericht Projekt 100'064
- [14] First Announcement / Call for Papers, 10<sup>th</sup> International IEA Heat Pump Conference 2011, Tokyo Japan, May 16 - 19, 2011, [www.hpc2011.org](http://www.hpc2011.org)

## **Anhang: Kurze Arbeitsübersicht der präsentierten IEA HPP Annexe**

### ***IEA-HPP Annex 29: Ground-Source Heat Pumps – Overcoming Market and Technical Barriers***

Annex 29 untersucht Konzepte und Systeme, die abhängig von Klima und Anwendung die Leistung und Marktsituation von Erdwärmepumpen verbessern können. Es sollen die ökologischen und ökonomischen Vorteile aufgezeigt werden.

Start: September 2004

Ende: Der Schlussreport wird im Frühling 2010 erwartet.

Folgende Arbeiten wurden geplant:

#### *1. Konzepte für Kostenreduzierung und Leistungssteigerung von Erdwärmepumpen*

- Vergleich von nur Heizsystemen mit kombinierten Heiz- und Kühlsystemen
- Vergleich von offenen Systemen mit geschlossenen Kreisläufen
- Vergleich horizontaler Systeme mit verschiedenen vertikalen Systemen
- Vergleich direkter Expansion mit Sekundärkreislaufsystemen
- Evaluation verschiedener Sekundärkreisfluide, inklusive CO<sub>2</sub>
- Vertikale Sonden mit CO<sub>2</sub>
- Direkte und indirekte Kühlung
- Wiederbeladung und Feuchtigkeitsveränderung im Boden.
- Wärmeentzug aus grossen Oberflächen, z.B. Parkplätze, Startbahnen usw.

#### *2. Markteinschränkungen und innovative Ansätze zur Verbesserung der Akzeptanz*

- Qualitätssicherungsmassnahmen
- Garantien für Erdwärmesonden
- Contractingmodelle zu reduzierten Gestehungskosten
- Vorschriften
- Tarifstrukturen usw.

Weitere Informationen: [www.annex29.net](http://www.annex29.net)

### ***IEA-HPP Annex 30: Retrofit Heat Pumps for Buildings***

Annex 30 soll technologische Lösungen beim Einsatz von Wärmepumpen als Ersatz für bestehende Heizsysteme in bestehenden Gebäuden aufzeigen.

Start: 1. April 2005

Ende: Der Schlussbericht wird im Fröling 2010 erwartet.

Folgende Arbeiten wurden geplant:

#### *1. Marktübersicht*

- Erstellung von Statistiken über den aktuellen Stand der Retrofit-Lösungen in existierenden Gebäuden in den teilnehmenden Ländern
- Informationsbeschaffung über aktuelle F&R – und P&D-Projekte
- Analyse der Wärmepumpentechnologien unter Berücksichtigung der verschiedenen Klimaregionen und ihrer ökonomischen Umsetzbarkeit

#### *2. Einsetzbare Wärmepumpen-Typen*

- Erstellung eines Katalogs existierender Gebäude mit bereits verbessertem Standard, Isolation und Wärmeversorgungssystemen für mittlere Temperaturen, welche für die aktuellen Wärmepumpensysteme (L/L, L/W, W/W und S/W) geeignet sind
- Analyse existierender WP-Systemen in bestehenden Bauten (Fallstudien)

#### *3. Verbesserung von Komponenten und Systemen*

- Verbesserung von Komponenten und Systemen von elektrischen WP mit FCKW-Arbeitsmedien, mit Arbeitsmedien mit wenig oder gar keinem GWP und von natürlichen Arbeitsmedien
- Prüfung von Rankine- und Stirlingsystemen für den Retrofit-Einsatz
- Prüfung von gasbetriebenen WP inklusive Ab- und Adsorptions- und Vuilleumiersystemen für den Retrofit-Einsatz
- Prüfung der Wärmequellen Luft (Luft-Luftsysteme, Luft-Wassersysteme), erdgebundenen Systemen (Erdkollektoren und Erdwärmesonden) und von Sonnenkollektoren

#### *4. Informationsverbreitung*

- Erarbeitung von ökonomischen und ökologischen Informationen von Nachrüstwärmepumpensystemen und Vergleich zu herkömmlichen Heiz- und Kühlsystemen

Der Annex 30 hat eine Passwort geschützte Webseite:

<http://www.izw-online.de/iea/ieahpp.html>.

***IEA-HPP Annex 31: Advanced Modelling and Tools for Analysis of Energy Use in Supermarket Systems***

Annex 31 untersucht Effizienzsteigerungen beim Energieeinsatz in Supermärkten, der zur Zeit 3-5% des Totalenergieverbrauches in industrialisierten Ländern beträgt. Der jährliche Verlust von Kältemittel wird auf 15 – 30% der gesamten Beladung geschätzt. Die Zusammenhänge zwischen dem Kühlsystem und dem Raumklima, der Klimaanlage und der Gebäudeverkleidung sollen erarbeitet und optimiert werden.

Start: 1. Januar 2006

Ende: 31 Dezember 2009

Folgende Arbeiten wurden geplant:

- Entwicklung angemessen genauer Simulationswerkzeuge für die Analyse des Energiebedarfs
- Entwicklung energieeffizienter Strategien für Einkaufszentren
- Entwicklung von einfach zu nutzenden Kennzahlen für den Energieverbrauch und den Umwelteinfluss für verschiedene Länder und Systeme
- Sammeln von verfügbaren Daten über verschiedene Einkaufszentren (Benchmarking) und Erstellen einer Modellbibliothek
- Entwicklung von Ganz-Gebäude Simulationsmodellen
- Vergleich der Resultate der verschiedenen Ganz-Gebäude Simulationsmodelle an ausgewählten Fallstudien
- Verbreitung der Erkenntnisse (Kennzahlen, Richtlinien, Veröffentlichungen, Faktenblätter)

Weitere Informationen: <http://www.energy.kth.se/index.asp?pnr=10&ID=1270&lang=1>

### ***IEA-HPP Annex 32 (siehe auch Literaturstellen [8 – 11]): Economical Heating and Cooling Systems for Low Energy Houses***

Annex 32 untersucht Konfigurationen von Multifunction-Wärmepumpen für Heizen, WW-Produktion, Kühlung, Lüftung, Be- und Entfeuchtung für Niedrigenergie- und Passiv-Gebäude.

Start: 1. Januar 2006

Ende: Sommer 2010

Folgende Arbeiten wurden geplant:

#### *1. Abgrenzung der zu untersuchenden Systeme*

- Evaluation der gebräuchlichsten Systeme für Multifunction-Wärmepumpen
- Evaluation der gebräuchlichen Wärmequellen
- Ermittlung der Anforderungen für Heizen, Kühlen, WW-Produktion, Lüftung für Niedrigenergie-Gebäude und Darstellung der passiven Möglichkeiten wie Abschattung, Naturzug-Kühlung und –Lüftung
- Ermittlung der Energieverteilsysteme wie Oberflächen-Heizung und –Kühlung oder Luft

#### *2. Berechnungen, Vergleich und Bewertung von Systemlösungen*

- Berechnung und Bewertung der in Aufgabe 1 gefundenen Systeme
- Vergleich der Wärmepumpen-Systeme mit Nicht-Wärmepumpen-Systemen in Bezug auf Gesamt-Energieverbrauch und Kosten
- Evaluation von Regelungskonzepten

#### *3. Feldtests von Multifunction-Wärmepumpen*

- Definition eines angepassten Mess- und Instrumentierungs-Konzepts
- Funktionstests und Bestimmung von relevanten Vergleichsgrößen
- Auswahl von Best-Practice Beispielen

#### *4. Erstellung von Design-Guides inklusive Regelstrategien*

- Erarbeitung der Design-Guides aus den bisherigen Resultaten
- Transfer von den Guidelines insbesondere auch zu den zuständigen Normen-Gremien

Weitere Informationen: [www.annex32.net](http://www.annex32.net)

***IEA-HPP Annex 33: Compact Heat Exchangers in Heat Pumping Equipment***

Annex 33 untersucht die Erweiterung des Einsatzes kompakter Wärmetauscher in Wärmepumpen-Systemen. Damit kann die Effizienz verbessert und der Füllungsgrad und die Baugrösse reduziert werden.

Start: 1. Oktober 2006

Ende: Frühjahr 2010

Folgende Arbeiten wurden geplant:

- Marktanalyse von Kompakt-Wärmetauschern
- Bewertung der wärmepumpenrelevanten Wärmetauscher in Kompressions- und Absorptionszyklus-Anwendungen
- Bewertung der Eigenschaften und Betriebsgrenzen der WT wie Maximaldruck, Maximaltemperatur, Materialkompatibilität, Minimaldurchmesser der Strömungskanäle
- Evaluation und Dokumentation von Modellen für Wärmeübertragung, Druckabfall und Dampfblasenbildung
- Austausch und Verbreitung des erarbeiteten Know-How

Weitere Informationen: [www.compactheatpumps.org](http://www.compactheatpumps.org).

***IEA-HPP Annex 34: Thermally Driven Heat Pumps for Heating and Cooling***

Annex 34 untersucht die Reduktion der Umweltbelastung, die durch thermisch angetriebenen Wärmepumpen beim Kühlen und Heizen verursacht werden. Zusammenarbeit mit dem IEA-SHC Task 38 «Solare Kühlung und Klimaanlage».

Start: 1. Oktober 2007

Ende: 31. Dezember 2011

Folgende Arbeiten wurden geplant:

***1. Marktübersicht und Stand der Technik***

- Analyse der thermisch angetriebene WP in Systemen aller Grössen

***2. Leistungsbewertung***

- Entwicklung einer Methodik für die Bestimmung des COP, des Primärenergieverbrauchs, des Lebenszyklus und der Kosten

### *3. Apparatetechnik*

- Entwicklung von Komponenten unter Berücksichtigung von Langzeit-Erfahrungen
- Erstellung einer Datenbank, inklusive Materialeigenschaften

### *4. Systemtechnik*

- Systemintegration der Komponenten
- Optimierung von Wärmeabfuhr, Luft oder Bodenwärmequellen, effizienter Brenner, Regelungsstrategien
- Erhöhung der Verfügbarkeit
- Erarbeitung von auf Erfahrungswerten basierten Berechnungsmodellen

### *5. Umsetzung*

- Ausarbeitung von Fallstudien in spezifischen Marktsegmenten
- Publikation von Richtlinien und Ausbildungshilfen

Weitere Informationen: [www.annex34.org](http://www.annex34.org)

Jean-Christophe Hadorn  
dipl. Ing. EPFL, HEC MBA Lausanne  
BASE consultants SA  
8 rue du Nant  
CH-1207 Genève  
[jchadorn@baseconsultants.com](mailto:jchadorn@baseconsultants.com)  
[www.baseconsultants.com](http://www.baseconsultants.com)

## Solaire et pompe à chaleur – Tâche 44 de l’AIE SHC & HPP

### *Résumé*

*Au cours des dernières années, des systèmes qui combinent la technologie solaire thermique et les pompes à chaleur ont été commercialisés pour chauffer les maisons et produire l'eau chaude sanitaire. Cette nouvelle combinaison de technologies peut être un progrès important, mais une normalisation des tests est nécessaire pour une commercialisation réussie à long terme.*

*La plupart des fabricants proposent sur le marché des systèmes sans une étude claire de ce que pourrait être la meilleure des combinaisons des deux mondes et les approches comparatives font défaut. Les systèmes du marché sont donc loin d'être optimisés.*

*Une analyse systématique des différents systèmes possibles et leur potentiel d'application dans des climats différents et sous différentes conditions aux limites est nécessaire. C'est ce qu'a entrepris l'AIE (Agence Internationale de l'Energie) dans son programme "Solar heating and cooling" avec la Tâche 44, "Solar and heat pump systems" de concert avec le „Heat Pump Programme de l'AIE.*

*Cette tâche se déroulera de 2010 à 2013. Elle regroupera environ 10 pays participants et produira de nombreuses publications et rapports, ainsi que des méthodes de caractérisation des systèmes.*

*Dans cet article, nous comparons également plusieurs combinaisons « solaire avec pompe à chaleur », depuis l'absence d'intégration à la pleine intégration théorique. La performance de chaque combinaison et la fraction d'énergie renouvelable sont dérivées et comparées.*

## **Solaire et pompe à chaleur sur le marché**

Le marché du solaire thermique est en expansion depuis 2000 en raison de deux facteurs: le rapport coût-efficacité favorable de la préparation d'eau chaude solaire et les incitations et les promotions en place dans de nombreux pays européens.

Mais atteindre 100% solaire est encore un défi de coûts. Une maison passive dans un climat d'Europe centrale peut atteindre près de 100% solaire avec environ 30 m<sup>2</sup> de capteurs solaires et de 10 à 20 m<sup>3</sup> de stockage. Le coût initial peut atteindre 60 à 70'000 € pour une telle solution et il nécessite de réserver une certaine place à l'intérieur de la maison. Dans la plupart des cas, un système de chauffage d'appoint sera cependant nécessaire. Il est devenu très populaire de chauffer une maison avec une pompe à chaleur en raison de la promotion effectuée par les services d'électricité depuis quelques années et la volonté des consommateurs de ne pas dépendre des combustibles fossiles, tout en optant pour une installation monovalente.

Dans certains pays, l'électricité est toutefois produite par des combustibles fossiles, ce qui diminue quelque peu l'avantage ou l'indépendance. De plus en plus fréquemment, les clients sont donc attirés par une solution pompe à chaleur combinée avec une installation solaire, au minimum pour la période estivale aux fins de préparation d'eau chaude sanitaire. Répondant à cette demande, les fabricants ont commencé à offrir depuis quelques années des solutions combinant pompe à chaleur et solaire, non seulement pour l'eau chaude, mais aussi pour le chauffage. Bien sûr, de telles combinaisons sont plus complexes et ont besoin de stratégies de contrôle et une électronique de réglage plus sophistiquées. L'optimisation en est ainsi plus délicate et l'intérêt du rapport coût-efficacité de la combinaison n'est au final pas évident.

Les pompes à chaleur peuvent être de tous types, mais le marché est clairement orientée vers les pompes à chaleur sur sondes et se rapproche de plus en plus des pompes à chaleur air/eau depuis que leur performance, leur fiabilité et leur protection contre le bruit se sont peu à peu améliorées.

## **Le programme « Solar heating and cooling » (SHC) de l'AIE**

L'Agence internationale de l'énergie mène un programme « chauffage solaire et refroidissement » depuis 1977. Il a suivi ou a précédé le développement du marché solaire thermique à travers un certain nombre de tâches en coopération internationale, qui ont fait émerger beaucoup de nouvelles idées au sein de groupes internationaux d'experts. Le programme a initié la Tâche 44 au début de 2010. La tâche est appelée «Solar and heat pump systems».

## **Le « Heat Pump Programme » (HPP) de l'AIE**

Le programme « HPP » de l'AIE a décidé de lancer conjointement la tâche avec le programme SHC. Cela donne aux experts solaires de la tâche 44 une excellente occasion de partager leurs connaissances avec des experts des pompes à chaleur et vice versa.

### **Le champ d'application de la tâche 44**

La nouvelle tâche, qui débutera en 2010, portera sur les points suivants:

- Chauffage et eau chaude sanitaire pour la maison individuelle.
- Systèmes complets proposés comme un seul produit provenant d'un fournisseur de systèmes et installés par un installateur.
- Pompes à chaleur électriques, mais au cours de l'élaboration de méthodes d'évaluation des performances thermiques des systèmes, d'autres types de pompes à chaleur ne seront pas exclus.
- Les solutions disponibles actuellement sur le marché et des solutions innovantes (par exemple apparues au cours de la tâche).

Afin de mieux se concentrer sur les besoins actuels du marché, les « grands systèmes », à savoir les systèmes utilisant tout type de réseau de chauffage urbain ou conçus sur mesure pour les grands bâtiments ne sont pas directement inclus dans le programme de la Tâche 44, ni les systèmes procurant du refroidissement pour des bâtiments tertiaires. Toutefois, une pompe à chaleur peut très bien être utilisée pour le refroidissement en mode réversible, et la méthodologie d'évaluation des performances que la Tâche 44 développera ne doit pas oublier cette fonctionnalité.

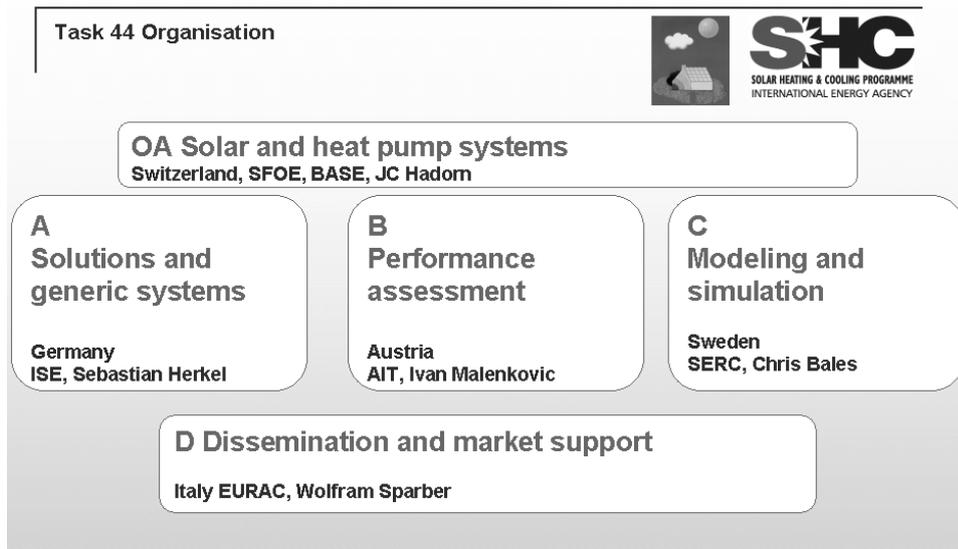
De plus, les grands systèmes ont aussi besoin de modèles de simulation et d'évaluation méthodologique, qui sont très similaires à ce que le travail de la Tâche 44 abordera avec les systèmes à petite échelle.

### **Organisation de la Tâche 44**

La Tâche 44 est divisée en quatre sous-tâches:

- Sous-tâche A: vue d'ensemble des solutions (existantes, nouvelles) et des systèmes génériques, dirigée par Sebastian Herkel du Fraunhofer ISE de Stuttgart, Allemagne
- Sous-groupe B: évaluation des performances, dirigée par Ivan Malenkovic de l'Institut autrichien de la technologie (AIT)

- Sous-groupe C: modélisation et simulation, dirigée par Chris Bales du centre suédois de recherche solaire de Borlange (SERC)
- Sous-tâche D: diffusion et support au marché, dirigée par Wolfram Sparber du centre de recherche EURAC de Bolzano, en Italie.



*Figure 1 : Organisation de la Tâche [1]*

Comme toutes les tâches de l'AIE SHC, la Tâche 44 se réunit deux fois par an pendant deux jours, où les experts de chaque pays participant rapportent l'état d'avancement de leurs travaux et discutent de nouvelles méthodes ou d'outils d'évaluation et d'optimisation des combinaisons « solaire et pompe à chaleur ».

## Les participants

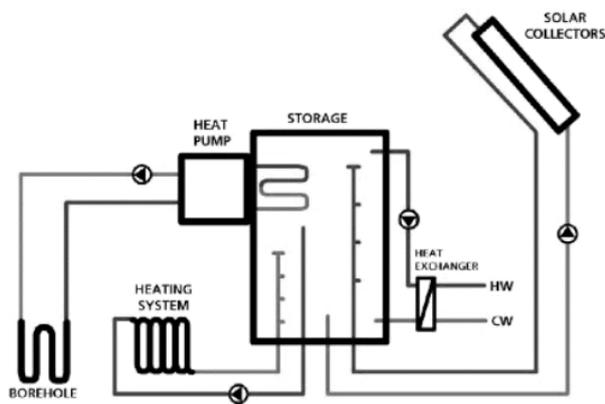
Les pays suivants ont exprimé leur intérêt à participer au travail commun: Australie, Autriche, Belgique, Canada, Danemark, France, Allemagne, Irlande, Italie, Espagne, Suède, Suisse Les Pays-Bas, Etats-Unis.

Chaque pays délègue des experts et des industriels aux réunions et les investit officiellement de la participation du pays. Il peut y avoir plusieurs institutions et industriels par pays.

## Différents niveaux d'intégration

Il y a essentiellement deux types de systèmes qui peuvent être conçus en ayant deux producteurs de chaleur (installation dite « bivalente »):

- Une solution non intégrée: solaire pour eau chaude et la pompe à chaleur fait l'entier des besoins en chauffage et fait l'appoint de l'eau chaude sanitaire. La partie solaire fournit alors 60 à 70% des besoins en eau chaude. Les deux producteurs interagissent donc uniquement au niveau du réservoir d'eau chaude sanitaire, la pompe à chaleur agit avec l'énergie solaire comme un appoint classique.
- Un système entièrement intégré: le cœur du système est la pompe à chaleur, mais l'énergie solaire fournit de l'énergie à l'évaporateur de la pompe à chaleur, soit via un réservoir de stockage, soit directement, et peut en outre charger le réservoir d'eau chaude sanitaire et injecter de la chaleur solaire dans le chauffage.



*Figure 2 : Un système à intégration maximale [5].*

Entre ces 2 solutions, il existe des variations et nous allons évaluer pour un cas concret les performances théoriques de ces variantes.

## Une maison Minergie et 5 variantes d'intégration

Nous allons considérer une maison Minergie ayant une surface habitable de 200 m<sup>2</sup>. Sur le plateau suisse, la demande totale en chaleur est tout au plus de 38 kWh/m<sup>2</sup> soit 7'600 kWh/an. L'ECS représente 17 kWh/m<sup>2</sup> ou 3'400 kWh/an. Notons que l'ECS représente 45% de la demande de chaleur et l'énergie solaire est une bonne solution pour cette raison. Nous cherchons à déterminer l'autonomie qui pourrait être atteinte dans chaque variante.

### Option 1: un chauffe-eau solaire et une chaudière à gaz

Une installation solaire avec 6 m<sup>2</sup> et 400 l de stockage peut fournir 80% de la demande ECS, avec une productivité de 450 kWh/m<sup>2</sup> typique d'un capteur plan de qualité ( $a_0=0.8$ ,  $a_1=3.0$  W/m<sup>2</sup> K).

La fraction solaire ou "renouvelable" est donc de:  $2'700 / 7'600 = 35\%$ .

### Option 2: une pompe à chaleur seule

Supposons que le coefficient annuel de performance (COP) de la pompe à chaleur atteigne 4.0, y compris les circulateurs auxiliaires. Cette valeur est souvent « vendue » dans nombre de prospectus de fournisseurs, mais n'est pas souvent observée dans la réalité lorsque l'on mesure un système réel !

La « fraction renouvelable » est dans cette hypothèse de:  $3 / 4 = 75\%$ ,

si l'on considère que l'électricité pour la pompe à chaleur n'est pas produite par une source renouvelable.

### Option 3: eau chaude solaire et pompe à chaleur, sans intégration

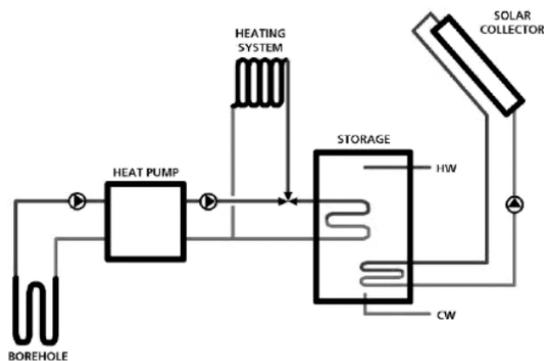
Avec les mêmes hypothèses que précédemment, l'énergie solaire fournira 2700 kWh/an et le reste sera couvert par la pompe à chaleur, soit 4'900 kWh, et avec un COP de 4.0 il nous faudra 1'225 kWh/an d'électricité.

La fraction «renouvelable» est donc:  $(7600 - 1225) / 7600 = 83\%$ .

Cette « fraction renouvelable » est souvent appelée le SPF ou facteur de performance annuel (SPF pour « seasonal performance factor »), car il comprend théoriquement l'énergie auxiliaire pour les 3 pompes de circulation (2 pour la PAC et 1 pour le solaire).

### Option 4: intégration complète

Nous aurons besoin de plus de capteurs, disons 12 m<sup>2</sup> et de 1000 litres de stockage, ce qui constituera un système combiné solaire typique de l'Europe.



**Figure 3 :** Un système partageant une cuve de stockage [5]

Un tel système peut fournir 300 kWh/m<sup>2</sup> pour l'ECS et le chauffage dans un climat tel celui de Genève. La production annuelle est donc de 3'600 kWh d'énergie solaire. La pompe à chaleur avec un COP encore de 4.0, fournira le reste soit 4000 kWh.

Le SPF atteint donc pour notre solution d'intégration complète:  $(3600 + 4000 * \frac{3}{4}) / 7600 = 87\%$  .

#### Option 5: un SPF plus élevé ?

Est-il possible de dépasser cette valeur de 87% ?

100% n'est pas possible, bien sûr, à moins qu'une installation photovoltaïque n'alimente le moteur de la pompe à chaleur. Solution possible, en compensation annuelle si on n'installe pas de batteries, et solution coûteuse à l'heure actuelle.

Ce type de système n'est pas étudié par la Tâche 44, car ne nécessite pas d'optimisation particulière vu le découplage du photovoltaïque et de la pompe à chaleur via le réseau.

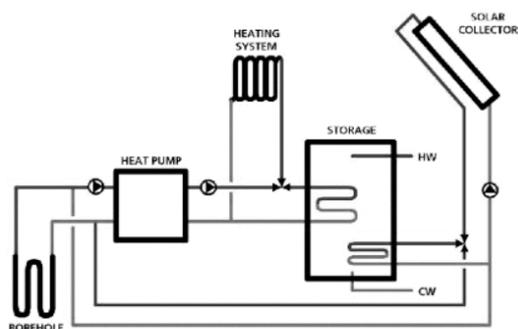
De plus la Tâche 44 est à la recherche d'une solution générique à grand potentiel de généralisation, donc à coût limité.

Pour faire plus que 87% « renouvelable », un plus grand réservoir de stockage est sans doute une solution, qui pourrait stocker de la chaleur à basse température pour la pompe à chaleur pendant les jours couverts d'hiver. Cependant plus de 90% d'énergie renouvelable seront difficiles à atteindre et dans le cas d'une pompe à chaleur couplée au sol, il y aura concurrence entre le réservoir de stockage et le stockage « naturel » que constitue le sous-sol.

Par conséquent, le coût d'investissement pour 2 systèmes pourra être un facteur limitant.

Dans le cas d'une pompe à chaleur, couplée au sol, il est supposé de plus en plus fréquemment dans la littérature, que la recharge du forage en été par les capteurs solaires ou pendant les jours ensoleillés en hiver, augmente le SPF, en permettant une température supérieure pour la source froide de la pompe à chaleur.

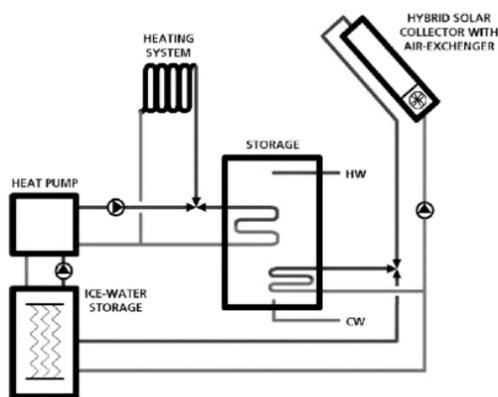
Cela pourrait être vrai, mais notre expérience dans plusieurs installations et de nombreux tests effectués dans les années 80 à Burgdorf sur un terrain de test de forage pour pompe à chaleur nous conduit à dire que le gain de cette recharge est plutôt marginal !



*Figure 4 : Un système avec recharge du terrain par les capteurs [5]*

Il n'est bien sûr pas marginal pour un groupe de plusieurs sondes, pour lequel la recharge estivale est nécessaire. Mais ces « grands systèmes » ne sont pas le but principal du travail de la Tâche 44, portée principalement vers les solutions individuelles.

On peut en conclure que, probablement, soit une pompe à chaleur air/eau soit un réservoir d'eau ou de glace faisant office de source pour la pompe à chaleur sont de meilleures solutions pour une combinaison recherchant le coût minimum ou le maximum d'intégration d'énergie solaire avec une pompe à chaleur. Mais ceci reste à démontrer de manière scientifique et c'est l'objet de la Tâche 44.



*Figure 5 : Un système avec cuve de stockage en glace pour la pompe à chaleur rechargée par des capteurs à air [5]*

## Les retombées de la Tâche 44

La pompe à chaleur combinée à du solaire représentera vraisemblablement une part de marché importante dans les prochaines décennies, au moins en Europe.

Dans certaines régions, de tels systèmes équipent déjà 80% des maisons neuves! La Tâche 44 contribuera à sélectionner les meilleures solutions.

Nous avons introduit une définition pour un coefficient de performance annuel (SPF). La Tâche 44 effectuera des travaux prénormatifs pour que ce facteur SPF devienne une référence, une définition commune internationale d'un tel facteur faisant actuellement défaut.

Le cadre procuré par une tâche AIE est une occasion unique de partager avec les experts des universités et des industries travaillant sur les pompes à chaleur et le solaire thermique, d'échanger de nouvelles idées et de les tester.

La Tâche 44 va attirer les meilleurs ingénieurs et des industriels renommés du solaire et de la pompe à chaleur, et des améliorations des systèmes existants ou des innovations sont à attendre des discussions.

Des modèles pour simuler n'importe quel type de combinaison de captage solaire et de pompes à chaleur seront disponibles, et les plus courantes seront probablement incorporées dans les outils d'ingénieurs tel Polysun [4].

Des systèmes innovants seront imaginés et de nouvelles idées émergeront de l'échange de pratiques, de connaissances et d'expérience, comme les tâches passées de l'IEA SHC ont contribué à le faire [1,2].

## Références

- [1] Hadorn J.-C.(2009). IEA SHC Task 44, Definition and workplan, [www.iea-shc.org](http://www.iea-shc.org)
- [2] J.-C., editor, Thermal energy storage for solar and low energy houses, June 2005, IEA SHC Task 32 book, 170 pages, [www.6faces.com](http://www.6faces.com)
- [3] Thermoprogramm Erdsonden, HTL-Burgdorf, 1990-1994, BFE Berichte
- [4] [www.Polysun.ch](http://www.Polysun.ch)
- [5] Henning Hans-Martin, Miara Marek, Fraunhofer ISE, Solarthermie und Wärmepumpen - getrennt oder zusammen ?, Erneuerbare Energie 2009-3, p. 4-7

Peter Hubacher  
dipl. Ing. HTL/HLK  
Hubacher Engineering  
Tannenbergstrasse 2  
CH-9032 Engelburg  
he-ko@bluewin.ch

In Zusammenarbeit mit Prof. Dr. Max Ehrbar, Im Sixer, CH-7320 Sargans

## Feldmonitoring und Analysen an Grosswärmepumpen

### *Zusammenfassung*

*Mit den grossen Wärmepumpen wird trotz der eher kleineren Stückzahlen ein bedeutendes energetisches Potential abgedeckt. Somit ist es auch von öffentlichem Interesse, dass deren Effizienz möglichst hoch ist. Die bisherigen Erfahrungen lehren, dass die Jahresarbeitszahlen (JAZ) von Grosswärmepumpen meist deutlich unter den Werten von Kleinwärmepumpen liegen.*

*Neu ist die Erkenntnis, dass die Trennlinie zu „Kleinwärmepumpen“ nicht entlang der Wärmeleistung verläuft, sondern entlang der Anzahl der angeschlossenen Objekte. Es muss unterschieden werden zwischen Wärmepumpenanlagen für ein Objekt und Wärmepumpenanlagen für mehrere Objekte. Sobald mehrere Objekte im Spiel sind, treten gegenüber Ein-Objekt-Anlagen vier grundlegende Unterschiede auf, die auf die Jahresarbeitszahl einen grossen Einfluss haben und die (mit Ausnahme vom letzten Punkt) nur bei Mehr-Objekt-Anlagen auftreten:*

- *Diese Anlagen haben ein Nahwärmenetz mit Wärmeverlusten und zusätzlicher Pumpenenergie.*
- *Bei kalter Verteilung (gemeinsame Wärmequelle) entsteht JAZ-Minderung durch zusätzliche Pumpenenergie.*
- *Wenn die Warmwasserversorgung ebenfalls zentral erfolgt, entstehen im Sommerbetrieb beträchtliche Auskühlverluste im Nahwärmenetz.*
- *Bei mehrstufigen Anlagen sinkt ohne Anpassung der Nebenantriebe an die Leistungsstufe der Wärmepumpe die Arbeitszahl im Teillastbetrieb deutlich.*

*Der Vergleich von Ein- und Mehrobjektanlagen zeigt im Mittel einen JAZ-Unterschied von  $\Delta=1.35$ .*

## Summary

*Even though large heat pump systems are not very common they represent an important energy potential. It is thus desirable that they are as efficient as possible. Experience to date has shown that the seasonal performance factor (SPF) of large heat pump installations is significantly lower than smaller installations.*

*The major discovery is that the differentiator between small and large heat pump systems is not the heat capacity, but instead the number of connected buildings (complexity). One needs to differentiate between heat pump systems for a single building or for a building complex.*

*Four factors make up this difference.*

- *This heating network has heat losses and requires pump energy for the distribution*
- *When decentralised heat pump system is supplied from a common sink/source (Ground, surface or waste water) are used, the SPF is reduced due to the pump energy required.*
- *When the domestic hot water is centrally produced then significant heat losses are to be found in the distribution network (specially in summer operation).*
- *Large heat pump systems are normally multistage. If the support systems are not regulated then under partial load the SPF sinks dramatically*

*The comparison shows that the average value of SPF for single buildings is 3.87 and for multiple buildings is 2.52 (local heat distribution network) and thus a difference of 1.35 (SPF).*

## Ausgangslage

Eine grundsätzliche Frage ist, was versteht man unter dem Begriff „Grosswärmepumpen“? Sind es Wärmepumpenanlagen mit grosser Wärmeleistung, ab beispielsweise 100 kW? Die eingehende Beschäftigung mit diesem Thema hat bei den Autoren die Überzeugung ergeben, dass Grosswärmepumpen nicht (primär) über deren Leistung zu definieren sind, sondern über deren Komplexität. Es hat sich klar gezeigt, dass die Trennlinie zu „Kleinwärmepumpen“ nicht entlang der Wärmeleistung verläuft, sondern entlang der Anzahl der angeschlossenen Objekte. Es muss unterschieden werden zwischen Wärmepumpenanlagen für ein Objekt und Wärmepumpenanlagen für mehrere Objekte. Sobald mehrere Objekte im Spiel sind treten gegenüber Ein-Objekt-Anlagen vier grundlegende Unterschiede auf, die auf die Jahresarbeitszahl einen grossen Einfluss haben und die (mit Ausnahme von Punkt 4) nur bei Mehr-Objekt-Anlagen auftreten:

- Die Wärmepumpen werden über ein Nahwärmenetz mit Wärme versorgt. Das Nahwärmenetz hat Wärmeverluste und beansprucht Pumpenenergie
- Wenn die Objekte mit dezentralen Wärmepumpen beheizt werden, jedoch über eine gemeinsame Wärmequelle verfügen (Grundwasser, Oberflächenwasser, Abwasser) entstehen Verluste durch die Pumpenenergie
- Wenn die Warmwasserversorgung ebenfalls zentral erfolgt, entstehen vor allem im Sommerbetrieb beträchtliche Auskühlverluste im Nahwärmenetz.

- Bei grösseren Wärmeleistungen sind die Wärmepumpen im Normalfall mehrstufig. Dies kann auch bei leistungsmässig grossen Ein-Objekt-Anlagen der Fall sein. Ohne Anpassung der Nebenantriebe an die Leistungsstufen der Wärmepumpen sinkt die Arbeitszahl im Teillastbetrieb deutlich.

Diese vier Unterschiede sollen in dieser Arbeit speziell herausgearbeitet werden.

Es wurde in zwei Phasen insgesamt 24 solcher Wärmepumpenanlagen analysiert. Das Ziel der Untersuchung besteht darin, konzeptionelle Fehler zu erkennen und Planungsgrundlagen zu schaffen, um zukünftige Anlagen energetisch besser zu konzipieren, sprich höhere JAZ zu erreichen. Gleichzeitig sollten auch wirtschaftliche Kennzahlen ermittelt werden, um Referenzwerte für die Grobbeurteilung der Kosten von Neuanlagen zu erhalten. Die Untersuchungen wurden, soweit möglich, getrennt nach Heizwärme und Warmwasser aufgeteilt.

	Wärmequelle	Nennleistung [kW]	JAZ WP	JAZ Anlage
4020	Erdwärmesonden	240 (300) <sup>1</sup>	3.42	3.02 <sup>2</sup>
4022	Gereinigtes Abwasser	1710 <sup>3</sup>	3.42	2.14
4023	Frischwasser (Grundwasser)	244	3.56	2.61
4024	Erdwärmesonde/Luft	128 <sup>4</sup>	2.90	2.54
4025	Grundwasser	320	3.32	2.26
4026	Kühlwasser r <sup>5</sup>	125	4.33	4.33
4027	Seewasser	156	3.47	3.47
4029	Grundwasser <sup>6</sup>	218	4.76	3.81 <sup>7</sup>
4030	Grundwasser	525	2.33	2.07
4031	Grundwasser	264 (900) <sup>8</sup>	2.68	2.30
4032	Schmutzwasser	586	2.66	1.88
4035	Gereinigtes Abwasser	806	4.17	3.88
4036	Grundwasser	300	3.29	2.67
4038	Gereinigtes Abwasser	130	4.83	3.45
	Minimum		2.33	1.88
	Mittelwert		3.51	2.89
	Maximum		4.83	4.33

**Table 1: Serie (Phase 2).**

<sup>1</sup> In Klammern Oel- oder Gaskessel)

<sup>2</sup> Die Nahwärmeverluste konnten nicht bestimmt werden. Daher ist die JAZ Anlage effektiv geringer.

<sup>3</sup> Zusätzlich bei einigen Objekten Heizkessel

<sup>4</sup> Zusätzlich Holzessel 110 kW und Oelkessel 250 kW, beide kaum genutzt

<sup>5</sup> Ein-Objekt-Anlage

<sup>6</sup> Ein-Objekt-Anlage

<sup>7</sup> Minderung der JAZ wird durch Quellenanlage bewirkt. Kein Nahwärmenetz.

<sup>8</sup> Anteil Wärmepumpe an Jahreswärmeproduktion: 42%

## Methodik

Es wurde eine grössere Anzahl Grosswärmepumpen von bestehenden Anlagen genauer analysiert, um die Gründe für gute oder schlechte Arbeitszahlen zu eruieren und Bau- resp. Systemempfehlungen für Hersteller und Planer abgeben zu können. Dazu wurde bei 35 Anlagebesitzern angefragt und von 23 Anlagen die technischen Unterlagen geprüft. Am Schluss blieben 20 Anlagen, die für die Analyse evaluiert werden konnten. Diese Anlagen wurden alle besucht und deren technische Daten untersucht und beurteilt. Auswertbar waren schlussendlich 14 Anlagen.

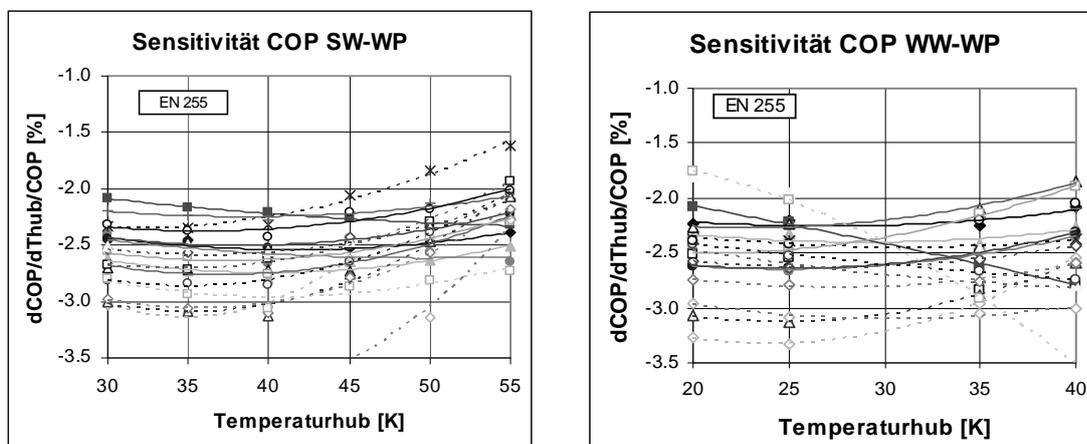
Für die Auswahl der Anlagen wurden folgende Kriterien herangezogen:

- Wenn möglich P+D-Anlagen, von denen bereits Leistungsdaten bekannt sind
- Möglichst verschiedene Wärmeverteilnetze und auch Einzelobjekt-Anlagen
- Anlagen mit verschiedenen Wärmequellen Grundwasser, Erdwärme, Abwasser
- Verschiedene Konzepte zur Warmwasseraufbereitung

## Sensitivität

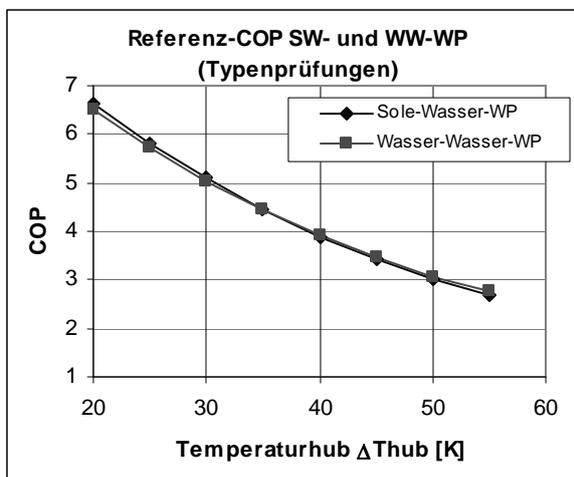
Thermodynamisch bedingte Minderungen der Jahresarbeitszahlen rühren u.a. davon her, dass betrieblich zu hohe Vorlauftemperaturen oder zu niedrige Quellentemperaturen gefahren werden. Beides führt zu höheren Temperaturhüben und damit zu tieferen Leistungs- und Arbeitszahlen. Zu hohe Temperaturhübe entstehen beispielsweise durch Trenn-Wärmetauscher in den Unterstationen oder den Quellenanlagen, durch Wärmeverluste in Nahwärmenetzen (die durch eine höhere Vorlauftemperaturen kompensiert werden müssen) etc.

Die Auswirkungen dieser temperaturbedingten Ursachen lassen sich relativ einfach beziffern. Wir haben die Typenprüfungen einer Reihe von Wärmepumpen herangezogen, um die Sensitivität der COP und JAZ bezüglich des Temperaturhubes zu eruieren. Das Ergebnis ist in Bild 1 dargestellt.



**Bild 1:** Sensitivitäten COP-Werte bezüglich einer Änderung des Temperaturhubes.

Der Mittelwert dieser Sensitivitäten liegt um 2.50% bei Wasser-Wasser-Wärme-pumpen resp. 2.54% bei Sole-Wasser-Wärmepumpen. Da wir die Sensitivitäten der in diesem Projekt untersuchten Grosswärmepumpenanlagen im Einzelnen nicht kennen, haben wir die möglichen Verbesserungen mit diesem Mittelwert veranschlagt. Es muss beachtet werden, dass alle diese typengeprüften Wärmepumpen mit Scroll-Kompressoren ausgerüstet sind. Die Charakteristik eines Kompressors geht in die Sensitivität ein. So weisen insbesondere ventilgesteuerte Kompressoren (Hubkolben, Rollkolben) eine geringere Sensitivität auf. Bei den Grosswärmepumpen werden meistens Hubkolbenkompressoren verbaut. Deshalb sind bei Grossanlagen die COP- resp. Verläufe der Arbeitszahl (AZ) flacher als bei den typengeprüften Maschinen. Interessant sind auch die absoluten COP-Werte der typengeprüften Maschinen. Wir haben für die 19 untersuchten Anlagen einen Mittelwert des COP-Verlauf in Abhängigkeit vom Temperaturhub erstellt (Bild 2).



**Bild 2:** Mittelwert des COP-Verlaufs der je 19 typengeprüften Anlagen in Abhängigkeit vom Temperaturhub.

Bild 2 dient als Referenz für die untersuchten Anlagen. Man erkennt, dass die COP-Werte für WW-WP und SW-WP bei identischen Temperaturhuben nahe beieinander liegen.

Die Typenprüfungen berücksichtigen die Nebenantriebe auf der Quellen- und Senkenseite nur unvollständig, indem deren Pumpenstromaufnahme einfach durch die Multiplikation von Druckverlust über den Wärmetauschern mal dem Volumenstrom und dividiert durch 0.3 (Wirkungsgrad der Pumpen) berechnet wird. Dieser Verbrauch wird dem Stromverbrauch des Kompressors zugeschlagen. Dies macht je etwa 1 % bei Quelle und Senke aus.

In der Praxis sind die Stromverbräuche der Pumpen weit höher. Bei Erdwärmesondenanlagen liegt der Stromverbrauch der Solepumpe bei ausgeführten Anlagen bei bis zu 13 % der Kompressorleistung. Dadurch liegen die COP-Werte (und die AZ-Werte) in der Praxis um etwa 12 % tiefer als gemäss Typenprüfung. Da Nebenantriebe, sofern sie nicht leistungsgeregelt sind, stets die gleiche Strommenge aufnehmen, „dämpfen“ sie auch die

Sensitivitäten um etwa 10 %. Bei den AZ ist zu berücksichtigen, dass auch die Anlaufverluste beim Starten der Wärmepumpe enthalten sind, was bei den Typenprüfungen nicht der Fall ist. Beim Vergleich von Typenprüfungen und Feldmessungen müssen daher die Energieverbräuche der Nebenantriebe sauber herausgearbeitet werden.

Bei den untersuchten Wasser-Wasser-Wärmepumpen liegt der Strombedarf der Quellen- und (sofern vorhanden) Zwischenkreispumpe zwischen 5.6 und 25.2% der Stromaufnahme des Kompressors (Tab. 2). Ausreisser nach oben ist Anlage 4022, bei der allerdings erst die Hälfte der geplanten Anschlussleistung realisiert ist.

Anlage	Quellentyp	Stromverbrauch Kompressor pro Jahr [kWh]	Stromverbrauch Quellenanlage pro Jahr [kWh]	Anteil Pumpenenergie (bez. auf Stromaufnahme Kompressor) [%]
4020	EWS	164'368	21'700	13.2
4022	Gereinigtes Abwasser	502'000	301'000	60.0
4023	Frischwasser (Grundwasser)	110'508	22'900	20.7
4024	EWS+Luft	129'266	4'531	3.5
4025	Grundwasser	98098	22'900	23.3
4026	Kühlwasser	65'905	3800	5.8
4027	Seewasser	160'670	5300	3.3
4029	Grundwasser	55'487	14'000	25.2
4030	Grundwasser	207'261	11'684	5.6
4031	Grundwasser	253'628	28'710	11.3
4032	Schmutzwasser	213'300	22'500	10.5
4035	Gereinigtes Abwasser	273'480	25'887	9.5
4036	Grundwasser	137'634	20'846	15.1
4038	Gereinigtes Abwasser	118'138	20'135	17.0

**Tabelle 2:** Leistungsanteil der Grundwasserpumpen.

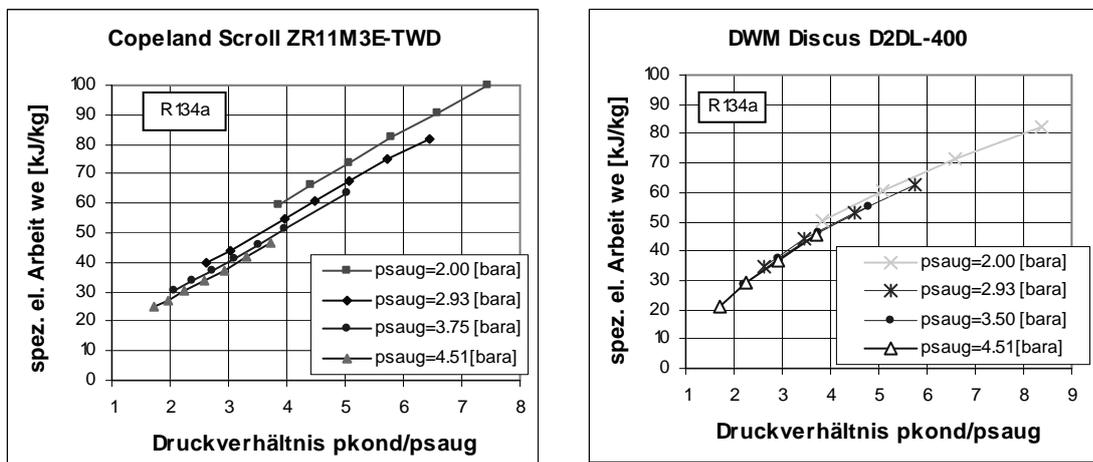
Es stellt sich die Frage, ob die in Bild 1 genannten COP-Sensitivitäten auch für die Jahresarbeitszahlen gelten. Die Sensitivitäten variieren je nach Temperaturhub. Die Sensitivitäten der Jahresarbeitszahlen liegen „irgendwo“ zwischen der minimalen und der maximalen Sensitivität nach Bild 1. Um die Wirkung von Verbesserungsmassnahmen aufzuzeigen, genügt es mit einem mittleren Wert für die Sensitivität zu rechnen. Damit wird zwar der absolute Wert der JAZ-Verbesserung nicht exakt wiedergegeben, jedoch auf alle Fälle die Grössenordnung.

Der Einfluss des Temperaturhubes auf die Jahresarbeitszahlen kann auf zwei Wegen erfolgen. Entweder rechnet man die Stromaufnahme der Nebenantriebe aus dem Jahresstromverbrauch heraus und korrigiert diesen Stromverbrauch je Kelvin Temperaturhub um 2.5 % (genauere Methode), oder man korrigiert den Gesamtstromverbrauch (also Kompressor und Nebenantriebe) mit einer reduzierten Sensitivität von etwa 2.25%. Bei den vorliegenden Untersuchungen werden die Stromverbräuche der Nebenantriebe eruiert (durch Messungen oder rechnerisch). Daher konnte die exaktere erste Methode angewendet werden.

Die Sensitivitäten sind auch vom Kompressortyp abhängig. Die in Bild 2 und 3 aufgeführten Werte stammen aus Typenprüfungen an kleineren Wärmepumpen, die allesamt mit Scrollkompressoren ausgerüstet sind. Grössere Wärmepumpen sind meist mit Hubkolbenkompressoren oder Schraubenkompressoren ausgestattet, deren Leistungscharakteristiken anders als bei Scrollkompressoren verlaufen. Dies lässt sich am einfachsten anhand der spezifischen elektrischen Arbeit  $w_e$  aufzeigen. Die spezifische elektrische Arbeit ist die elektrische Energiezufuhr zum Kompressor pro kg verdichteten Kältemittels:

$$w_e \equiv \frac{P_{el}}{\dot{m}_R} \quad (1)$$

Das Bild 3 zeigt den Verlauf der spezifischen elektrischen Arbeit für einen Scroll- und einen Hubkolbenkompressor.



**Bild 3:** Spezifische elektrische Arbeit für Scroll- und Hubkolbenverdichter.

Während bei ventillosen Kompressoren (Scroll, Schraube) die spezifische elektrische Arbeit  $w_e$  praktisch linear mit dem Druckverhältnis ansteigt, verläuft dasselbe bei ventilgesteuerten Maschinen (Hubkolben, Rollkolben) mit steigendem Druckverhältnis zunehmend flacher. Dieses Verhalten führt zu einem flacheren Abfall des COP mit zunehmendem Temperaturhub.

Die massgebliche Grösse zur energetischen Beurteilung einer Wärmepumpenanlage ist die Jahresarbeitszahl (JAZ). Sie ist das Verhältnis der produzierten Nutzwärme (Heizung und Warmwasser) zur aufgenommenen elektrischen Energie. Dabei unterscheiden wir zwei verschiedene Jahresarbeitszahlen:

- $JAZ_{WP}$ : Verhältnis der produzierten Wärme der Wärmepumpe und der aufgenommenen elektrischen Energie des Kompressors
- $JAZ_{Anlage}$ : Verhältnis des Wärmebedarfs der Anlage zur aufgenommenen elektrischen Energie von Kompressor und allen Nebenantrieben der Wärmepumpe (Pumpen der Quellenanlage, Steuerung)

Letztere Variante ist die entscheidende Grösse zur Beurteilung der energetischen Effizienz einer Anlage und zur Berechnung der Betriebskosten einer Wärmepumpenanlage. Die erste Definition dient der inneren Beurteilung der Wärmepumpe.

## **Grundwasserpumpen**

Grundwasserpumpen müssen möglichst genau dem Bedarf der Wärmepumpenstufen angepasst werden. Zur Erläuterung wird der Fall einer 2-stufigen Wärmepumpe mit zwei Grundwasserpumpen erwähnt. Jeder Wärmepumpenstufe ist eine Grundwasserpumpe zugeordnet. Bei den meisten Anlagen wird nur ein Grundwasserbrunnen mit nur einer Grundwasserpumpe gebaut. Diese Grundwasserpumpe wird entweder einstufig oder fälschlicherweise mit Frequenzregulierung die Drehzahl variiert. Dies ist wenig effizient, da die geodätische Förderhöhe, die offene Förderhöhe zwischen dem Grundwasserspiegel und der Wärmepumpe, einen meistens grossen Anteil an der Gesamtförderhöhe hat. Somit kann die Drehzahl der Grundwasserpumpe nur in einem ganz kleinen Bereich geregelt werden, welches in Bezug auf die Effizienzoptimierung praktisch wenig beiträgt.

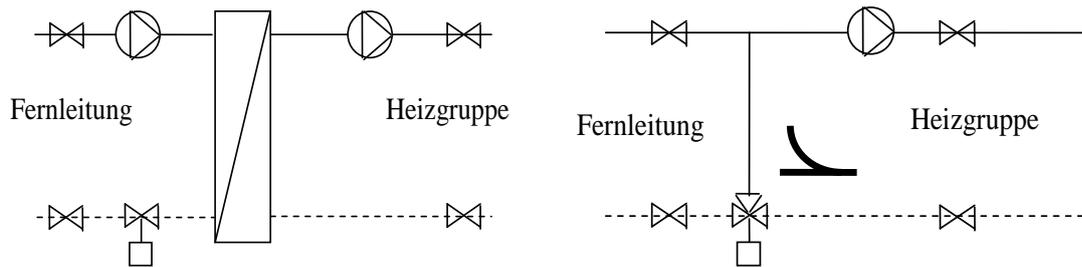
## **Nahwärmenetzpumpen**

Die Nahwärmenetzpumpen arbeiten in der ganzen Heizsaison und zusätzlich im Sommer für die Warmwasserproduktion. Wenn die Heizsaison maximal 7 Monate oder rund 5000 h/a dauert, verbleiben für die Sommersaison (nur Warmwasserbetrieb) 5 Monate resp. 3760 Stunden. Im Heizbetrieb arbeiten die Nahwärmenetzpumpen ununterbrochen, rund 5000 h. Für den Warmwasserbetrieb im Sommer werden 2 Stunden Ladezeit pro Tag angenommen. Aus diesen Annahmen ergibt sich im Sommerbetrieb eine Laufzeit der Nahwärmenetz- und Grundwasserpumpen von rund 300 Stunden.

Die Massenströme sind an die effektiv benötigten Betriebsverhältnisse anzupassen. Bei einem Nahwärmeverbund lohnt sich eine frequenzregulierte Umwälzpumpe praktisch immer, da der Volllastbetrieb nur ganz selten eintritt. Über die meiste Zeit kann die Anlage mit einem reduzierten Massenstrom betrieben werden. Dies ist auch bei einem Nahwärmeverbund mit mehreren Objekten mit je einem Warmwasserboiler im Sommerbetrieb der Fall, wenn diese Warmwasserboiler unterschiedliche Inhalte und Ladezustände haben. Die Massenstromvariation für die Boilerladung kann so optimiert werden, was effizienter und weniger störungsanfällig ist.

## Unterstationen

Bei Anlagen mit vielen Objekten wird oft in Unterstationen der Objekte ein Trennwärmetauscher einbaut, um den Hauptvorlauf vom Objektkreislauf zu trennen. Das hat den Vorteil, dass bei Reparaturen im Objektkreislauf, wo u.U. der Kreislauf geöffnet werden muss, der Hauptkreis nicht betroffen ist. Damit kann etwa das Entlüften nach Wiederinbetriebnahme des Objektkreises vereinfacht werden.



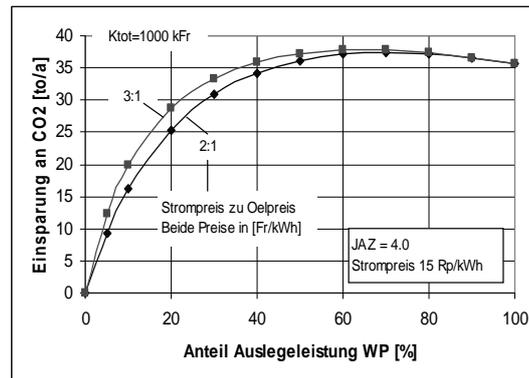
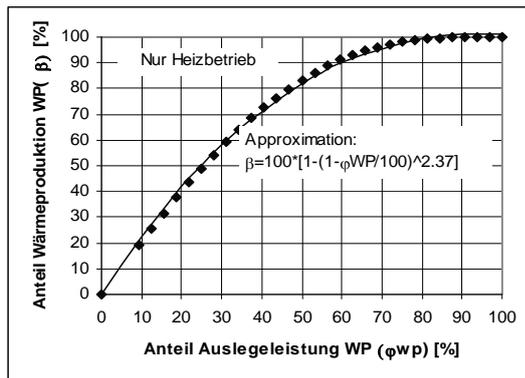
**Bild 4:** Unterstation mit Netztrennung

**Bild 5:** Unterstation ohne Netztrennung.

Der Nachteil eines Trennwärmetauschers liegt in dessen Grädigkeit (mittlerer Temperaturabstand zwischen den beiden Wärme austauschenden Medien). Man muss mit rund 3 K Temperaturabstand zwischen Hauptkreis und Objektkreis rechnen. Nach unserer Faustregel entspricht dies einer Verminderung der JAZ von 7.5 %.

## Bivalente Anlagen mit Wärmepumpen

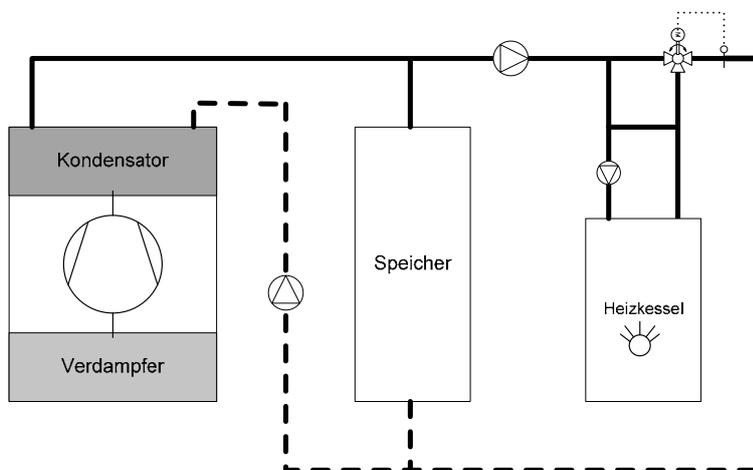
Bei bivalenten Anlagen mit Grosswärmepumpen wird ein Teil der Wärmerzeugung mit einem 2. System, wie Öl- oder Gasheizkessel, bewerkstelligt. Dadurch kann die Wärmepumpenleistung entsprechend gesenkt werden. Der Anteil der Energieproduktion, der meist fossilen Spitzenlastabdeckung, sollte dabei nicht allzu gross sein. Eine gute Kombination der Leistungsabdeckung kann bei bivalent-parallelem Betrieb mit einer Aufteilung von je 50% Leistungsanteil erreicht werden. Dieses Thema wurde im Bericht „Grosswärmepumpen Phase 1“ detailliert behandelt, Lit. [2].



**Bild 6:** Zusammenhang zwischen dem Modalsplit und Anteil Wärmeproduktion der Wärmepumpe

**Bild 7:** Verlauf der CO<sub>2</sub>-Einsparung in Abhängigkeit vom Leistungsanteil der Wärmepumpe

Trotz eines tiefen Wertes für den Auslegeleistungsanteil der Wärmepumpe ist der Anteil der Wärmeproduktion pro Heizsaison hoch. Man erkennt aus Bild 6, dass der Anteil der Wärmeproduktion bei 50 % Modalsplit rund 80 % beträgt, sofern die Anlage richtig konzipiert ist.



**Bild 8:** Hydraulische Einbindung einer Heizkesselanlage mit Wärmepumpe

Die Wärmepumpe arbeitet auf den Speicher und der Heizkessel wird nur für die Nachwärmung des Vorlaufs eingesetzt. Dabei muss ein Heizkessel eingebaut werden der auf einer minimalen Leistung von ca. 10 % noch störungsfrei arbeitet.

Bei einem Heizkessel, der nicht modulierend betrieben werden kann, muss der Heizkessel mit einem genügend grossen Speicher hydraulisch eingebunden werden, sodass der Heizkessel diesen Speicher aufladen kann. Dabei ist der Speicherinhalt so zu planen, dass auch im Minimalteillastbereich eine Laufzeit von min. ca. 20-30 Minuten gewährleistet ist. Die

Einbindung der Speicheranlage ans Verteilnetz erfolgt dann analog der Kesseleinbindung mit variabler Leistung mit einem Dreiwegventil in der Hauptleitung, das nur soviel Wasser aus dem Speicher holt, wie es für die Einhaltung der Vorlauftemperatur gemäss Heizgesetz benötigt.

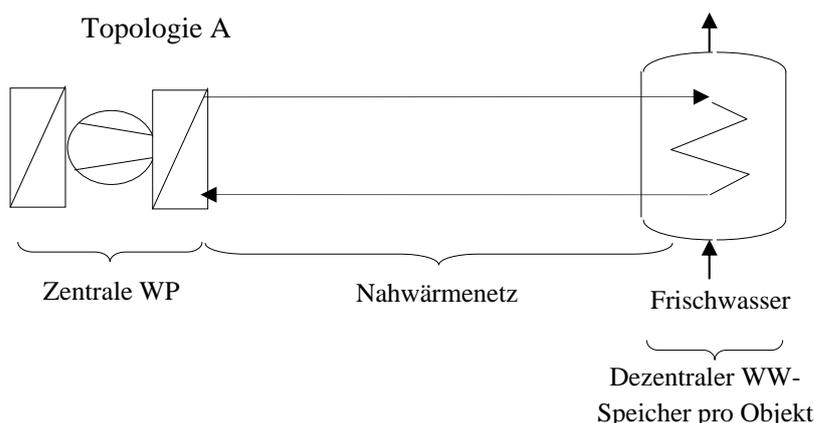
Bei bivalenten Anlagen besteht immer die Gefahr, dass die Rücklauftemperaturen zu hoch liegen, womit sich die Wärmepumpe aus Gründen des Maschinenschutzes abschaltet und die ganze Wärmeproduktion dem Heizkessel überlässt. Es wird unterstellt, dass der Temperaturhub der Wärmepumpe geregelt werden kann und bis zu 16 K beträgt. Bei unregelmäßigem Temperaturhub von fix 10 K ändern sich die Verhältnisse zu Ungunsten der Wärmepumpe.

## Warmwasserversorgung

In den analysierten Gross-Wärmepumpenanlagen haben wir folgende Topologien der Warmwasseraufbereitung gefunden:

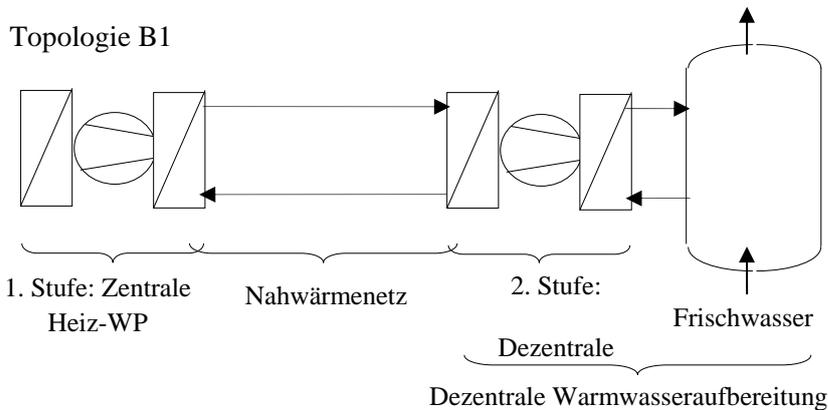
### Topologie A: Zentrale Wärmeerzeugung mit dezentralen Warmwasser-Speichern

Der Nachteil dieses Konzepts zeigt sich vorwiegend im Sommerbetrieb, wenn also keine Heizwärme benötigt wird. Zur Aufladung der dezentralen Warmwasserspeicher muss das Nahwärmenetz auf die Endtemperatur der Warmwasserspeicher hochgefahren werden. Nach dem Aufladen der Speicher kühlt sich das Nahwärmenetz wieder aus. Das Nahwärmenetz beinhaltet ein recht grosses Wasservolumen.



**Bild 9:** Zentrale Wärmeerzeugung mit dezentralen Warmwasserspeichern

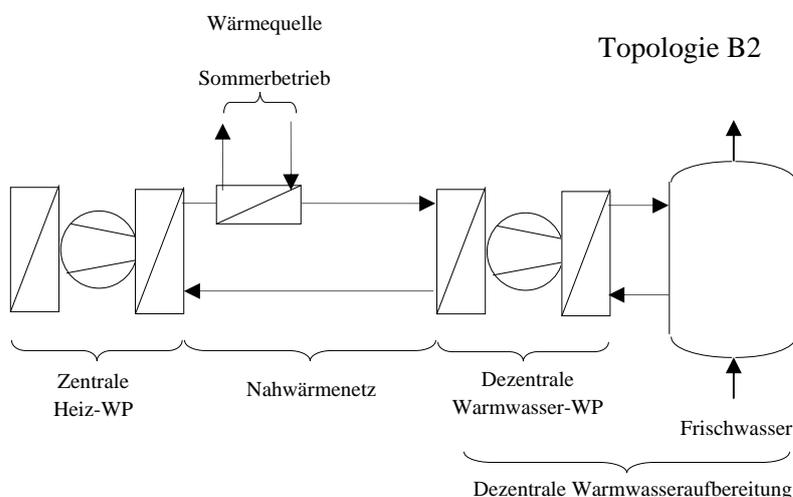
Die beim Abkühlen an die Umgebung abgegebene Wärme ist verloren. Wenn jedes Objekt individuell eine Nachladung verlangt, so wird das Nahwärmenetz u.U. mehrmals pro Tag hochgefahren und abgekühlt.

**Topologie B:** Brauchwarmwasser mit dezentraler Warmwasser-Wärmepumpe**Bild 10:** Warmwassererzeugung mit dezentraler Wärmepumpe

Bei diesem Konzept benutzen die dezentralen Wärmepumpen den Hauptvorlauf der zentralen Heizwärmepumpe als Wärmequelle. Kältetechnisch ist dies eine kaskadierte, zweistufige Wärmepumpe. Entgegen landläufiger Meinung führt dies nicht zu hohen Leistungszahlen. Für die Wärmeerzeugung arbeiten eben zwei Kompressoren in Serie, die beide Strom beziehen.

Man kennt zwei Ausführungen: Bei Ausführung (Topologie B1). arbeiten beide Wärmepumpen auch im Sommerbetrieb. Dieser Fall führt im Sommerbetrieb zu speziell tiefen Leistungs- und Arbeitszahlen.

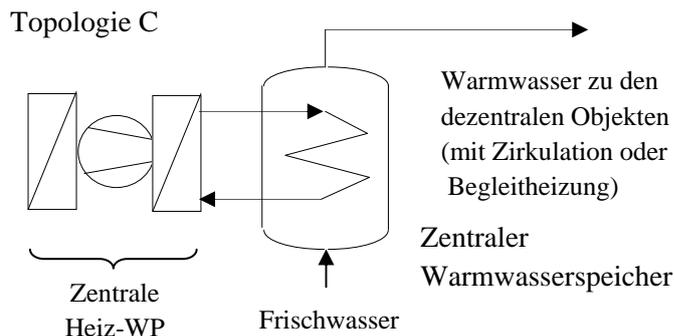
Bei Ausführung B2 wird der Hauptvorlauf im Sommer über einen Wärmetauscher direkt von der Wärmequelle beaufschlagt. Die zentrale Heizwärmepumpe wird also umgangen. Dieser Fall ist im Sommerbetrieb günstiger als im Fall A. Beim Nachladen muss das Nahwärmenetz nicht auf die Endtemperatur des Ladevorganges hochgefahren werden, sondern bleibt kalt. Einzig die Umwälzpumpen-Energie des Nahwärmenetzes fällt ins Gewicht.

**Bild 11:** Zweistufige Kaskade und Nutzung des Hauptvorlaufs als Wärmequelle für die Warmwasser-Wärmepumpen mit Sommereinspeisung im Hauptvorlauf

**Topologie C: WP und Speicher zentral**

Dieses Konzept ist hydraulisch einfach und vermutlich billiger als die andern hier besprochenen Beispiele.

Die Wärmeverluste im Grobverteilnetz des Warmwassers sind bei dieser Lösung gross, da die Warmwasserleitungen dauernd auf Warmwasserniveau gehalten werden müssen, sei es mittels Zirkulation oder Begleitheizung.



**Bild 12:** Zentrale Wärmepumpe und zentraler Warmwasserspeicher. Warmwasserverteilung an die Objekte mittels Zirkulation und Begleitheizung.

**Topologie D:** Dezentrale Heiz-Wärmepumpe mit kalter Wärmequellenverteilung: Bei dezentralen Heizwärmepumpen und kalter Verteilung der Quellenwärme erfolgt die Warmwassererzeugung nahe liegender weise ebenfalls dezentral, wobei üblicherweise die Heizwärmepumpen für beide Zwecke herangezogen werden.

**Zirkulationssystem:** Pumpenaufwand und Wärmeverluste der stets auf Gebrauchstemperatur gehaltenen Zirkulation (oft mit Nachtabschaltung der Zirkulation, dafür Wiedererwärmung nach dem Einschalten). Begleitheizung: Wärmeverluste gegenüber Zirkulation etwa halbiert (Widerstandheizung).

Zirkulationssysteme mit separater Wärmepumpe zur Deckung der Zirkulationsverluste. Energetisch ähnlich wie erste Variante.

## Nahwärmenetze (zentrale oder dezentrale Wärmeerzeugung)

Von den untersuchten 14 Anlagen haben 10 ein Nahwärmenetz. Das bedeutet, dass mehrere Objekte an der gleichen zentralen Heizzentrale hängen. Die Betrachtung erfolgte getrennt nach Heizung und Warmwasser. Wärmeverluste im Nahwärmenetz fallen im Sommer nur an, wenn die Warmwasserversorgung zentral erfolgt.

Anlage	Nahwärmenetz	Trennwärmetauscher	JAZ WP	JAZ Anlage
4020	Ja	nein	3.42	3.02
4022	teilweise	Ja		
4023	Ja	Ja	3.56	2.61
4024	Ja	Ja	3.42	2.14
4025	Ja	nein	3.32	2.26
4026	nein	nein	4.33	2.28
4027	nein	nein	4.52	3.47
4029	nein	nein	4.76	3.81 <sup>9</sup>
4030	Ja	nein	2.33	2.07
4031	Ja	nein	2.68	2.30
4032	Ja	nein	2.66	1.88
4035	nein	nein	4.17	3.88
4036	Ja	nein	3.29	2.67
4038	Ja	nein	4.83	3.45

**Tab. 3:** Übersicht zur Wärmeversorgung

Nahwärmenetze haben Wärmeverluste ans umgebende Erdreich und benötigen elektrische Energie für die Umwälzpumpen. Durch die Wärmeverluste sinkt die Vorlauftemperatur bis zu den Unterstationen, weshalb die Vorlauftemperatur an der Wärmepumpe entsprechend angehoben werden muss. Dieser Effekt ist allerdings gering. Falls in den Unterstationen Trennwärmetauscher eingebaut sind, muss die Vorlauftemperatur an der Wärmepumpe um die Grädigkeit der Wärmetauscher höher gefahren werden. Alle vier Elemente reduzieren die Jahresarbeitszahl.

<sup>9</sup> Minderung der JAZ wird durch Quellenanlage bewirkt. Kein Nahwärmenetz.

## **Betriebsregime (Heizgesetz, etc.)**

Jede Anlage sollte mit einem möglichst gut an die Bedürfnisse des Objekts und deren Betriebsanforderungen angepassten Betriebsregime laufen. Dabei sind sowohl die regeltechnischen Anforderungen (frei programmierbares System oder einfache handelsübliche Regulierung), wie auch die Bedienerfreundlichkeit entscheidend wichtig. Es nützt das beste und neueste Softwaresystem nichts, wenn das Bedienungspersonal vollkommen überfordert ist. Die Anlage wird innert wenigen Monaten nach deren Fertigstellung und Einjustierung dem Betriebspersonal übergeben und die Verantwortung dorthin weiterdelegiert. Die Optimierung während der ersten paar Monate ist ein eminent wichtiger Vorgang.

Es gibt nicht wenige Anlagen, wo aus nicht nachvollziehbaren Gründen die Heiztemperaturen deutlich überhöht gefahren werden und das während der gesamten Heizsaison. Bei Objekten, die in den vergangenen 10 Jahren erstellt worden sind, findet man durchwegs niedertemperaturige Heizgesetze zwischen 35°C und 45°C im Auslegungspunkt. Bei Sanierungen von älteren Bauten liegen die Systemtemperaturen höher. Es wurden Vorlaufregime bis zu 80°C angetroffen. Bei Sanierungen zeigt sich die Notwendigkeit einer vorangehenden energetischen Sanierung der Bauhülle deutlich. Dies senkt nicht nur den Wärmebedarf, sondern auch die notwendigen Systemtemperaturen.

## **Kosten (Investitionen)**

Erstaunlicherweise war es fast nicht möglich an die Investitionskosten heranzukommen. In den meisten Fällen waren die Kosten in der benötigten Transparenz gar nicht verfügbar. Das ursprüngliche Ziel war, Kostenkennzahlen als Richtwerte für die Beurteilung von Offerten für geplante Anlagen und die Wahl der Heizungskonzepte zu eruieren. Tw. verfügten die Bauherren über keine Abrechnungen ihrer Heizanlagen. Es sind nur gerade fünf Anlagen, die wir bezüglich der Kosten analysieren konnten. Der Kapitalanteil wurde beim Wärmepreis nicht berücksichtigt, da dessen Anteil von der Amortisationsdauer und den Zinssätzen abhängig ist.

Anlage	Quelle	Investition Gesamtanlage zu Wärmeleistung [Fr/kWth]	Investition Quelle zu Wärmeleistung [Fr/kWth]	Wärmepreis Gesamtanlage Nutzwärme (ohne Kapital) [Rp/kWhth]	Wärmepreis Anteil Quelle Nutzwärme [Rp/kWhth]
4020	EWS	3'884	2'550	7.51	
4022	Abwasser, gereinigt		1'712		5.70
4035	Abwasser, gereinigt	2'092	1'024		
4036	Grundwasser			6.47	
4038	Abwasser, gereinigt	2'937	1'772	10.10	

*Tabelle 4: Spezifische Kosten der Wärmeerzeugung*

## Zusammenfassung der Erkenntnisse

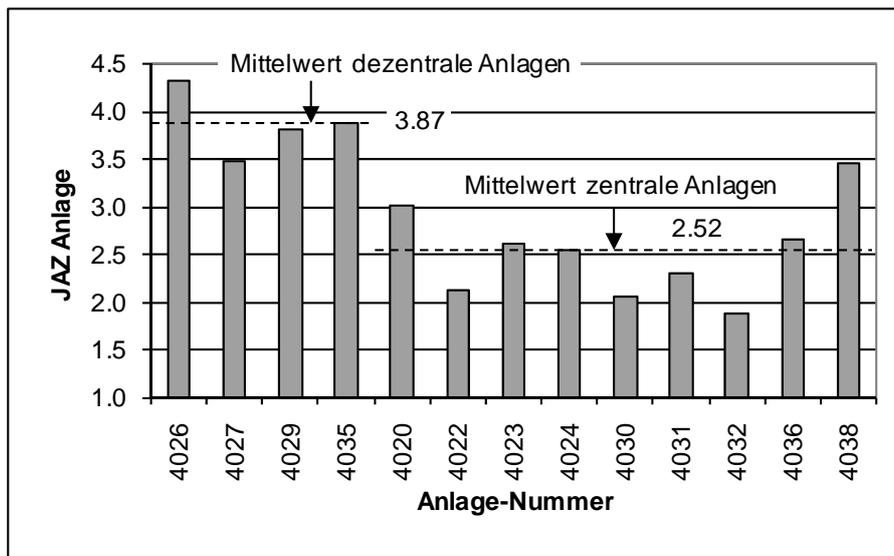
Werden mehrere Objekte mit zentraler Wärmepumpe versorgt, so ergeben sich aus dem Fernleitungsnetz (Verbindungsleitungen zwischen Heizzentrale und Satellitengebäuden) zusätzliche Verluste, die bei Kleinwärmepumpen nicht auftreten.

Es sind dies zusammengefasst nachstehende Hauptpositionen:

- Wärmeverluste der Fernleitungen, die an die Umgebung gehen.
- Transportenergie in den Fernleitungen (Massenstrom)
- Grädigkeit von Trennwärmetauschern -> thermodynamische JAZ-Reduktion
- Die Wärmeverluste im Leitungsnetz, -> Anhebung der Vorlauftemperatur

Diese Zusatzverluste, die nur bei Fernleitungsnetzen entstehen, führen zu einer deutlichen Verminderung der JAZ in der Grössenordnung von etwa 0.40.

Eine Übersichtsdarstellung der JAZ-Werte dieser Untersuchung (2. Serie) zeigt deutlich die Überlegenheit von dezentralen Heizanlagen (Bild 13):



**Bild 13:** Übersichtsdarstellung der Anlage-Jahresarbeitszahlen

Weiter beeinflussen auch die Wärmequellenanlagen die Jahresarbeitszahlen. Mit der Auslegung von Wärmequellenanlagen kann auch der Temperaturabstand zwischen der Quelleneintrittstemperatur und der Verdampfungstemperatur beeinflusst werden. Man erinnere sich: mit jedem Kelvin höherer Verdampfungstemperatur steigt die Jahresarbeitszahl um etwa 2.5 %.

Konzeptionelle Fehler beeinflussen die Verminderung der Jahresarbeitszahlen zusätzlich. Dies gilt insbesondere für die Brauchwarmwasserversorgung. Hier kommt als Besonderheit hinzu, dass nicht kontinuierlich Wärme verlangt wird. Durch das periodische Aufladen des Brauchwarmwasserspeichers und der Fernleitungen kühlen sich diese aus und müssen beim erneuten Aufladen erst wieder hochgefahren werden.

## Erkenntnisse

Diese lassen sich in wenige Sätze fassen. Grundsätzlich gilt, dass jedes Kelvin höhere Senktemperatur resp. niedrigere Quelltemperatur die Leistungs- und die mittlere Arbeitszahl um rund 3 % senkt und umgekehrt.

1. Zentrale Wärmeversorgungen von mehreren Objekten haben energetisch verschiedene Nachteile. Das benötigte Nahwärmenetz hat Wärme- und Pumpenverluste. Meistens werden die Hausnetze in den Unterstationen durch Trenn-Wärmetauscher vom Nahwärmenetz entkoppelt. Die Grädigkeit dieser Trenn-Wärmetauscher senkt die JAZ um mindestens 9 %.
2. Die Temperatur der Wärmeverteilschiene muss stets so hoch gehalten werden, wie es das höchste Heizgesetz aller Objekte erfordert. Die Wärmeverluste entlang des

Nahwärmenetzes verursachen auch eine Abnahme der Wassertemperatur bis zur Unterstation. Dies muss durch eine entsprechende Erhöhung der Vorlauftemperatur ab Kondensator kompensiert werden. Dadurch sinkt die Arbeitszahl um 2.5 % pro Kelvin höherer Vorlauftemperatur ab Kondensator.

3. Die Wärmeversorgung von mehreren Objekten sollte aus energetischen Gründen mit dezentralen Wärmepumpen erfolgen, d.h. mit je einer Wärmepumpe pro Objekt. Damit können die Verluste der Nahwärmenetze und das Heizgesetz individuell den Erfordernissen jedes Objekts angepasst werden.
4. Bei kollektiven Wärmequellen (Grundwasser, Oberflächenwasser, Abwasser) ist das Konzept der kalten Verteilung der Quellenwärme mit dezentralen Wärmepumpen energetisch besser als eine zentrale Wärmepumpe mit Nahwärmenetz. Es ist wichtig, dass die Leistung der Grundwasserpumpe der Anzahl aktiver Wärmepumpen angepasst wird.
5. Bei solchen offenen Anlagen spielt die Wasserchemie für den Wartungsaufwand eine grössere Rolle. Wärmetauscherflächen werden je nach Situation mit einem Biofilm bedeckt, der den Wärmedurchgang reduziert. Ebenso können mechanische Verschmutzungen die Durchflussquerschnitte verengen. In allen diesen Fällen muss die Anlage periodisch gereinigt werden.
6. Die Warmwasserversorgung sollte ebenfalls dezentral pro Objekt erfolgen. Vor allem im Sommer bewirkt das Hochfahren des Nahwärmenetzes bei zentraler Wärmeversorgung grosse Energieverluste.
7. Warmwasser-Speicher mit innen liegendem Heizregister haben hohe Grädigkeiten. Es empfiehlt sich, einen aussen liegenden zwangsdurchströmten Wärmetauscher zu verwenden. Diese Lösung hat den weiteren Vorteil, dass für die Temperaturerhöhung wegen des Legionellenproblems die gesamte Speicheranlage geeigneter auf die verlangten ca. 60°C hochgefahren werden kann.
8. Bivalente Anlagen müssen bivalent-parallel betrieben werden und hydraulisch so geplant sein, dass die zweite Wärmequelle (meistens ein Öl- oder Gasheizkessel) nur für die Deckung der fehlenden Spitzenlast eingesetzt wird. Dies bedingt vor allem, dass die Heizkesselanlage gleitend bis auf min. 10% Lastanteil heruntergefahren werden kann. Schlecht geplante und/oder nicht richtig einregulierte Anlagen tendieren dazu, dass infolge zu hoher Vorlauftemperaturen, resp. damit verbunden auch zu hoher Rücklauftemperaturen der Betrieb der Wärmepumpe drastisch einschränkt wird.
9. Generell ist den Nebenantrieben energetisch grosse Aufmerksamkeit zu zollen. Wenn etwa für mehrere Wärmepumpen oder Leistungsstufen nur eine Grundwasserpumpe vorhanden ist, so arbeitet diese zum grössten Teil unter erhöhten Leistungsanforderungen, d.h. sie arbeitet stets auf Vollast auch wenn nur ein Teil der Wärmepumpen oder Leistungsstufen aktiv sind.

10. Im Falle von einem Nahwärmenetz mit dezentralen Warmwasserversorgungen empfiehlt es sich aus energetischen Gründen, „zeitliche Ladefenster“ vorzusehen, damit eine gewisse Synchronisation beim Betrieb der Grundwasserpumpen möglich ist. Dadurch lassen sich die Betriebsstunden und der Energieverbrauch der Grundwasserpumpen reduzieren.

### **Vorteile von zentralen Wärmepumpenanlagen**

Die zentralen Wärmepumpenanlagen haben auch Vorteile. So dürften die Investitionskosten niedriger sein. Dies gilt vor allem für bivalente Anlagen. Auch die Wartungs- und Reparaturkosten dürften niedriger liegen. Zudem ist auch der Raumbedarf geringer.

### **Quellen**

- [1] Hubacher Peter, Erb Markus, Ehrbar Max: Feldanalyse von Wärmepumpenanlagen FAWA, 1996-2003, Bundesamt für Energie BFE, Worblenstrasse 32, CH-3063 Ittigen
- [2] Hubacher Peter, Ehrbar Max: Grosswärmepumpen Phase 1, Schlussbericht Energetische und planerische Analyse von 10 Anlagen, Vergleich verschiedener Anlagenkonzepte.

Jean-Philippe Borel  
Dr. ing. méc. EPFZ  
Ingénieur conseil, BEC Borel Energy Consulting  
Rue des Cerisiers 5  
CH-1530 Payerne  
[contact@borelenergy.ch](mailto:contact@borelenergy.ch)  
[www.borelenergy.ch](http://www.borelenergy.ch)

## Importance de la conception dans les installations à grosses pompes à chaleur

### *Zusammenfassung*

*Die Konzeption einer grösseren Wärmepumpenanlage stellt eine sehr wichtige Etappe in deren Entwicklung dar, wegen der Notwendigkeit, all die spezifischen Anwendungsbedingungen der Wärmepumpen bereits in diesem Stadium mitberücksichtigen zu müssen.*

*Unter dem Druck der wachsenden Forderungen in Sachen Reduktion des Brennstoffverbrauchs kommt der Wärmepumpe eine neue und zentrale Rolle zu, dank ihrer Leistungsfähigkeit beim Ersatz der fossilen Brennstoffe in der Wärmeproduktion sowie bei der Reduktion des Stromverbrauches in der Kälteproduktion durch deren Integration in die Wärmeproduktion.*

*Diese Anlagen weisen eine höhere Komplexität auf als die heute üblicherweise installierten. Dadurch wird ihre Konzeption schwieriger und umso wichtiger. Sie verlangt von den Planern bessere Kenntnisse über die Möglichkeiten und Erfordernissen des Einsatzes dieser Maschinen.*

*Um eine Konzeption ohne Fehler dieser grossen Wärmepumpenanlagen sicherstellen zu können, wird es nötig sein, ein System zur Förderung der Planerausbildung und zur Qualitätskontrolle der Projekte aufzubauen. Dies könnte in Anlehnung an das geschehen, was zurzeit im Bereich der Gebäudethermik praktiziert wird.*

### **Résumé**

*La conception d'une grande installation à pompe à chaleur est une étape très importante de son développement, à cause de la nécessité de prendre en compte, à ce stade déjà, les exigences spécifiques d'application des pompes à chaleur.*

*Sous la pression des exigences croissantes en matière de réduction des consommations de combustibles, la pompe à chaleur de grande puissance tend à acquérir un nouveau rôle central grâce à son efficacité dans la substitution des combustibles fossiles en production de chaleur ainsi que dans la réduction de la consommation d'électricité en production de froid, par suite de son intégration dans celle de chaleur.*

*Ces installations sont d'une plus grande complexité que pour le courant normal actuel. Il en résulte que leur conception en devient plus difficile et acquiert une importance cruciale. Elle exige des concepteurs de meilleures connaissances sur les possibilités et exigences de l'utilisation de ces machines.*

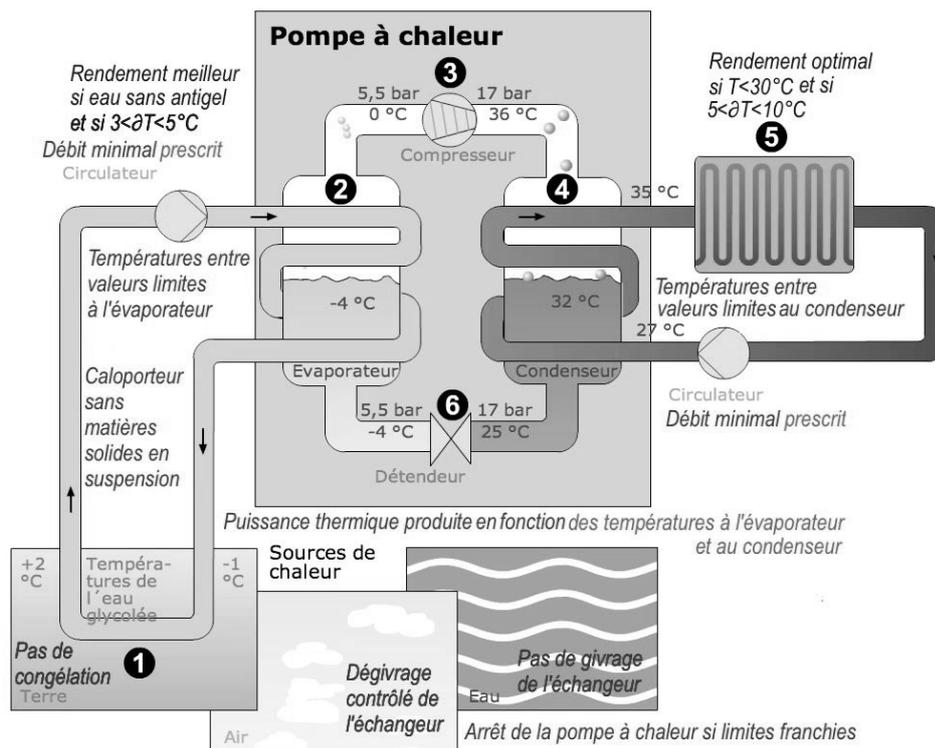
*Dans le but d'assurer une conception sans erreurs de ces installations à grandes pompes à chaleur, il sera nécessaire de mettre en place un système de promotion de la formation des concepteurs et de contrôle de qualité des projets. Ce dispositif pourrait s'inspirer de ce qui est pratiqué actuellement dans le domaine de la thermique des bâtiments.*

### **Les raisons de l'importance de la conception**

Parmi les étapes menant vers la réalisation d'un projet d'installation avec pompe à chaleur d'une certaine taille, celle de la conception revêt une importance toute particulière.

La principale raison en est que la pompe à chaleur n'est pas un générateur de chaleur à combustible, comme par exemple une chaudière, mais un système complexe de transfert et de valorisation de chaleur extraite d'une source, naturelle ou technique.

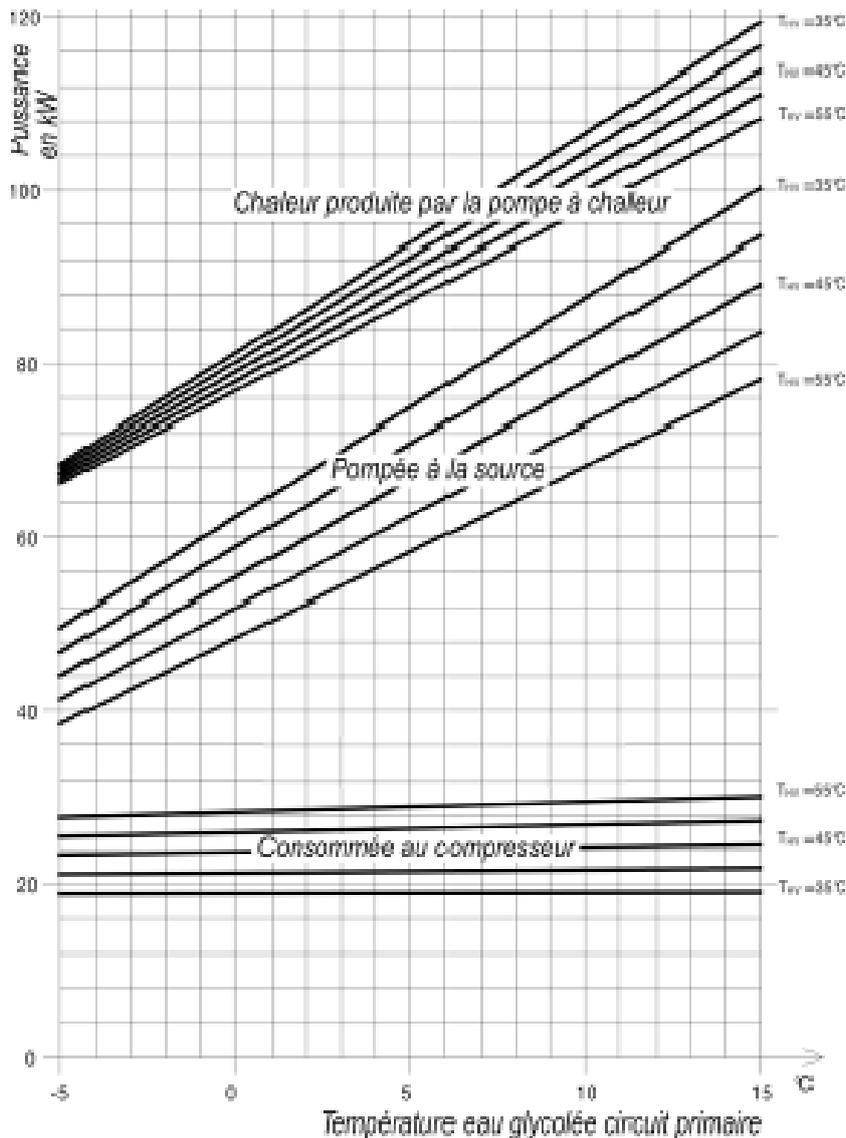
Pour obtenir que ce système fonctionne au mieux de ses possibilités et avec une durée de vie nominale, il est nécessaire que soient respectées lors de la conception une série de conditions et de valeurs limites des paramètres de fonctionnement, dont les principales sont reportées sur le schéma de principe ci-dessous.



**Illustration 1:** Schéma de principe d'une pompe à chaleur et valeurs des principaux paramètres à respecter.

Le respect de ces limitations nécessite une conception adéquate des circuits caloporteurs, parfois ouverts côté source, le plus souvent fermés côté production de chaleur. Concrètement, il s'agit notamment de prévoir, dans ces circuits, un respect absolu des limites recommandées de températures et de débits, d'y assurer une protection contre le givrage côté source, de veiller à éviter toute présence de matières en suspension dans le liquide caloporteur côté source, par exemple au moyen d'un circuit intermédiaire, etc. Si nécessaire, le choix du modèle le mieux adapté de pompe à chaleur doit également être effectué à ce moment, et ce modèle doit ensuite être prescrit lors de l'appel d'offres.

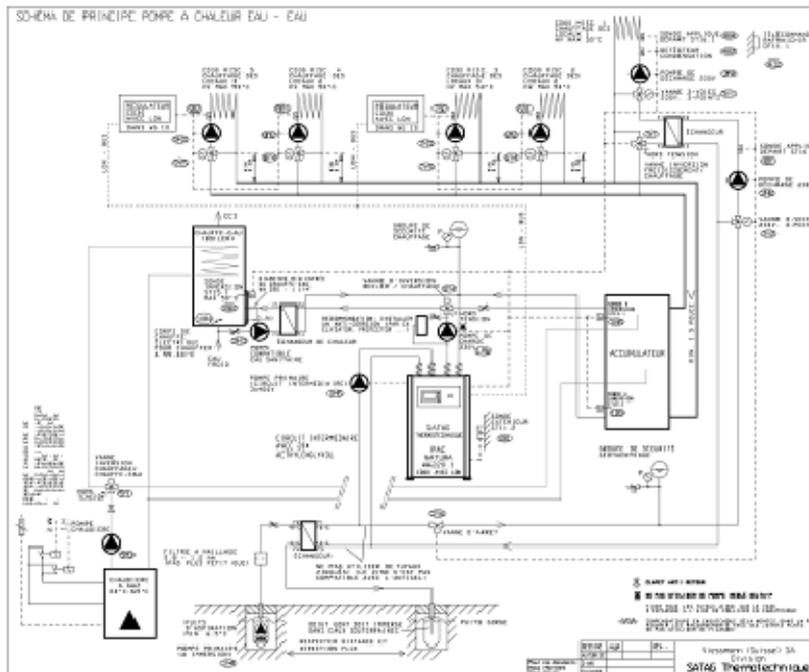
Les puissances consommées et délivrées par la pompe à chaleur en diverses conditions de fonctionnement, c'est-à-dire en fonction des températures des circuits caloporteurs côté source et production, sont présentées dans le diagramme ci-dessous à titre d'exemple pour une machine de série d'une centaine de kW de puissance thermique nominale. La pente et l'espacement des courbes varie bien entendu d'un type de pompe à chaleur à l'autre, mais le plus souvent l'influence de la température côté source sur la puissance délivrée reste généralement la plus forte. Ce diagramme est un outil indispensable pour effectuer, lors de la phase de conception, le dimensionnement d'une installation à pompe à chaleur. Il est mentionné dans le schéma de principe ci-dessus par « Puissance thermique produite en fonction des températures à l'évaporateur et au condenseur ».



**Illustration 2:** Chaleur produite par une pompe à chaleur sol-eau ou eau-eau en fonction des températures d'entrée côté source et de sortie côté production.

Une étape majeure de la conception est achevée lorsque le dessin du schéma de principe détaillé est prêt. Ce dessin rassemble pratiquement toutes les indications concernant le fonctionnement hydraulique et électrique de l'installation projetée, ainsi que toutes les liaisons correspondant aux fonctions de contrôle-commande assurées par le régulateur principal et les régulateurs auxiliaires, dans ce cas particulier reliés par bus au régulateur principal.

Ce schéma (cf. exemple ci-dessous d'une installation en cours de réalisation), peut notamment permettre d'effectuer, déjà à ce stade du développement du projet, un contrôle de la pertinence et de la qualité de la conception d'une installation.



*Illustration 3: Schéma de principe détaillé pour une installation à pompe à chaleur avec une série de fonctions annexes pilotées par le régulateur de la pompe à chaleur.*

## Conception de grandes installations de chauffage

Les concepteurs de grandes installations de chauffage ont souvent tendance, à cause des (mauvaises) habitudes prises avec les installations à combustibles fossiles, à y prévoir systématiquement un réseau de chauffage à distance centralisé dès qu'il s'agit d'assurer le chauffage de plusieurs unités de consommations, telles que des bâtiments. Malheureusement, lorsque la production de chaleur est assurée par une pompe à chaleur, l'installation réalisée présente dès sa mise en service un mauvais coefficient de performances, à cause du nivellement vers le haut des températures de départ, et par conséquent de la température élevée que doit fournir la pompe à chaleur.

Pourtant, quel que soit le contexte de la mise en place de cette production par pompe à chaleur, cette erreur de conception peut être évitée en prenant en compte dès le début du projet, c'est-à-dire lors de la conception d'ensemble de l'installation, les indications relatives à l'intégration de la pompe à chaleur résumées au chapitre précédent.

Si les bâtiments à chauffer sont des constructions neuves, ils doivent être conçus et réalisés de telle manière qu'une température de départ de l'eau de max. 30 °C permette d'en assurer le chauffage des locaux en toute circonstance. Ainsi, grâce au coefficient de performance annuel très favorable atteint dans ce cas par la pompe à chaleur, non seulement son rendement sera excellent, mais encore l'optimum économique de sa contribution au chauffage indiquera un pourcentage élevé, ce qui contribuera à réduire d'autant la consommation de gaz ou de mazout.

Pour des bâtiments existants, qui exigeraient à priori des températures sensiblement plus élevées pour leurs radiateurs, une réduction de celles-ci est possible dans un premier temps par des mesures d'amélioration à l'enveloppe des bâtiments et aux installations de distribution. Ensuite de quoi, la nouvelle température plus basse, mais éventuellement encore élevée pour une pompe à chaleur, pourra être assurée dans de bonnes conditions de rendement pour la pompe à chaleur par un fonctionnement bivalent basé sur un couplage en série de celle-ci avec une chaudière, chargée d'assurer la température de départ nécessaire durant la période la plus froide de la saison de chauffage.

De manière générale, l'expérience de la pratique montre que, pour la production par pompe à chaleur, il faut absolument éviter tout transport à distance de la chaleur produite si l'on veut conserver à ces installations de bons niveaux de performances et rendements. Il peut cependant arriver que la présence d'une source de chaleur de grande capacité, telle que nappe souterraine ou lac, entraîne l'installation d'une seule pompe à chaleur de grande puissance, empêchant ainsi de réaliser cette décentralisation pourtant souhaitable de la production à caractère renouvelable.

Des exemples très parlants, et qui permettent d'illustrer l'importance de respecter les règles basiques de conception des grandes installations à pompe à chaleur, font l'objet de l'exposé précédent celui-ci, exposé rédigé sur la base d'une étude réalisée par son auteur, M. Peter Hubacher.

## **Conception des futures installations à pompe à chaleur**

Jusqu'ici, le recours à la pompe à chaleur dans les installations de grande taille (immeubles, etc) est généralement perçu par les décideurs comme une alternative au mazout et au gaz naturel techniquement valable, mais trop coûteuse, et à laquelle il sera toujours temps de recourir dès que le prix des combustibles prendra vraiment l'ascenseur.

Voyons rapidement quelles sont les possibilités offertes par la pompe à chaleur pour réduire notablement les frais de combustible dans divers types d'installations de grande puissance.

Dans le domaine du chauffage des bâtiments, on peut s'attendre à voir apparaître une demande importante pour des installations bivalentes, surtout sur le marché le plus important que sera la rénovation des installations existantes. Considérant le fait que par exemple 50 % de la puissance totale de chauffage assurée par une pompe à chaleur permet de réduire la consommation de combustible de plus de 75 %, l'effet de substitution atteint pourra être significatif avec ce niveau de puissance.

La conception d'installations à pompes à chaleur bivalentes présente quelques particularités: entre autres une puissance généralement très élevée, une longue durée d'utilisation annuelle, qui peut réduire l'attractivité de la variante géothermique, et une bonne coordination entre les régulations de la pompe à chaleur et de l'installation à combustible fossile.

A cause des coûts d'investissement très importants de ces installations, il est prévisible qu'il sera demandé aux concepteurs de réaliser des simulations numériques énergétiques et financières détaillées pour déterminer la puissance optimale de ces pompes à chaleur, et d'effectuer ensuite une conception adaptée de l'installation avec simulation numérique du comportement de la source, afin d'assurer une intégration aussi bonne que possible de la pompe à chaleur.

Dans les installations techniques produisant de la chaleur et du froid, par exemple dans les domaines de l'industrie et de l'artisanat (distribution, vente, production, surtout alimentaires) et du tourisme (centres d'hébergement, de soins, de sport), il va également être nécessaire d'obtenir des taux importants de réduction des consommations de combustibles, dans l'existant comme dans le neuf. Dans ces installations, contrairement à ce qui se passe dans l'habitat, la marge d'adaptation des températures d'exploitation aux nécessités des pompes à chaleur est beaucoup plus limitée. Pour y parvenir à cette réduction significative des consommations, il sera par conséquent nécessaire de passer de la conception actuelle et historique de ces installations, basée sur une production séparée de chaleur et de froid, sans valorisation des rejets ni production coordonnée, à une conception intégrée de ces différents processus, avec pour objectif d'en minimiser la consommation d'énergie.

Dans l'approche prévalant actuellement, ces installations sont traitées par des frigoristes pour la production de froid et par des chauffagistes pour la production de chaleur, souvent sans coordination.

Nous pensons et en avons fait l'expérience, que dans de nombreuses installations, c'est en intégrant dans ces types d'installations une ou plusieurs pompes à chaleur à la place des groupes d'eau glacées et chaudières fossiles que l'on peut tout aussi bien assurer les productions de chaleur et de froid nécessaires, tout en parvenant à une réduction significative des consommations de combustible, dans certains cas également d'électricité, grâce aux gains de rendements et d'efficacité très importants réalisés par cette manière coordonnée de produire de la chaleur et du froid.

A la question de savoir pourquoi nous pensons qu'il est plus approprié de recourir à des pompes à chaleur qu'à groupes d'eau glacée assortis d'une récupération de chaleur pour atteindre ces objectifs de réduction des consommations et des frais d'énergie, notre réponse est la suivante: les pompes à chaleur, principalement (mais pas uniquement) les modèles de série, sont conçues avec et équipées de la plupart des fonctions et dispositifs électriques ainsi que de régulation nécessaires à la réalisation de telles installations sans grande difficulté, c'est-à-dire sans adjonction d'un automate programmable externe. Ces fonctions de conduite, de surveillance et d'alarme concernent notamment la gestion d'un circuit intermédiaire ou géothermique pour l'extraction de chaleur à partir d'une source naturelle ou technique ainsi que pour le stockage intermédiaire de chaleur, la gestion d'une seconde source (fonctionnement bivalent), la gestion d'un corps-de-chauffe de sécurité, la gestion d'une installation de rafraîchissement passif, la gestion d'un nombre non limité de groupes de chauffage, d'un groupe de refroidissement, ainsi que la gestion et le contrôle à distance de l'ensemble de l'installation. Toutes ces fonctions peuvent être mises en place à partir du régulateur de certaines pompes à chaleur, sans devoir recourir à un automate programmable

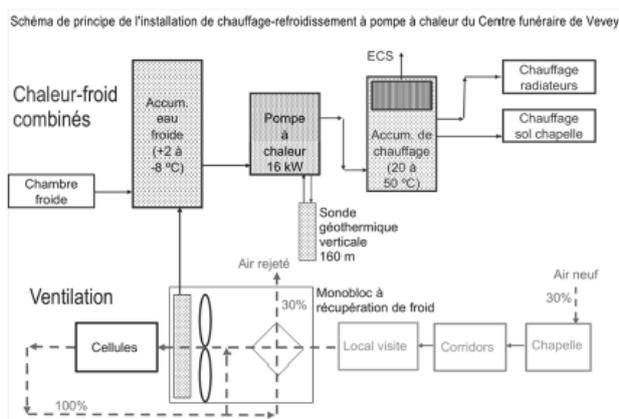
industriel externe, comme le montre l'exemple présenté sur le schéma de la page 5, dans lequel on retrouve une grande partie des fonctions citées.

Ces possibilités de gestion sans automate externe des nombreuses fonctions auxiliaires citées s'étendent également à une série de combinaisons de productions de chaleur par pompe à chaleur et capteurs solaires thermiques.

La conception et réalisation de ce type d'installations exige du concepteur une connaissance très approfondie des caractéristiques des parties hydraulique et électrique comme du système de contrôle-commande de la pompe à chaleur utilisée. En contre-partie, cette démarche basée presque exclusivement sur l'utilisation des ressources annexes de contrôle-commande d'une pompe à chaleur de série présente un énorme avantage en terme de fiabilité, en plus de son prix très favorable: la conception des systèmes hydraulique, électrique et de contrôle-commande de l'installation peut y être effectuée en totalité avec l'appui et sous le contrôle compétent du fabricant de la pompe à chaleur. Cette démarche permet également d'éviter nombre de problèmes de mise au point et d'optimisation après mise en service de programmes de commande conçus spécifiquement pour chaque nouvelle installation par des intégrateurs indispensables mais souvent insuffisamment compétents en matière de pompes à chaleur, et qui en plus ne sont pas toujours disponibles au moment de la mise au point ou de modifications ultérieures indispensables.

Le schéma d'une installation actuellement en cours de réalisation à Marnand (VD), dont nous avons assuré la conception et qui fait l'objet de l'illustration 3 ci-dessus, présente un tel cas de contrôle de fonctions auxiliaires sans recours à un automate externe.

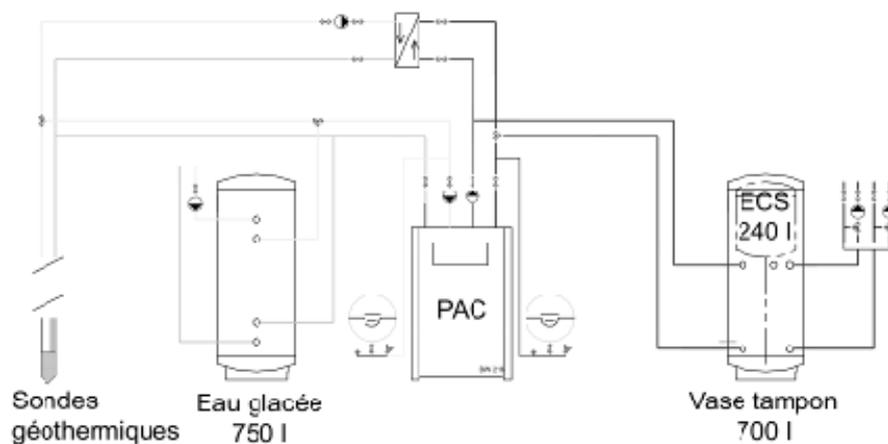
Les spécificités d'une autre installation « multi-fonctions », destinée au Centre funéraire de Vevey, dont nous avons assuré la conception et la direction des travaux, est basée sur une pompe à chaleur qui assure et pilote une production combinée de chaleur et de froid, sont présentées dans le schéma de principe ci-dessous.



**Illustration 4:** Schéma de principe d'une installation à pompe à chaleur géothermique, qui assure la production combinée de chaleur pour le chauffage d'une église et de froid pour une installation de ventilation à utilisation multiple de l'air pour la ventilation des locaux et le maintien des cellules à 7°C, avec récupération de froid dans le monobloc et stockage intermédiaire de chaleur dans le sol par sonde géothermique.

Le schéma hydraulique de cette installation est présenté ci-dessous: on y voit les accumulateurs de chaleur et de froid, ainsi que les dispositifs de commutation externe, qui rendent possible la production de froid et le stockage intermédiaire des rejets de chaleur dans le sol. Ce transfert des rejets de chaleur dans le sol plutôt que leur évacuation dans l'air évite le bruit et la consommation électrique des ventilateurs, et améliore le rendement et la consommation d'électricité de la pompe à chaleur, qui ne doit pas évacuer cette chaleur à haute température dans l'air extérieur.

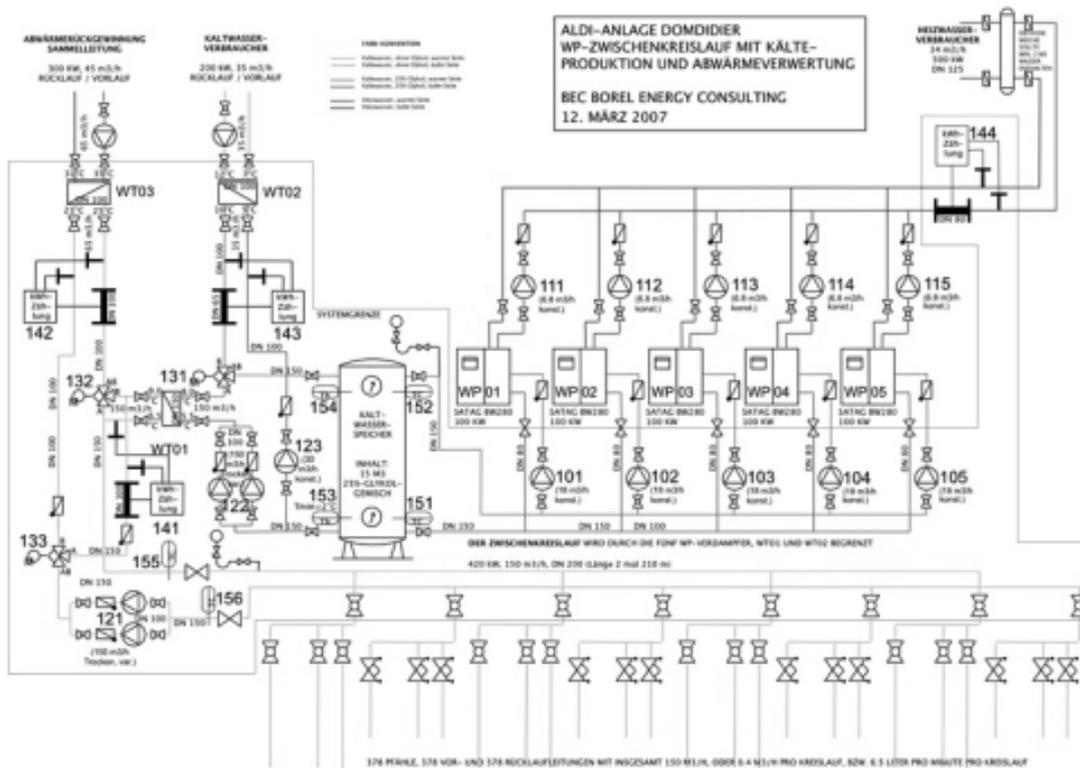
• *Schéma de principe de l'installation*



**Illustration 5:** Schéma de principe détaillé pour une installation à pompe à chaleur avec une série de fonctions annexes pilotées par le régulateur de la pompe à chaleur.

Du point de vue de la schématique des installations d'une certaine complexité, on distingue peu de différence entre des installations de puissance moyenne (entre 20 et 50 kW), telles que présentées ci-dessus, et une installation de grande puissance de chauffage (500 kW), installée dans le centre de logistique de la firme Aldi à Domdidier, installation dont nous avons également assuré la conception. Le schéma de principe détaillé qui en a résulté est reproduit ci-dessous.

Dans les développements et exemples traités ici, nous avons insisté sur la question du traitement de la partie contrôle-commande pour montrer l'importance de son intégration dès l'étape de la conception de l'installation, et aussi pour faire apparaître le grand potentiel de simplification dans la conception et bien sûr la réalisation et l'exploitation ultérieure de telles installations que peuvent offrir les régulateurs les plus avancés disponibles sur certaines gammes de pompes à chaleur.



**Illustration 6:** Schéma de principe détaillé d'une partie d'une installation bivalente à pompe à chaleur et chaudières à gaz/mazout sur pieux énergétiques (env. 14'000 m de longueur cumulée) capable de produire de la chaleur et du froid tout en effectuant une importante récupération de chaleur-déchette rejetée par la production de froid commercial.

Même si certains constructeurs de pompes à chaleur poursuivent cet effort d'intégration de nouvelles fonctions dans les régulateurs de leurs machines, un nombre croissant de concepteurs désireux de réaliser des installations telles que décrites ici, ou même de conception plus classique, devront néanmoins disposer à l'avenir de très bonnes connaissances dans les domaines hydrauliques et électriques des pompes à chaleur de grande puissance.

Un travail très important devra donc encore être accompli en matière d'information et de formation de ces personnes et de celles chargées de la réalisation de ces nouvelles installations, afin que la pompe à chaleur puisse passer du statut actuel d'alternative intéressante pour le chauffage des locaux et leur rafraîchissement passif à celui d'outil indispensable du futur, capable de contribuer à une réduction importante de la production de CO<sub>2</sub> et de la consommation d'énergie dans des installations d'entreprises et bâtiments d'habitation et de services.

## **Contrôle de qualité de la conception d'installations à pompe à chaleur**

C'est dans le domaine des grosses pompes à chaleur que les erreurs de conception font le plus regretter que les règles de bonne pratique en matière de conception n'y soient pas appliquées.

Il est par conséquent important que la communauté des spécialistes en pompes à chaleur réfléchisse à ce qu'il y a lieu de faire pour y parer, principalement par un renforcement du contrôle de qualité, et qu'elle se donne les moyens d'agir dans ce sens avec une grande énergie.

En matière de formation, un travail très important est déjà en cours, notamment sous l'égide du GSP (FWS en Suisse allemande), voir sur le site web du Groupement promotionnel suisse pour les pompes à chaleur GSP, [www.pac.ch](http://www.pac.ch), respectivement [www.fws.ch](http://www.fws.ch).

A la question de savoir s'il est possible d'augmenter l'offre de formation afin d'atteindre un plus grand nombre de personnes participant à la conception puis à la réalisation de telles installations, les responsables de cette formation répondent que l'offre dépasse déjà la demande, en particulier auprès de certaines catégories d'acteurs et dans certaines régions. Cette situation perdure malgré le fait qu'un pourcentage apparemment non négligeable de nouvelles grosses installations à pompe à chaleur souffre de défauts de conception. Ceci suggère qu'une approche plus ciblée doit être développée et mise en place pour améliorer cette situation.

En effet, afin que ces divers acteurs puissent prendre conscience de leur déficit d'information et de formation, il semble nécessaire que soit mis en place un système de contrôle technique des réalisations d'installations à pompes à chaleur non liées à un bâtiment soumis lui-même au contrôle. Un tel contrôle, basé sur des règles de dimensionnement contraignantes émises par une organisation reconnue, devrait permettre de repérer et d'empêcher la réalisation d'installations inadaptées, et aussi de motiver les concepteurs et entrepreneurs à suivre une formation continue, notamment afin d'éviter d'être pris dans les mailles du filet de la procédure de contrôle lors de la conception de futures installations. Un tel système, qui fait ses preuves, fonctionne depuis plusieurs années dans le cadre de l'autorisation de construire des bâtiments.

La mise en place d'un nouveau programme de ce type peut prendre des années, notamment pour la recherche des critères de qualité et l'élaboration des normes techniques nécessaires pour permettre de faire la distinction entre bonnes et mauvaises installations à pompe à chaleur de tous types et de toutes tailles. Il serait également nécessaire de produire des programmes de simulation permettant de faciliter l'optimisation des installations lors de la conception et d'en vérifier simultanément le respect des normes de qualité.

Ces derniers temps, plusieurs programmes fédéraux suisses ont été mis en place, avec pour but de promouvoir et d'appuyer financièrement la réalisation d'installations permettant de réaliser des économies d'énergie dans le domaine du froid ainsi que d'électricité dans de nombreuses applications. Ces programmes d'appui financier, ou d'autres non cités, pourraient être mis à contribution pour appuyer les efforts de notre profession pour aboutir rapidement à cette amélioration nécessaire des outils et compétences en matière de conception des futures installations à pompes à chaleur « multi-fonctions » génératrices de très importantes économies d'énergie.

Andreas Meier  
M.Eng., dipl. Ing. FH  
Mayekawa Intertech AG  
Rosenbergstrasse 31  
CH-6300 Zug  
ameier@mayekawa.ch  
www.mayekawa.ch

## CO<sub>2</sub>-Grosswärmepumpen

### *Zusammenfassung*

*Das natürliche Arbeitsmittel CO<sub>2</sub> eignet sich hervorragend für Wärmepumpen aufgrund seiner thermodynamischen und ökologischen Eigenschaften. Anwendungen mit großem Temperaturhub auf der Wärmeabgabeseite sollten dabei im Vordergrund stehen. In Japan sind CO<sub>2</sub>-Wärmepumpen im privaten sowie industriellen Bereich Stand der Technik. Zukünftig werden CO<sub>2</sub>-Wärmepumpen, insbesondere Grosswärmepumpen über 50 kW, in Europa eine weitere Verbreitung finden. Technische Herausforderung hierbei sind die hohen Drücke von CO<sub>2</sub> im transkritischen Bereich.*

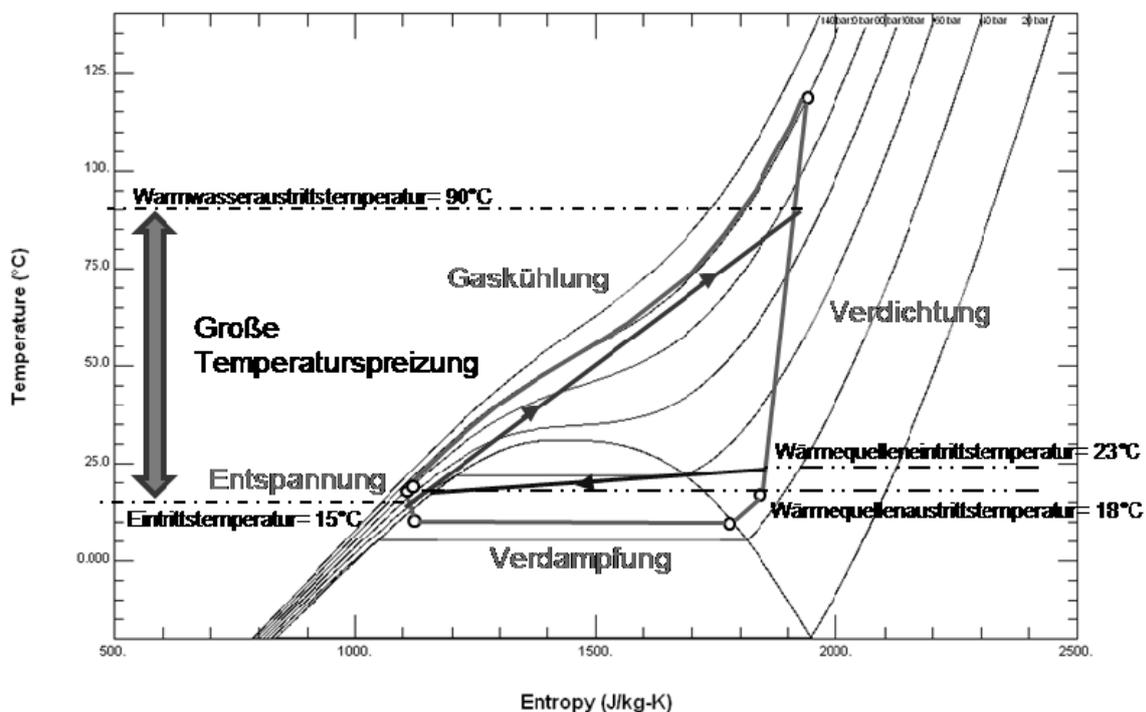
### **Allgemeines - Einsatzbereiche transkritischer CO<sub>2</sub>-Wärmepumpen**

Wärmepumpe mit Kohlendioxid (CO<sub>2</sub>) als Kältemittel (Arbeitsstoff) unterscheidet sich von konventionellen Wärmepumpen (Arbeitsmittel Freon) durch eine sich ändernde Temperatur des CO<sub>2</sub> auf der Seite der Wärmeverbraucher. Während das Arbeitsmittel (Kältemittel) bei konventionellen Arbeitsmitteln (Freone) in unterkritischer Prozessführung bei einer konstanten Temperatur verflüssigt wird, erfolgt die Wärmeabgabe bei CO<sub>2</sub>-Wärmepumpen im überkritischen Bereich nicht bei konstanter Temperatur. Transkritisch bedeutet eine Wärmeabgabe im Gaskühler (bei konventionellen Wärmepumpen erfolgt die Wärmeabgabe im Verflüssiger) oberhalb des kritischen Drucks (bei CO<sub>2</sub> 71 bar). Das CO<sub>2</sub> bleibt dabei gasförmig. Daher gibt es keinen Kondensator (Verflüssiger) wie bei konventionellen Wärmepumpen, sondern einen Gaskühler, der sehr hohe Druckdifferenzen aufweist. Dieser Prozess ist Grundlage für die besondere Eignung von CO<sub>2</sub>-Wärmepumpen für große Temperaturdifferenzen auf der Wärmeabgabeseite. Bei der Übertragung der Wärme auf den Wärmeträger (Warmwasser) steigt dessen Temperatur.

Durch Nutzung dieser Eigenschaften von CO<sub>2</sub> wird eine höhere Effektivität des Wärmepumpenprozesses und hohe Vorlauftemperaturen erreicht, bei sehr guten Leistungszahlen. Konventionelle Wärmepumpen mit konstanter Kältemitteltemperatur auf der Wärmeträgerseite erreichen eine vergleichbare Effektivität nur bei niedrigerer Wärmeträgertemperatur. Bei der Wahl des Arbeitsmittels CO<sub>2</sub> finden auch die ökologischen

Standpunkte auf dem Gebiet der Kältemittel Berücksichtigung. Das CO<sub>2</sub> wird den natürlichen Stoffwechselkreisläufen entnommen. Es leistet deshalb keinen zusätzlichen Beitrag zum Treibhauseffekt und trägt nicht zur Ozonzerstörung bei.

Transkritische CO<sub>2</sub>-Wärmepumpen eignen sich hervorragend für hohe Temperaturspreizungen, Hier liegt auch deshalb die Einschränkung in der Nutzung von CO<sub>2</sub> Als Arbeitsmittel für Wärmepumpen. Nur bei einer Großen Temperaturspreizung auf der Wärmeträgerseite (Warmwasser) lassen sich gute COP Werte erzielen. Bei Heizungsanlagen mit einer „Geringen“ Temperaturspreizung, kleiner 30 K zwischen Vorlauf und Rücklauf, stellt sich praktisch keine Wirtschaftlichkeit ein. Besondere Eignung haben CO<sub>2</sub>-Wärmepumpen allerdings für die Brauchwassererwärmung oder Prozesswassererwärmung wo große Temperaturdifferenzen zu überwinden sind.



**Bild 1:** Temperaturen des CO<sub>2</sub> Wärmepumpenprozesses im Temperatur-Entropie-Schaubild (T-S Diagramm)

### Thermodynamische Prozessbeschreibung

Der Wärmepumpenkreisprozess der CO<sub>2</sub>-Wärmepumpe ist im Bild 1, dem Temperatur-Entropie-Diagramm (T-s Diagramm) dargestellt. Die Thermodynamische Besonderheit des transkritischen Betriebs ist ersichtlich, auf der Hochdruckseite.

Im T-s-Diagramm sind die Temperatur auf der Y-Achse und die spezifische Entropie auf der x-Achse aufgetragen.

Nach dem Verdampfer liegt überhitzter CO<sub>2</sub>-Dampf vor, der vom Verdichter angesaugt und durch Zufuhr von technischer Arbeit verdichtet wird. Der Druck erhöht sich in dadurch von niedrigen minimal 20 bar auf maximal 135 bar. Die Temperatur steigt von 20°C auf 125°C.

Das verdichtete Gas wird anschliessend im Gaskühler abgekühlt. Wasser oder Luft wird hier zur Gaskühlung eingesetzt. Das Kühlmedium erfährt eine hohe Temperaturerhöhung von z.B. 15°C auf 90°C in einem Temperaturhub.

Anschließend wird das CO<sub>2</sub> einem Expansionsprozess unterzogen und verdampft unter subkritischen Bedingungen. Als Wärmequellenmedium kommt hier wieder Wasser oder Luft in Betracht. Hier gelten wie bei Konventionellen Wärmepumpen, eine hohe Wärmequellentemperatur wirkt sich positiv auf die Leistungszahl aus.

Die Leistungszahl hängt stark von den Temperaturdifferenzen Warmwasserseitig ab. Hohe Heißwasseraustrittstemperaturen oder Heißluftaustrittstemperaturen können (65°, 90° bei Luft bis zu 120°C) realisiert werden. Hohe Leistungszahlen werden nur erreicht bei großen Temperaturdifferenzen auf der Wärmeverbraucherseite.

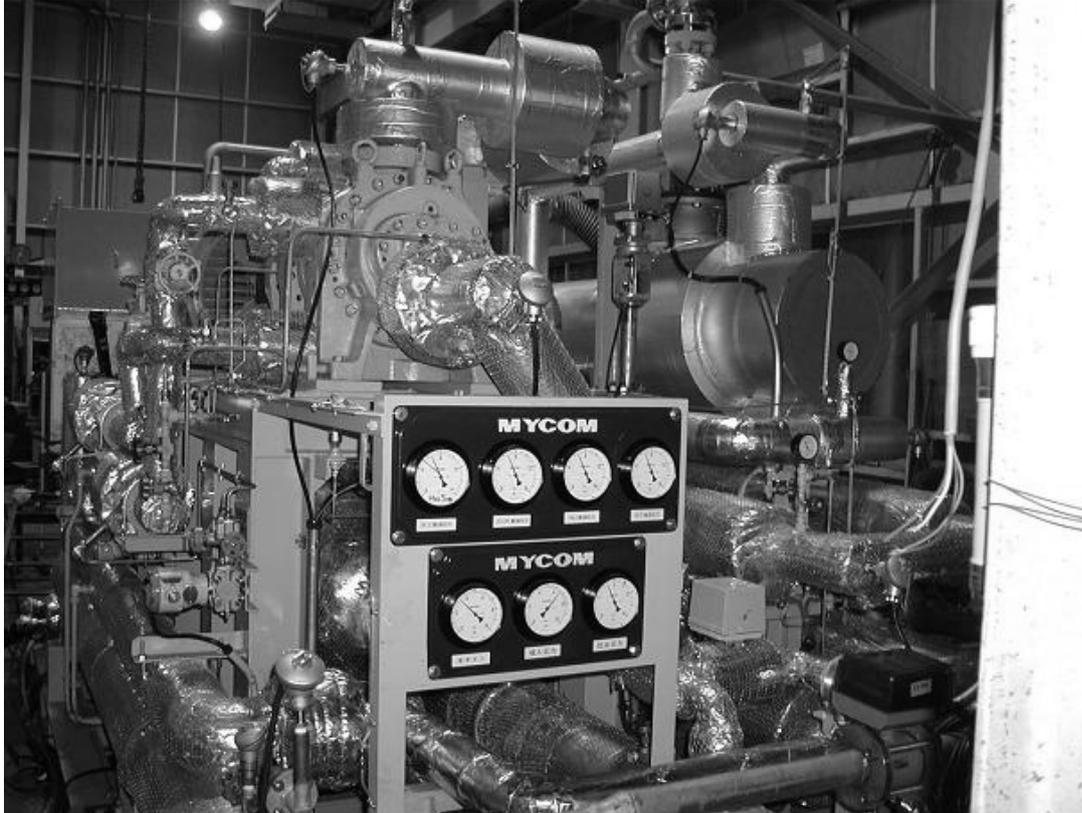
Anwendungsgebiete:

- Brauchwassererwärmung Industrie (Lebensmittelindustrie, Kunststoffindustrie,..)
- Brauchwassererwärmung Freizeitgewebe (Wellness, Bäder, Hotels,..)
- Trocknungsprozesse (Holzverarbeitung, Lebensmittel,..)
- Prozesswassererwärmung (Lebensmittelproduktion,..)
- Prozesslufterwärmung (Prozesstechnik,..)

## **Praxis - transkritischer CO<sub>2</sub>-Wärmepumpen**

Die Fa. Mayekawa baut CO<sub>2</sub>-Wärmepumpe seit dem Jahr 1998. Nachdem Versuche in Japan erfolgreich verlaufen sind, hat man sich entschlossen diese Entwicklungen zu kommerzialisieren. Japan hat einen sehr hohen bedarf an Warmwasser durch die ausgeprägte Badekultur der japanischen Bevölkerung. In Japan haben sich CO<sub>2</sub>-Wärmepumpen für die Brauchwassererwärmung im Privaten Bereich bereits durchgesetzt. Bei den Grosswärmepumpen (>50kW) mit Kohlendioxid (CO<sub>2</sub>) sind seit der Kommerzialisierung seit Mitte des letzten Jahrzehnts ca, 600 Anlagen in Betrieb. Wobei die Fa. Mayekawa davon einen Großteil erstellt hat.

Als Beispiel folgende Forschungsanlageanlage mit Schraubenkompressor (Inbetriebnahme 2002)



**Bild 2:** CO<sub>2</sub>-Grosswärmepumpe mit Schraubenverdichter.

Diese Anlage wurde geplant zur Warmwassererzeugung und gleichzeitigen Erzeugung von Kälte für eine Kitanlage.

Technische Daten:

Kälteleistung: 350 kW

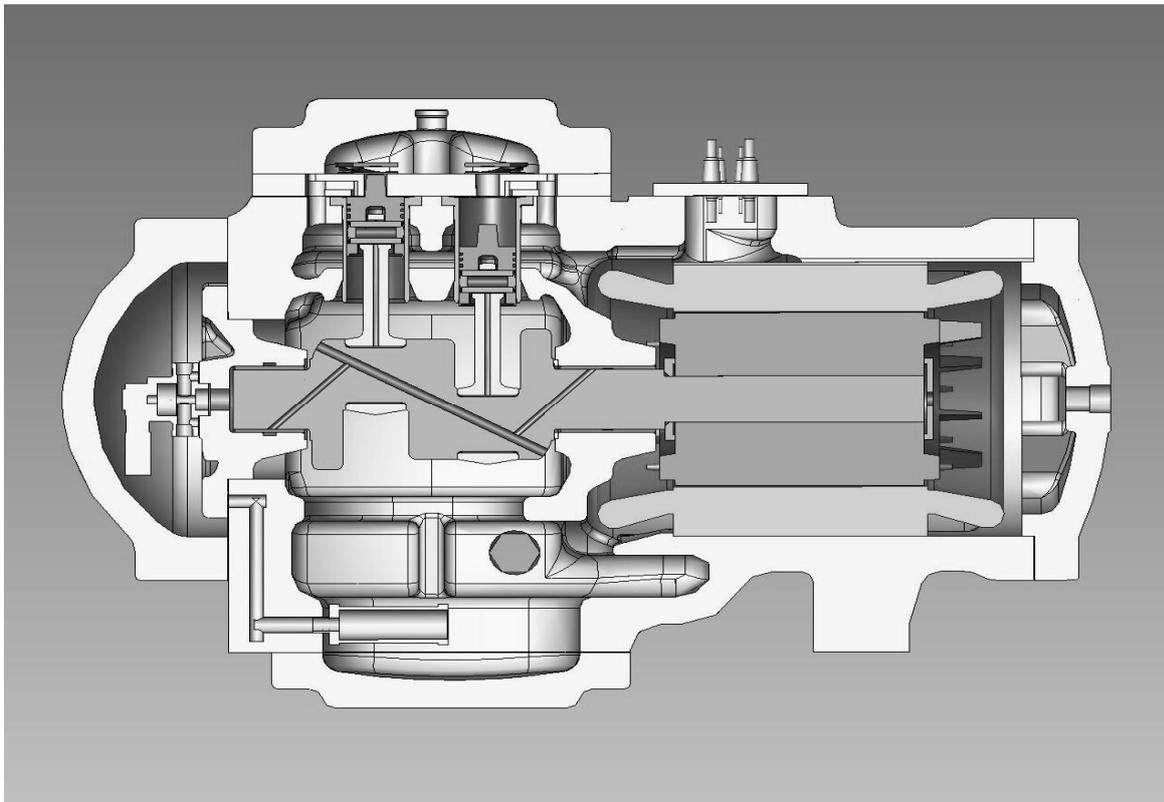
Wärmeleistung für Warmwasser (55°C > 85°C): 600 kW

Leistungsaufnahme: 240 kW

COP (Heizen und Kühlen gemeinsam): 4.0

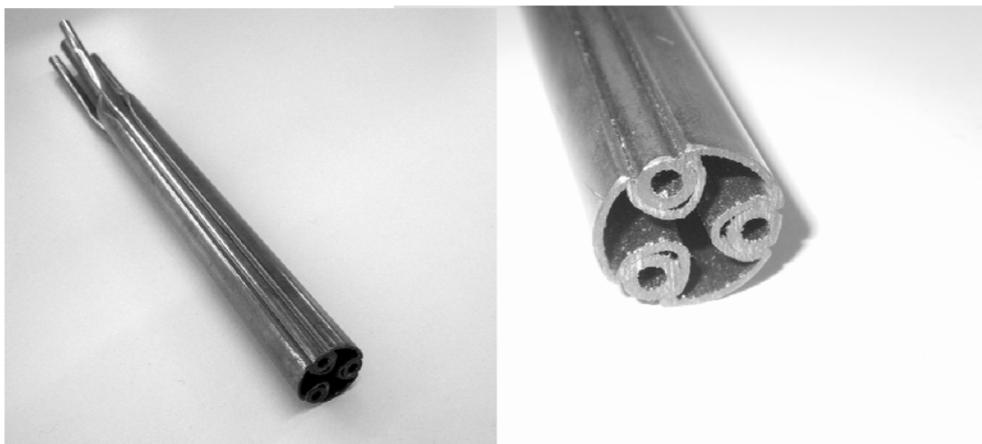
COP (Heizen): 2.5

Aufgrund der hohen Drucklagen, Betriebsdrücke bis 140 bar, sind die Anforderungen an die Verdichter sehr hoch. Es hat sich in den Versuchen gezeigt, dass für diese Anwendung (Leistungsbereich 150 kW > 50 kW) ein Semihermetischer Hubkolbenverdichter sehr gute Eigenschaften hat, unter anderem in der Betriebssicherheit.



*Bild 3: Mayekawa (MYCOM) CO<sub>2</sub> semihermetischer Hubkolbenverdichter mit eingebauten Inverter, ausgelegt für einen Betriebsdruck von 150 bar.*

Auch der Gaskühler hat besondere Anforderungen durch die hohen Drucklagen, hohen Druckunterschiede und zusätzlich durch die großen Temperaturunterschiede im Wärmeübertrager. Hier hat sich eine Eigenentwicklung der Fa. Mayekawa bewährt. Diese Eigenentwicklung entstand unter anderem auf Grund der Tatsache, dass zum Zeitpunkt der Entwicklung keine Wärmeübertrager für 150 bar maximalen Betriebsdruck verfügbar waren. Diese sind erst seit kurzen erhältlich.



*Bild 4: Mayekawa CO<sub>2</sub>-Gaskühler wassergekühlt ausgelegt für einen Betriebsdruck von 150 bar.*

Mayekawa hat von seiner Wasser-Wasser CO<sub>2</sub>-Grosswärmepumpe (Leistung ca. 100 kW) ECO Shower seit Markteinführung ca. 450 Geräte erfolgreich im Betrieb.

Auch in der Schweiz sind bereits seit 2005/2006 3 CO<sub>2</sub>-Wärmepumpen im Einsatz. Diese waren noch Vorseriengeräte.

Technische Daten Serienprodukt ECO Shower:

Leistung Wasser gekühlte Ausführung			
Nutzung	Kälte - Sole	Kaltwasser	Abwärmenutzung
Betriebsparameter	Warmwasser 17°C (Eintritt) → 65°C (Austritt)	Warmwasser 17°C (Eintritt) → 65°C (Austritt)	Warmwasser 17°C (Eintritt) → 65°C (Austritt)
	Kältesole -5°C (Eintritt) → -9°C (Austritt)	Kaltwasser 12°C (Eintritt) → 7°C (Austritt)	Rückkühlung 22°C (Eintritt) → 17°C (Austritt)
Heizleistung [kW]	49,9	82,1	101,8
Kälteleistung [kW]	35,0	61,7	82,3
Leistungsaufnahme [kW]	18,4	21,8	23,1
COP <sub>Warmwasser</sub>	2,7	3,8	4,4
COP <sub>t</sub>	4,6	6,6	8

**Table 1:** Mayekawa CO<sub>2</sub> Wärmepumpe wassergekühlt zur Warmwasserbereitung.

Betrachtet man die COP Werte bei Kaltwasser, unter der Berücksichtigung von einer Temperaturspreizung auf der Warmwasserseite von 48 K (17°C auf 65°C) so ergibt sich ein COP von 3.8 zur Warmwassererzeugung. Betrachtet man den COP bei einer Temperaturspreizung von „nur“ 30 K (35° auf 65°C) so ergibt sich ein COP von „nur“ noch 2.7. Dies verdeutlicht noch mal die Grenzen des Einsatzes von CO<sub>2</sub> für Heizungsanwendungen.



**Bild 5:** *Mayekawa CO<sub>2</sub>-Wärmepumpe wassergekühlt zur Warmwasserbereitung ECO Shower.*

Momentan arbeitet Mayekawa an der Entwicklung einer Wasser-Luft CO<sub>2</sub>-Grosswärmepumpe für Trocknungsprozesse. Diese wird voraussichtlich 2011 in Serie gehen. Diese kann Heißluft bis 120°C erzeugen bei Lufteintrittstemperaturen von 20°C.



**Bild 6:** *Mayekawa CO<sub>2</sub>-Wärmepumpe wassergekühlt zur Heißlufterzeugung ECO Shirocco.*

### **Ausblick**

In Zukunft werden sicherlich in Europa CO<sub>2</sub>-Kleinwärmepumpen an Marktanteil gewinnen. Im Groswärmepumpenbereich werden Schraubenkompressoren für große Leistungen (300 kW > xx MW) in Zukunft sicherlich eine sehr wirtschaftliche Alternative zu konventionellen Systemen darstellen.

Lukas Gasser, dipl. Ing. FH, Beat Wellig, Prof., Dr. sc. techn. ETH  
Hochschule Luzern – Technik & Architektur  
CC Thermische Energiesysteme & Verfahrenstechnik  
Technikumstrasse 21  
CH-6048 Horw  
lukas.gasser@hslu.ch  
www.hslu.ch

## Leistungsgeregelte Luft/Wasser-Wärmepumpe

### *Zusammenfassung*

*Dieses Projekt befasst sich mit der Erarbeitung allgemeingültiger Auslegungs- und Planungsgrundlagen („Wegleitung“) für die Realisierung effizienter, betriebssicherer und wirtschaftlicher Luft/Wasser-Wärmepumpen mit kontinuierlicher Leistungsregelung. Mittels Simulationen und Experimenten soll eine Regelung konzipiert und entwickelt werden, welche in Abhängigkeit des Umgebungszustandes und des Heizbedarfs des Gebäudes den Kältemitteldurchsatz und die Ventilator Drehzahl optimal regelt. Zur Untersuchung der entwickelten Regelstrategien wurde ein Prototyp einer leistungsgeregelten Luft/Wasser-Wärmepumpe und eine Luftaufbereitungsanlage realisiert. Die Untersuchungen zeigen, dass die Teillast-Wirkungsgrade des Ventilators und Kompressors einen grossen Einfluss auf die Effizienz von leistungsgeregelten Luft/Wasser-Wärmepumpen haben. Die experimentellen Untersuchungen des Luft/Wasser-Wärmepumpen-Prototyps bestätigen das Potenzial der Leistungsregelung eindrucklich. Infolge der Leistungsregelung kann die Jahresarbeitszahl gegenüber handelsüblichen Luft/Wasser-Wärmepumpen mit Ein/Aus-Regelung um rund 20 – 50% erhöht werden.*

### **Abstract**

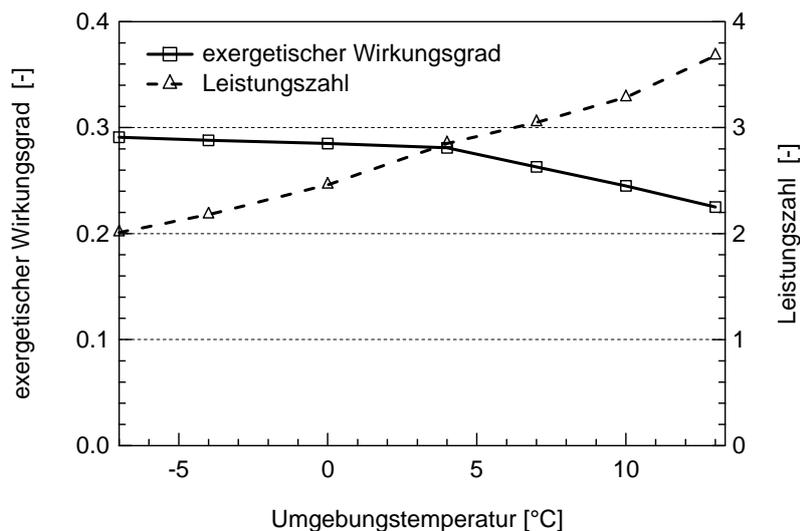
*The aim of this project is to develop universally valid design and planning criteria (“guidance”) for the realisation of efficient, reliable and economic air/water heat pumps with continuous capacity control. An optimised process control strategy depending on the applied control principle of the heat pump shall be developed using simulations as well as experiments. To verify the theoretical findings as well as to investigate different control strategies a heat pump prototype with capacity control and test facility for air/water heat pumps have been realised. The investigations show that the optimal control strategy and the efficiency of the capacity controlled heat pump strongly depend upon the partial load efficiencies of the compressor and the fan. The experimental investigations approve the great potential of the capacity control. As a result of the capacity control the seasonal performance factor can be increased by approximately 20 – 50% compared to air/water heat pumps with on/off control.*

## Einleitung

### Ausgangslage

Das BFE-Forschungsprojekt LOREF „Luftkühler-Optimierung mit Reduktion von Eis- und Frostbildung“ [1] hat eindrücklich aufgezeigt, dass zur Erreichung einer markanten Effizienzsteigerung von Luft/Wasser-Wärmepumpen (L/W-WP) alle Teilprozesse und das Heizsystem in eine Analyse einzubeziehen sind.

Die energetische Analyse ist für die Beurteilung einer Wärmepumpe notwendig, aber nicht hinreichend. Über die Prozessgüte gibt der zweite Hauptsatz der Thermodynamik Auskunft. Die Anwendung des zweiten Hauptsatzes erfolgt anstelle von abstrakten Entropiebilanzen vorteilhaft mit Exergiebilanzen. Baehr [2] hat in zwei Beiträgen zur Thermodynamik des Heizens gezeigt, dass die Exergie eine praktische und anschauliche Bewertungsgröße für wärme- und kältetechnische Prozesse ist. Die Ergebnisse von Exergieanalysen sind einfach nachvollziehbar und weisen unmittelbar auf mögliche Effizienzsteigerungen hin.



**Bild 1:** Leistungszahl (COP) und exergetischer Wirkungsgrad einer handelsüblicher L/W-WP mit Ein/Aus-Regelung in Funktion der Umgebungstemperatur (aus Messungen [3])

Mit zunehmender Aussentemperatur steigt die Leistungszahl (COP) handelsüblicher L/W-WP mit ein Ein/Aus-Regelung zwar an – im Gegensatz dazu nimmt der exergetische Wirkungsgrad jedoch ab (Bild 1). Um diesen Sachverhalt in den Grundlagen zu klären, wurde die Forschungsarbeit WEXA „Exergie-Analyse zur Effizienzsteigerung von Luft/Wasser-Wärmepumpen“ [3] durchgeführt. In WEXA wurde gezeigt, dass die Ursache für die mässig gute Effizienz herkömmlicher L/W-WP mit Ein/Aus-Regelung die ungünstige Betriebscharakteristik ist und dass sich durch kontinuierliche Anpassung der erzeugten an die erforderliche Heizleistung die Energieeffizienz markant steigern lässt.

## Ziele und Vorgehen

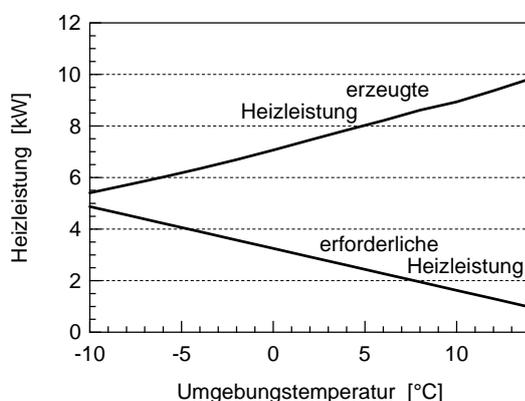
Die Erkenntnisse aus LOREF [1] und WEXA [3] sollen nun praxisgerecht umgesetzt werden. Das Hauptziel des aktuellen BFE-Projektes ist, allgemeingültige Auslegungs- und Planungsgrundlagen für die Realisierung effizienter, betriebssicherer und wirtschaftlicher L/W-WP mit kontinuierlicher Leistungsregelung zu erarbeiten. Mittels Simulationen und Experimenten soll eine Regelung konzipiert und entwickelt werden, welche in Abhängigkeit des Umgebungszustandes und des Heizbedarfs des Gebäudes den Kältemitteldurchsatz und die Ventilator Drehzahl regelt, das jeweils optimale Abtauverfahren (Prozessumkehr, Ventilator nachlauf) auswählt und die Abtauung zum optimalen Zeitpunkt einleitet bzw. abbricht. Ein Prototyp einer leistungsgeregelten L/W-WP wird aufgebaut und untersucht. Mit dem Projekt sollen Komponenten- und Anlagenherstellern, Installateuren und Planern neue Impulse für die Weiterentwicklung und Effizienzsteigerung von L/W-WP gegeben werden.

## L/W-WP mit Ein/Aus-Regelung

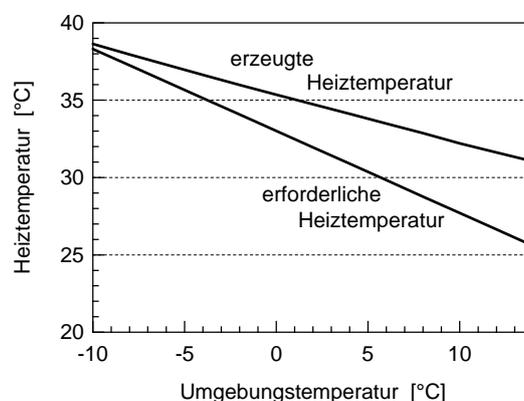
### Betriebscharakteristik

Die nachfolgend dargestellte Betriebscharakteristik, die Exergieverlust-Verhältnisse und die exergetischen Wirkungsgrade (Bilder 2, 3 und 4) sind gültig für eine L/W-WP mit Ein/Aus-Regelung mit 5.4 kW Nominal-Heizleistung bei  $-10^{\circ}\text{C}$  Aussentemperatur (detaillierte Spezifikationen siehe WEXA [3]). Die Berechnungen wurden mit dem Simulationsprogramm für L/W-WP durchgeführt, welches in LOREF [1] entwickelt und mit umfangreichen Messreihen validiert wurde.

Mit steigender Umgebungstemperatur nimmt die vom Gebäude erforderliche Heizleistung ab. Demgegenüber ist das Verhalten von handelsüblichen L/W-WP, deren Kompressor mit konstanter Drehzahl betrieben wird, gerade konträr: Je kleiner die vom Gebäude erforderliche Heizleistung und Heiz(wasser)temperatur, umso höher ist die erzeugte Heizleistung und Heiztemperatur (Bild 2 und 3).



**Bild 2:** Erzeugte und erforderliche Heizleistung in Funktion der Umgebungstemperatur



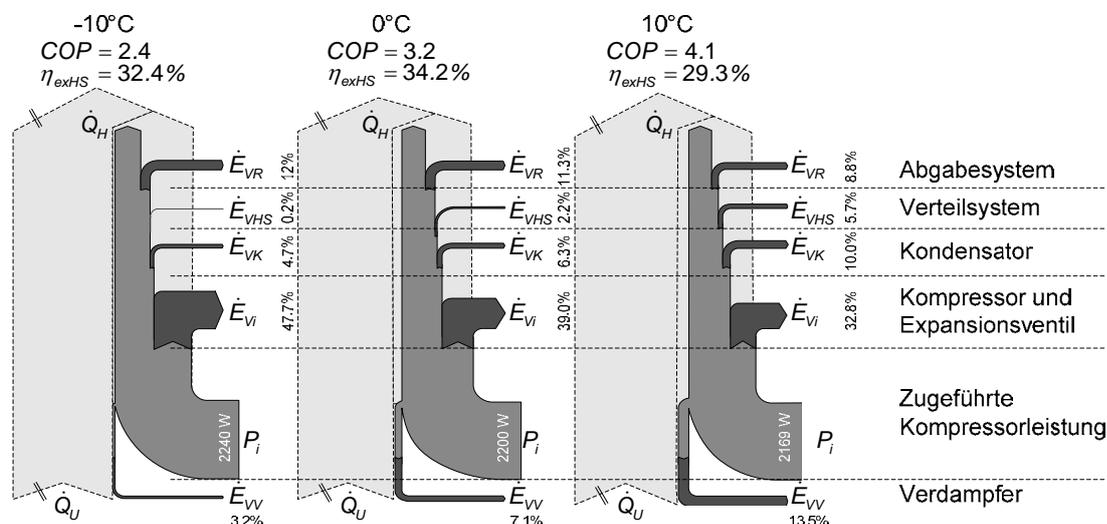
**Bild 3:** Erzeugte und erforderliche Heiztemperatur in Funktion der Umgebungstemperatur

Dieses Verhalten hat zur Folge, dass herkömmliche L/W-WP im Taktbetrieb arbeiten (Ein/Aus-Regelung). Die Temperaturgefälle für die Wärmeübertragung in Verdampfer und Kondensator sowie die Diskrepanz zwischen erforderlicher und erzeugter Heiztemperatur im Heizwärmeverteilsystem steigen mit zunehmender Umgebungstemperatur an. Dies führt zu tiefen Jahresarbeitszahlen und tiefen exergetischen Jahreswirkungsgraden.

### Effizienz von L/W-WP mit Ein/Aus-Regelung

Bild 4 zeigt die Energie/Exergie-Flussbilder eines Heizsystems mit einer Ein/Aus-geregelten L/W-WP für drei verschiedene Umgebungstemperaturen ohne Berücksichtigung der mechanischen und elektrischen Antriebsverluste des Kompressors und Ventilators. Aufgeführt sind dabei jeweils die verschiedenen Exergieverlust-Verhältnisse (Exergieverluststrom bezogen auf die innere Kompressorleistung). Die Exergieverlust-Verhältnisse zeigen unmittelbar die subtraktive Auswirkung auf den exergetischen Wirkungsgrad.

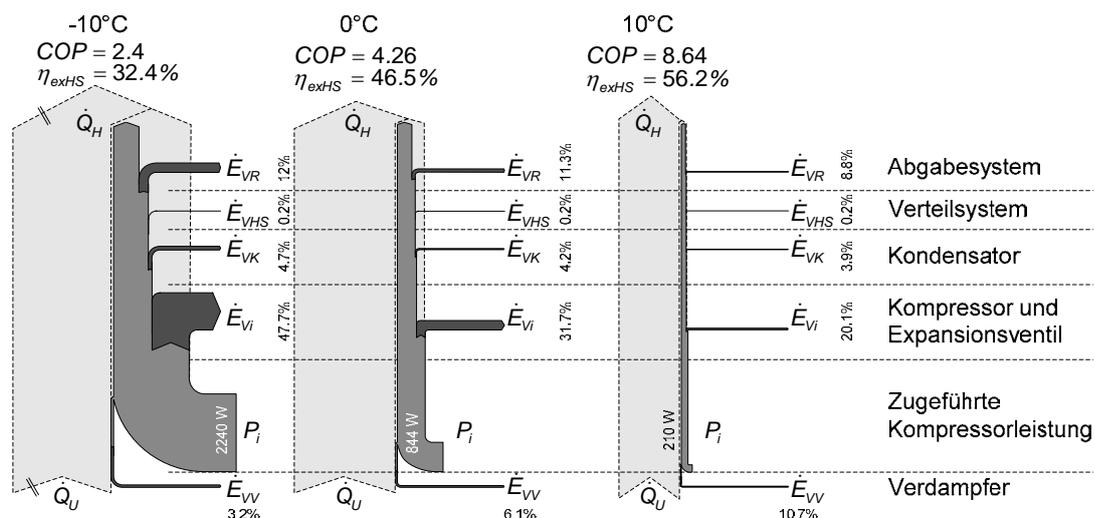
Ursache für die mässig gute Effizienz herkömmlicher L/W-WP mit Ein/Aus-Regelung ist die ungünstige Betriebscharakteristik, welche aus der Charakteristik des drehzahlkonstanten Kompressors resultiert. Mit zunehmender Umgebungstemperatur steigt die Leistungszahl solcher Anlagen zwar an – im Gegensatz dazu nimmt der exergetische Wirkungsgrad jedoch ab (siehe auch Messungen in Bild 1). Die Thermodynamik des Heizens würde dagegen einen Anstieg des exergetischen Wirkungsgrades erlauben [2]. Mit steigender Umgebungstemperatur nimmt die erforderliche Heizleistung des Gebäudes ab (gemäss Heizkurve). Die erzeugte Heizleistung nimmt dagegen mit zunehmender Umgebungstemperatur zu. Dieses Verhalten hat zur Folge, dass mit steigender Umgebungstemperatur die Temperaturgefälle für die Wärmeübertragung in Verdampfer und Kondensator ansteigen, eine deutliche Diskrepanz zwischen erforderlicher und erzeugter Heiztemperatur entsteht, der erzeugte Temperaturhub gegenüber dem idealen Temperaturhub weniger stark abnimmt und der exergetische Wirkungsgrad sich deutlich reduziert.



**Bild 4:** Energie/Exergie-Flussbilder eines Heizsystems mit einer Ein/Aus-geregelten L/W-WP (Energie-Flussbilder nicht massstäblich dargestellt)

## Leistungsregelung – Schlüssel zur Effizienzsteigerung

Damit die Temperaturgefälle für die Wärmeübertragung bei Teillast (also mit zunehmender Umgebungstemperatur) abnehmen statt zunehmen, muss die Diskrepanz zwischen erforderlicher und erzeugter Heizleistung und -temperatur vermieden werden. Die Konsequenz daraus ist, dass die L/W-WP nicht im Ein/Aus-Taktbetrieb arbeitet, sondern kontinuierlich in Betrieb ist – ausser für notwendige Abtauprozesse. Für die Anpassung der erzeugten an die erforderliche Heizleistung muss der umgewälzte Kältemittelmassenstrom geregelt werden. Bereits durch die alleinige kontinuierliche Leistungsregelung des Kompressors erreicht man gegenüber der Ein/Aus-Regelung deutlich bessere Leistungszahlen und exergetische Wirkungsgrade. Die besten Werte lassen sich jedoch durch simultane Leistungsregelung von Kompressor und Ventilator erzielen (Bild 5). Die Untersuchungen (ohne Berücksichtigung der mechanischen und elektrischen Antriebsverluste des Kompressors und Ventilators) zeigen, dass die Jahresarbeitszahl im Vergleich zur Ein/Aus-Regelung ungefähr verdoppelt werden kann [3]. Ein weiterer Vorteil der kontinuierlichen Leistungsregelung ist, dass die Eis- und Frostbildung massgeblich reduziert werden kann und diese erst bei tieferen Umgebungstemperaturen einsetzt.

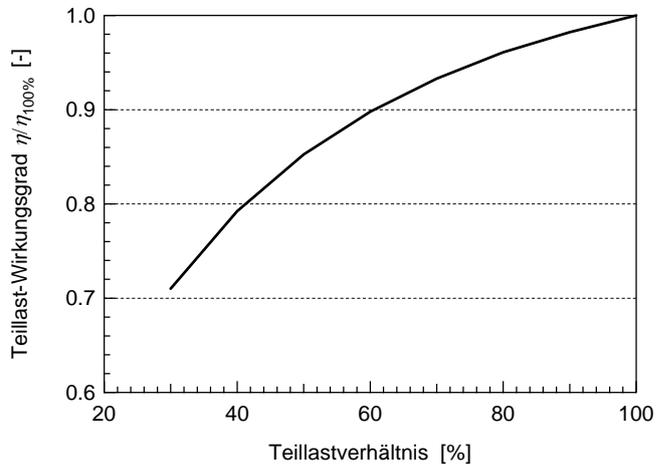


**Bild 5:** Energie/Exergie-Flussbilder eines Heizsystems mit einer leistungsgeregelten L/W-WP (Energie-Flussbild für -10°C nicht massstäblich dargestellt)

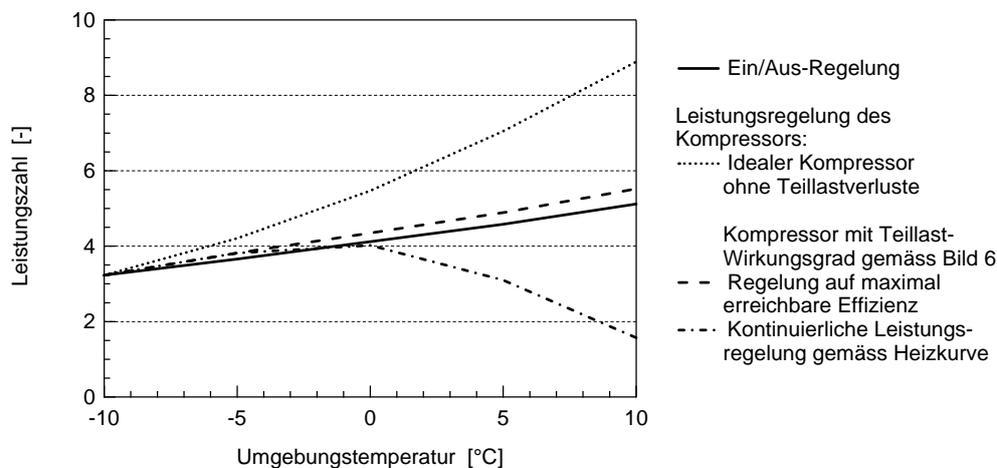
### Der Teillast-Wirkungsgrad ist entscheidend!

Theoretische und experimentelle Untersuchungen zeigen, dass bei L/W-WP mit kontinuierlicher Leistungsregelung die Teillast-Wirkungsgrade des Ventilators und insbesondere des Kompressors einen grossen Einfluss auf die erreichbaren Jahresarbeitszahlen und exergetischen Jahreswirkungsgrade haben. Der Teillast-Wirkungsgrad ist hier als Verhältnis zwischen dem Gesamtwirkungsgrad bei jeweiligem Teillastverhältnis  $\eta$  und dem Gesamtwirkungsgrad bei Volllast  $\eta_{100\%}$  definiert. Um eine einfache Interpretation des Einflusses des Teillastverhaltens des Kompressors auf die Effizienz der Wärmepumpe zu ermöglichen, sind in Bild 7 die simulierten Verläufe der Leistungszahlen ohne

Berücksichtigung der Ventilatorleistung dargestellt (der Ventilator wird mit konstanter Drehzahl betrieben).



**Bild 6:** Beispielhafter Verlauf des Teillast-Wirkungsgrades eines typischen, regelbaren Kompressors in Funktion des Teillastverhältnisses (nicht aus Messungen)



**Bild 7:** Leistungszahl (COP) mit und ohne Leistungsregelung des Kompressors ohne Berücksichtigung des Ventilators in Funktion der Umgebungstemperatur

Bild 7 zeigt die Verläufe der Leistungszahlen mit Ein/Aus-Regelung und Leistungsregelung des Kompressors in Funktion der Umgebungstemperatur. Der Teillast-Wirkungsgrad des Kompressors hat einen erheblichen Einfluss auf die Leistungszahl sowie auf die optimale Regelstrategie. Wird die erzeugte Heizleistung konsequent der erforderlichen Heizleistung angepasst (kontinuierliche Leistungsregelung gemäss Heizkurve) und ein Kompressor mit einem Teillast-Wirkungsgrad gemäss Bild 6 verwendet, sinkt die Effizienz bei Umgebungstemperaturen oberhalb 0°C unter diejenige einer L/W-WP mit Ein/Aus-Regelung. Bei Verwendung eines Kompressors mit einem Teillastverhalten gemäss Bild 6 kann die Effizienz, selbst wenn die L/W-WP so geregelt wird, dass die Effizienz stets maximal ist

(Regelung auf maximale Effizienz), nur geringfügig verbessert werden. Bei dieser Regelstrategie wird die erzeugte Heizleistung bei Umgebungstemperaturen im Bereich von  $-10^{\circ}\text{C}$  bis  $-4^{\circ}\text{C}$  kontinuierlich der erforderlichen Heizleistung angepasst. Bei Umgebungstemperaturen oberhalb  $-4^{\circ}\text{C}$  wird die WP bei reduzierter Leistung (Teillastverhältnis  $f \cong 80\%$ ) im Ein/Aus-Betrieb betrieben.

Das Potenzial der kontinuierlichen Leistungsregelung ist in Bild 7 mit dem Verlauf der Leistungszahl, welcher bei Verwendung eines idealen Kompressors ohne Teillastverluste (konstanter Wirkungsgrad wie bei Volllast) erreicht werden kann, dargestellt. Eine zwingende Voraussetzung zur Erreichung einer hohen Effizienz ist der Einsatz von Kompressoren und Ventilatoren mit gutem Teillastverhalten und hohen Teillast-Wirkungsgraden.

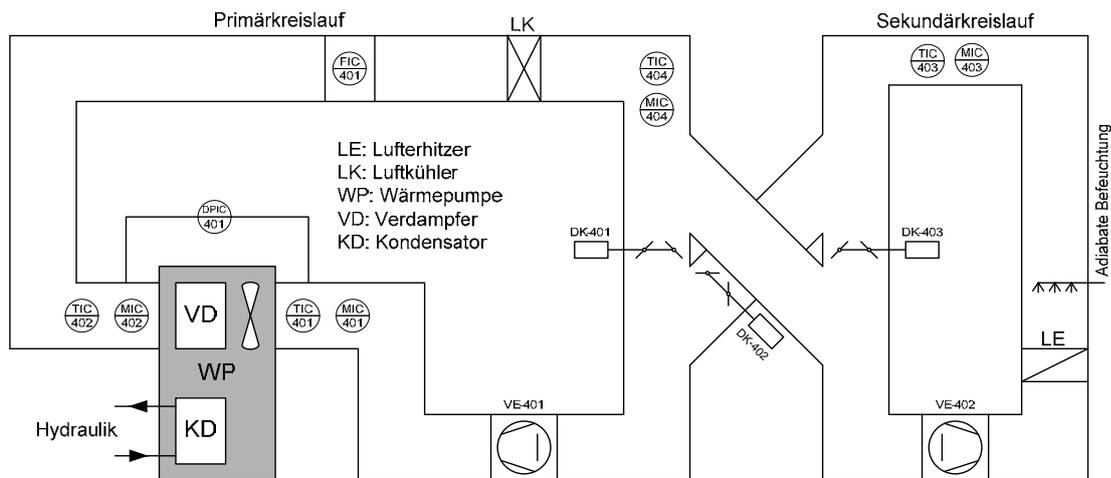
## Versuchsanlage und Wärmepumpen-Prototyp

Zur Überprüfung der entwickelten Regelstrategien wurde ein Prototyp einer leistungsgeregelten L/W-WP realisiert. Parallel dazu wurde für die experimentelle Untersuchung des L/W-WP-Prototyps und beliebiger anderer L/W-WP eine Luftaufbereitungsanlage entwickelt und aufgebaut. Die Spezifikationen der Luftaufbereitungsanlage sind in Tabelle 1 aufgeführt.

Leistung thermisch (Verdampfer L/W-WP)	max. 20 kW
Luftvolumenstrom	max. 6000 m <sup>3</sup> /h
Lufttemperatur	$-10 - 20^{\circ}\text{C}$
Relative Feuchtigkeit	40 – 100 %

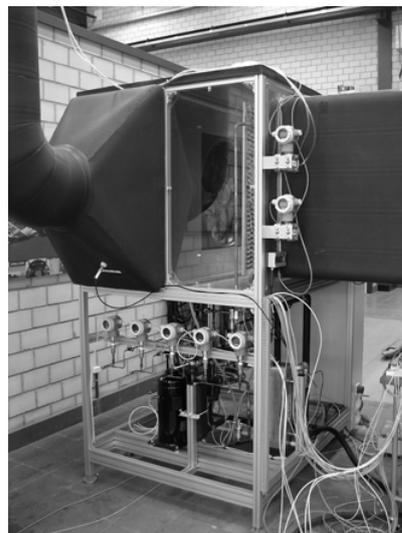
**Tabelle 1:** Einsatzbereich der Luftaufbereitungsanlage für L/W-WP

Die Luftaufbereitungsanlage besteht aus zwei Kreisläufen (Primär- und Sekundärkreis) und ermöglicht dadurch eine hohe Dynamik und äusserst stabile Prüfbedingungen. Die resultierenden Abweichungen des Luftzustandes vom Sollwert sind deutlich geringer als die in der Prüfnorm EN14511 spezifizierten.



**Bild 8:** Schematische Darstellung der Luftaufbereitungsanlage

In der Luftaufbereitungsanlage werden Verdampfer und Ventilator der Wärmepumpe in einem geschlossenen Kreislauf betrieben. Die Luft im Primärkreis wird im Verdampfer abgekühlt und je nach Bedingungen entfeuchtet. Durch Beimischen wärmerer und feuchterer Luft aus dem Sekundärkreis wird die Temperatur und Feuchte des in den Verdampfer eintretenden Luftstroms exakt eingestellt. Im Sekundärkreislauf wird Luft mit einem Lamellenwärmeübertrager erwärmt und durch Zerstäubung von Wasser adiabatisch befeuchtet. Dieses Verfahren bietet den Vorteil, dass unabhängig vom Luftvolumenstrom durch den Verdampfer im Sekundärkreislauf eine hohe Strömungsgeschwindigkeit und eine hohe Dynamik aufrecht erhalten werden kann. Zudem lässt die wesentlich höhere Temperatur im Sekundärkreislauf auch bei Wärmepumpen-Eintrittstemperaturen unter  $0^{\circ}\text{C}$  eine Befeuchtung durch Wasserzerstäubung zu. In Bild 8 ist der Prüfstand schematisch dargestellt. Die Bilder 9 und 10 zeigen den Aufbau des Prüfstandes mit dem Wärmepumpen-Prototyp im Labor der Hochschule Luzern.



**Bild 9:** Luftaufbereitungsanlage und L/W-WP-Prototyp

**Bild 10:** L/W-WP-Prototyp

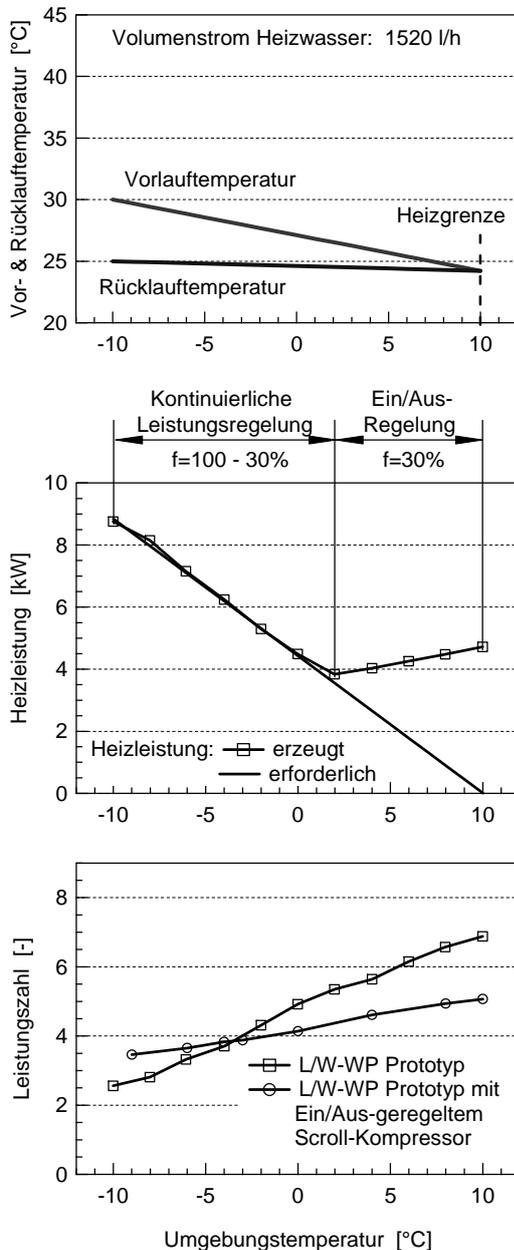
## Resultate und Diskussion

In den experimentellen Untersuchungen wurde die Eignung verschiedener Kompressoren für eine Leistungsregelung von L/W-WP überprüft. Dabei wurden jeweils verschiedene Regelstrategien untersucht, z.B. die alleinige Leistungsregelung des Kompressors oder die simultane Leistungsregelung von Kompressor und Ventilator. In diesem Beitrag wird aufgrund des deutlich höheren Effizienzsteigerungspotenzials nur auf die simultane Regelung des Kompressors und Ventilators eingegangen.

In einem ersten Schritt wurde der L/W-WP-Prototyp mit einem Scroll-Kompressor ausgestattet, bei welchem der Kältemittelmassenstrom mittels Digital-Modulation geregelt werden kann. Im Vollastbetrieb (d.h. ohne digitale Modulation) erreicht der L/W-WP-Prototyp mit diesem Kompressor eine hohe Effizienz. Die Digital-Modulation erlaubt grundsätzlich eine sehr exakte Leistungsregelung, d.h. die mittlere erzeugte Heizleistung kann mit hoher Genauigkeit an die erforderliche Heizleistung angepasst werden. Aufgrund des für WP-Anwendungen eher ungeeigneten Teillastverhaltens im Betrieb mit der Digital-Modulation ermöglicht dieser Kompressor jedoch keine signifikante Effizienzsteigerung gegenüber L/W-WP mit Ein/Aus-Regelung (2.3% Effizienzverbesserung bei 10°C Umgebungstemperatur).

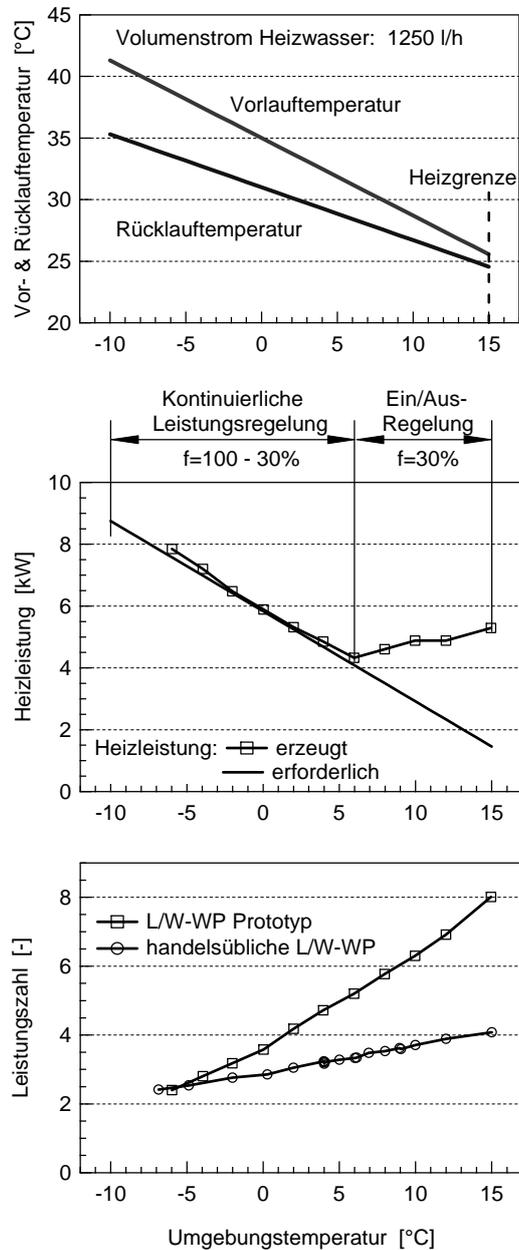
Für weitere Untersuchungen wurde der L/W-WP-Prototyp mit einem Kompressor ausgestattet, welcher eine kontinuierliche Leistungsregelung über einen weiten Bereich ermöglicht (Teillastverhältnis  $f = 25 - 100\%$ ). Bei diesem Kompressor handelt es sich um einen Prototyp von Emerson Climate Technologies GmbH. Die experimentelle Untersuchung erfolgte für zwei verschiedene Heizkurven – einer typischen Heizkurve eines Gebäudes im Minergie-Standard mit tiefen Heizwassertemperaturen und einer tiefen Heizgrenze (Bild 11) sowie einer Heizkurve eines hochwertig sanierten Altbaus mit deutlich höheren erforderlichen Heizwassertemperaturen und einer höheren Heizgrenze (Bild 12). Unabhängig von der Heizkurve und der WP wurde jeweils der monovalente Betrieb untersucht (Auslegungspunkt der WP bei -10°C Umgebungstemperatur).

**Heizkurve: Minergie-Standard**



**Bild 11:** Heizleistung und Leistungszahl (COP, inkl. Ventilator) für Heizkurve „Minergie-Standard“

**Heizkurve: sanierter Altbau**



**Bild 12:** Heizleistung und Leistungszahl (COP, inkl. Ventilator) für Heizkurve „sanierter Altbau“

Bild 11 zeigt die gemäss der Heizkurve „Minergie-Standard“ erforderliche Heizleistung und die mit dem L/W-WP-Prototyp erzeugte Heizleistung in Funktion der Umgebungstemperatur. Wird der L/W-WP-Prototyp so geregelt, dass die Effizienz stets maximal ist, kann die erzeugte Heizleistung für Umgebungstemperaturen im Bereich zwischen -10°C und 2°C kontinuierlich der erforderlichen Heizleistung angepasst werden. Dazu wird das Teillastverhältnis des Kompressors von 100% (Volllast) bei -10°C auf rund 30% bei 2°C

Umgebungstemperatur reduziert. Gleichzeitig wird die Ventilator Drehzahl mit steigender Umgebungstemperatur von  $-10^{\circ}\text{C}$  bis  $2^{\circ}\text{C}$  linear reduziert. Für Umgebungstemperaturen über  $2^{\circ}\text{C}$  werden sowohl das Teillastverhältnis des Kompressors als auch die Ventilator Drehzahl nicht weiter reduziert, da die Effizienz der WP sonst abnehmen würde. Die L/W-WP wird bei Umgebungstemperaturen oberhalb  $2^{\circ}\text{C}$  bei stark reduzierter Leistung (Teillastverhältnis Kompressor  $f = 30\%$ ) im Taktbetrieb (Ein/Aus-Regelung) betrieben. Dies hat zur Folge, dass die erzeugte Heizleistung oberhalb  $2^{\circ}\text{C}$  Umgebungstemperatur leicht ansteigt (Betriebscharakteristik von L/W-WP mit Ein/Aus-Regelung).

Bild 12 zeigt die gemäss der Heizkurve „sanierter Altbau“ erforderliche Heizleistung und die erzeugte Heizleistung in Funktion der Umgebungstemperatur. Für diese Heizkurve gelingt die kontinuierliche Anpassung der erzeugten an die erforderliche Heizleistung für Umgebungstemperaturen im Bereich zwischen  $-10^{\circ}\text{C}$  und  $6^{\circ}\text{C}$ . Zur Erreichung bestmöglicher Leistungszahlen muss die L/W-WP bei Umgebungstemperaturen oberhalb  $6^{\circ}\text{C}$  bei reduzierter Leistung (Teillastverhältnis Kompressor  $f = 30\%$ ) im Taktbetrieb betrieben werden.

Die mit dem L/W-WP-Prototyp erreichbaren Leistungszahlen (mit Berücksichtigung der Ventilatorleistung) für die Heizkurve „Minergie-Standard“ sind in Bild 11 dargestellt. Infolge der Leistungsregelung nimmt die Leistungszahl von 2.6 bei  $-10^{\circ}\text{C}$  auf 6.9 bei  $10^{\circ}\text{C}$  Umgebungstemperatur zu. Der L/W-WP-Prototyp wurde zusätzlich mit einem nicht-regelbaren Scroll-Kompressor ausgestattet. Mit diesem Kompressor wurde der L/W-WP-Prototyp für die Heizkurve „Minergie-Standard“ im Ein/Aus-Betrieb experimentell untersucht (Kompressor und Ventilator wurden unter Vollast betrieben). Die im Ein/Aus-Betrieb resultierenden Leistungszahlen des L/W-WP-Prototyps sind ebenfalls in Bild 11 dargestellt. Die im leistungsgeregelten Betrieb resultierende Leistungszahl liegt bei tiefen Umgebungstemperaturen unterhalb derjenigen des Ein/Aus-Betriebs, wird aber mit steigender Umgebungstemperatur gegenüber der Ein/Aus-Regelung zunehmend besser. Bei  $10^{\circ}\text{C}$  Umgebungstemperatur ist die im leistungsgeregelten Betrieb erreichbare Leistungszahl rund 36% höher als bei der Ein/Aus-Regelung.

In Bild 12 sind die resultierenden Leistungszahlen des L/W-WP-Prototyps im leistungsgeregelten Betrieb (mit Berücksichtigung der Ventilatorleistung) für die Heizkurve „sanierter Altbau“ dargestellt. Die Leistungszahl nimmt von 2.4 bei  $-6^{\circ}\text{C}$  auf 8.0 bei  $15^{\circ}\text{C}$  Umgebungstemperatur zu. Diese Werte liegen deutlich über denjenigen von handelsüblichen L/W-WP. Bild 12 zeigt zum Vergleich zusätzlich die Leistungszahl einer handelsüblichen L/W-WP mit Ein/Aus-Regelung. Diese L/W-WP wurde im Rahmen von LOREF [1] für die Heizkurve „sanierter Altbau“ detailliert ausgemessen. Die Leistungszahl des leistungsgeregelten L/W-WP-Prototyps ist bei  $15^{\circ}\text{C}$  Umgebungstemperatur doppelt so hoch wie diejenige der handelsüblichen L/W-WP mit Ein/Aus-Regelung.

In Tabelle 2 sind die erreichbaren Jahresarbeitszahlen des leistungsgeregelten L/W-WP-Prototyps, des L/W-WP-Prototyps im Ein/Aus-Betrieb sowie einer handelsüblichen L/W-WP mit Ein/Aus-Regelung für die Heizkurven „Minergie-Standard“ und „sanierter Altbau“ aufgeführt. Die Berechnung der Jahresarbeitszahl, nach der Methode von v. Böck [4], erfolgte für die Summenhäufigkeitsverteilung der Umgebungstemperaturen von Zürich (siehe

WEXA [3]). Bei dieser Methode wird der Einfluss der Frostbildung und der damit notwendigen periodischen Abtauungen nicht berücksichtigt. Die für die Heizkurve „sanierter Altbau“ resultierenden Leistungszahlen des L/W-WP-Prototyps sowie der handelsüblichen L/W-WP bei  $-10^{\circ}\text{C}$  Umgebungstemperatur wurden für die Berechnung der Jahresarbeitszahlen interpoliert.

Heizkurve	Minergie-Standard		sanierter Altbau	
<b>Wärmepumpe</b>	L/W-WP Prototyp	L/W-WP Prototyp	L/W-WP Prototyp	handelsübliche L/W-WP
<b>Regelstrategie</b>	Leistungsregelung	Ein/Aus-Regelung	Leistungsregelung	Ein/Aus-Regelung
<b>Jahresarbeitszahl [-]</b>	5.0	4.2	4.9	3.1

***Tabelle 2:** Jahresarbeitszahlen des leistungsgeregelten L/W-WP Prototyps, des L/W-WP Prototyps im Ein/Aus-Betrieb und einer handelsüblichen L/W-WP mit Ein/Aus-Regelung für die Heizkurven „Minergie-Standard“ und „sanierter Altbau“*

Der leistungsgeregelte L/W-WP-Prototyp erreicht sehr hohe Jahresarbeitszahlen, welche mit 5.0 für die Heizkurve „Minergie-Standard“ und 4.9 für die Heizkurve „sanierter Altbau“ im Bereich von Sole/Wasser-Wärmepumpen liegen.

## Schlussfolgerungen und Ausblick

Ursache für die mässig gute Effizienz handelsüblicher L/W-WP mit Ein/Aus-Regelung ist die ungünstige Charakteristik, welche aus der Charakteristik des drehzahlkonstanten Kompressors resultiert. Durch die kontinuierliche Anpassung der erzeugten an die erforderliche Heizleistung mit einer geeigneten Leistungsregelung lässt sich die Effizienz von L/W-WP markant steigern. Eine zwingende Voraussetzung zur Erreichung effizienter L/W-WP mit kontinuierlicher Leistungsregelung ist der Einsatz von Kompressoren und Ventilatoren mit geeignetem Teillastverhalten, weiten zulässigen Regelbereichen und hohen Teillast-Wirkungsgraden.

Die Resultate der durchgeführten theoretischen und experimentellen Untersuchungen bestätigen das Potenzial der Leistungsregelung von L/W-WP eindrücklich. Bei Verwendung des leistungsgeregelten L/W-WP Prototyps in einem sanierten Altbau kann die Jahresarbeitszahl gegenüber handelsüblichen L/W-WP mit Ein/Aus-Regelung um rund 58% erhöht werden. Auch bei der Verwendung in einem Gebäude im Minergie Standard kann die Jahresarbeitszahl gegenüber sehr guter L/W-WP mit Ein/Aus-Regelung um rund 20% erhöht werden.

Zusätzliches Potenzial für Effizienzsteigerungen von L/W-WP bietet die Abtauung mit Ventilatornachlauf. Die Idee ist, dass bei geeigneten Bedingungen mit Umgebungsluft abgetaut wird. Der Schlüssel zur erfolgreichen Abtauung mit Ventilatornachlauf liegt im Zustand der Umgebungsluft: Neben der Lufttemperatur spielt die Luftfeuchtigkeit eine bedeutende Rolle und muss zwingend berücksichtigt werden. Zur Ausnutzung dieses Potenzials wird in einem weiteren Schritt eine praxisreife Abtauregelung entwickelt, welche in der Lage ist den optimalen Abtauzeitpunkt zu erkennen, das optimale Abtauverfahren (Prozessumkehr oder Ventilatornachlauf) einzuleiten und die Abtauung zum optimalen Zeitpunkt zu beenden.

## Danksagung

Das Projektteam bedankt sich beim Bundesamt für Energie für die finanzielle Unterstützung und bei den Projektpartnern Emerson Climate Technologies GmbH (Berlin) und Ziehl-Abegg Schweiz AG (Spreitenbach) für die wertvollen Inputs und die Unterstützung mit modernsten Produkten und Technologien.

## Quellen

- [1] L. Berlinger, M. Imholz, M. Albert, R. Sahinagic, L. Gasser, B. Wellig, K. Hilfiker: LOREF – Lamellenluftkühler-Optimierung mit Reduktion von Eis- und Frostbildung, Bundesamt für Energie, 2008.
- [2] H.D. Baehr: Zur Thermodynamik des Heizens; Teil I: Der zweite Hauptsatz und die konventionellen Heizsysteme, Brennstoff-Wärme-Kraft 32(1), 9-15, 1980; Teil II: Primärenergieeinsparung durch Anergienutzung, Brennstoff-Wärme-Kraft 32(2), 47-57, 1980.
- [3] L. Gasser, B. Wellig, K. Hilfiker: WEXA – Exergie-Analyse zur Effizienzsteigerung von Luft/Wasser-Wärmepumpen, Bundesamt für Energie, 2008.
- [4] P. von Böckh, H.J. Eggenberger, M. Borer, T. Borer: Geregelt Wärmepumpe Pioneer – Luft/Wasser-Wärmepumpe für Sanierungen von Öl- und Elektroheizungen, Bundesamt für Energie, 2005.

Thomas Afjei, Prof. Dr. sc. techn. ETH, Dozent Gebäudetechnik  
Ralf Dott, dipl.-Ing. TH; wissenschaftlicher Mitarbeiter  
Carsten Wemhöner, dipl.-Ing. TH; wissenschaftlicher Mitarbeiter  
Norbert Lederle, dipl.-Ing. FH, wissenschaftlicher Mitarbeiter  
Fachhochschule Nordwestschweiz, Hochschule für Architektur, Bau und Geomatik  
Institut Energie am Bau  
Sankt-Jakobs Strasse 84  
4132 Muttenz  
thomas.afjei@fhnw.ch  
<http://www.fhnw.ch/iebau>

## Wärmepumpen zum Heizen und Kühlen, effiziente Systemlösungen im Annex 32

### **Zusammenfassung**

*Energieeffiziente Gebäudetechnik wird bei einem steigenden Marktanteil von Niedrigenergie-Häusern zunehmend wichtiger. Der Gebäudeenergieverbrauch wird auch energiepolitisch als grosses Potenzial zur Senkung der CO<sub>2</sub>-Emissionen erachtet. Der Annex 32 im Wärmepumpenprogramm der Internationalen Energie-Agentur untersucht Prototypen von neuen, hoch integrierten Wärmepumpenkonzepten für Niedrigenergiehäuser und beinhaltet Resultate von Feldtests von marktgängigen Systemen und Neuentwicklungen. Schwerpunkt im Schweizer Projekt bilden Wärmepumpensystemlösungen zum Heizen und Kühlen. Mittels Simulationen abgestützte theoretische Untersuchungen und Erfahrungen aus Feldmessungen ergeben Empfehlungen zu Hydraulikschema, Komponentenwahl, Kennzahlen und Auslegung. Mit Auszügen aus den Teilberichten „Übersicht“, „Systemüberblick“, „Prototypentwicklung“ und „Feldtestergebnisse“ wird der IEA HPP Annex 32 vorgestellt. Er wird im Juni 2010 abgeschlossen. Die Schlussberichte sind ab Herbst 2010 verfügbar. Aktuelle Informationen sind unter <http://www.annex32.net> verfügbar.*

### **Abstract**

*Energy efficient building technology is getting more and more important for a growing market share of low energy buildings. The building sector is considered as key potential to reduce CO<sub>2</sub>-emissions in the range of politics. The Annex 32 in the heat pump programme of the International Energy Agency deals on the one hand with the developments of prototype integrated heat pump concepts and on the other hand with field monitoring of newly developed and marketable systems. Focus of the Swiss national project are heat pump system solutions for heating and comfort cooling. Theoretical studies supported by simulations and experiences from field monitoring merge in recommendations for hydraulic scheme, choice of components, performance characteristics and design recommendations. The IEA HPP Annex 32 is presented with excerpts from the reports “Umbrella report”, “System solutions”,*

*“Prototype systems” and “Field monitoring”. The Annex 32 is to be concluded in June 2010. Final reports will be available in autumn 2010. Information is available at <http://www.annex32.net>.*

## Überblick Annex 32 im IEA-Wärmepumpenprogramm

In vielen Ländern werden rund 40% der CO<sub>2</sub>-Emissionen durch den Betrieb von Gebäuden verursacht. Vor dem Hintergrund der erheblichen Auswirkungen des antropogenen Klimawandels gewinnen Niedrigenergiegebäude (NEH) zunehmend an Bedeutung. In der Schweiz wird bereits jedes vierte neugebaute Wohngebäude nach MINERGIE® ([www.minergie.ch](http://www.minergie.ch)) zertifiziert, insgesamt über 16000 Gebäude seit Einführung des Labels. In Deutschland sind über 50000 Niedrigstenergiehäuser nach KfW-Anforderung<sup>10</sup>, 70000 Niedrigenergiehäuser<sup>11</sup> und über 10000 Passivhäuser<sup>12</sup> erstellt worden. In Österreich hat sich die Zahl der Passivhäuser von 2006 bis 2008 von 1670 auf 4150 mehr als verdoppelt. Bei solchen Zuwachsraten ist offensichtlich, dass auch die Systemtechnik den geänderten Anforderungen eines höheren Energieanteils für die Warmwassererzeugung, einer Komfortlüftung und einer Komfortkühlung angepasst werden sollte, um weitere Effizienzvorteile zu nutzen.

Der Annex 32 mit dem Titel „Economical heating and cooling systems in low energy houses“ wurde im Wärmepumpenprogramm (Heat Pump Programme - HPP) der Internationalen Energie-Agentur (IEA) im Jahr 2006 gestartet und wird dieses Jahr abgeschlossen. Er wird vom Institut Energie am Bau (IEBau) der Hochschule für Architektur, Bau und Geomatik (HABG) der Fachhochschule Nordwestschweiz (FHNW) im Auftrag und mit finanzieller Unterstützung des Bundesamtes für Energie (BFE) geleitet. Die zehn Länder AT, CA, CH, DE, FR, JP, NL, NO, SE und US nehmen am Annex 32 teil, dessen Hauptarbeitsgebiete zum Einen die Prototypentwicklung neuer integrierter und multifunktionaler Systemlösungen mit Wärmepumpen (WP) und zum Anderen Feldstudien von marktverfügbaren Wärmepumpen in Niedrigenergiehäusern über mehrere Jahre beinhalten. Schwerpunkte der Prototypentwicklung sind dabei folgende Punkte, die bisher in marktgängigen Systemen kaum berücksichtigt sind:

- Integration zusätzlicher Funktionalität für Niedrigenergiehäuser, insbesondere einer energieeffizienten Kühlfunktion und für Länder wie die USA und Japan einer Entfeuchtung
- Einsatz natürlicher Kältemittel, hier CO<sub>2</sub> und Propan

<sup>10</sup> <40 kWh/(m<sup>2</sup>a) Primärenergie für Heizung und Warmwasser ([www.kfw.de](http://www.kfw.de))

<sup>11</sup> <60 kWh/(m<sup>2</sup>a) Primärenergie für Heizung und Warmwasser ([www.kfw.de](http://www.kfw.de))

<sup>12</sup> Heizwärmebedarf <15 kWh/(m<sup>2</sup>a) ([www.passiv.de](http://www.passiv.de))

Ziele der Felduntersuchungen sind:

- Bewertung der Funktionalität und Effizienz unter realen Betriebsbedingungen
- Dokumentation von auftretenden Fehlerquellen und Optimierungspotenzialen sowie Ableitung von Hinweisen zur Weiterentwicklung

## **Ergebnisse des IEA HPP Annex 32**

Die Ergebnisse des Annex 32 werden in 5 Berichten dokumentiert, deren Inhalt und wesentliche Erkenntnisse im Folgenden kurz vorgestellt werden:

### **Umbrella Report**

Der Bericht gibt eine Übersicht über den IEA HPP Annex 32. Er beinhaltet

- eine Executive summary, also eine Kurzzusammenfassung der wesentlichen Ergebnisse, die auch als einzelnes Dokument verfügbar ist,
- Übersicht der beteiligten Institutionen und nationalen Beiträge,
- eine Einführung in Niedrigenergiehäuser (Prinzipien, Standards, Strategien, Kosten),
- Marktentwicklung und Zertifizierung von Niedrigenergiehäusern in den Teilnehmerländern,
- eingesetzte Systeme in Niedrigenergiegebäuden und Systemvergleiche,
- detaillierte Darstellung der Ergebnisse, Verweise auf weitere Berichtsteile.

### **Systemüberblick**

Im Bericht Systemüberblick werden die marktgängigen integrierten Wärmepumpen nach Funktionalität kategorisiert und die einzelnen Typen dargestellt, um die Systemwahl zu erleichtern. Insbesondere von Wärmepumpen, die an das Lüftungssystem gekoppelt sind, sind für den Einsatz in NEH viele Varianten entwickelt worden. Lüftungs-Kompaktgeräte vereinen die Funktionen Heizung, Lüftung mit passiver Wärmerückgewinnung und Warmwasser. Geräte mit Kühlfunktion lassen sich in solche mit aktiver und passiver Kühlung unterteilen.

## Prototypentwicklungen

Der Bericht stellt die Konzepte sowie die Ergebnisse von Labormessungen und Systemsimulationen der entwickelten Prototypen zusammen, unter anderem

- Machbarkeitsstudien von CO<sub>2</sub>-Wärmepumpen: Zentrale CO<sub>2</sub>-Wassererwärmer können in Simulationen in Norwegen mit einer Jahresarbeitszahl von 3.7 bei einer Quelletemperatur von 7°C und einer Warmwassertemperatur von 65 °C bis zu 75% Primärenergie gegenüber konventionellen Warmwassersystemen einsparen. Wenn der Warmwasseranteil 50% überschreitet, haben für den Kombibetrieb Heizung und Warmwasser ausgelegte CO<sub>2</sub>-Wärmepumpen Effizienzvorteile gegenüber guten konventionellen Wärmepumpen mit HFW-Kältemittel.
- Entwicklung eines hoch integrierten Prototyps mit Kältemittel CO<sub>2</sub> und 5 kW Nennleistung für Heizen, Warmwasser, aktiven und passiven Kühlbetrieb, auch mit simultaner Warmwasser-Erzeugung. Mit Labortest kalibrierte Systemsimulationen ergaben einen Systemnutzungsgrad von 3.2.
- Hochintegrierte 4.5 kW Prototypen für sämtliche Gebäudelfunktionen inkl. Entfeuchtung für Wärmequellen Luft und Erdreich.
- Mit Labortest kalibrierte Systemsimulationen ergaben über 50% Energieeinsparungen gegenüber Systemen mit Mindesteffizienzanforderungen in Nettonullenergie-Gebäuden (NZEB) und eine Amortisation von 4-8 Jahren für Wärmequelle Luft und 6-15 Jahre für die Wärmequelle Erdreich.

## Feldtestergebnisse

Im Annex 32 sind über 100 Wärmepumpen in Niedrigenergiehäusern mindestens 1 Jahr gemessen worden. Die Feldergebnisse werden gesamthaft in einem Bericht zusammengestellt, und einzelne Anlagen mit gutem Betriebsverhalten werden als Best Practice Systeme dokumentiert. Die Schwerpunkte der einzelnen Teilnehmerländer sind in **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.** zusammengestellt.

Im Anschluss werden die Ergebnisse des Schweizer Beitrags zum IEA HPP Annex 32 vorgestellt, der die Entwicklung von Standardlösungen für Wärmepumpensysteme im Heiz- und Kühlbetrieb, die Ableitung von Auslegungsempfehlungen sowie eine Erweiterung der Berechnungsmethode des Nutzungsgrades um eine passive Kühlfunktion beinhaltet.

Land	Institution	Arbeitsschwerpunkte im Annex 32
AT	IWT/TU Graz AIT, Wien	Prototypentwicklung, Labortest und Systemsimulationen einer 5 kW CO <sub>2</sub> -S/W WP für NEH am IWT der TU Graz  Feldtest von 10 Wärmepumpen (H&W) und 2 Kompaktgeräten (H, C, V, W) vom AIT, Wien
CA	Hydro-Québec	Auslegung, Bau und Feldtest von 2 Equilibrium NZEB
CH	IEBau/FHNW SATAG	Auslegungsrichtlinien und Feldtest von Wärmepumpen für energieeffizienten Heiz- und Kühlbetrieb
DE	FhG-ISE, Viessmann	Feldtest von ca. 100 Wärmepumpen in neu gebauten NEH und ca. 80 Wärmepumpen mit hohen Vorlauftemperaturen als Kesselerersatz mit Herstellern und Energieversorgern
FR	EdF	Vergleich, Messung und Feldtest von L/L-WP für NEH
JP	Universität Hokkaido, TEPCO	Auslegung/Systemoptimierung von L/L-WP (Splitgeräte) für moderates Klima im Volllast und Teillastbetrieb, 2 Feldtests S/W-WP im kalten Klima von Hokkaido
NL	Agentschap NL	Dokumentation von innovativen Systemkonzepten mit WP
NO	SINTEF, NTNU	Machbarkeitsstudien und Feldtest von Wärmepumpen mit natürlichen Kältemitteln (CO <sub>2</sub> , Propan) in NEH
SE	SP	Rechnerischer Vergleich von Systemlösungen für NEH
US	DOE, ORNL	Prototypentwicklungen, Labortest und Simulation von multifunktionalen WP für H, W, C, V, hu, dhu für NZEB

**Table 1:** Übersicht der Projekte im IEA HPP Annex 32

Legende: H-Heizen, W-Warmwasser, C-Kühlen, V-Lüftung, hu-Befeuchtung, dhu-Entfeuchtung, L/L-Luft/Luft, S/W-Sole/Wasser, W/W-Wasser/Wasser

## Wärmepumpensysteme zum Heizen und Kühlen

### Systeme und Grundlagen

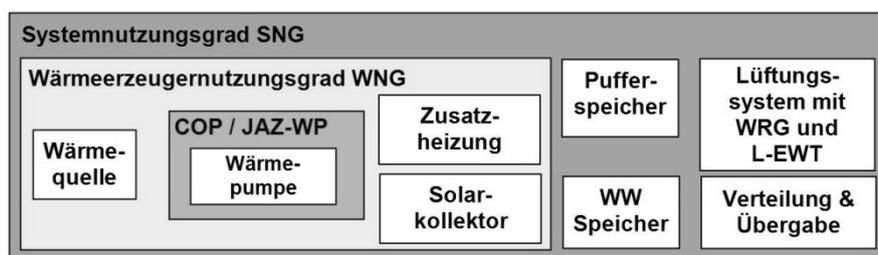
Heizen und Warmwasserbereitung sind Standard-Anwendungen von Wärmepumpen in Wohngebäuden und insbesondere in Neubauten weit verbreitet. Darüber hinaus kann mit Wärmepumpensystemen auch gekühlt werden, dies besonders günstig, wenn die für die

Wärmepumpe erschlossene Wärmequelle zur energieeffizienten, passiven Kühlung genutzt werden kann. Um die thermische Behaglichkeit auch im Sommer zu gewährleisten, sind vorrangig ein möglichst geringer Klimakältebedarf, eine hohe Systemeffizienz und das Vermeiden von unnötigem Mehrverbrauch durch den Kühlbetrieb zu beachten. Zur sommerlichen Raumtemperierung sollten schrittweise Wärmelasten vermieden und Nachtlüftung genutzt werden. Wenn dies nicht ausreicht, kann zuerst passiv, dann aktiv mit Abwärmenutzung für die Warmwasserbereitung und, falls das nicht ausreicht, im gesetzlich zugelassenen Rahmen ohne Abwärmenutzung aktiv gekühlt werden.

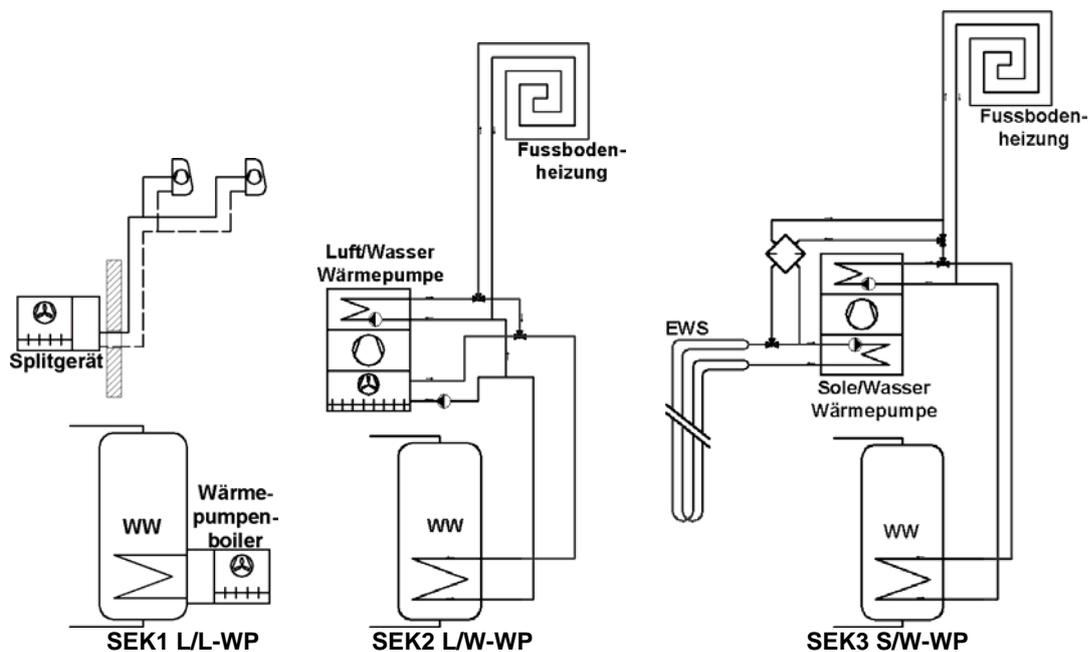
Im Schweizer Beitrag zum IEA HPP Annex32 werden Wärmepumpensysteme für Heizung und Warmwasserbereitung betrachtet, welche zusätzlich auch zur Raumkühlung eingesetzt werden. Dabei soll nicht eine maximale Temperatur exakt eingehalten werden, wie es bei Klimaanlage der Fall ist, sondern mit einer ergänzenden Kühlfunktion die thermische Behaglichkeit im Sommer verbessert werden. Eine natürliche Kältequelle begrenzt gegebenenfalls die zur Verfügung stehende Kühlenergie oder Kälteleistung. Andererseits wird nur ein begrenzter zusätzlicher Aufwand akzeptiert.

In Simulationen wurde ein der Realität angenähertes Verhalten des Gesamtsystems Gebäude mit Wärmepumpensystem abgebildet. Dabei werden die Systeme in verschiedenen Varianten an einem zweistöckigen, theoretischen Einfamilienhaus nach MINERGIE® in massiver Bauweise mit 200 m<sup>2</sup> Energiebezugsfläche, quadratischem Grundriss und Flachdach angewendet. Es wird für die Untersuchung aufgeteilt in die zwei Stockwerke Erdgeschoss (EG) und Obergeschoss (OG) und je Stockwerk in die Bereiche Südzone und Nordzone. Zur Reduktion der Wärmelasten werden oberhalb einer Raumtemperatur von 23 °C alle Fenster zu 25% verschattet. Der Luftwechsel wird von 0.4-fach auf 1-fach erhöht, sobald die Raumluft-Temperatur über 25 °C steigt und mindestens 2 K über der Aussenluft-Temperatur liegt. Dies erfolgt in der Regel in der Nacht.

Abbildung 1 zeigt die verwendeten Definitionen der Effizienz-Kennzahlen und zugehörigen Bilanzgrenzen.



**Abbildung 1:** Definition der Effizienz-Kennzahlen und Bilanzgrenzen für die energetische Bewertung von Wärmepumpensystemen



**Abbildung 2:** Aufbau der Standard - Schaltungen

Der im Folgenden dargestellte Vergleich von drei Wärmepumpensystemen mit den Wärmequellen Luft bzw. Erdreich zeigt das Verhalten der Systeme, angewendet am obigen Referenzgebäude zur Abdeckung der Funktionen Heizen, Warmwasserbereitung und Kühlen. Dabei wird neben dem Gebäude die Wärmepumpe inklusive Regelung abgebildet. Die Systeme SEK1, SEK2 und SEK3 sind schematisch in Abbildung 2 dargestellt. System SEK1 basiert auf einem Multi-Split Luft/Luft-Klimagerät, welches im Umkehrbetrieb auch zur Beheizung des Gebäudes eingesetzt wird. Die Warmwasserbereitung erfolgt separat über eine der Wohnungslüftungsanlage nachgeschaltete Abluft - Wärmepumpe. Im System SEK2 deckt eine Aussenluft-Wärmepumpe alle drei Funktionen H, W & C im aktiven Betrieb ab. Mit einer Niedertemperatur-Fussbodenheizung wird geheizt und gekühlt. Das System SEK3 nutzt eine Erdwärmesonde als Wärmequelle für WP-Heizung und Warmwasserbereitung sowie als Wärmesenke für passive Kühlung.

### Auswertung thermische Behaglichkeit

Die Bewertung der erreichten Behaglichkeit erfolgt gemäss SN EN 15251 0. Diese verwendet eine Einteilung in Qualitäts-Kategorien anhand des erwarteten Anteils unzufriedener Personen (PPD) bei den jeweiligen thermischen Behaglichkeits-Bedingungen. Zur Bewertung herangezogen wird für diese Betrachtung alleine die in der Simulation bestimmte operative Raumtemperatur, welche als Mittel aus Raumluft-Temperatur und mittlerer Strahlungstemperatur der Umgebungsflächen berechnet wird. Auf eine Berücksichtigung der relativen Luftfeuchte wird verzichtet, da diese von keinem System zielgerichtet beeinflusst wird. Lokale thermische Unbehaglichkeiten werden weiterhin ebenso nicht detailliert ausgewiesen. Für die Kühlung mit der Fussbodenfläche liegen die Oberflächen-Temperaturen zu

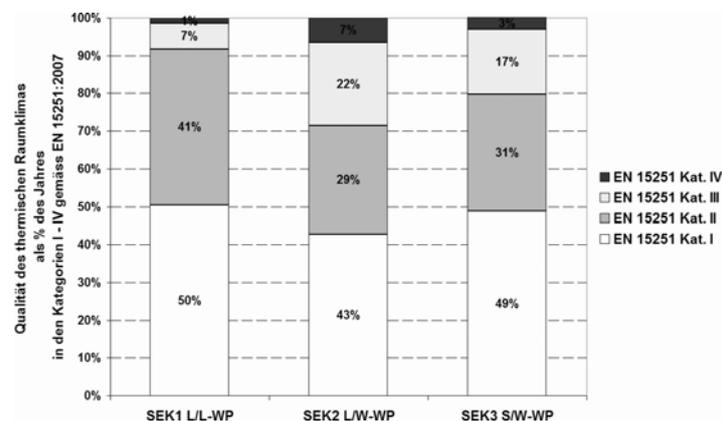
jedem Zeitpunkt im behaglichen Bereich. Tabelle 2 zeigt die Kategorien für die Bewertung des Innenraumklimas gemäss SN EN 15251 für Wohnräume mit dem jeweils zugehörigen operativen Temperaturbereich.

Kategorie	PPD	Temperaturbereich Winter	Temperaturbereich Sommer
I	< 6%	21.0 °C - 25.0 °C	23.5 °C - 25.5 °C
II	< 10%	20.0 °C - 25.0 °C	23.0 °C - 26.0 °C
III	< 15%	18.0 °C - 25.0 °C	22.0 °C - 27.0 °C
IV	> 15%	< 18.0 °C oder > 25.0 °C	< 22.0 °C oder > 27.0 °C

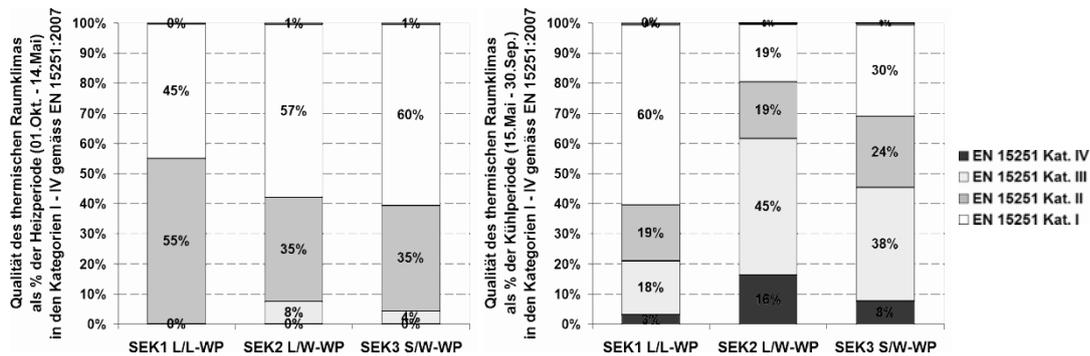
**Tabelle 2:** Temperaturbereiche für die Bewertung des Innenraumklimas gemäss SN EN 15251 für Wohnräume (sitzende Aktivitäten)

Die Qualitätsbewertung des thermischen Raumklimas erfolgt als prozentuale Häufigkeit der operativen Raumtemperatur in den Kategorien I (beste) bis Kategorie IV (schlechteste) gemäss Tabelle 2. Dabei wird zonenweise jeweils für die Winterperiode und die Sommerperiode die Stundenhäufigkeit in den Kategorien aufsummiert und durch die Gesamtzahl der Stunden dividiert. Die Winterperiode wird aufgrund der gewählten Klimabedingungen für den Standort Basel-Binningen definiert als der Zeitraum vom 01. Oktober bis zum 14. Mai, die Sommerperiode als Zeitraum vom 15. Mai bis zum 30. September. Darin enthalten sind alle Stunden im Zeitraum, sowohl diejenigen mit aktivem Heiz-/Kühlsystem als auch diejenigen mit inaktivem Heiz-/Kühlsystem. Die Diagramme in Abbildung 3 & Abbildung 4 zeigen die so bestimmte prozentuale Häufigkeit, wobei der Anteil, welcher schon einer besseren Kategorie zugeordnet ist, in der nächst schlechteren Kategorie abgezogen wird und so die Summe aller Kategorien je System 100% ergibt.

Abbildung 3 zeigt die Klassifizierung des thermischen Raumklimas für das gesamte Jahr. Insgesamt zeigt sich für alle Varianten SEK1 - SEK3 auch bei einer eher geringen Verschattung ein gutes thermisches Raumklima mit nur geringen Anteilen < 7% in Kategorie IV und dem jeweils grössten Anteil in Kategorie I.

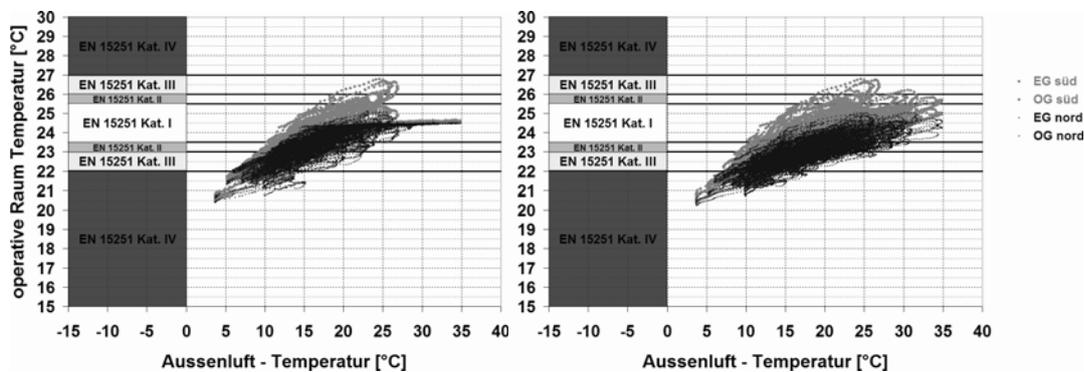


**Abbildung 3:** Klassifizierung des thermischen Raumklimas für das gesamte Jahr



**Abbildung 4:** Klassifizierung des thermischen Raumklimas für die Winterperiode (01. Okt. - 14. Mai links) und die Sommerperiode (15. Mai - 30. Sep. rechts)

Für die Winterperiode zeigt Abbildung 4, links, dass für alle Varianten die thermische Behaglichkeit zu mehr als 92% der Zeit innerhalb der Kategorie II liegt. In der Sommerperiode, Abbildung 4 rechts, zeigen sich grössere Abweichungen zwischen den Systemvarianten. Dabei erreichen alle Systeme eine Einhaltung der oberen Grenztemperatur von Kategorie I. Alle Systeme zeigen eine Abweichung der Temperaturen nach unten. Dies ist allerdings nur zum Teil durch die Kühlung verursacht, wie SEK1 zeigt. Zum anderen Teil sind die Temperaturen durch die Berücksichtigung auch der Übergangszeiten verursacht, in der weder das Heiz- noch das Kühlsystem aktiv sind. Die Systeme SEK2 und SEK3 mit Fussbodenkühlung zeigen eine etwas stärkere Tendenz zu kühleren Temperaturen.



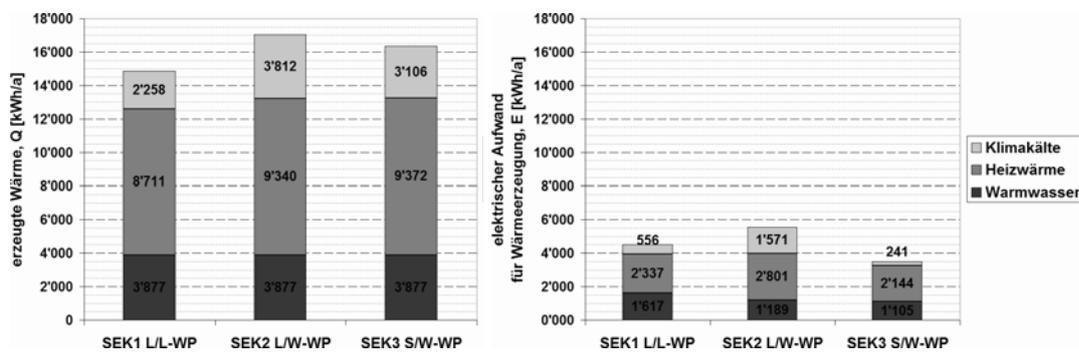
**Abbildung 5:** Verteilung der operativen Raumtemperatur in Bezug zur Aussenluft-Temperatur für die Sommerperiode; links: SEK1, rechts: SEK3

Die Ursache für diese unterschiedlichen Charakteristiken zeigen die Darstellungen der operativen Raumtemperatur über die Sommerperiode der Systeme SEK1 (links) und SEK3 (rechts) in Abbildung 5. Für das System SEK1, die Multi-Split Anlage, ist eine deutliche Grenzkurve mit einer konstanten operativen Raumtemperatur erkennbar. Durch die Einbringung der Heiz-/Kühlleistung direkt in den Raum ist eine einfachere Einstellung und Erreichung der gewünschten Raumtemperatur möglich. Dies zeigt sich sowohl für die Winter- als auch für die Sommerperiode. Für die Systeme SEK2 und SEK3 zeigt sich eine breitere Streuung der Raumtemperatur bei konstanter Aussentemperatur. Dies ist vorwiegend bedingt durch die zeitliche Pufferwirkung des Fussbodenaufbaus und damit verzögerte Einbringung

der Heiz-/Kühlleistung in den Raum. Diese grössere Streubreite der Raumluft-Temperatur bei gleicher Aussenluft-Temperatur erfordert im Umkehrschluss eine genauere Auslegung, damit der gewünschte Temperaturbereich eingehalten werden kann.

### Auswertung Energie und Effizienz

Eine ebenso wichtige Bewertung wie diejenige der thermischen Behaglichkeit sind die energetischen Aspekte der betrachteten Systeme, sowohl die erzeugte Wärme bzw. Klimakälte als auch die dafür aufgewendete elektrische Energie.

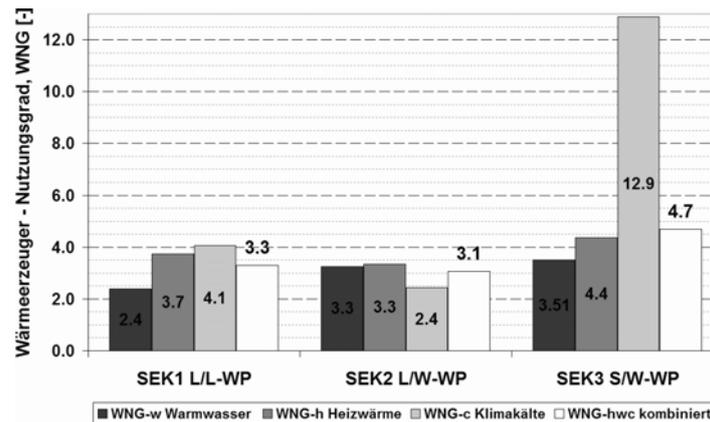


**Abbildung 6:** Gegenüberstellung der erzeugten Wärme (links) und der dafür aufgewendeten elektrischen Energie (rechts) für die Systemvarianten SEK1 - SEK3

In Abbildung 6 werden für die drei Systeme die erzeugte Wärme (links) und der elektrische Aufwand (rechts) verglichen. Der Warmwasser-Wärmebedarf ist für alle Systeme gleich und setzt sich aus  $13.9 \text{ kWh/m}^2/\text{a}$  Nutzwärmebedarf zuzüglich  $2.8 \text{ kWh/d}$  Speicherwärmeverluste zusammen. Der Heizwärmebezug unterscheidet sich aufgrund der durch die Regelung verursachten unterschiedlichen Raumtemperaturen zwischen  $8711 \text{ kWh/a}$  für das System SEK1 und  $9372 \text{ kWh/a}$  für das System SEK3. Im Klimakältebezug zeigen sich durch die unterschiedliche Verteilung der Raumtemperaturen auch grössere relative Unterschiede, wobei System SEK1 mit  $2258 \text{ kWh/a}$  den geringsten Klimakältebezug aufweist und SEK2 mit  $3812 \text{ kWh/a}$  den höchsten. System SEK1 weist insgesamt die geringste erzeugte Nutzwärme auf. Auf Seiten des elektrischen Aufwands zeigt sich ein deutlich anderes Bild. Hier weist System SEK3 den geringsten elektrischen Aufwand sowohl in den einzelnen Funktionen als auch insgesamt auf. Das System SEK1 fällt mit dem höchsten Elektrizitätsbezug für Warmwasserbereitung, das System SEK2 mit dem höchsten Elektrizitätsbezug für Klimakälte auf.

Die Ursache für den geringen elektrischen Energiebezug von SEK3 zeigt sich im Vergleich der Wärmeerzeuger-Nutzungsgrade in Abbildung 7. Hier fällt vor allem der hohe Nutzungsgrad von System SEK3 im passiven Kühlbetrieb mit 12.9 auf. Jedoch auch im Warmwasser- und Heizbetrieb weist SEK3 die im Vergleich höchsten Nutzungsgrade von 3.5 für Warmwasser, 4.4 im Heizbetrieb und 4.7 für alle Betriebsarten zusammen auf. Sowohl vom gesamten elektrischen Aufwand als auch vom Nutzungsgrad über alle Betriebsarten am

schlechtesten stellt sich System SEK2 mit dem im Vergleich schlechtesten Kühlbetrieb dar. System SEK1 erreicht zwar im Kühlbetrieb einen nur mässigen elektrischen Aufwand durch einen vergleichsweise hohen Nutzungsgrad für aktiven Kühlbetrieb, kann aber durch den schlechtesten Nutzungsgrad im Warmwasserbetrieb und in allen Betriebsarten aktiver Wärmepumpe die Nutzungsgrade und den elektrischen Aufwand von System SEK3 nicht erreichen. Die Erdwärmesonde zeigt sich als günstigste Wärmequelle für alle Betriebsarten, insbesondere für den Kühlbetrieb.



**Abbildung 7:** Gegenüberstellung der Wärmeerzeuger-Nutzungsgrade der Funktionen Heizen, Warmwasser, Kühlen und kombiniert für die Systemvarianten SEK1, SEK2 und SEK3

## Praktische Erfahrung aus Feldmessungen im IEA HPP Annex 32

In Deutschland wurden im Projekt „WP-Effizienz“ circa 100 Wärmepumpen in neu erstellten Niedrigenergiehäusern mit Fussbodenheizung 0 und im Projekt „WP im Gebäudebestand“ circa 80 Wärmepumpen mit höherer Vorlauftemperatur (Radiatorheizung) als Ersatz für Kessel 0 über mehrere Jahre gemessen. **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.** gibt die Ergebnisse für das Jahr 2008 an. Die Systemgrenze entspricht dem Wärmeerzeugernutzungsgrad (WNG), also der produzierten Energie der Wärmepumpe zu elektrischem Aufwand für Wärmepumpe, Wärmequelle und direktelektrischer Nachheizung. Der Einfluss der höheren Vorlauftemperatur ist deutlich zu erkennen. Anteile für Hilfsenergien liegen für die NEH Systeme für Sole/Wasser bei 6% und für Luft/Wasser bei 7%. Der Einsatz der direktelektrischen Nachheizung ist für beide Systeme mit 2% vernachlässigbar. Grund für das schlechtere Abschneiden der Wasser/Wasser-Wärmepumpen ist der höhere Quellenaufwand. Die Heizperiode 2009/10 mit extrem kalten Aussentemperaturen ist zurzeit noch in der Auswertung und wird später in den Schlussbericht aufgenommen.

In Österreich wurden in den Jahren 2005-2008 zehn Wärmepumpen dem 1-Jahres Standardmonitoring des Austrian Institute of Technology (AIT) unterzogen 0. Sieben Anlagen sind in Tabelle 3 dargestellt.

In einem Schweizer 0 und zwei österreichischen Feldtests 0 wurde ebenfalls ein passiver Kühlbetrieb in MINERGIE-P<sup>®</sup> respektive Passivhäusern betrachtet. Abhängig von der Kühlenergie erreicht die passive Kühlung im Schnitt einen WNG von 8, mit höherer

Kühlenergie bis zu 15. Der WNG hängt wesentlich von der aus dem Gebäude abgeführten Kühlenergie ab, da die elektrische Pumpenleistung nahezu konstant bleibt.

	Feldtest	WP in NEH			WP im Gebäudebestand	
		L/W	S/W	W/W	L/W	S/W
DE	WP-Typ					
	Anzahl Systeme	6	34	7	34	35
	WNG <sub>HW</sub>	3.0	3.8	3.5	2.6	3.3
AT	Anzahl Systeme	2	4	1	-	-
	WNG <sub>HW</sub>	3.0	4.0	4.2	-	-

**Table 3:** Feldergebnisse der Feldtests von DE und AT

In Japan wurden 2 Feldtests mit leistungsgeregelten S/W-Wärmepumpen mit Fussbodenheizung (Auslegung 35°C/30°C) in Niedrigenergiegebäuden im kalten Klima von Hokkaido durchgeführt. Die Temperaturanforderungen konnten mit dieser Systemkombination die ganze Winterperiode eingehalten werden. Gegenüber konventionellen Gebäuden der Region mit Ölkesseln erreichen die Häuser eine Einsparung an CO<sub>2</sub>-Emissionen von 50-60%, wobei 45% der Einsparung auf die bessere Gebäudehülle und 55% auf den Einsatz von Wärmepumpe und Lüftungswärmerückgewinnung zurückgeführt werden können.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass alle gemessenen Wärmepumpen im Niedrigenergiehäusern deutliche Primärenergie- und CO<sub>2</sub>-Emissionseinsparungen gegenüber fossilen Heizsystemen erreichen.

Im Folgenden wird detailliert die Feldmessung eines MINERGIE® - Einfamilienhauses in Muolen (SG) mit erdgekoppelter Wärmepumpe für Heizung, WW und passiven Kühlbetrieb im Rahmen des Schweizer Beitrags vorgestellt.

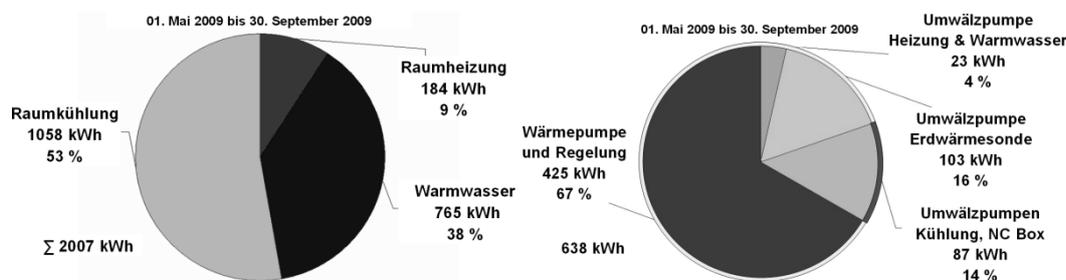
### Feldmessung Muolen SG

In der Feldmessung Muolen wird das Praxisverhalten einer erdgekoppelten Wärmepumpe mit passiver Kühlung messtechnisch untersucht. Die Messung wird von Januar 2009 bis Mai 2010 durchgeführt. Zu Beginn des Winters 2009 wurde die Anlage optimiert. Die Auswertungen beginnen mit der Sommerperiode 2009. Abbildung 8 zeigt links das Gebäudes und rechts das Hydraulikschema.



**Abbildung 8:** Ansicht des Gebäudes Feldmessung Muolen (links) und Hydraulikschema (rechts)

Die Auswertung der Sommerperiode zeigt, dass mit 1058 kWh eine nicht unerhebliche Wärme aus dem Einfamilienhaus abgeführt werden konnte. Das installierte Wärmepumpensystem mit passiver Kühlung war in den Sommermonaten insgesamt etwa 660 h in Kühlbetrieb. Dies entspricht etwa 18% der Stunden in der Sommerperiode. Abbildung 9 links zeigt die vom Wärmepumpensystem produzierte respektive abgeführte Wärme. Zur Warmwasserbereitung wurden von der Wärmepumpe 765 kWh Wärme erzeugt. Die Wärmepumpe war insgesamt 88 h zur Warmwassererzeugung in Betrieb. Während 1/6 dieser Zeit war parallel zur Warmwassererzeugung die Kühlung in Betrieb. Die vom Wärmepumpensystem bezogene elektrische Energie während des Sommers ist in Abbildung 9 rechts dargestellt. Insgesamt waren 638 kWh Elektrizität notwendig um 2007 kWh Wärme zu erzeugen respektive abzuführen. Die Kühlleistung des passiven Kühlsystems betrug im Mittel über die Sommerperiode 1.6 kW, dies entspricht einer spezifischen Kühlleistung von  $6 \text{ W/m}^2$ . Die maximale Kühlleistung wurde nach einer Periode ohne Kühlung registriert. Unmittelbar nach Aktivieren der passiven Kühlung wurde eine Kühlleistung von 6.4 kW gemessen (15 min Mittelwert), das entspricht einer spezifischen Kühlleistung von  $23 \text{ W/m}^2$ . An die Erdwärmesonde wurde durchschnittlich eine Leistung von  $12 \text{ W/m}$  abgeführt.



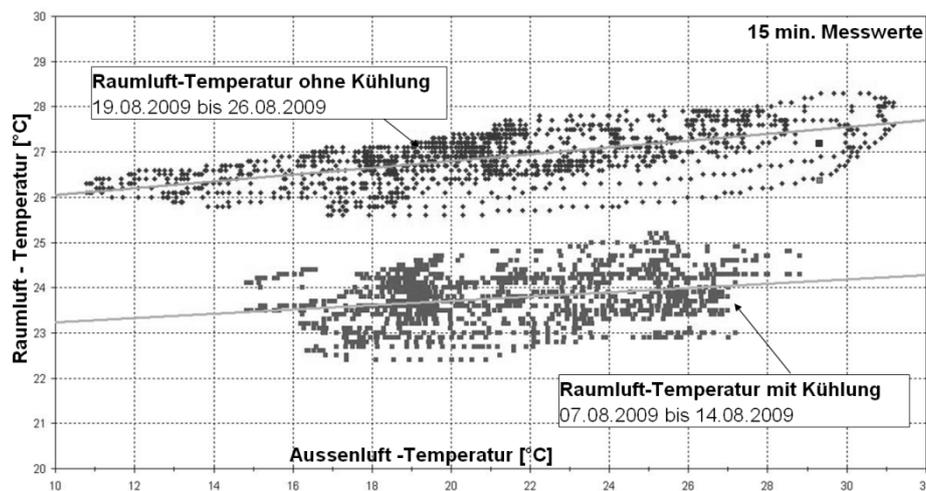
**Abbildung 9:** Messergebnis erzeugte Wärme (links) und elektrischer Energieaufwand (rechts) für die Sommerperiode 2009

	Sommer 2009 01.05.09 - 30.09.09	Winter 2009/10 01.10.09 - 31.03.10
WNG Heizen		3.8
WNG Warmwassererzeugung	3.5	2.8
SNG Kühlen	7.1	

**Tabelle 4:** Nutzungsgrade der Messperioden Sommer 2009 und Winter 2009/10 für das Feldmessobjekt Muolen

Tabelle 4 weist die Nutzungsgrade für die Betriebsarten Heizen, Warmwasserbereitung und Kühlen für die Sommerperiode 2009 und die Teilperiode Winter 2009/10 auf. Im Heizbetrieb wird mit einem Wärmeerzeugernutzungsgrad (WNG) von 3.8 ein gut durchschnittlicher Wert erreicht. Im Warmwasserbetrieb zeigt sich ein deutlich höherer Wärmeerzeugernutzungsgrad von 3.5 im Sommer gegenüber 2.8 im Winter. Der Systemnutzungsgrad (SNG) der passiven Kühlung zeigt mit 7.1 einen vergleichbaren Wert wie in anderen Feldmessungen.

In Abbildung 10 sind zwei achttägige Perioden mit bzw. ohne Kühlung gegenübergestellt wobei die mittlere Aussenluft-Temperatur in beiden Perioden mit knapp über 21 °C nahezu identisch ist. Nachdem die passive Kühlung aufgrund der Ferienabwesenheit nicht aktiviert war, wurde das Gebäude ab dem 27.08.2009 wieder mit dem passiven Kühlsystem gekühlt. Die Kühlung war an den ersten beiden Tagen bis auf 2 h durchgehend in Betrieb und konnte 116.3 kWh Wärme aus dem Gebäude abführen. Als Vergleich dazu wurden an den beiden Tagen vor der Ferienabwesenheit nur 73.3 kWh bei ähnlichen Aussentemperaturen wie an den beiden Tagen direkt nach der Periode ohne Kühlung abgeführt. Die Raumtemperatur-Differenz zwischen beiden Perioden liegt bei rund 3 K.



**Abbildung 10:** Raumtemperatur an zwei achttägigen Perioden über der Aussentemperatur mit und ohne Kühlung. Die mittlere Aussentemperatur ist bei beiden Perioden nahezu identisch mit knapp über 21 °C.

## Verdankungen

Der IEA HPP Annex 32 ist ein Gemeinschaftsprojekt. Die Autoren bedanken sich bei den Projektpartnern des Annex 32 für die Beiträge und die gute Zusammenarbeit, beim BFE für die finanzielle Unterstützung und die Projektbegleitung des Annex 32 sowie für die Unterstützung durch die Viessmann (Schweiz) AG, Geschäftsbereich SATAG Thermotechnik.

Der Annex 32 wird im Juni 2010 abgeschlossen, die Schlussberichte sind ab Herbst 2010 verfügbar. Aktuelle Informationen sind unter [www.annex32.net](http://www.annex32.net) verfügbar.

## Quellen

- [1] SN EN 15251:2007; „Eingangsparameter für das Raumklima zur Auslegung und Bewertung der Energieeffizienz von Gebäuden – Raumluftqualität, Temperatur, Licht und Akustik“; Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein SIA; Zürich; 2007
- [2] A. M. Miara, J. Wewiór, T. Kramer; System assessment and field monitoring, Länderbericht Deutschland Task 3 IEA HPP Annex 32, Freiburg (Brsg), 2008, DE
- [3] Ch. Russ; Monitoring Wärmepumpe im Gebäudebestand, Präsentation 3. Internationales Anwenderforum Sanierung im Gebäudebestand, Staffelstein, 26.- 27. März 2009, DE
- [4] A. Genkinger, R. Dott, Th. Afjei, A. Witmer; Sanfte Kühlung mit Erdwärmesonden im MINERGIE-P® Wohngebäude Cosy Place, Schlussbericht BFE Projekt, Muttenz, Februar 2010, CH.
- [5] A. Zottl, H. Huber, Ch. Köfinger; Field test of integrated heat pump systems, Länderbericht Österreich Task 3 IEA HPP Annex 32, Sept. 2009, AT
- [6] K. Nagano; Field test results, Länderbericht Japan Task 3 IEA HPP Annex 32, Sapporo, März 2009, JP

Stephan Peterhans  
dipl. Ing. HLK, FH/NDS U  
Fachvereinigung Wärmepumpen Schweiz FWS  
Steinerstrasse 37  
CH-3006 Bern  
stephan.peterhans@fws.ch  
www.fws.ch

## Aktivitäten der FWS nach 2010

### *Zusammenfassung*

*Die Fachvereinigung Wärmepumpen Schweiz FWS, ist ein Verband einerseits für die Interessensvertretung der Unternehmen am Markt und andererseits ein Instrument des Bundes, um seine Energiepolitik umzusetzen. Der Beitrag ist wie folgt gegliedert:*

- *Rückblick*
- *Aktuelle Situation*
- *Herausragende Leistungen der FWS*
- *Aktivitäten der FWS nach 2010*
- *Fazit*

### *Abstract*

*The Swiss Heat Pump Association FWS, is an organization on the one hand for the representation of interests for the enterprises at the market and on the other hand an instrument of the confederation to put its energy policy to practice. The contribution is arranged as follows:*

- *Retrospective view*
- *Current situation*
- *Outstanding achievements*
- *Activities after 2010*
- *Conclusion*

## Rückblick

Damit man in die Zukunft schauen kann, ist es auch beim vorliegenden Thema sinnvoll, wenn man die Vergangenheit kennt. Bei der Geschichte der Wärmepumpentechnologie begegnen wir einigen Meilensteinen, so zum Beispiel der Erfindung des Carnot-Prozesses im Jahr 1830 und den ersten Anwendungen in der Schweiz, zum Beispiel der Anlage im Rathaus Zürich.

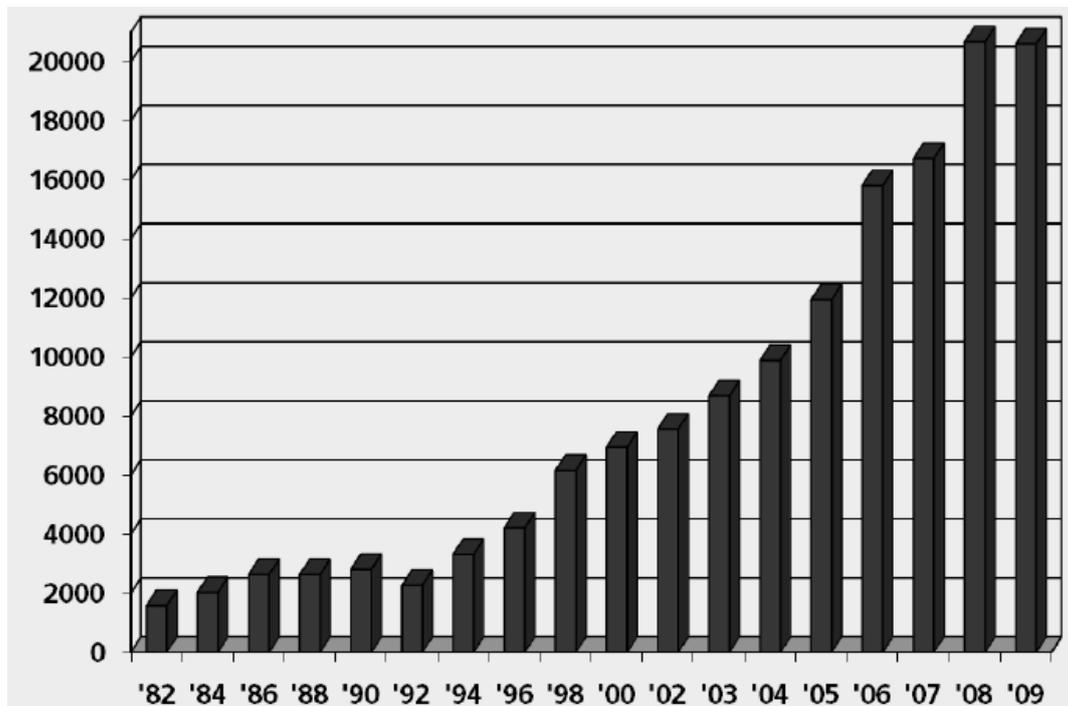


**Bild 1:** Geschichte der Wärmepumpe von Professor Martin Zogg, ISBN 978-3-033-02154-9.

Diese Meilensteine zur Technologie und viel mehr sind im Buch von Professor Martin Zogg herausragend beschrieben. Dieses Buch gehört in jede Bibliothek eines Technikers und Ingenieurs. Das Buch kann auch bei der FWS bezogen werden.

Anfänglich waren es einige Pioniere, die Wärmepumpen entwickelt, gebaut und betrieben haben. Während der Ölkrise in den siebziger Jahren entstand auch in Europa ein Wärmepumpenmarkt. Verschiedene Firmen sahen das grosse Geld und sprangen mit mehr oder weniger Akribie auf den Zug auf. Mitte der 80ziger Jahre bremste mindere Qualität den Aufschwung. Das Image der Wärmepumpe war angeschlagen und führte in Deutschland dazu, dass der Wärmepumpenmarkt total zusammenbrach. Grosse Unternehmen wie Buderus,

Viessmann und Vaillant nahmen die Wärmepumpen komplett aus dem Sortiment. Der Schweizer Wärmepumpenmarkt dümpelte bei ca. 2'000 Stück dahin. Allerdings leisteten Schweizer Firmen hervorragende Arbeit und glaubten an die Wärmepumpentechnik als Gebäudeheizung. Sie erlangten Europa weit den Ruf als kompetente Spezialisten.



**Bild 2:** Diagramm verkaufte Wärmepumpen Schweiz pro Jahr (Gründung FWS 1993).

1993 wurde die Fördergemeinschaft Wärmepumpen Schweiz gegründet. Die Gründung wurde vom Bundesamt für Energie mit dem Programm Energie 2000 und der Wärmepumpenindustrie Schweiz getragen. Details können im Buch von Professor Martin Zogg nachgeschlagen werden. Ein entscheidendes Element des erfolgreichen Marktaufbaus war die Einsetzung des Wärmepumpentestzentrums, damals in Töss und heute in Buchs, im Rheintal. Im Wärmepumpentestzentrum wurden damals, wie heute Einsatzfelder ausgemessen, COP-Werte berechnet sowie Schallmessungen durchgeführt. Die Messresultate zusammen mit weiteren Kriterien waren und sind es heute noch, die Entscheidungsbasis für die Erteilung des Gütesiegels für Baugruppen von Wärmepumpen (Gütesiegelreglement siehe [www.fws.ch/Gütesiegel](http://www.fws.ch/Gütesiegel)). Zurzeit erfüllen 152 Baugruppen von Wärmepumpen (3 bis 4 Leistungsgrößen pro Baugruppe) die Kriterien für das Gütesiegel.

Im gleichen Sinn wurde auch ein Gütesiegel für Bohrunternehmen entwickelt. Im Gegensatz zum Gütesiegel für Wärmepumpen, das Geräte auszeichnet, zeichnet das Gütesiegel für Bohrunternehmen die Erdsonden-Bohrunternehmen aus. Die Bohrunternehmen müssen folgende Kriterien erfüllen:

- Kenntnis des örtlichen Gewässerschutzgesetzes
- Kenntnis der Vorschriften für die Bohrschlammentsorgung
- Verschiedene Bohrverfahren in Abhängigkeit des Untergrundes
- Reaktion auf Wasservorkommen
- Reaktion auf Gasvorkommen
- Hinterfüllen des Bohrloches
- Gütesiegelreglement siehe [www.fws.ch/Gütesiegel](http://www.fws.ch/Gütesiegel)

Diese Gütesiegel fanden im Markt grosse Akzeptanz und dienten den Investoren als Einkaufshilfe bezüglich Sicherheit, Verlässlichkeit, Effizienz, Langlebigkeit, Planungs- und Betriebsanleitungen, Ersatzteilbevorratung und Kundendienst. Heute sind sich die Marktteilnehmer einig, dass es der Qualitätsphilosophie zu verdanken ist, dass der Wärmepumpenmarkt in der Schweiz nie komplett zusammen gebrochen ist.

## **Aktuelle Situation**

Vergleicht man die pro Jahr verkauften Wärmeerzeuger Öl, Gas, Holz und Wärmepumpen, so sieht man, dass die Wärmepumpen die Position des Marktleaders erreicht haben. Es werden pro Jahr mehr Wärmepumpen verkauft, als irgendein anderes System. Wärmepumpen werden heute für Einfamilienhäuser, Mehrfamilienhäuser, Verwaltungsbauten, Hotels und Infrastrukturbauten nachgefragt. Bis 2008 wurden in der Schweiz 143'543 Wärmepumpen installiert. Sie nutzen 2241 GWh erneuerbare Umweltenergie. Die Wärmepumpen werden mit 1078 GWh Strom angetrieben (Quelle: Bundesamt für Statistik). Dieser Verbrauch entspricht 1,63 % des schweizerischen Stromverbrauches pro Jahr. Sind die Wärmepumpen während 2'500 Stunden unter Vollast in Betrieb, benötigen sie eine Anschlussleistung von 431 MW. Diese Leistung wird zum Beispiel mit den zwei Wasserkraftwerken Grimsel 2 mit 348 MW und Castasegna 100 MW erbracht. Dies entspricht 3,59 % der total in der Schweiz installierten Kraftwerksleistung (gemessen am 19.12.2007).

Der Schweizer Heizungsmarkt wird heute von 52 Wärmepumpenlieferanten (152 Gütesiegel für Wärmepumpen) und 46 Bohrfirmen (126 Bohrgeräte) bedient. Diese Firmen sind Mitglieder der FWS. Die FWS rechnet damit, dass die Mitgliedsunternehmen ca. 95 % des Marktes repräsentieren.

Die FWS zählt per Generalversammlung vom 14. April 2010 427 Mitglieder, Hersteller, Lieferanten, Bohrfirmen, Installateure, Planer, Kantone, EWs, Verbände und Gönner.

Welche Leistungen erbringt die FWS? Es sei erlaubt die wichtigsten Leistungen als Liste darzustellen:

- neutrale Endkunden und Mitglieder Information und Beratung in 3 Landessprachen

- Referate zur Wärmepumpentechnik und Anwendung für Investoren und Endverbraucher
- Medienbeiträge über Wärmepumpen, Erdwärmesonden, Qualitätssicherung und das Normenwesen
  - Endverbraucher Medien
  - Fachzeitschriften
  - Radio und Fernsehen
- Aus- und Weiterbildung für Fachleute zu den Themen
  - Sanierung von fossilen Heizungen
  - Grundlagen der Wärmepumpentechnik
  - Anwendung der Wärmepumpentechnik
  - Erfahrungen des Wärmepumpendoktors
- Qualitätssicherungssystem für
  - Wärmepumpen (zurzeit 152 Gütesiegel)
  - Erdwärmesonden durch Zertifizierung von Bohrunternehmen (zurzeit 45 Gütesiegel)
  - Wärmepumpendoktor
  - Zertifizierung von Fachleuten für den Sanierungsbereich
- Mitarbeit in den schweizerischen und europäischen Normengremien
- Zusammenarbeit mit den Bundesbehörden
- Zusammenarbeit mit kantonalen Behörden
- Zusammenarbeit mit Fachhochschulen, Techniker- und Berufsschulen
- Kontaktpflege zu Stromlieferanten
- Kontaktpflege zu Branchenverbänden im In- und Ausland
- Kontaktpflege zu eidgenössischen Parlamentariern

## Herausragende Leistungen der FWS

Wie jede Unternehmung hat auch der Branchenverband herausragende Leistungen. In Unternehmen nennt man diese Leistungen auch Produkte. Über die Qualität und die Eigenschaften der Produkte unterscheiden sich die Unternehmen. Die Unterschiede bestimmen den Markterfolg. Mit der Unternehmensstrategie und der Unternehmenspositionierung lässt sich die Umsatzgrösse beeinflussen.

Welches sind auf Grund der Marktnachfrage die herausragenden Leistungen der FWS? In der Folge werden nur Leistungen beschrieben, welche durch Endverbraucher oder Fachleute zusätzlich bezahlt werden oder welche Umsatz auslösen.

Zu nennen sind sicher die Gütesiegel. Die Gütesiegel für Wärmepumpen garantieren die Qualität und Effizienz der Produkte. Weil die Energieeffizienz auch ein wichtiger Bestandteil der schweizerischen Energieversorgung ist, verlangen viele Förderprogramme, dass nur Produkte mit Gütesiegel eingesetzt werden. Das schillernde Beispiel ist das Konjunkturförderprogramm des Bundes im Jahr 2009. Mit 10 Millionen Franken unterstützte der Bund den Umbau von Elektroheizungen in Wärmepumpenheizungen. Ein weiteres gutes Beispiel ist das Förderprogramm der CKW. Die CKW unterstützen in Zusammenarbeit mit dem Umweltamt des Kantons Luzern und der Luzerner Kantonalbank die Sanierung von

fossilen Heizungen in Wärmepumpenheizungen mit Erdwärmesonden mit 5 Millionen Franken. Sie verlangen das Gütesiegel für Wärmepumpen und sie verlangen, dass Bohrfirmen bohren, die ebenfalls das Gütesiegel haben. So gehört auch das Gütesiegel für Bohrunternehmen zu den herausragenden Leistungen.

Immer wieder werden Fragen zur Systemeffizienz und Systemtauglichkeit gestellt. Für die Beantwortung dieser Fragen leistet der Wärmepumpendoktor hervorragende Leistung. Seine Erstberatung am Telefon ist kostenfrei. Die folgenden Arbeiten werden aber durch die Nachfrager bezahlt.

Nicht mehr wegzudenken sind die Erfolge mit den Seminaren zur Aus- und Weiterbildung. Im vergangenen Jahr konnten 519 Manntage Ausbildung zum Thema Sanierung von fossilen Heizungen durchgeführt werden. Daraus resultierten auch 60 Prüfungen und 52 Zertifikate. Das Thema Sanierung behandelt insbesondere:

- Beurteilung der aktuellen Anlage und des Gebäudes
- Offerte und Planung des Umbaus
- Koordination der verschiedenen Handwerker
- Koordination der Finanzen und Garantieabgrenzungen
- Sicherstellung der Generalunternehmertätigkeit

## **Aktivitäten der FWS nach 2010**

Einen ersten Schritt in die Zukunft hat die Generalversammlung vom 14. Mai 2010 gemacht. Sie hat entschieden, dass die Fördergemeinschaft Wärmepumpen Schweiz künftig Fachvereinigung Wärmepumpen Schweiz heisst. Dieser Namenswechsel hat damit zu tun, dass viele Stellen, auch bei den Behörden, der Auffassung sind, dass die Wärmepumpen die Marktleader sind und dass man aus diesem Grund keine weitere Förderung machen muss. Förderung wird in der Schweiz oft mit Subventionen in Zusammenhang gebracht und Subventionen hat die FWS noch nie vergeben. Die FWS hat die Mittel alle in die indirekten Massnahmen hineingesteckt und über die Hebelwirkung den grossen Erfolg am Markt erzielt. Dank dieser umsichtigen Namensänderung ist die Basis gelegt, dass viel sachlicher über Zusammenarbeitsformen und Projekte diskutiert werden kann.

Zurzeit sind wichtige Gespräche über die Zukunftsaktivitäten im Gang. Die Gespräche werden mit den Behörden und den Mitgliedern geführt. An der Konzeptkonferenz des Bundesamtes für Energie / Energie Schweiz vom 9. März 2010 haben wir gesehen, dass EnergieSchweiz, in Zukunft nicht mehr Globalbeiträge an Verbände bezahlen will. EnergieSchweiz ist an Projekten interessiert, die für die Energieversorgung, die Umweltentlastung und für die Effizienzsteigerung relevant sind. Zu den anvisierten Projekten gehören auch Ausbildungskonzepte, die die Fachleute befähigen Umwelt entlastende Technologie einzusetzen.

Auf Grund der Neuausrichtung der Zusammenarbeit mit dem Bund ist die FWS daran, ihre Aktivitäten zu analysieren und die Mitgliederwünsche zu erfahren.

Vorbehältlich der Entscheide an den nächsten beiden Vorstandssitzungen und den Entscheiden der ausserordentlichen Generalversammlung vom 22. Oktober 2010, zeichnen sich folgenden Aktivitäten:

- Qualitätssicherung – 1. Priorität
  - Gütesiegel Wärmepumpen
  - Gütesiegel Bohrunternehmen
  - Zertifikat Fachleute
  - Wärmepumpendoktorarbeit
  - Systemanalysen
  - Expertisen
- Aus- und Weiterbildung – 1. Priorität
  - Sanierung von fossilen und Elektroheizungen
- Politik und Rahmenbedingungen – 1. Priorität
- Effizienzsteigerung – 2. Priorität
- Neutrale Information und Beratung – 2. Priorität
- Normen – 3. Priorität
- Internationales – 3. Priorität

Mit den dargestellten Aktivitäten kann die FWS die Zielerreichung des Bundes zum Teil unterstützen. Wie das Bild mit Bundesrat Leuenberger, Vorsteher des UVEK zeigt, will der Bund die energiepolitischen Ziele mit 400'000 Wärmepumpen bis zum Jahr 2020 erreichen.

## Energie Schweiz

---

### Zu Gunsten der Umwelt

Bundesrat  
Moritz Leuenberger,  
Vorsteher des  
Eidg. Departements  
für Umwelt, Verkehr,  
Energie und  
Kommunikation



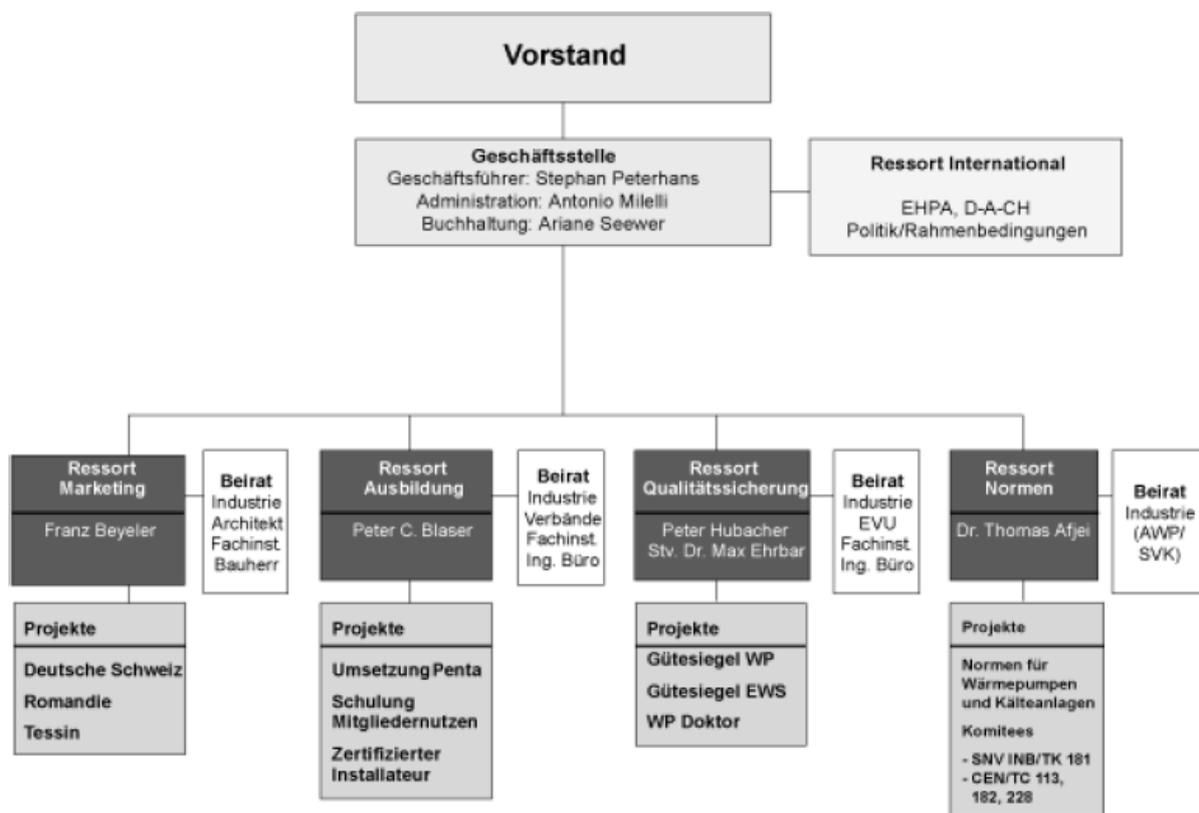
Für das Heizen unserer Gebäude und die Produktion des Brauchwassers verbrauchen wir rund 45% des Gesamtenergieverbrauchs. Mit dem Sanieren von Gebäuden, dem Einsatz von erneuerbaren Energien und energieeffizienten Geräten können wir den Energieverbrauch im Gebäudebereich enorm reduzieren. Der Einsatz von Wärmepumpen ist ein wichtiger Eckpfeiler für die Umsetzung der CO<sub>2</sub>-Reduktionsmassnahmen im Gebäudebereich.

**Bild 3:** Bis 2020 wollen 400'000 Wärmepumpen im Gebäudebestand haben.

Da die Zuständigkeit für den Gebäudebereich in den Kantonen liegt, wird die Zusammenarbeit mit den Kantonen weiter an Bedeutung gewinnen. Dies akzentuiert sich durch die Teilzweckbindung der CO<sub>2</sub>-Abgabe.

Zusätzlich zur Zusammenarbeit mit dem Bundesamt für Energie wird die FWS die Zusammenarbeit mit dem Bundesamt für Umwelt BAFU vertiefen. Auf der einen Seite verfügt das Bundesamt für Umwelt über die Mittel aus der CO<sub>2</sub>-Teilzweckbindung und auf der anderen Seite ist das BAFU für die Oberaufsicht des Vollzuges im Rahmen des Gewässerschutzes zuständig. Der Gewässerschutz hat einen Zusammenhang mit den Bewilligungen und dem Vollzug bei Erdwärmesonden.

Damit mehr Dynamik und Flexibilität der Organisation FWS möglich wird, gilt es auch über die Organisationsform nachzudenken. Bis 2010 hat sich die untenstehende



**Bild 4:** Organigramm FWS 2010.

Organisationsform bewährt. Der Delegierten- und Generalversammlung ist der Vorstand mit dem Präsidenten Ständerat Peter Bieri Rechenschaft schuldig. Dem Vorstand untersteht die Geschäftsstelle mit den fachtechnisch arbeitenden Ressorts. Aus der aktuellen Mitgliederbefragung (Versand 5. Mai 2010) geht hervor, dass die Hersteller/Lieferanten von Wärmepumpen und die Bohrunternehmen bei bestimmten Fragestellungen eigenständig beraten und arbeiten wollen. Es zeigt sich auch, dass Industriepartner gerne bestimmte

Projekte unterstützen. Sie wollen aber, dass die Mittel zweckgebunden eingesetzt werden. Ähnliches zeichnet sich in der Zusammenarbeit mit dem Bund ab.

Damit es möglich ist für umfangreichere Projekte Finanzbeiträge zweckgebunden einzusetzen, ist eine Art Profitcenter-Organisation erforderlich. Die Profitcenter haben finanzielle Mittel zur Verfügung und können ihren Massnahmenplan selbst festlegen. Sie rechnen Ende des Jahres ab und sind selbst dafür verantwortlich, dass die Vorgaben des Vorstandes und der Generalversammlung eingehalten werden.

Die bewährten Ressorts, die Facharbeit leisten, haben nach wie vor ihre Berechtigung. Grundlagenarbeit muss weiter gemacht werden. Es ist wichtig, dass die FWS über ein hohes Mass an Know how verfügt. Es geht auch darum, dass neue Projekte entwickelt werden und dass die Unabhängigkeit für bestimmte Aufgaben, wie zum Beispiel die Qualitätssicherung, gewahrt bleibt. Die Organisation könnte ab 2011 wie folgt aussehen:

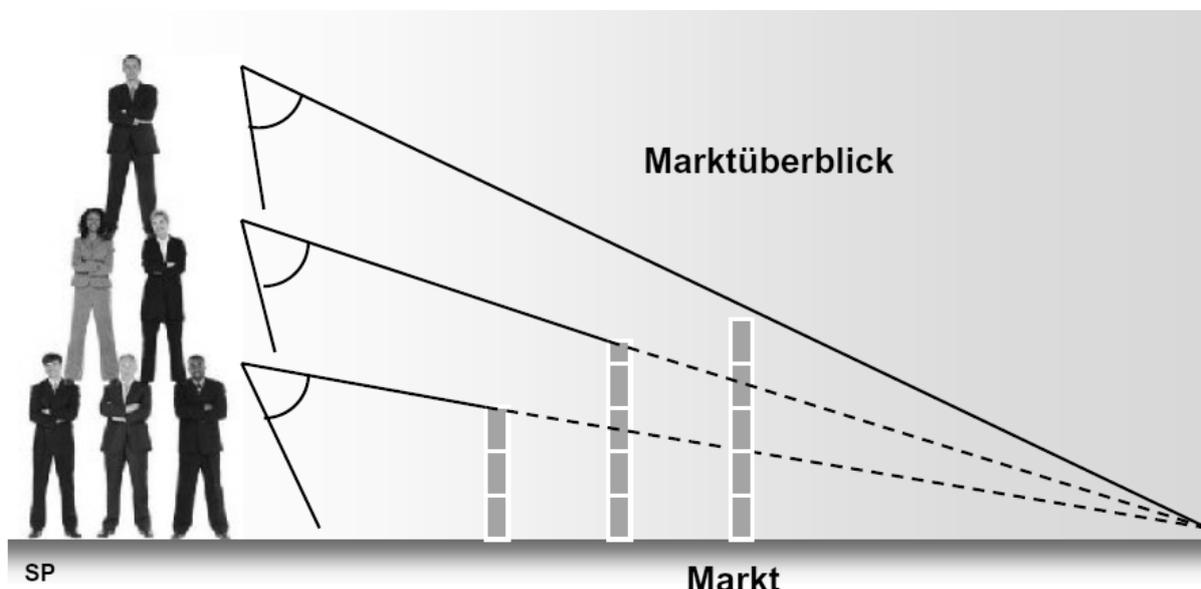


*Bild 5: Diskussionsvorschlag FWS 2011.*

Ein sehr grosses Pensum Arbeit steht noch bevor. Sollten die Aktivitäten, Projekte, Kooperationen wie angedacht umgesetzt werden, hat das auch zur Folge, dass die Statuten, das Geschäftsreglement, die Gütesiegelreglemente und die Projekt-ablaufreglemente angepasst, geändert oder neu aufgesetzt werden müssen.

Zentral bei allen Fragen sind zwei Interessentengruppen, zum einen der Bund und die Behörden und zum anderen die Mitglieder. Der Vorstand und die Auftragnehmer der FWS wollen nichts anderes als den beiden Gruppen dienen. Da es gemeinsame Interessen gibt, sollte auch ein gemeinsamer Nenner gefunden werden. Die Zielerreichung des Bundes löst im Markt Aufträge aus und an diesen Aufträgen sind die Mitglieder interessiert. Daher besteht die Aufgabe eher darin die Gespräche zu moderieren, als einzelne Interessen zu vertreten.

Welches Interesse hat der Bund an der Zusammenarbeit mit der FWS? Aus den laufenden Gesprächen geht hervor, dass der Bund die langjährige Erfahrung und das aufgebaute Know how der FWS im Wärmepumpenbereich ausserordentlich schätzt. Der Bund ist auch daran interessiert, dass die Partner zu einem bedeutenden Teil den Markt abbilden. In diesem Sinne schliesst sich der Kreis. Die Mitglieder können entnehmen, dass es wichtig ist wie die Interessen vertreten werden.



**Bild 6:** Sinnbild für die Möglichkeiten der Interessensvertretung mit einem Verband.

Wenn die Marktplayer die Chancen des Marktes und die Chancen eines koordinierten Auftritts sehen, ist es nur noch eine Frage der Grösse und somit der Bedeutung des Verbandes. Mit Grösse ist nicht unbedingt die Anzahl der Mitglieder gemeint. Es geht viel mehr um die Anzahl der Mitglieder, die das gleiche Ziel verfolgen und aktiv mitarbeiten. Es geht auch um die Vernetzung im Markt. Der Bund schätzt es, wenn die Partner die Koordination mit den verschiedenen Marktteilnehmern selbst machen und gute Verbindungen

vorhanden sind und unterhalten werden. Bei der FWS sind die Kontakte unglaublich gut ausgebaut. Es bestehen Verbindungen neben der Industrie, den Bildungsstätten den Behörden auch zu anderen Verbänden, zum Beispiel des Ingenieurwesens, der Architektur, der Installation und den Stromlieferanten.

Was macht das Bewusstsein der Industrie? Bis Ende 2010 hat der Bund bedeutende Mittel für den Aufbau des Wärmepumpenmarktes investiert. Viele Massnahmen und Aktivitäten konnten umgesetzt werden. Die Leistungen hat man gerne in Anspruch genommen und sich nicht lange gefragt, wer diese Leistungen finanziert. Das musste man auch nicht, da sich der Bund seit der Gründung der FWS im Jahr 1993 mit Rat und Tat engagierte. Die verbleibenden Wochen und Monate des Jahres 2010 werden zeigen, wohin die Reise geht und ob die Industrie den Nutzen einer starken Interessensvertretung zu werten versteht.

## Fazit

Die FWS hat zusammen mit dem Bund und der Industrie den Markt für Wärmepumpen und Erdwärmesonden erfolgreich aufbauen können. Der Endverbraucher ist von der Richtigkeit Wärmepumpen einzusetzen überzeugt. Wärmepumpen sind die Zukunftstechnologie im Wärmeerzeugermarkt.

Die FWS wird sich am Markt, beim Bund und bei den Kantonen für Projektaufträge zu Gunsten des Wärmepumpenmarktes bewerben.



*Bild 7: Eine Seilschaft ist eine Interessensgemeinschaft.*

Wenn die Industrie, das heisst die heutigen und die zukünftigen FWS-Mitglieder zusammenstehen, kann viel bewegt und eine interessante Zukunft aufgebaut werden. Die Instrumente sind vorhanden, sie müssen nur noch genutzt werden

Fabrice Rognon, Ing. dipl. EPFZ en mécanique  
Stéphanie Perret, Ing. dipl. ENSIC en génie chimique et MSC Chalmers  
Planair SA, Ingénieurs conseils SIA  
Crêt 108a  
CH-2314 La Sagne  
[fabrice.rognon@planair.ch](mailto:fabrice.rognon@planair.ch)  
[stephanie.perret@planair.ch](mailto:stephanie.perret@planair.ch)  
[www.planair.ch](http://www.planair.ch)

Carole Schelker, Ing. dipl. EPFL SIA en environnement  
Laurent Denervaud, Hydrogéologue, université de Besancon  
Impact-Concept SA  
Route du Grand-Mont 33, Case postale 53  
CH-1052 Le Mont-sur-Lausann  
[carole.schelker@impact-concept.ch](mailto:carole.schelker@impact-concept.ch)  
[laurent.denervaud@impact-concept.ch](mailto:laurent.denervaud@impact-concept.ch)  
[www.impact-concept.ch](http://www.impact-concept.ch)

## Meilleure valorisation de la géothermie par des sondes géothermiques profondes

### *Zusammenfassung*

*Für Gebäude mit Wärmeleistungsbedarf über 100kW werden heute vorwiegend klassische Erdwärmesonden in Feldern eingesetzt. Die Bohrtiefe beträgt typischerweise 100 bis 200 Meter. Mit zunehmender Leistung nimmt die Anzahl Sonden zu, was folgende Probleme verursacht: der Platzbedarf, gegeben durch den minimalen Sondenabstand, steigt und die Anschlusskosten (zwischen den Sonden und der WP) nehmen auch zu. Zugleich wird die Bauzeit verlängert.*

*Das Projekt verfolgt das Ziel, die optimalen Bohrtechniken für tiefe Erdwärmesonden von 300 bis 800 Meter zu definieren und sie mit bestehenden Technologien zu vergleichen. Wärme aus dieser Tiefe reduziert die Anzahl Bohrungen und erhöht die Effizienz des Gesamtsystems. (Quellentemperatur über 20°C, kein Frostschutzmittel). Die Erschliessung dieser Bohrtiefen erhöht das Einsatzpotenzial der Geothermie für die Erzeugung von Raumwärme und das Prinzip „ein Gebäude, eine Bohrung“ reduziert die negativen Effekte auf die Umwelt durch die Nutzung von Erdwärme.*

## **Résumé**

*Pour les bâtiments d'une puissance thermique à partir de 100 kW, la source actuelle de chaleur est généralement un champ de sondes géothermiques verticales classiques de 100 à 200 mètres de profondeur. Or le nombre de sondes augmente avec la puissance et pose plusieurs problèmes : le besoin de place pour respecter les distances minimales requises et les coûts de raccordements des sondes entre elles et avec la pompe à chaleur (fouilles, tubes, isolation, collecteurs) et les délais de réalisation.*

*Ce projet vise à définir les développements des techniques disponibles pour les applications de la géothermie profonde avec des sondes géothermiques verticales de 300 à 800 mètres pour le chauffage de bâtiments. Les ressources profondes devraient permettre de diminuer fortement le nombre de forages tout en augmentant les performances (températures de 20 à 30°C, pas d'antigel). Ainsi, le potentiel d'utilisation de la géothermie pour le chauffage s'en trouvera notablement accru. Et le principe « un bâtiment, un forage » réduit fortement les risques potentiels sur l'environnement liés à l'utilisation de chaleur du sous-sol.*

## **Introduction**

Le but principal est d'augmenter le potentiel d'application de la géothermie au chauffage des bâtiments, surtout dans la rénovation de bâtiments existants. En effet, 90% des pompes à chaleur géothermiques installées ont une puissance inférieure à 20kW. La part de marché des pompes à chaleur géothermiques de plus de 20KW est de quelques pourcents seulement. Ceci s'explique principalement par la difficulté de disposer d'une source de chaleur pour la pompe à chaleur. Les champs de sondes sont chers et gourmands en espace, la nappe phréatique n'est pas toujours présente ni exploitable, de même pour les lacs et les rivières. Il n'y a pas non plus toujours de rejets de chaleur à proximité. Enfin l'air, disponible en tout temps partout, ne convient pas aux grandes puissances, surtout à cause du bruit et de la taille des appareils.

Enfin, la réduction du nombre de forages réduit les risques et atteintes potentielles à l'environnement. Malgré toutes les précautions et les mesures de qualité mises en œuvre actuellement, chaque forage constitue néanmoins une atteinte à notre environnement. Le risque de problèmes, même minime, n'est jamais nul. Donc la réduction du nombre de forages par installation constitue dans tous les cas un progrès.

Autrement formulé, ce projet vise à d'atteindre pour ces bâtiments le même degré de standardisation que pour les villas individuelles, selon le principe « 1 bâtiment – 1 forage ».

Le projet se trouve actuellement en phase de démarrage. Les résultats sont attendus pour la fin 2010.

## Méthodologie du projet

L'étude se concentre sur les deux sources de chaleur suivantes : sondes géothermiques verticales profondes et aquifères profonds. Ils sont comparés aux deux systèmes de références actuellement mis en œuvre sur le marché à savoir les sondes géothermiques verticales peu profondes et les nappes phréatiques. Pour chaque système, il s'agit d'établir :

- Potentiel énergétique d'application sur le marché,
- Procédures cantonales actuelles et adaptations éventuelles,
- Caractérisation hydrogéologique et thermique du captage d'énergie dans le sous-sol,
- Potentiel de développement des technologies actuelles pour atteindre les profondeurs visées en restant compétitif sur le plan économique,
- Caractérisation thermique du système complet captage d'énergie – échange ou élévation de température par pompe à chaleur – distribution de chaleur,
- Caractérisation économique du système complet captage de chaleur – échange ou élévation de température par pompe à chaleur – distribution de chaleur,
- Comparaison technique et économique des deux systèmes profonds avec les systèmes à faible profondeur,
- Elaboration de fiches techniques d'aide à la décision pour les ingénieurs et les maîtres d'ouvrage pour la mise en œuvre des systèmes de pompes à chaleur atteignant des coefficients de performance annuels autour de 4.0 en rénovation et proche de 6.0 dans le neuf, en étroite collaboration avec les associations professionnelles concernées.

Les premiers résultats sont présentés, concernant les techniques de forages et le potentiel de réduction de coûts entre un champ de nombreuses sondes peu profondes et une installation avec quelques sondes géothermiques profondes.

## Techniques de forage disponibles

Une des premières étapes du projet est d'examiner les techniques de forages disponibles pour forer de 500 à 800 mètres et de comparer les coûts selon les techniques. Il s'agit de définir les possibilités actuelles en termes de forages profonds.

A l'heure actuelle, les méthodes utilisées pour l'implantation de sondes géothermiques verticales réalisées jusqu'à une profondeur de 100 à 200 m, voire ponctuellement jusqu'à 300 à 400 m sont le marteau fond de trou et le rotary.

Ces méthodes sont applicables pour des forages jusqu'à 800 m, sous réserve de certaines conditions.

### **Analyse comparative des méthodes**

Les avantages et inconvénients des méthodes de forages utilisées, ou utilisables, pour l'exploitation des ressources géothermales à des profondeurs atteignant 800 m tiennent pour une part importante aux matériels utilisés et aux conditions géologiques rencontrées. Les machines sont assez similaires pour les techniques marteau fond de trou et rotary.

#### Marteau fond de trou

Dans le forage au marteau fond de trou, la pénétration de l'outil dans la roche (meuble ou indurée) est assurée par un mouvement de rotation associé à une frappe sur le taillant. Sur la plupart des machines, le sens de rotation de l'outil est à l'inverse de celui du tubage, ce qui réduit les risques de blocage des cuttings.

L'installation se compose globalement d'une foreuse, d'un compresseur et d'une benne pour la récupération des cuttings et de l'eau de forage. Cette dernière est soit injectée à faible débit avec l'air provenant du compresseur, pour remonter les cuttings, soit provient du sous-sol lorsque celui-ci est aquifère et saturé (ou qu'il existe des venues d'eau suffisantes). Les volumes sont généralement assez faibles.

L'emprise d'une installation de chantier est donc assez réduite et permet des interventions dans pratiquement toutes les situations habituellement rencontrées : villas neuves ou en rénovation, zone rurale ou ville, etc.

Les entreprises utilisent généralement des compresseurs qui peuvent délivrer une pression d'environ 25 bars, mais qui peut atteindre 30 à 35 bars pour les machines les plus performantes.

La vitesse moyenne d'avancement est aux environs de 20 m/h.

#### Rotary

Pour la méthode au rotary, la pénétration de l'outil s'effectue par abrasion et broyage du terrain, sans chocs, uniquement par rotation. Le maintien de l'ouverture du trou de forage est assuré par l'injection d'une boue de densité adaptée. Cette méthode implique donc l'utilisation d'une pompe à boue et d'un dessableur.

Les inconvénients liés aux boues de forage sont d'une part les volumes mis en jeu (qui peuvent être conséquent pour des forages profonds), leur évacuation, mais également la modification de la perméabilité de l'encaissant si l'objectif visé est l'exploitation des eaux souterraines.

Dans le cas de terrains aquifères, la boue va en effet masquer en partie les informations hydrogéologiques (venues d'eau notamment), mais également plus ou moins colmater les interstices et/ou fissures des roches rencontrées, gênant la circulation ultérieure de ces eaux souterraines. Dans le cas de roches fortement fissurées, les pertes de boues peuvent être considérables et rendre cette technique inopérante.

La vitesse d'avancement est de l'ordre de 6 à 8 m/h, ce qui est trois fois inférieur à la méthode du marteau fond de trou.

### **Implications d'un passage à des profondeurs de 300 à 800 m**

Augmenter la profondeur des forages est accessible aux techniques utilisées actuellement, mais demande une adaptation des matériels disponibles et des surcoûts assez conséquents.

#### Machine de forage

Pour les machines de forage utilisées actuellement et atteignant des profondeurs de l'ordre de 400 à 500 m, le coût global est évalué à environ 700'000 CHF.

Passer à des profondeurs plus importantes implique pratiquement de doubler le prix des machines, qui atteint alors environ 1'300'000 CHF.

En effet, approfondir un forage induit une augmentation des longueurs de tiges et de tubage, ce qui aboutit à des masses très élevées nécessitant une puissance de relevage plus conséquente que celle permise par la plupart des machines actuelles (environ 20 t).

Il est également important de préciser ici que le poids des tiges et des tubages utilisés pour le forage va varier en fonction de leur diamètre, et que ce dernier augmente en fonction de la profondeur visée.

En effet, cette augmentation du diamètre du forage découle du passage à des diamètres de sonde plus importants (32 mm jusqu'à 160 m, 40 mm jusqu'à 400 m et 50 mm au-delà), ce qui nécessite un espace plus conséquent pour leur implantation dans le forage (diamètre de forage 127 mm pour les sondes 32 et 40 mm, diamètre 153 mm pour les sondes de 50 mm).

Pour un diamètre 178 mm, la masse des tiges se situe à environ 35 kg/m, soit un total de 17'500 kg à 500 m et 28'000 kg à 800 m. A ces valeurs, s'ajoutent la masse des tubages, soit 11'500 kg à 500 m et 18'400 kg à 800 m.

#### Coût du forage

Le coût de réalisation d'un forage pour des sondes géothermiques, en utilisant la méthode au marteau fond de trou, est actuellement aux environs de 80 CHF/m pour une profondeur

maximale de 160 m. Ce montant passe ensuite à environ 85 CHF/m jusqu'à 400 m, puis à 120 CHF/m pour une profondeur maximale d'environ 800 m.

Ces valeurs, qui comprennent le forage, son équipement et la cimentation des sondes, correspondent probablement à des seuils minimaux.

Des montants plus conséquents ont été articulés pour certains projets, qui dépassaient 600 CHF/m pour des forages de 500 m.

Qui plus est, ces montants ne tiennent généralement pas compte des surcoûts pouvant être impliqués par la nécessité de tuber le trou de forage sur des longueurs importantes. Sur un de ses chantiers, une entreprise de forage a dû tuber au-delà de 200 m de profondeur du fait du recoupement d'une zone fortement fracturée, alors que le rocher avait été touché à une dizaine de mètres.

Le tubage peut également être nécessité pour des conditions hydrogéologiques particulières, qui impliquent des mesures de protection des ressources en eaux souterraines.

### Tige - Tubage

Dans les investissements supplémentaires à consentir, il faudra également tenir compte de l'acquisition des tubages et tiges de forage permettant d'atteindre les profondeurs visées.

Si la longueur de tige est implicitement définie par la profondeur du forage à réaliser, celle des tubages découle de la géologie des terrains, voire des prescriptions possibles liées par exemple à la protection des eaux souterraines.

Actuellement, un forage de l'ordre de 200 m de profondeur implique un équipement de forage (tiges et tubages) estimé à environ 70'000 CHF. Le passage à 500 m de profondeur conduit à un coût global d'environ 250'000 CHF, puis à environ 400'000 CHF pour 800 m de profondeur.

### Fluide de forage

Nous avons vu que les compresseur utilisés pour l'injection d'air dans la méthode au marteau fond de trou ont une puissance limitée entre 30 et 35 bars.

Or, cette limite pourrait gêner la réalisation de forages au-delà de 300 à 400 m de profondeur, en fonction de la colonne d'eau présente dans le forage. Si la charge représentée par la colonne d'eau ne peut être compensée, les cuttings ne montent plus et le forage devient impossible.

Pour la méthode au rotary, la colonne de boue est également gênante dans le cas de l'implantation de sondes, car sa densité ne permet pas une mise en place gravitaire. Les

sondes doivent être poussées mécaniquement dans le forage, à l'aide d'un train de tige spécial.

### Injection - Cimentation

Les sondes sont rendues solidaires de la roche encaissante par l'injection du trou de forage d'un mélange le plus souvent composé de ciment et de bentonite (argile). Cette injection est réalisée de bas en haut.

Plus la profondeur du forage augmente, plus la pression d'injection du produit destiné à cimenter la sonde dans le trou de forage sera élevée, et au-delà d'une certaine valeur, la pression d'injection risque de détériorer les sondes par écrasement. Il est donc nécessaire de contrôler la pression dans les sondes durant la phase de cimentation du trou de forage, voire de procéder à une cimentation par palier.

L'installation des tubes d'injection supplémentaires et les manipulations induites impliqueront également un surcoût pour le forage profond.

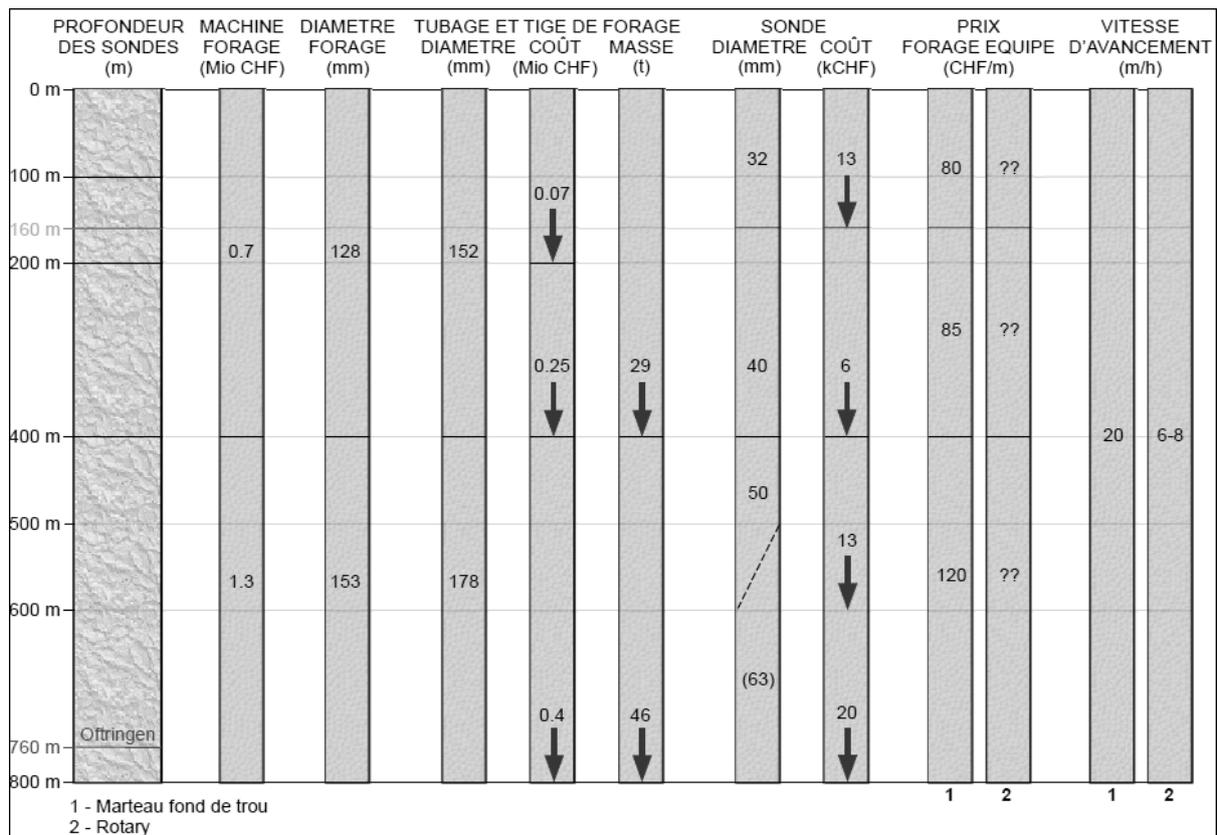
### Sondes

Compte tenu de l'augmentation de la longueur des sondes et de leur diamètre, les prix vont notablement augmenter, de même que les frais de transport (encombrement des bobines, masse, etc.).

Des valeurs indicatives sont données dans le tableau ci-dessous pour des sondes comprenant deux circuits en U.

Longueur du forage (m)	Diamètre de la sonde (mm)	Prix unitaire (CHF/m)
200	32	10
500	50	15
700	63	23
900	75	32

**Tableau 1:** Récapitulatif des coûts de forage en fonction de la profondeur

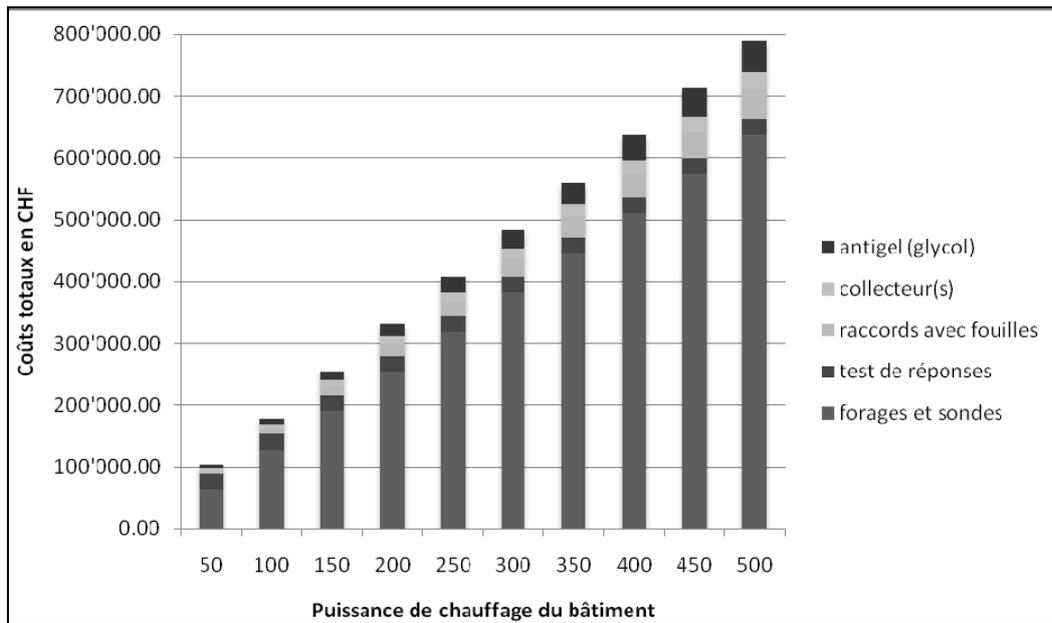


**Figure 1:** Récapitulatif des techniques de forages et leurs caractéristiques selon la profondeur

## Potentiel de réduction des coûts d'installation

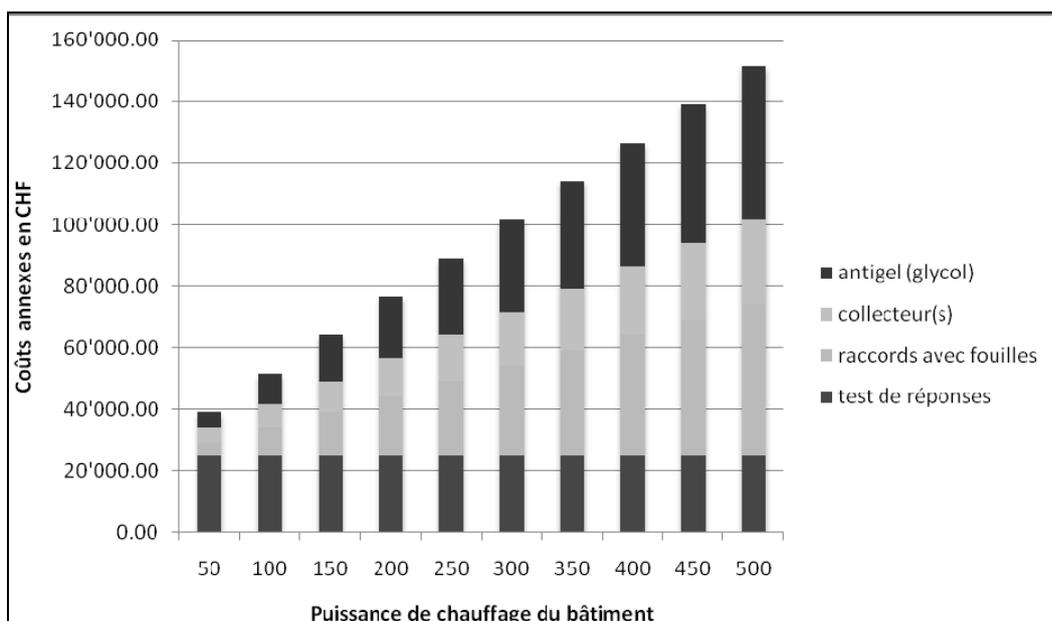
Parallèlement deux systèmes de référence ont été établis, qui serviront de base à l'évaluation et à la comparaison avec la géothermie profonde : les champs de sondes peu profondes (maximum 200 mètres) et l'utilisation de nappe phréatique. Les coûts de différents champs de sondes sont calculés par un modèle développé pour l'occasion. Il intègre les coûts des différents travaux annexes à l'installation d'un champ de sondes.

Pour une puissance de chauffage de 50 à 500 kW, les coûts d'un champ de sondes peu profondes varient comme illustré sur le graphique ci-dessous.



**Figure 2:** Evolution des coûts totaux d'installation d'un champ de sondes géothermiques de 150m en fonction de la puissance de chauffage demandée (hypothèse 50W/m disponibles)

Il apparaît que les coûts annexes (glycol, raccords, collecteurs, etc) atteignent et dépassent CHF 100'000.- à partir d'une puissance de chauffage de 300 kW. Le détail de l'évolution des coûts annexes est visible sur la figure 2.

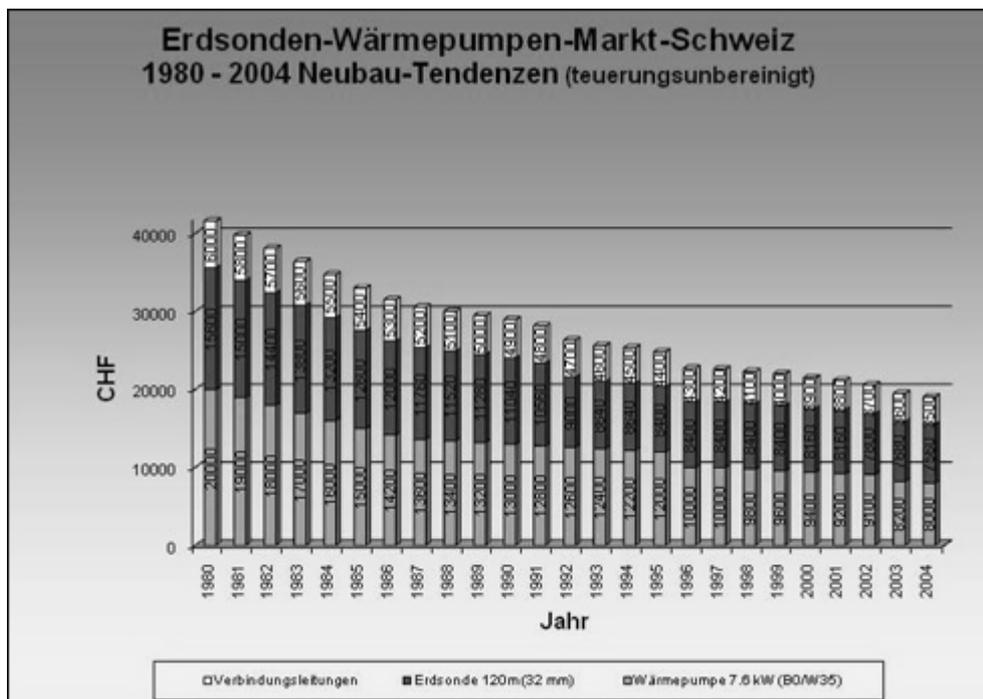


**Figure 3:** Evolution des coûts annexes pour l'installation d'un champ de sondes géothermiques de 150m en fonction de la puissance de chauffage demandée (hypothèse 50W/m disponibles)

Avec un système de sondes géothermiques verticales profondes, le nombre de sondes nécessaires diminuent (environ 50 kW chaud par sonde de 800m de profondeur, contre 5 sondes de 150m pour la même puissance). Les coûts de raccordements entre sondes et de collecteurs sont alors fortement réduits. De plus, la température du sol entre 500 et 800m est supérieur à 20°C, l'utilisation de glycol n'est donc plus nécessaire, ce qui amène une économie supplémentaire.

La place nécessaire pour l'installation d'un champ de sondes est un élément à considérer. Par exemple pour 300kW (chaud) il faut 25 sondes à 150m soit 240 mètres linéaires pour des sondes en ligne ou 2500 m<sup>2</sup> pour un champ de sondes en quinconce (distance minimale de 10m entre sondes). Avec des sondes de 800m, 5 sondes profondes seraient nécessaires soit 40 mètres linéaires pour des sondes en ligne ou 200 m<sup>2</sup> pour un champ de sondes en quinconce (distance minimale de 10m entre sondes). Les besoins en espace peuvent être réduits d'un facteur 6 à 10. Cet aspect peut jouer un rôle crucial pour des bâtiments existants et/ou dans des zones à haute densité d'habitation.

Par contre, les techniques de forages utilisées pour forer à jusqu'à 800m sont actuellement plus coûteuses que pour les forages peu profonds. Par transposition des courbes d'apprentissage établies pour les champs de sondes peu profondes (voir figure 2), ce projet vise à déterminer les coûts d'installation de sondes profondes après cette période d'apprentissage. Ceci permettra de juger de la rentabilité du système 1 bâtiment-1 forage pour des puissances de chauffage supérieures à 100 kW lorsque la technologie sera mature.



**Figure 4:** Courbe d'apprentissage pour les champs de sondes peu profondes), source Suisse Energie et FWS

Respectivement le projet donnera la valeur-cible à atteindre pour que la technique à ces profondeurs soit concurrentielle.

Dans un premier temps, nous établirons les caractéristiques hydro-géologiques du sous-sol à ces profondeurs. Ensuite nous serons en mesure de simuler le comportement du système de chauffage complet et le comparer avec un champ de sondes de faible profondeur.

Enfin, les avantages financiers de l'amélioration des performances seront confrontés au coûts et surcoûts des forages profonds, respectivement à la cible à atteindre pour prétendre pénétrer le marché.

## Références

- [1] Figure 4: groupement promotionnel suisse des pompes à chaleur (GSP), Berne, [www.fws.ch](http://www.fws.ch)
- [2] L'utilisation de la chaleur terrestre, Aperçu, technologies, visions, OFEN, Berne, 2006, réf. 805016f
- [3] Evaluation du potentiel géothermique du canton de Neuchâtel, PGN, CREGE, 2008

Beat Wellig, Prof., Dr. sc. techn. ETH, Dr. Andrea Grüniger, dipl. Ing. ETH  
Hochschule Luzern – Technik & Architektur  
CC Thermische Energiesysteme & Verfahrenstechnik  
Technikumstrasse 21  
6048 Horw  
beat.wellig@hslu.ch  
www.hslu.ch

## Potential von CO<sub>2</sub>-Erdwärmesonden

### *Zusammenfassung*

*Dieses Projekt befasst sich mit der Untersuchung der Fluidodynamik und Wärmeübertragung in einer CO<sub>2</sub>-Erdwärmesonde, welche nach dem Prinzip eines Thermosiphons funktioniert. Es wurde ein Simulationsmodell in Matlab erstellt, welches die physikalischen Vorgänge in der Sonde mit der Wärmeleitung im umgebenden Erdreich koppelt. Es zeigt sich, dass das Thermosiphon-Prinzip, unabhängig von der entzogenen Wärmeleistung, durch den selbsttätigen Umlauf zu einer Energieumlagerung von unten nach oben führt. Dadurch gleicht sich die Erdreichtemperatur in der Nähe der Sonde rasch aus, was zu einem gleichmässigen Wärmeentzug über die Höhe führt. Dieses Verhalten ist auch vorteilhaft für die Regeneration des Erdreichs, wenn die Wärmepumpe ausgeschaltet ist. Die Jahresarbeitszahl einer Wärmepumpe mit CO<sub>2</sub>-EWS kann im Vergleich zu Sole-Sonden um 15–25% verbessert werden. Der Hauptvorteil liegt in der wesentlich besseren Wärmeübertragung im Verdampfer der Wärmepumpe (Kondensation CO<sub>2</sub> / Verdampfung Kältemittel) im Vergleich zu Sole-Sonden ohne Phasenwechsel. Zudem wird keine Umwälzpumpe benötigt.*

### *Abstract*

*In this project the fluid dynamics and thermodynamics inside a CO<sub>2</sub> geothermal heat probe have been investigated. The functionality of such a probe, which works like a thermosyphon, was analyzed by means of a simulation model in Matlab. The model couples the behaviour inside the heat probe with the heat conduction in the earth. A parameter study revealed that the self-circulation character of such a probe leads to flattening of the vertical earth temperature profile near the probe and, hence, leads to more uniform heat removal along the probe. The circulation of CO<sub>2</sub> even goes on when the heat pump is off. This might be advantageous for the regeneration phase. It is estimated that the seasonal performance factor of heat pumps can be improved by 15–25% with a CO<sub>2</sub> geothermal heat probe. The main advantage is that the heat transfer to the evaporator of the heat pump (condensation of CO<sub>2</sub> / evaporation of refrigerant) is much more efficient than in a conventional brine probe without phase change. Furthermore, no circulation pump is needed.*

## Einleitung

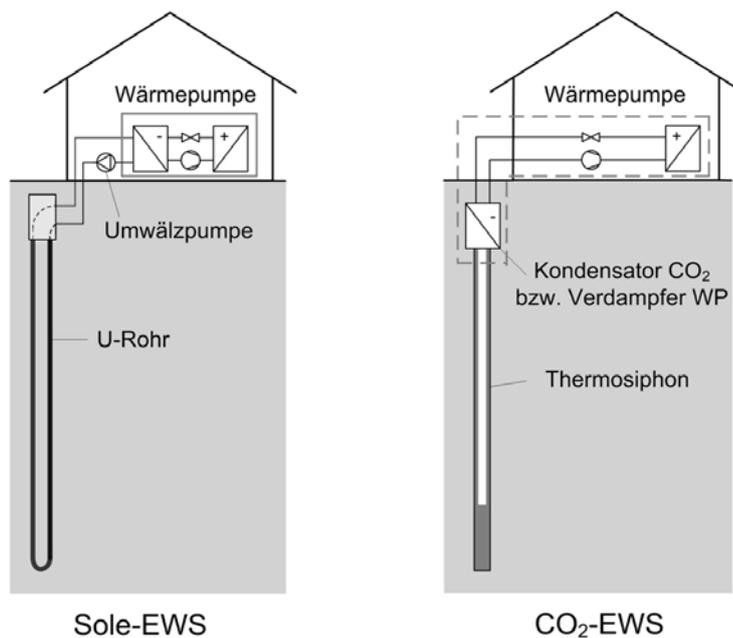
### Ausgangslage

Die Nutzung von Erdwärme zu Heizungszwecken gewinnt stetig an Bedeutung. Gemäss einer Statistik der Fördergemeinschaft Wärmepumpen Schweiz ([www.fws.ch](http://www.fws.ch)) erreichten Wärmepumpen im Jahr 2008 bei neu erstellten Einfamilienhäusern einen Marktanteil von 78%. Insgesamt wurden über 20'000 Wärmepumpen verkauft. Der Anteil der Sole/Wasser-Wärmepumpen, welche das Erdreich als Wärmequelle nutzen, liegt im Bereich von 40%.

Im BFE-Forschungsprojekt „Pumpenlose Erdwärmesonde, Phase 1: Potenzialabklärung“ [1] wurde aufgezeigt, dass die Jahresarbeitszahl von Wärmepumpen um etwa 15% verbessert werden kann, wenn anstelle klassischer Wasser/Glykol-Erdwärmesonden solche mit Kohlendioxid (CO<sub>2</sub>) als Arbeitsmedium verwendet werden. Obwohl bereits eine Vielzahl von Anlagen in Betrieb ist, fehlt es nach wie vor an einem fundierten Verständnis der fluid- und thermodynamischen Vorgänge in der Sonde und der Wechselwirkungen mit dem umgebenden Erdreich. Dies erschwert die klare Interpretation von auftretenden Phänomenen, Problemen und Limitationen, welche für eine optimale Auslegung notwendig wäre.

### Ziele und Vorgehen

Das Hauptziel dieses zweiten BFE-Forschungsprojektes [2,3] war es, die offenen Fragen bezüglich Strömung und Wärmetransport zu untersuchen und Berechnungs- und Auslegungsgrundlagen für CO<sub>2</sub>-Erdwärmesonden (CO<sub>2</sub>-EWS) zu schaffen. Es wurde ein Simulationsmodell erstellt, welches die physikalischen Vorgänge in solchen CO<sub>2</sub>-EWS beschreibt sowie die Wechselwirkung mit dem Erdreich berücksichtigt. Mit dem Simulationsmodell kann das Effizienzsteigerungspotenzial im Vergleich zu herkömmlichen Wasser/Glykol-EWS quantifiziert werden. Damit wurden die Entscheidungsgrundlagen für das weitere Vorgehen geschaffen.



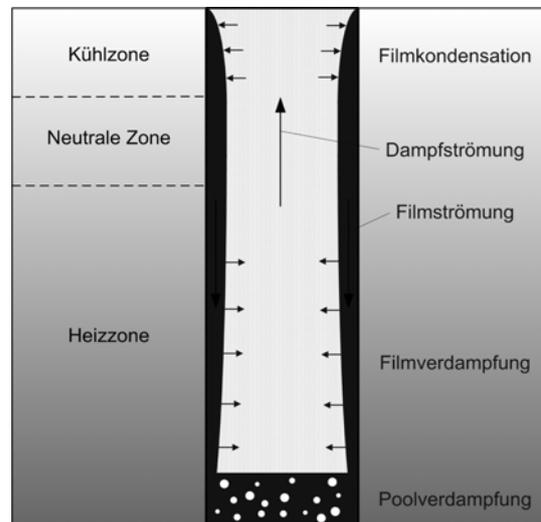
**Bild 1:** Schematischer Vergleich einer Sole-EWS und CO<sub>2</sub>-EWS.

## Prinzip von CO<sub>2</sub>-Erdwärmesonden

Bei konventionellen Erdwärmesonden handelt es sich um senkrecht verlegte U-Rohr-Sonden aus Kunststoff, bei denen die Erdwärme durch Umwälzen einer Wasser/Glykol-Lösung (Sole) genutzt wird. Die Sole erwärmt sich durch Aufnahme der Erdwärme und gibt diese Wärmeenergie im Verdampfer der Wärmepumpe an das Kältemittel ab (Bild 1). Sole/Wasser-Wärmepumpen weisen typischerweise eine Jahresarbeitszahl von 3,5 bis 4 auf. Die Jahresarbeitszahl bezeichnet das Verhältnis von abgegebener Wärmeenergie zu aufgewendeter elektrischer Energie über ein Jahr betrachtet.

Im Gegensatz zu einer Sole-Sonde kommt eine CO<sub>2</sub>-EWS ohne Umwälzpumpe aus und wird daher auch „pumpenlose Erdwärmesonde“ genannt (Bild 1). Die Zirkulation des Arbeitsfluids CO<sub>2</sub> erfolgt nach dem Prinzip des *Gravitationswärmerohrs* oder *Thermosiphons* (Bild 2). Die Sonde besteht aus einem geschlossenen Rohr, welches mit einem Druck von 30 bis 50 bar beaufschlagt ist, so dass das CO<sub>2</sub> zweiphasig vorliegt. Das flüssige CO<sub>2</sub> rinnt aufgrund der Schwerkraft als Film an der Rohrwand nach unten. In der Zone, wo die Wandtemperatur höher ist als die Temperatur im Rohrrinnern, kommt es zur Verdampfung des Flüssigkeitsfilms. Der Dampf steigt auf und kondensiert im oberen kälteren Bereich wieder. Es findet somit ein selbsttätiger Wärmetransport von unten nach oben statt. Der im Rohr herrschende Druck stellt sich aufgrund der Temperaturverhältnisse und des Wärmeentzugs selbst ein. Je nach Füllmenge und Druck bildet sich am Rohrende ein Flüssigkeitspool, welcher als Puffer zum Ausgleich der Druckschwankungen dient. Bei einer CO<sub>2</sub>-EWS ist die im Schema dargestellte „Kühlzone“ die Kopplung zur Wärmepumpe. Sie ist direkt am Sondenkopf platziert und ist als Wärmeübertrager ausgestaltet, der gleichzeitig als

Kondensator für das CO<sub>2</sub> in der Erdwärmesonde und als Verdampfer für das Kältemittel der Wärmepumpe dient.



**Bild 2:** Funktionsweise eines Gravitationswärmerohrs.

Ein wichtiger Vorteil der CO<sub>2</sub>-EWS im Vergleich zu einer konventionellen Sole-Sonde ist der Wegfall der Umwälzpumpe, da das Arbeitsfluid selbständig zirkuliert. Zudem ist der Wärmeübergangswiderstand bei der Filmverdampfung bzw. Kondensation wesentlich kleiner als bei einer Rohrströmung ohne Phasenwechsel. Das bedeutet, dass zur Erreichung der gleichen Wärmestromdichte eine wesentlich kleinere Temperaturdifferenz zum Erdreich und zum Verdampfer der Wärmepumpe erforderlich ist. Damit wird der Temperaturhub der Wärmepumpe verkleinert und die Effizienz verbessert. Nachteilig ist jedoch, dass die Wärmepumpe aufgeteilt werden muss, d.h. der Verdampfer am Kopf der Erdwärmesonde und der Rest der Anlage sind räumlich getrennt (sogenannte „Split-Wärmepumpe“). Das Prinzip des Gravitationswärmerohrs kann nicht umgekehrt werden. Das bedeutet, dass eine CO<sub>2</sub>-EWS nicht zu Kühlzwecken eingesetzt werden kann. Der Einsatzbereich wird daher vor allem im Einfamilienhausbereich gesehen.

Theoretisch ist denkbar, eine solche Sonde auch mit einem anderen Arbeitsfluid, z.B. Ammoniak oder Propan, zu betreiben. Das Druckniveau wäre deutlich niedriger. Aus ökologischen Gründen und Gründen der Sicherheit im Fall einer Leckage ist dies jedoch kein Thema.

## Marktsituation

Die Entwicklung der CO<sub>2</sub>-EWS geht hauptsächlich auf Karl Mittermayr, Gründer der Firma M-Tec Mittermayr in Arnreit (A), zurück. Er brachte die CO<sub>2</sub>-EWS zur Marktreife und verkaufte im Zeitraum von 1999 bis 2008 gemäss eigenen Angaben ca. 500 Anlagen, wobei ein Drittel davon allein auf 2008 fällt. Nicht eingeschlossen in diesen Zahlen sind weitere Anlagen des Lizenznehmers und Partners Heliotherm, welcher die Wärmepumpen zu den M-Tec Mittermayr Anlagen liefert und selber ebenfalls CO<sub>2</sub>-EWS verkauft. M-Tec Mittermayr verwendet als Sondenmaterial Polyethylen-ummantelte Kupferrohre. Pro Bohrloch werden vier Rohre (Durchmesser 14x1 mm) versenkt. Standardtiefe ist 75 m, wobei jeweils zwei bis drei schräg auseinander laufende Bohrungen gemacht werden. Die Rohre werden jeweils oben zusammengefasst und münden in denselben Wärmeübertrager.

Die erste und bis vor kurzem einzige CO<sub>2</sub>-Erdwärmesonde in der Schweiz stammt von M-Tec Mittermayr und wurde 2004 zur Beheizung eines Gewerbehäuses in Bubendorf BL in Betrieb genommen [4]. Sie wurde trotz Standort in einer Grundwasserzone bewilligt. Gemäss Betreiber läuft die Anlage seit der Installation ohne Probleme.

Seit 2007 besitzt die Firma Brugg Rohrsysteme GmbH, Deutsche Tochter der Schweizer Brugg AG Holding, die Lizenz zur Vermarktung und Herstellung einer Spiralwellrohr-Sonde. Unter dem Namen „GECO<sub>2</sub>“ bieten sie zwei verschiedene Edelstahlrohre mit Spiralwellung und den entsprechenden Sondenkopf mit Druckbehälter und Wärmeübertrager an. Der Vorteil des Spiralrohrs besteht hauptsächlich darin, dass es diffusionsdicht und trotz grossem Durchmesser flexibel ist und ab Haspel in die Bohrung eingebracht werden kann. Es wurden bisher gut ein Dutzend CO<sub>2</sub>-EWS mit einem solchen Spiralwellrohr in Betrieb genommen, zwei davon im Jahr 2009 in der Schweiz. Sie bestehen aus nur einem Bohrloch mit je einem Rohr mit 39 oder 48 mm Innendurchmesser.

## Simulationsmodell und Resultate

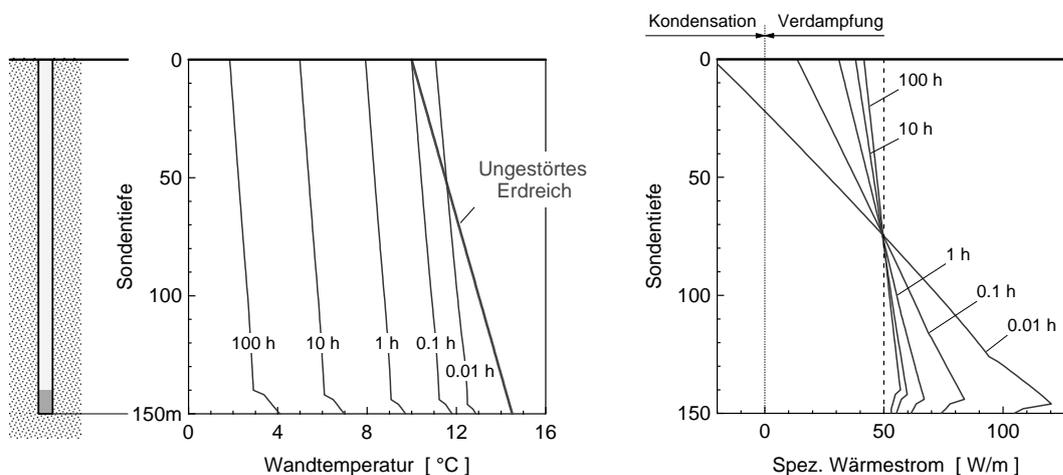
Um die offenen Fragen zur Fluid- und Thermodynamik in CO<sub>2</sub>-EWS und zur Wechselwirkung mit dem Erdreich zu untersuchen, wurde ein Simulationsprogramm erstellt. Das Modell besteht aus zwei Hauptblöcken: Das Erdmodell beschreibt die instationäre Wärmeleitung im Erdreich. Dieses berechnet die Wandtemperaturverteilung, welche als Input für das (quasi-) stationäre EWS-Modell dient. Dieses Modell liefert wiederum die tiefenabhängige spezifische Wärmestromdichte, welche dem Erdreich entzogen wird. Detaillierte Angaben zum Modell sind in [2] zu finden.

### a) Blockbelastung

Mit dem Modell wurden verschiedene Zustände in einer CO<sub>2</sub>-EWS simuliert (Parameterstudie). Als Referenzpunkt wurden Bedingungen gewählt, welche sich an den Bedarf eines Einfamilienhauses anlehnen.

Es zeigt sich, dass die Temperaturdifferenzen an der Wand in vertikaler Richtung schnell ausgeglichen werden, indem an den wärmeren Stellen CO<sub>2</sub> verdampft und an den kälteren Stellen kondensiert. Dies führt zu einer ausgeglichenen Temperaturverteilung in vertikaler Richtung und einem gleichmässigen Wärmeentzug über die Sondenlänge.

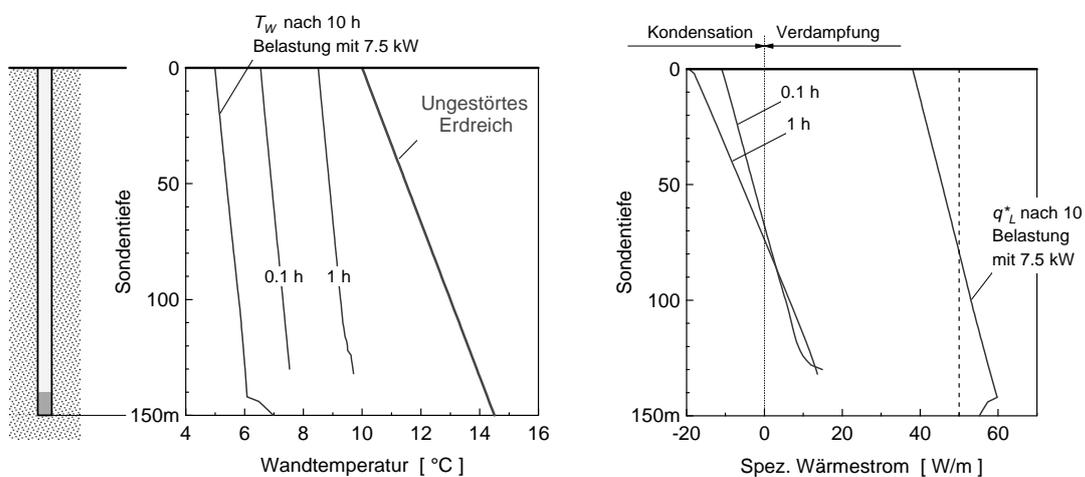
In Bild 3 (links) ist die Abflachung des Wandtemperaturprofils zu erkennen. Die Wandtemperatur schmiegt sich schnell dem Verlauf der Siedetemperatur an, welche aufgrund des Druckanstiegs durch die Dampfsäule ansteigt. Nach wenigen Minuten ändert sich der Temperaturanstieg über die Tiefe kaum mehr, sondern das Niveau sinkt mit zunehmender Zeit kontinuierlich nach unten. Das rechte Diagramm in Bild 3 zeigt die zeitliche Entwicklung der längenspezifischen Entzugsleistung (in W/m). Diese nimmt gegen den Sondenfuss zu, die Kurve flacht jedoch mit der Zeit ab. Es ist also auch hier ein Ausgleichseffekt über die Zeit zu beobachten.



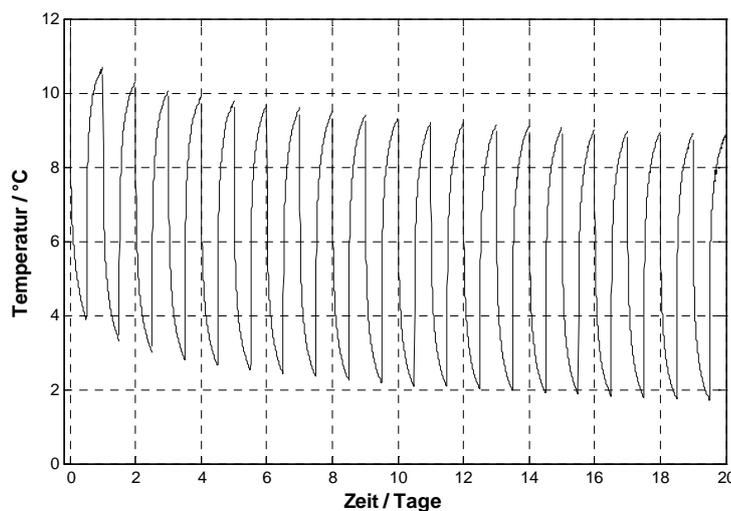
**Bild 3:** Zeitliches Verhalten von Wandtemperatur und längenspezifischer Entzugsleistung bei Referenzbedingungen: Blockbelastung 7.5 kW, Sondenlänge 150 m, Durchmesser 63 mm, eine Einspritzstelle, d.h. konventioneller Thermosiphon (weitere Angaben siehe [2]).

## b) Regeneration

Bei einer Erdwärmesonde ist es wichtig, dass sich nach der Heizphase das ausgekühlte Erdreich genügend regenerieren kann. Bei einer CO<sub>2</sub>-EWS wird der Umlauf des Arbeitsfluids, getrieben durch den Anstieg der Erdtemperatur gegen unten, auch aufrecht erhalten, wenn die Wärmepumpe ausgeschaltet ist. Es findet also in der Regenerationsphase ein aktiver vertikaler Energietransport statt (bei einer Sole-Sonde erfolgt die Regeneration hingegen nur durch Wärmeleitung, wenn die Umwälzpumpe ausgeschaltet ist). In Bild 4 (rechts) ist zu erkennen, dass durch Verdampfung im unteren Teil und Kondensation im oberen Teil der Sonde dauernd ein Flüssigkeitsfilm aufrecht erhalten wird. Das Wandtemperaturprofil (Bild 4, links) verschiebt sich dadurch rasch zu höheren Temperaturen.



**Bild 4:** Zeitliche Entwicklung der Wandtemperatur und des längenspezifischen Wärmestroms bei ausgeschalteter Wärmepumpe nach 10 h Blockbelastung mit 7.5 kW (weitere Angaben siehe [2]).



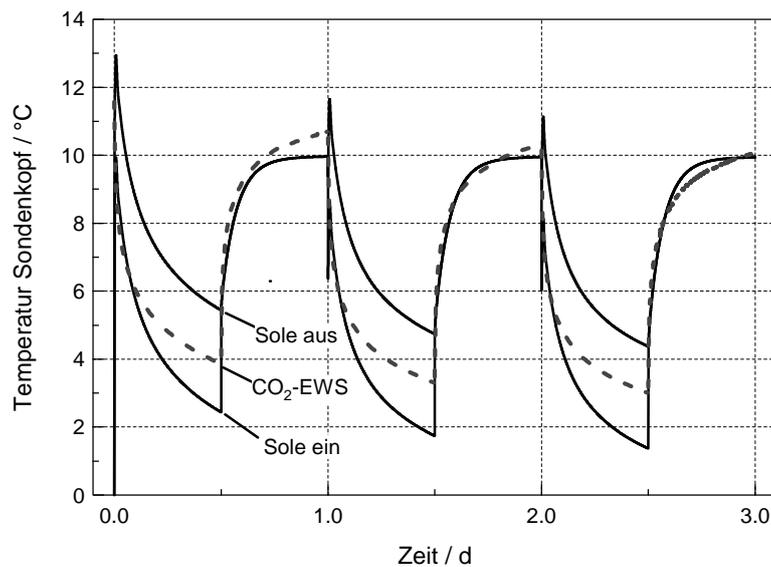
**Bild 5:** Verlauf der Temperatur am Sondenkopf über 20 Tage mit jeweils 12 h Heizdauer (Rohrdurchmesser 45 mm, Entzugsleistung 7.5 kW, Details siehe [2]).

In Bild 5 ist der Verlauf der Temperatur am Sondenkopf über 20 Tage in einem „Extremmonat“ dargestellt (12 h Heizphase, 12 h Regeneration). Es zeigt sich die Spannweite, in der sich die Temperatur in der Sonde zwischen Regenerations- und Belastungsphase bewegt (etwa 7°C, entspricht einer Druckspanne von rund 7 bar). Die Temperatur nach der Belastungsphase sinkt von Tag 1 bis Tag 20 um ungefähr 2°C. Langzeitsimulationen sind sehr rechenaufwändig. Es war daher im Rahmen dieser Studie nicht möglich, eine ganze Heizsaison zu simulieren.

### c) Vergleich mit Wasser-/Glykol-Sonde

Um eine quantitative Aussage über die Effizienz einer CO<sub>2</sub>-EWS im Vergleich zu herkömmlichen Wasser/Glykol-EWS machen zu können, wurden die Daten aus dem Simulationsmodell mit dem Modell einer Sole-Sonde verglichen und zwar unter möglichst denselben Randbedingungen. Eine U-Rohr-Sonde (Duplex-EWS) ist nicht axialsymmetrisch und benötigt daher ein 3-D-Modell. Die Simulationen wurden von der GEOWATT AG durchgeführt, die über grosse Erfahrungen in diesem Gebiet verfügt. Das verwendete FE-Simulationsprogramm FRACTure wurde bereits für eine Vielzahl von numerischen Berechnungen eingesetzt, wobei ein weiter Skalenbereich (<0.1 mm bis > 100 km) abgedeckt wird [5]. Detaillierte Angaben zur betrachteten U-Rohr-Sonde, zu den Randbedingungen und Simulationen sind in [2] zu finden.

Der Vergleich der Resultate ist in Bild 6 dargestellt. Die Temperatur am Sondenkopf der CO<sub>2</sub>-EWS (Kondensationstemperatur CO<sub>2</sub>) liegt zwischen der Ein- und Austrittstemperatur der Duplex-EWS. Im ersten Regenerationszyklus steigt die Temperatur in der CO<sub>2</sub>-EWS auf 10.7°C, also höher als die 10°C Ausgangstemperatur. Dies ist auf den selbsttätigen Umlauf von CO<sub>2</sub> in der Regenerationsphase zurückzuführen. Die Spitzentemperatur nimmt über die Zeit ab. Die Soletemperatur strebt jeweils gegen 10°C. Dass diese Spitzentemperatur bei der Sole-Sonde im Gegensatz zur CO<sub>2</sub>-EWS kaum abnimmt, hat aber mit der unterschiedlichen Randbedingung an der Erdoberfläche bei den beiden Modellen zu tun [2] (das thermische Verhalten über die gesamte Länge der EWS wird durch die Wahl der Randbedingung am oberen Modellrand jedoch nicht wesentlich beeinflusst).



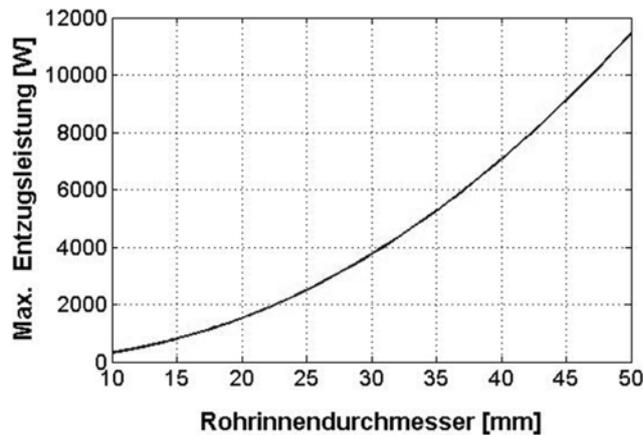
**Bild 6:** Vergleich des Temperaturverlaufs am Sondenkopf zwischen einer CO<sub>2</sub>-EWS (Rohrdurchmesser 45 mm) und einer Duplex-Sonde (Wasser/Glykol, Spreizung 3 K, Volumenstrom 2'200 l/h) über einen Zeitraum von 3 Tagen. Jeweils 12 h Belastung mit 7.5 kW und 12 h Regeneration.

Die Temperaturen am Ende des Belastungszyklus nehmen mit jedem Tag ab. Eine genauere Analyse der Daten zeigt, dass die Temperaturen in der CO<sub>2</sub>-EWS von Tag 1 zu Tag 3 um 0.85°C abnehmen. In der Sole-Sonde sind es im selben Zeitraum 1.07°C. Dies deutet darauf hin, dass die Absenkung der Erdtemperatur bei der CO<sub>2</sub>-EWS aufgrund der besseren Regeneration weniger schnell erfolgt. Aufgrund des dafür benötigten hohen Rechenaufwandes war es im Rahmen dieser Studie nicht möglich, solche vergleichenden Berechnungen über einen längeren Zeitraum oder gar über eine ganze Heizsaison durchzuführen.

#### d) Dimensionierung

Bei der Dimensionierung einer CO<sub>2</sub>-EWS ist zu beachten, dass der Rohrdurchmesser nicht beliebig klein gewählt werden kann. Wenn die Geschwindigkeit der Gasströmung gegen oben zu hoch ist, kann es zu einem Rückstau des Flüssigkeitsfilms kommen. Der kritische Punkt ist der Sondenkopf, da sich dort das verdampfte CO<sub>2</sub> akkumuliert. Die Gasgeschwindigkeit ist durch den Gasmassenstrom und den Rohrdurchmesser bestimmt. Der Gasmassenstrom wiederum ist durch die Verdampferleistung vorgegeben. Der Rohrdurchmesser muss gross genug sein, damit die Gasgeschwindigkeit den kritischen Wert nicht übersteigt (Bild 7). Je grösser der Rohrdurchmesser, desto schlechter lässt sich aber das Material wickeln und dies stellt bei der Verteufung der Sonde ein Problem dar. Entweder muss die Sonde in mehrere kleinere Rohre aufgeteilt werden, um die gewünschte Entzugsleistung erbringen zu können (M-Tec) oder aber die Wickelbarkeit muss mit Materialinnovation verbessert werden (Spiralwellrohr, Brugg Rohrssysteme). Es ist ferner zu beachten, dass das Rohrmaterial und

sämtliche Verbindungsstellen absolut diffusionsdicht sein müssen, um CO<sub>2</sub>-Verluste zu vermeiden.



**Bild 7:** Maximale Entzugsleistung, welche bei vorgegebenem Rohrdurchmesser möglich ist, ohne die Staugrenze zu überschreiten.

#### e) Effizienzsteigerungspotenzial

Gemäss Potenzialabschätzung in der Vorgängerstudie [1] gibt es drei Unterschiede zu Sole-Sonden, welche die Arbeitszahl massgeblich beeinflussen:

1. Wegfall der Umwälzpumpe
2. Zusätzlicher Druckverlust in der Saugleitung zwischen Verdampfer und Kompressor in der Wärmepumpe bei einer CO<sub>2</sub>-EWS.
3. Höhere Verdampfungstemperatur in der Wärmepumpe

Die Abschätzungen zu den ersten beiden Punkten werden aus [1] übernommen. Gemäss FAWA-Studie [6] verbessert sich die Arbeitszahl durch den Wegfall der Umwälzpumpe je nach Optimierungsgrad zwischen 6 bis 13%. Durch die Splittung der Wärmepumpe entsteht ein erhöhter Druckverlust in der Saugleitung zwischen Verdampfer und Kompressor. Dies verringert die Arbeitszahl um rund 0.5%.

Aufgrund der aktuellen Resultate werden die Abschätzungen zum dritten Punkt angepasst. Als Vergleichsbasis werden die simulierten Temperaturen nach der Heizphase am 3. Tag verwendet. Die CO<sub>2</sub>-Temperatur auf der Sondenseite beträgt ca. 3°C, die Soletemperaturen ca. 1.4 bzw. 4.4°C. Bei der Solesonde ergibt sich dabei unter Verwendung des Kältemittels R407C und bei einer Solespreizung von 3 K eine Verdampfungstemperatur von rund -4°C (siehe [1], S. 47).

Messungen an Pilotanlagen zeigen, dass bei einer CO<sub>2</sub>-EWS die Temperaturdifferenz zwischen Sondenkopf und Verdampfer deutlich geringer ausfällt. Bei einer Anlage von vergleichbarer Kapazität wurde zwischen Sondenkopf und Verdampfer eine Temperaturdifferenz von lediglich ca. 2 K gemessen [7]. Im obigen Beispiel kann daher für die CO<sub>2</sub>-EWS eine Verdampfungstemperatur von 1°C angenommen werden, d.h. 5°C höher als bei der Sole-Sonde. Gemäss einer Faustregel bewirkt eine Erhöhung des Temperaturniveaus im Verdampfer um ein Grad Celsius eine Verbesserung der Arbeitszahl um 2 bis 2.5%. Dies bedeutet bei 5°C eine Erhöhung zwischen 10 bis 13%. Zusammengefasst ergibt dies:

Wegfall Umwälzpumpe	6 – 13 %
Druckverlust Saugleitung	- 0.5 %
Höhere Verdampfungstemperatur	10 – 13 %
<b>Total ca.</b>	<b>15 – 25%</b>

Das Verbesserungspotenzial dürfte also im Bereich von 15 bis 25 % liegen. Da sich die Abschätzung der Verdampfungstemperatur auf eine Kurzzeitsimulation stützt (3 Tage), ist darin ein allfälliger positiver Effekt durch bessere Regeneration des Erdreichs bei einer CO<sub>2</sub>-EWS noch nicht berücksichtigt.

Konkrete Zahlen aus der Praxis sind zwar noch rar, bestätigen aber die hohen Erwartungen. Bei der erwähnten CO<sub>2</sub>-Erdwärmesonde in Bubendorf wurde in der ersten Heizsaison eine **Jahresarbeitszahl von 5.0** ermittelt. Eine weitere Anlage von M-Tec Mittermayr zur Beheizung und Warmwasseraufbereitung in einem Einfamilienhaus im deutschen Bensheim ([www.co2-erdsonde-bensheim.de](http://www.co2-erdsonde-bensheim.de) bzw. [8]) erreichte im Zeitraum von September 2006 bis September 2009 eine **Arbeitszahl von 5.25 (Heizung 5.9, Warmwasser 4.0)**. Die Jahresarbeitszahl einer Sole/Wasser-Wärmepumpe liegt typischerweise im Bereich von 4. Verglichen damit liegen die erwähnten CO<sub>2</sub>-EWS um 25% und mehr darüber.

## Schlussfolgerungen und Ausblick

Angesichts dieser vielversprechenden Werte stellt sich die Frage, wieso sich die CO<sub>2</sub>-EWS in der Schweiz bisher noch nicht etablieren konnte. Dazu tragen mehrere Gründe bei. Im Vergleich zu einer Sole-Sonde muss für den Bau eine CO<sub>2</sub>-Sonde mit Mehrkosten von 10 bis 30% gerechnet werden. Dies ist bedingt durch höhere Materialkosten für das Sondenrohr und Mehrkosten für den Schacht und Wärmeübertrager (Sondenkopf). Demgegenüber fällt die Umwälzpumpe weg. Allerdings dürften sich die Kosten deutlich reduzieren, sobald die Zahl der realisierten Anlagen steigt. Zudem ist die Situation in der Schweiz für einen Bauherren unübersichtlich, da er sich mit vielen verschiedenen Ansprechpartnern wie Bohrfirma, Sondenlieferant, Lieferant der Wärmepumpe, Planer etc, auseinandersetzen muss. Es fehlt ein Angebot aus einer Hand mit einer entsprechenden Garantie für die Gesamtanlage.

Im Sinne einer nachhaltigen Entwicklung wäre es wünschenswert, dass sich in der Schweiz zukünftig vermehrt innovative Bauherren für eine CO<sub>2</sub>-Erdwärmesonde entscheiden. Die damit entstehenden Referenzobjekte sind unabdingbar für eine weitere Verbreitung dieser effizienten Technologie zur Erdwärmenutzung.

## Danksagung

Das Projektteam bedankt sich bei BFE für die finanzielle Unterstützung und bei den Projektpartnern HakaGerodur AG (Benken), Geowatt AG (Zürich) und Hubacher Engineering (Engelburg) für die wertvollen Inputs

## Quellen

- [1] A. Peterlunger, M. Ehrbar, S. Bassetti, E. Rohner: Pumpenlose Erdwärmesonde, Phase 1: Potenzialabklärung. BFE-Forschungsprojekt, 2004.
- [2] A. Grüniger, B. Wellig: CO<sub>2</sub>-Erdwärmesonde, Phase 2. BFE-Forschungsprojekt, 2009.
- [3] A. Grüniger, B. Wellig: CO<sub>2</sub>-Erdwärmesonde. Tagungsband der 15. Tagung des Forschungsprogramms Wärmepumpen, Wärme-Kraft-Kopplung, Kälte des Bundesamtes für Energie BFE, Burgdorf, 24. Juni 2009.
- [4] F. Stohler: Wattwerk: Produziert mehr Energie als selber gebraucht wird. Spektrum Gebäude Technik 2004(3), 29-31.
- [5] T. Kohl, R.J. Hopkirk: "FRACTure" – A Simulation Code for Forced Fluid Flow and Transport in Fractured, Porous Rock. Geothermics 24(3) 333-343, 1995.
- [6] Erb, M., P. Hubacher, und M. Ehrbar, Feldanalyse von Wärmepumpenanlagen FAWA 1996-2003. BFE-Forschungsprojekt, 2004.
- [7] Rieberer, R., K. Mittermayr, und H. Halozan. CO<sub>2</sub> Heat Pipe for Heat Pumps. in 5th IIR-Gustav Lorentzen Conference on Natural Working Fluids, Guangzhou, China, 2002.
- [8] S B. Wenzel: Erdwärme-Projekt „CO<sub>2</sub>-Erdsonde-Bensheim“. Geothermische Energie 55, 2007, 19-20.

## Abkürzungsverzeichnis

Die im Bereich Wärmepumpe meist gebrauchten Abkürzungen sind nachfolgend alphabetisch aufgelistet

AZ	Arbeitszahl (COP über eine bestimmte Messdauer)
BFE	Bundesamt für Energie
BWW	Brauchwarmwasser (gleich wie WW)
COP	Coefficient of performance
eff.	effektiv
EFH	Einfamilienhaus
El. oder el.	Elektrisch
FAWA	Feldanalyse von Wärmepumpenanlagen
FWS	Fördergemeinschaft Wärmepumpen Schweiz
HPP	Heat Pump Program (IEA-Wärmepumpenprogramm)
Hzg.	Heizung
IEA	Internationale Energie-Agentur
JAZ	Jahresarbeitszahl (AZ über ein Jahr oder eine Heizperiode gemessen)
L/W	Luft/Wasser
LZ	Leistungsziffer, siehe AZ
Min.	Minimum
Max.	Maximum
RL	Rücklauf
S/W	Sole/Wasser
SP	Technischer Speicher
Temp.	Temperatur
th	thermisch
VL	Vorlauf
WA	Wärmeabgabe (meist Radiatoren oder Fussbodenheizung)
WP	Wärmepumpe
WPZ	Wärmepumpentest- und Ausbildungszentrum
WW	Warmwasser (gleich wie BWW)
W/W	Wasser/Wasser

## Nützliche Adressen

### Leiter BFE-Forschungsbereich Wärmepumpen, WKK, Kälte

Andreas Eckmanns  
Postfach  
CH-3003 Bern  
Tel. 031 322 54 61  
andreas.eckmanns@bfe.admin.ch

### Leiter BFE-Marktbereich Wärmepumpen, WKK, Kälte

Dr. Richard Phillips  
Postfach  
CH-3003 Bern  
Tel. 031 322 47 56  
richard.phillips@bfe.admin.ch

[www.bfe.admin.ch](http://www.bfe.admin.ch) oder [www.energie-schweiz.ch](http://www.energie-schweiz.ch): Alles über das Bundesamt für Energie und EnergieSchweiz (Informationen über Wärmepumpen-Forschung unter > Themen > Energieforschung > Organisation und Kontakte der Energieforschung > Wärmepumpen, WKK, Kälte)

[www.waermepumpe.ch](http://www.waermepumpe.ch): Seiten des Bereiches, Infos über Forschung und Entwicklung, Pilot- und Demonstrationsprojekte

### Programmleitung Forschung und Entwicklung

Prof. Dr. Thomas Kopp  
Fachhochschule Rapperswil HSR  
Oberseestrasse 10  
CH-8640 Rapperswil  
Tel. 055 222 49 23  
tkopp@hsr.ch

Fachvereinigung Wärmepumpen Schweiz FWS

Stephan Peterhans, Geschäftsführer, [stephan.peterhans@fws.ch](mailto:stephan.peterhans@fws.ch)

Franz Beyeler, Leiter Informationsstelle, [franz.beyeler@fws.ch](mailto:franz.beyeler@fws.ch)

- Informationsstelle Wärmepumpen, Steinerstrasse 37, CH-3006 Bern, [info@fws.ch](mailto:info@fws.ch)
- Centre d'information pour les pompes à chaleur, Rue Saint-Roch 36, 1400 Yverdon-les Bains, [info@pac.ch](mailto:info@pac.ch)
- Centro d'informazione per le pompe di calore, Trevano, Casella postale 105, CH-6952 Canobbio, [milton.generelli@supsi.ch](mailto:milton.generelli@supsi.ch)

Internet: [www.fws.ch](http://www.fws.ch), [www.pac.ch](http://www.pac.ch), [www.gsp-si.ch](http://www.gsp-si.ch)

Wärmepumpen-Testzentrum WPZ

Interstaatliche Hochschule für Technik Buchs NTB

Werdenbergstrasse 4

9471 Buchs SG

Tel. 081 755 33 50

[wpz@ntb.ch](mailto:wpz@ntb.ch)

[www.wpz.ch](http://www.wpz.ch)



## Endlich dreht sich mal alles um mich und Wärmepumpenanlagen

Zum guten Glück setzen immer mehr Menschen auf modernes und umweltschonendes Heizen mit Wärmepumpe und zertifiziertem Ökostrom. Am besten mit 1to1 energy water star. Der entsteht im Wasserkraftwerk Aarberg. **1to1 energy: rund 140 regionale Energieversorger aus 15 Kantonen der Schweiz und dem Fürstentum Liechtenstein, die für zuverlässigen und effizienten Energieeinsatz einstehen. Darunter die BKW FMB Energie AG.**

