

Wärmepumpen: Wo sind die Grossen?

Tagungsband zur
9. Tagung des Forschungsprogramms
Umgebungswärme, Wärme-Kraft-Kopplung,
Kälte des Bundesamts für Energie (BFE)

11. Juni 2002
Berner Fachhochschule
HTA Burgdorf

Fabrice Rognon (Hrsg.)

Alle Beiträge dieses Tagungsbands können ab Ende Juni 2002 von der folgenden Internet-Adresse des Forschungsprogramms Umgebungswärme, Wärme-Kraft-Kopplung (UAW) des Bundesamts für Energie (BFE) heruntergeladen werden:

www.waermepumpe.ch/fe

Vorwort: Wärmepumpen - Wo sind die Grossen?

Rund die Hälfte der schweizerischen Endenergie wird für die Erzeugung von Raumwärme verbraucht. Die Wärmepumpe erlaubt als einziges System, die unerschöpfliche Wärme unserer Umgebung auf ein für die Raumheizung und andere Niedrigtemperaturanwendungen nutzbares Temperaturniveau anzuheben. Der Ersatz der Erdgas- und Heizölverbrennung in Kesseln durch Wärmepumpen bringt mit der heutigen Technik eine Endenergieeinsparung und eine entsprechende CO₂-Reduktion von 30% bis 60%.

Im letzten Jahrzehnt haben kleine Wärmepumpen mit Leistungen bis ca. 30 kW_{th} stetig Marktanteile gewonnen. Im Leistungsbereich über 30 kW_{th} sind aber Wärmepumpen noch eine Rarität. Die von EnergieSchweiz für den Bereich Umgebungswärme gesetzten energetischen Ziele können nur erreicht werden, wenn sich auch die grösseren Wärmepumpen durchsetzen.

Die Tagung richtet sich primär an Entscheidungsträger – insbesondere bei Gemeinden - , Mitarbeiter von Elektrizitätsversorgungen, Planer und Hersteller. Anhand von realisierten Anlagen werden sowohl die Technik als auch die Wirtschaftlichkeit behandelt. Dabei werden der Stand des Wissens, bisherige Erfahrungen, Hürden und Chancen erörtert.

Mit der Tagung wollen wir die Schwerpunkte der BFE-Aktivitäten zum Thema Wärmepumpen überprüfen und gegebenenfalls anpassen. Dazu sind uns Ihre Kritik, Ihre Erfahrungen, Ihre Anregungen und Ihre Bereitschaft zur Mitwirkung sehr willkommen!

Fabrice Rognon

Bereichsleiter Umgebungswärme, WKK, Kälte
Sektion erneuerbare Energien
Bundesamt für Energie
CH-3003 Bern

Préambule: pompes à chaleur – où sont les grosses?

Environ la moitié de l'énergie finale en Suisse sert à chauffer des locaux à relativement basse température. La pompe à chaleur est le seul système qui permet de prélever de l'énergie renouvelable de notre environnement et de la porter à un niveau suffisant pour des applications de chauffage. Actuellement, l'utilisateur de pompes à chaleur en lieu et place de chaudières à gaz ou du mazout permet de réduire la consommation d'énergie primaire et les émissions de CO₂ de 30% à 60%.

Dans la dernière décennie les pompes à chaleur d'une puissance inférieure à 30 kW_{th} ont constamment gagné des parts de marché. Dans les gammes de puissance en-dessus de 30 kW_{th} les pompes à chaleur demeurent une rareté. Les objectifs fixés par SuisseEnergie pour le domaine chaleur ambiante ne pourront être atteints que si les grandes puissances s'imposent.

Le symposium s'adresse surtout aux décideurs – en particulier dans les communes – aux fournisseurs d'énergie et de services énergétiques, aux planificateurs et fabricants. Des exemples concrets d'installations en service illustrent les aspects technique et économiques. Vous y entendrez l'état des techniques, les expériences accumulées, les obstacles et les chances.

Le symposium doit nous permettre de jeter un regard critique sur nos activités passées et d'adapter nos priorités. Vos remarques et critiques, vos expériences, vos suggestions dans un esprit constructif sont les bienvenues.

Fabrice Rognon

Responsable du domaine chaleur ambiante, CCF, froid
Section Energies renouvelables
Office fédéral de l'énergie
CH-3003 Berne

Referenten

Fabrice Rognon	Bundesamt für Energie CH-3003 Bern fabrice.rognon@bfe.admin.ch www.waermepumpe.ch
Peter Bailer	Axima Refrigeration AG CH-8401 Winterthur peter.bailer@axima.eu.com
Bertrand Rochat	Roger Seematter SA CH-1806 St.-Légier s/Vevey seematter@com.mcnet.ch
Herbert Giger	BKW FMB Energie AG CH-3000 Bern 25 herbert.giger@bkw-fmb.ch
Jean-Philippe Borel	BEC Borel Energy Consulting CH-1096 Cully contact@borelenergy.ch
Beat Kobel	Ryser Ingenieure AG CH-3000 Bern 26 ryser.bern@rysering.ch
Bernhard Eggen	Dr. Eicher + Pauli AG CH-3013 Bern bernhard.eggen@eicher-pauli.ch

Inhaltsverzeichnis

Förderung der erneuerbaren Energien durch das Bundesamt für Energie: Ziele für Wärmepumpen und Umfeld für grosse Wärmepumpen-Anlagen <i>Fabrice Rognon</i>	9
Technischer Überblick über grosse Wärmepumpen in Europa <i>Peter Bailer</i>	15
Bâtiment Seematter à Vevey ou l’histoire d’un cordonnier bien chauffé <i>Bertrand Rochat</i>	27
UBS sanierte Thuner Überbauung mit Contracting <i>Herbert Giger</i>	31
Chaleur et froid en toute saison <i>Jean-Philippe Borel</i>	39
Vergessene Wärmequelle in der Gemeinde: ARA-Abwasser <i>Beat Kobel</i>	51
Stadt Bern nutzt Wärme aus der Aare <i>Bernhard Eggen</i>	71

F. Rognon
Bereichsleiter Umgebungswärme, WKK, Kälte
Sektion erneuerbare Energien
Bundesamt für Energie
CH-3003 Bern
fabrice.rognon@bfe.admin.ch
www.waermepumpe.ch

Förderung der erneuerbaren Energien durch das Bundesamt für Energie: Ziele für Wärmepumpen und Umfeld für grosse Wärmepumpen-Anlagen

Zusammenfassung

Die Umgebungswärme alleine soll Ende 2010 rund 40% des Zieles von EnergieSchweiz für die Wärme aus erneuerbaren Energien liefern: Aus 2'400 GWh Umgebungswärme werden Wärmepumpen 3'600 GWh Nutzwärme erzeugen. Dies ist nur ein Bruchteil des in der Natur liegenden Potenzials. Die Zielerreichung bedingt zwei Änderungen am Markt: Im Sanierungsbereich muss die Wärmepumpe wie im Neubau Fuss fassen, und der Anteil grösserer Anlagen muss wachsen. Die Technik und die Marktakteure sind vorhanden. Der Schlüssel zum Erfolg liegt in der Verbesserung ihres Zusammenspiels.

Résumé

La chaleur ambiante seule contribuera pour 40% environ aux objectifs de SuisseEnergie pour la chaleur à partir d'énergies renouvelables: en 2010, les pompes à chaleur tireront 2'400 GWh de l'environnement pour produire 3'600 GWh de chaleur utile. Seul une part infime du potentiel énergétique stocké et renouvelé dans la nature sera utilisé. La réalisation de ces objectifs exigent deux modifications profondes sur le marché: les pompes à chaleur doivent s'implanter solidement dans le marché de la rénovation comme dans les constructions neuves et les grosses installations doivent gagner des part de marché. La technique et les acteurs du marché existent. La clé du succès réside dans l'amélioration de leurs interactions.

Ziele für Wärmepumpen

Im Rahmen des Programmes EnergieSchweiz hat das BFE für den Zeitraum 2000 bis 2010 eine Zunahme von 3'000 GWh erneuerbaren Energien im Wärmesektor gesetzt. Die Wärmepumpe allein soll über 40% dieses Zieles decken, mit zusätzlich 1'250 GWh Umgebungswärme. Mit dieser Zunahme werden Ende 2010 die Wärmepumpen aus 2'400 GWh Umweltenergie rund 3'600 GWh Nutzwärme erzeugen.

Die Zielerreichung ist durch die geführte Energiestatistik [1] gut nachweisbar. Ende 2000 waren 61'606 Wärmepumpen in Betrieb, welche mit 1'152 GWh Umweltwärme 1807 GWh Nutzwärme erzeugt haben.

Hinter den Erfolgswahlen stecken interessante Tatsachen: Der Zuwachs des Anteils Umweltwärme steigt langsamer als die Stückzahlen. Dies wird bestätigt durch die Abnahme der durchschnittlichen Leistungs- und Energiemengen. In Zahlen kurz dargelegt:

	1990	2000	In % (1990=100%)
Kumulierte Anzahl WP	33'549	61'606	184
Heizleistung total (MW)	750	1'038	138
Wärmeproduktion total (GWh)	1'265	1'807	143
Total Umweltwärme (GWh)	747	1'152	154
Durchschnittliche jährliche Wärmeproduktion (kWh/Stk)	37'404	29'332	78

Tabelle 1: Vergleich von statistischen Eckdaten der Jahre 1990 und 2000.

Kurz zusammengefasst: Die Wärmepumpen werden immer effizienter, aber auch immer kleiner. Dies ist jedoch nachvollziehbar: Der Anteil Wärmepumpen in Neubauten ist in der Periode 1992-2000 von 20% auf 38% kontinuierlich gestiegen. Dort ist eben der Wärmeleistungsbedarf mit den Verbesserungen der Gebäudehülle stetig abnehmend. Der Marktanteil im Sanierungsbereich stagniert um 3%. Die Anzahl grösserer Anlagen kompensiert diesen Trend nicht. Im Gegenteil: Seit die Statistik eine verfeinerte Erfassung über Leistungsklassen erlaubt, verschiebt sich der Markt in Richtung kleinere Anlagen.

Die Marktzahlen bestätigen dies:

Anzahl Anlagen	1998	1999	2000	2001
unter 20 kW	92%	93%	95%	94%
über 20 kW	8%	7%	5%	6%

Tabelle 2: Aufteilung des Marktes im Jahr 2001 unter und über 20 kW thermisch.

Das Gebilde wird noch eindeutiger, wenn man die Leistungsgrenze von 50 kW nimmt:

Anzahl Anlagen	1998	1999	2000	2001
unter 50 kW	98.4%	98.7%	99.0%	98.6%
über 50 kW	1.6%	1.3%	1.0%	1.4%

Tabelle 3: Aufteilung des Marktes im Jahr 2001 unter und über 50 kW thermisch.

Wenn diese Tendenz weiter geht, droht eine energetische Stagnation trotz absoluter Zunahme der Verkaufszahlen!

Zwei Faktoren müssen dagegen wirken, um das gesetzte Ziel von EnergieSchweiz zu erreichen:

1. Durchbruch im Sanierungsmarkt.
2. Vermehrter Einsatz grösserer Wärmepumpen.

Zum 1. laufen Aktivitäten im Bereich seit Jahren. Am Markt bewegt sich langsam was: Die Anzahl Wärmepumpen in der Sanierung ist 2001 gestiegen. Die Projekte vom BFE und die Swiss Retrofit Heat Pump helfen dazu. Erste Produkte sind auf dem Markt erschienen. Weitere folgen innert 1 bis 2 Jahren, welche für den Einsatz in Sanierungen gut geeignet sind.

Zum 2. stellen wir uns eben die Frage: Wo sind die Grossen?

Marktumfeld von Gross-Wärmepumpen: Potenzial an Umgebungswärme

Diese Frage wirft sofort eine Gegenfrage auf: Wieviel Umgebungswärme steckt überhaupt in unserer nahe liegenden Umwelt und wieviel kann erneuerbar und nachhaltig genutzt werden? Eine Studie vom BFE hat dieses Thema untersucht [2].

Selbstverständlich darf ausschliesslich Umgebungswärme berücksichtigt werden, welche nachhaltig erneuert wird und keine Umweltschäden verursacht. Grundsätzlich darf nur so viel Energie entzogen werden, dass die Natur davon nichts spürt. Andererseits befinden sich nicht immer potenzielle Wärmeverbraucher dort, wo eine Wärmequelle vorhanden ist. Ausser für die Aussenluft sind für die Nutzung von Umgebungswärme je nach Wärmequelle folgende Randbedingungen einzuhalten:

1. Oberflächengewässer: See- und Flusswasser

- Bedürfnisse des Naturschutzes, des Hochwasserschutzes und Restwassermengen müssen eingehalten werden;
- Bedürfnisse der Fischerei, der Schifffahrt müssen berücksichtigt werden;
- in der Regel wird eine direkte Wärmeentnahme aus einem Fluss oder See nicht bewilligt. Es müssen deshalb Kanäle und Schächte eingebaut werden, was die Installation verteuert;
- die künstliche Abkühlung des Wassers muss kleiner sein als die natürliche Temperaturschwankung. Im Winter sind also 2 bis 4 Kelvin möglich, im Sommer mehr. Technisch ist eine

Temperaturdifferenz über den Wärmetausch von mindestens 1 Kelvin notwendig und problemlos;

- bei kleineren Gewässern, bei von Quellen gespeisten Wald- und Wiesenbächen werden in Bezug auf das mögliche Wärmepotenzial von Fall zu Fall strengere Schutzmassnahmen angewendet.

Das nutzbare Potenzial beträgt 107'280 TJ oder 29'800 GWh.

2. Grundwasser

Mit dem relativ hohen Temperaturniveau von ca. 10 °C, welches über das ganze Jahr nur kleinen Schwankungen ausgesetzt ist, ist das Grundwasser die energetisch beste Umgebungswärmequelle. Die Verfügbarkeit des Grundwassers als Wärmequelle ist bei jedem kantonalen Tiefbauamt dokumentiert. Die Entscheidung, ob Grundwasser als Wärmequelle genutzt werden darf, liegt bei den kantonalen Behörden. Die uneingeschränkte Nutzung ist aus folgenden Gründen nicht möglich:

- Die Trinkwasserversorgung hat erste Priorität;
- die Gefahr der Deckschichtverletzung und damit einer Verunreinigung des Grundwassers ist mit jedem baulichen Eingriff erhöht;
- eine zu grosse Änderung der Grundwassertemperatur könnte zu gravierenden Auswirkungen führen: Zerstörung des chemischen Gleichgewichtes, Veränderung der Lebensbedingungen für Grundwasserorganismen, Beeinflussung des Selbstreinigungsvermögens, nachteilige Einflüsse auf die Vegetation.

Daher sollte das Grundwasser um nicht mehr als 1 Kelvin abgekühlt werden. Dies ergibt ein Wärmepotenzial von 18'000 TJ oder 5'000 GWh.

3. Erdwärmesonden

Zur Zeit der Studie (1983) waren die Erdwärmesonden (EWS) noch in der Pionier- und Entwicklungsphase: Lediglich 4% der Anlagen (also rund 80 Stück im Jahr) waren mit EWS ausgerüstet, gegen die 40% heute (also rund 3'000 Stück im Jahr). Auf dieser bescheidenen Basis und ohne Wärmeclau beim Nachbarn wurde ein Potenzial von 4'800 TJ oder 1'300 GWh ermittelt.

4. Abwasserreinigungsanlagen (ARA)

Die Kläranlagen verfügen über Abwasser, dessen Temperatur höher liegt als die Temperatur der natürlichen Wärmequellen Luft, Erde oder Oberflächengewässer. Die energetische Gewinnung kann vor der ARA, im Abwasserkanal, oder nach der ARA, mit geklärtem Wasser erfolgen. Das Potenzial beträgt rund 26'000 TJ oder 7'200 GWh.

Insgesamt ergibt sich ein jährliches Potenzial von:

- | | |
|-----------------------------|------------|
| • See- und Flusswasser | 29'800 GWh |
| • Grundwasser | 5'000 GWh |
| • Erdwärmesonden | 1'300 GWh |
| • Abwasserreinigungsanlagen | 7'200 GWh |

TOTAL	43'300 GWh
-------	------------

Diese Zahlen wurden 1983 ermittelt. Seither hat sich das Potenzial eher vergrössert. Mit der Zunahme der Bevölkerung stehen heute mehr Leute in der Nähe einer potenziellen Wärmequelle als damals. Mit einer durchschnittlichen Jahresarbeitszahl von 3,0 können rund 65'000 GWh Nutzwärme erzeugt werden. Dies entspricht 22 Mal das Ziel von EnergieSchweiz für die Wärme aus erneuerbaren Energien oder 27% des Endenergieverbrauches der ganzen Schweiz. Dies würde genügen, um die ganze Schweiz im Winter zu heizen!

Das gesteckte Ziel im Rahmen von EnergieSchweiz von 2'400 GWh Umgebungswärme mittels Wärmepumpen ist nur ein Bruchteil des möglichen Potenzials aus der Natur.

Marktumfeld von Gross-Wärmepumpen: Technik und Wirtschaft

Was die Natur anbietet muss die Technik sicher, sauber und effizient erschliessen können.

1. Technik

Die Industrie zur Fertigung grosser Wärmepumpen-Anlagen gibt es in der Schweiz und in Europa. In jeder Leistungsklasse sind handelsübliche Geräte erhältlich. Der Standardisierungsgrad bleibt sehr gering. Die Hersteller nutzen Komponenten der Kältetechnik, welche in jeder Grösse in grossen Mengen weltweit hergestellt werden. Eine drastische Zunahme der Stückzahl in der Schweiz würde keine Lieferprobleme verursachen.

Die Regeln der Kunst und die entsprechenden Werkzeuge für Planer, Ingenieure und Installateure für die saubere Auslegung und Ausführung auch von grossen Wärmepumpen-Anlagen liegen vor. Erfahrene Firmen sind seit Jahren auf dem Markt tätig. Wie die Erfahrung zeigt, bietet die Technik zuverlässige Lösungen für eine optimale Realisierung des Systems Wärmequelle – Wärmeerzeugung – Wärmenutzung. Das Rad muss nicht mehr erfunden werden.

2. Wirtschaft

Im Gegensatz zur Konkurrenz besitzen Wärmepumpen allgemein – aber insbesondere grössere Anlagen – einen finanziellen Nachteil: Die Wärmequelle liegt da, muss aber gefasst werden. Auch wenn die Umweltwärme gratis ist, kostet ihre Bereitstellung. Auch wenn keine Gebühr erhoben wird, müssen Infrastrukturen gebaut werden. Dies ist für Konkurrenzprodukte nicht notwendig oder wesentlich günstiger. Der Öltank oder der Anschluss an ein Gasnetz sind in den meisten Fällen weniger kostenintensiv als die Erschliessung einer Wärmequelle aus der Umwelt.

Ferner sind Gas- und Ölkessel viel mehr standardisiert als Wärmepumpen und kosten pro Leistungseinheit wesentlich weniger. Zudem muss oft die Wärmepumpe mit einer Zusatzheizung zur Deckung der Bedarfsspitzen betrieben werden. Dies erhöht wiederum die Investitionskosten. Bei den Betriebskosten kann hingegen die Wärmepumpenanlage günstiger sein als die Konkurrenz. Ob damit die Mehrinvestition kompensiert wird, bleibt aber offen.

Zentral ist das Zusammenspiel zwischen den zahlreichen notwendigen Akteuren: Bauherr, Ingenieur, Planer, Geologe, Installateur, Bewilligungsbehörden, Finanzierer, Betreiber etc. in jeder Phase des Projektes, von der ersten Idee über Realisierung bis Inbetriebnahme und Abgabe an Kunde.

Wo sind die Grossen?

Nachfolgend werden einige grosse Anlagen vorgestellt. Das Leistungsspektrum geht von 30 bis 30'000 kW Heizleistung und 20 bis 20'000 kW Kälteleistung (gerundete Zahlen). Viele Wärmequellen werden dabei genutzt: Meerwasser, Abwärme aus Kehrlichtverbrennung, Erdwärmesonden, Grundwasser, Quellwasser, ARA-Abwasser (im Kanal vor ARA, im Ablauf nach ARA) und Grundwasser. Die zwei letzten Anlagen verwirklichen das Konzept der Kombination von Wärme-Kraft-Kopplung mit Wärmepumpen.

Die Anlagen zeigen verschiedene Projektorganisationen und Finanzierungsmodelle, Erfahrungen aus der Technik und Wirtschaft, Probleme und Hindernisse sowie Lösungswege.

Die Vollständigkeit ist sicherlich nicht dargestellt. Die Vielfalt der Lösungen soll aber dem Leser einen Überblick erlauben und einen Eindruck über die Chancen vermitteln. Damit soll die im Jahr 2001 festgestellte Zunahme der Anzahl grosser Anlagen gegenüber 2000 zur dauerhaften Steigerung werden.

Bibliographie

- [1] Schweizerische Statistik der erneuerbaren Energien, BFE, Bern, Oktober 2001
- [2] Das Potenzial von Wärmepumpen-Heizungen im Falle eines Erdöl-Lieferstoppes, BFE, Bern, Juli 1983 (internes Arbeitspapier, nur noch 1 Exemplar im Archiv).

Peter Bailer, Dipl. Ing. HTL
Leiter Verkauf International
AXIMA Refrigeration AG (früher Sulzer Friotherm AG)
Postfach 414, Neuwiesenstr. 15
CH-8401 Winterthur
Email-Adresse: peter.bailer@axima.eu.com
Homepage: axima.eu.com

Technischer Überblick über grosse Wärmepumpen in Europa

Zusammenfassung

Wärmepumpen: Wo sind die Grossen?

AXIMA Refrigeration klassifiziert „die Grossen“ ab einer Heizleistung von ca. 3000 kW, einem Bereich, bei dem vorzugsweise Turboverdichter eingesetzt werden. In meinen weiteren Ausführungen konzentriere ich mich deshalb auf Anlagen mit dieser Verdichterbauart.

Mit einstufigen Turboverdichtern von Axima sind Temperaturerhöhungen (t_v zu t_k) von über 60°C möglich. Wärmepumpen, die klassische Wärmequellen nutzen, lassen sich so relativ kostengünstig realisieren. Auch alternative Wärmerück-gewinnungen, z. B. aus der Rauchgaswäsche bei Verbrennungsprozessen, sind möglich. Temperaturerhöhungen von über 80°C lassen sich mit unseren zweistufigen Turboverdichtern (resp. zwei einstufigen Turboverdichtern in Serie geschaltet) realisieren. In Verbindung mit Fernwärmenetzen können damit die Brauchwassererwärmung im Sommer- sowie im Frühling und Herbst der Wärmebedarf vollständig abdeckt werden. Mit einer Wärmepumpe wird ca. 70% der jährlich benötigten Heizenergie gedeckt, ohne Öl oder Gas einzusetzen.

Summary

Heat pumps: Where are the big ones?

We at AXIMA Refrigeration define “the big ones” starting from heating capacities of 3000 kW and higher, a region, where usually centrifugal compressors are applied. Therefore, I present examples with centrifugal compressors only. With single stage centrifugal compressors from Axima, a temperature rise (t_{ev} to T_{cond}) of more than 60°C can be achieved. This allows the realisation of heat pumps at a reasonable price, using classic heat sources. Further, the use of alternative heat sources is possible, i.e. heat recovery from flue gas condensing systems.

Temperature lifts of more than 80°C can be achieved with our two stage centrifugal compressors (or two single stage compressors in series). In connection with district heating systems, this allows the heating of utility water during summer as well as the full coverage of the heating demand in spring and autumn. Approx. 70% of the thermal energy demand can be covered with a heat pump, without the use of oil or gas.

Résumé

Les pompes à chaleur: Où sont "les grandes"?

Pour AXIMA Refrigeration, "les grandes" utilisent des compresseurs centrifuges d'une puissance thermique d'env. 3000 kW. Je présenterai seulement des exemples avec compresseurs centrifuges. Nos compresseurs centrifuges monoétagés peuvent atteindre une différence de température (t_{ev} à t_{cond}) de plus de 60 °C, ce qui permet de réaliser des pompes à chaleur pour les systèmes de chauffage modernes à prix compétitifs. Ou bien de récupérer de la chaleur d'un système de condensation de gaz comme montré ci-dessous.

Avec nos compresseurs centrifuges à deux étages (ou deux compresseurs d'un seul étage connectés en série) nous pouvons augmenter la différence de température à plus de 80 °C. Ainsi nous pouvons couvrir complètement les besoins en eau chaude sanitaire des réseaux urbains aussi bien pendant l'été que pendant le printemps et l'automne où la demande est plus importante. La pompe à chaleur peut couvrir env. 70% de la capacité demandée sans utiliser de mazout ou de gaz comme appoint.

Wo sind die Grossen?

Wir sind stolz darauf, dass AXIMA Refrigeration AG (früher Sulzer Friotherm AG) in den meisten Europäischen Ländern während den Energiekrisen Jahren 1980-1986 die "Grössten" installiert hat, darunter zum Beispiel:

- Schweiz:** Am Walchetur Zürich für die Versorgung der ETH 2x6000 kW
Wärmequelle: Limmat
- Österreich:** Fernheizkraftwerk Klagenfurt 6000 kW,
Wärmequelle: gereinigtes Abwasser
- Deutschland:** Kraftwerk Kiel 7000 kW,
Wärmequelle: Meerwasser
- Belgien:** Agfa Mortsel Antwerpen, 5600 kW,
Wärmequelle: Produktionsprozess
- Frankreich:** IBM Montpellier 4500 kW,
Wärmequelle: Produktionsprozess
- Norwegen:** Baerum Sandvika 2x7000 kW,
Wärmequelle: ungereinigtes Abwasser
- Finnland:** Lappenrannan Lämpövoima 11000 kW,
Wärmequelle: Seewasser
- Schweden:** Stockholm Värtan 6x28000 kW = 168000 kW,
Wärmequelle: Brackwasser über offene Plattenverdampfer.

In Schweden haben wir insgesamt mehr als 700MW an Wärmepumpen installiert.

Nach 1987, als Öl und Gas ja wieder preisgünstig verfügbar waren, verschob sich der Markt von klassischen Grosswärmepumpen hin zu kombinierten Anlagen.

Warum so viele Grosswärmepumpen in Skandinavien?

Schweden erstellte bereits in den 60er und 70er Jahren Fernheiznetze, meistens in Kombination mit Wärmekraftkopplung. Die grösseren Gemeinden (über 70) verfügen über Fernheiznetze, die ursprünglich mit fossiler Energie betrieben wurden. Der Einbau von Wärmepumpen gestaltet sich mit diesen Voraussetzungen relativ einfach. In den meisten Fällen nutzt die Wärmepumpe gereinigtes Abwasser als Wärmequelle. Elektrische Energie ist in den meisten Fällen sehr preisgünstig verfügbar.

Die Betriebskosten der Wärmepumpen werden zusätzlich optimiert, indem während der Sommerperiode die nächtliche Niedertarifzeit dazu genutzt wird, die Warmwasserspeicher zu laden. Tagsüber, resp. während der Hochtarifzeit, sind Wärmepumpen meistens nicht in Betrieb.

In den letzten Jahren wurde speziell in Schweden und Norwegen ein neuer Markt entdeckt, nämlich :

"Fernkälte kombiniert mit Fernwärme"

Nichts liegt näher als Fernkälte und Fernwärme zu kombinieren, fällt doch bei der Kälteproduktion die Wärme praktisch kostenlos und als „Abfallprodukt“ an. Kälte ist zu unserem Glück nicht einfach durch Öl oder Gas zu ersetzen (ausser bei Einsatz von Absorptionskälteanlagen).

Während der kalten Jahreszeit wird kaltes Meerwasser zur Kühlung genutzt. Die Kälteübertragung zum Kaltwasserkreislauf erfolgt über Plattenwärmetauscher. Diese natürliche Kälteerzeugung ist in der Zwischenzeit für die Kälteversorgung nicht mehr ausreichend. In den letzten Jahren entstand ein größerer Bedarf an zentral erzeugter Kälte, einerseits durch Stilllegung von dezentralen Kälteanlagen, die mit ozonschädlichen Kältemitteln betrieben wurden, andererseits durch den vermehrten Einsatz von Computertechnologie, die Kühlung benötigt.

Die Firma Birka Energi, ein Energieunternehmen der Stadt Stockholm hat deshalb durch ihren Berater ein Konzept ausarbeiten lassen, welches den Kältebedarf für die kommenden Jahre deckt. Dieses Konzept erlaubt Nutzung der bei der Kälteproduktion entstehenden Abwärme durch Einspeisung in das bestehende Fernwärmenetz.

Anfangs 2001 lieferte Axima Refrigeration AG drei UNITOP® 33CY Turbokälteanlagen mit je 12 MW Kälteleistung bei 5 °C Kaltwassertemperatur.

Während der reinen Kälteerzeugung im Sommer werden zwei einstufige Turboverdichter UNITURBO® 33CX und 28CX parallel geschaltet; der erste mit einer Kälteleistung von 7 MW der zweite mit 5 MW. Bei kleinem Leistungsbedarf können beide Maschinen einzeln bis zu ca. 20% ihrer Leistung gefahren werden, was ein ausgezeichnetes Teillastverhalten ergibt. Die im Kondensator entstehende Wärme wird in der warmen Jahreszeit an das Meerwasser abgeführt. Im Frühling, Herbst und Winter und bei Bedarf auch im Sommer werden einzelne oder alle drei Einheiten auf kombinierten Kälte- und Heizbetrieb umgeschaltet.

Der Turboverdichter UNITURBO® 33CX wird dann als erste Stufe, der kleinere UNITURBO® 28CX als zweite Stufe in Serie betrieben. Damit wird die gewünschte Heizwassertemperatur von 78 °C erreicht. Die Umstellung erfolgt mit Knopfdruck, durch Umschaltung der entsprechenden Ventile. (siehe auch Schemata Bild 1 und Bild 2).

Zur weiteren Optimierung der drei UNITOP® 33CY Turbokälteanlagen besteht zusätzlich die Möglichkeit eines reinen Wärmepumpenbetriebes. Als Wärmequelle dient entweder Meerwasser oder die Wärmerückgewinnung aus der Rauchgaswäsche eines Kohlekraftwerkes. Diese Wärmequelle steht mit einem Temperaturniveau von 35°C zur Verfügung und erlaubt den effizienten einstufigen Betrieb der Turboverdichter UNITURBO® 33CX und 28CX.

Zusammenstellung der Daten:

SULZER UNITOP® 33CY

als komplette Einheit im Werk zusammengebaut und geliefert

Anzahl Einheiten 3

Zwei einstufige Turboverdichter UNITURBO® 33CX und 28CX
wahlweise parallel oder in Serie geschaltet

Kältemittel R134a

Gesamte Leistungsdaten:

Betriebsweise	Sommer	Winter
Kälteleistung	36'000 kW	17'700 kW
Kaltwasser ein / aus	11 / 5 °C	11 / 5 °C
Kühl-/ Heizleistung	43'300 kW	26'700 kW
Kühl- / Heizwasser ein / aus	22 / 37 °C	68 / 78 °C
Leistungsziffer bezogen auf:	Kälte 4.9	Wärme 3.0

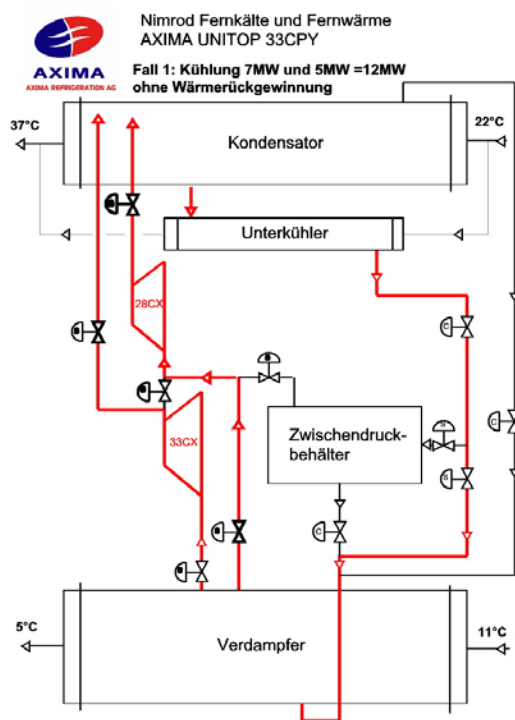


Bild 1: Einstufiger Kühlbetrieb mit
zwei parallel geschalteten
Turboverdichtern

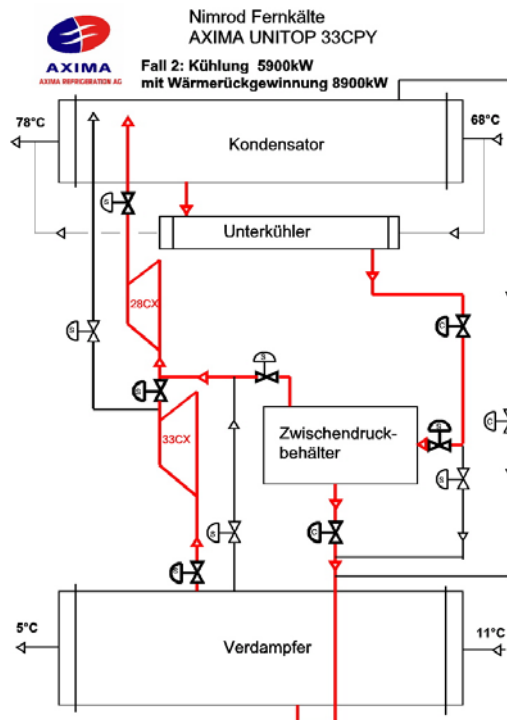


Bild 2: Zweistufiger Kühl- und
Heizbetrieb mit zwei in Serie
geschalteten Turboverdichtern

Weitere ausgeführte Anlagen mit gleicher oder ähnlicher Betriebsweise:

3 Kälteanlagen mit Wärmerückgewinnung für Energiewerk Lund Schweden
Kälteleistung 18'000 kW bei 4 °C, Heizleistung 28'000 kW bei 81 °C

2 Kälteanlagen mit Wärmerückgewinnung für Akalla / Kista Schweden
Kälteleistung 12'000 kW bei 4 °C, Heizleistung 17'600 kW bei 80 °C

1 Kälteanlage mit Wärmerückgewinnung für Lysaker Norwegen
Kälteleistung 3'000 kW bei 2.5 °C, Heizleistung 4'500 kW bei 75 °C

1 Kälteanlage mit Wärmerückgewinnung für Telenor Fornebu Norwegen
Kälteleistung 3'000 kW bei 2.5 °C, Heizleistung 4'500 kW bei 75 °C.



Bild 3: Typische zweistufige Kälteanlage mit Wärmerückgewinnung.

Zusammenfassung

Die oben beschriebenen Anlagen erlauben den optimalen Betrieb mit jährlich über 8000 Stunden bei jedem gewünschten Betriebsfall. Sie sind gute Beispiele für die optimale, kombinierte Erzeugung von Kälte und Wärme.

In der Schweiz existieren leider nur sehr wenige Fernheiznetze, die eine ähnliche Anwendung für Grosswärmepumpen erlauben. Axima Refrigeration AG hat jedoch auch in der Schweiz einige Kälteanlagen mit Wärmerückgewinnung installiert:

2 Kälteanlagen mit Wärmerückgewinnung für CS Uetlihof
Kälteleistung 2'000 kW bei 6 °C, Heizleistung 2'222 kW bei 54 °C

3 Kälteanlagen mit Wärmerückgewinnung für CS Horgen
Kälteleistung 1'600 kW bei 11 °C, Heizleistung 2'000 kW bei 48 °C

4 Kälteanlagen mit Wärmerückgewinnung für Telekurs
Kälteleistung 1'100 kW bei 10 °C, Heizleistung 1'400 kW bei 50 °C

4 Kälteanlagen mit Wärmerückgewinnung für Rechenzentrum der Winterthur Versicherungen
Kälteleistung 1'100 kW bei 10 °C, Heizleistung 1'400 kW bei 50 °C

5 Kälteanlagen mit Wärmerückgewinnung für Rechenzentrum der UBS Flur Süd
Kälteleistung 1'300 kW bei 5 °C, Heizleistung 1'600 kW bei 50 °C

Andere Anwendungen für Grosswärmepumpen

Grosswärmepumpe in einer Müllverbrennungsanlage

In Umeo, Nordschweden, hat Umea Energi AG eine neue Verbrennungsanlage für eine Müllmenge von 20t/h gebaut. Die Verbrennung erfüllt strengste Umweltauflagen. Sie ist eine der wirtschaftlichsten Müllverbrennungsanlagen weltweit.

Der Verbrennungsprozess ist kombiniert mit der Erzeugung von Strom- und Heiz-Energie. Als wichtiger Teil in dieser Anlage ist der Einsatz von zwei Grosswärmepumpen Typ UNITOP28 von Axima Refrigeration, mit einer Heizleistung von total 14 MW, bei 75 °C Heizwassertemperatur. Als Kältemittel dient R134a. Als Wärmequelle dient kondensierendes, durch die Rauchgaswäsche feuchtes Rauchgas.

Die Wärmerückgewinnung mittels Wärmepumpen erhöht den Gesamtwirkungsgrad der Anlage von 94% auf 107% --- somit ein Perpetuum Mobile??!

Beschreibung der Verbrennung und des Wärmerückgewinnungsprozesses

Das bestehende Fernheiznetz von Umea verfügt über eine Wärmeproduktion von 750 GWh/a. Mit der neuen Müllverbrennungsanlage werden zusätzlich 350 GWh/a ins Netz eingespeist, wovon 20%

durch die beiden Wärmepumpen erzeugt werden und damit wesentlich zur Wirtschaftlichkeit der Anlage beitragen. Ausserdem werden 80 GWh/a elektrischer Strom erzeugt.

Die Rauchgasreinigung erfolgt unter Einsatz von Staubfilter, Säure- und SO₂-Scrubber. Während des Reinigungsprozesses wird Wasser zugeführt. Durch die nachfolgende Kondensation des Rauchgases wird dessen Feuchtigkeitsgehalt von 12 Vol% auf 4.3 Vol% reduziert. Das Kondensat wird im Kreislauf wieder dem Reinigungsprozess zugeführt.

Woher kommt nun der bereits erwähnte Wirkungsgrad von 107%?

Bei der Verbrennung von Öl, Gas, usw. wird lediglich die reine Verbrennungswärme berücksichtigt (Heizwert). Mit einer Rauchgaskondensation kann deshalb der Wirkungsgrad auf über 100% angehoben werden.

Im vorliegenden Fall wird das Rauchgas nach der Rauchgaswäsche kondensiert, über einen indirekten Wasserkreislauf (38 °C/28 °C) zu den beiden Wärmepumpenverdampfern geführt. Mit zwei Turboverdichter-Anlagen wird das Heizwasser über Unterkühler und Kondensator auf das nutzbare Temperaturniveau von 75 °C gebracht. (siehe auch Schema Bild 4)

Den Wärmepumpen nachgeschaltet ist der Kondensator der Dampfturbine, welcher eine weitere Temperaturerhöhung auf ca. 100 °C erbringt. Gleichzeitig liefert die Dampfturbine über einen Generator eine elektrische Leistung von 15 MW.

In der Evaluationsphase wurden auch Absorptionswärmepumpen in Betracht gezogen, welche durch eine Zwischenentnahme an der Dampfturbine die notwendige Antriebsenergie bezogen hätten. Die Turbowärmepumpe wurde jedoch als die wirtschaftlich bessere Lösung ausgewählt.

Anlagedaten:	Schadstoffe	
Staub	5	mg/Nm ³
HCl	5	mg/Nm ³
HF	1	mg/Nm ³
SO ₂	25	mg/Nm ³
NH ₃	5	mg/Nm ³
Cd+TI	0.05	mg/Nm ³
Hg	0,05	mg/Nm ³
Dioxin	0,10	mg/Nm ³

Technische Daten : (siehe auch Bild 4)

Verbrennungsleistung	61	MWth
Dampfkesselleistung	55	MWth
Turbinengenerator	+15	MWel
Turbinenkondensator	+40	MWth
Wärmepumpenleistung	+13.8	MWth
Kraftbedarf Wärmepumpe u.a.	- 3.3	MWel
Totale Anlagenleistung	65.5	MW
Anlagenwirkungsgrad	65.5 / 61=	107%

Wärmepumpendaten

Anzahl Einheiten	2
Typ AXIMA Refrigeration	UNITOP 28C-61109U <i>(siehe Bild 6 und 7)</i>
Kältemittel	R134a
Wärmequellenleistung	10'400 kW
Wärmequellentemperatur	ein/aus 38 / 28 °C
Heizwassertemperatur	ein/aus 60 / 70 °C (max. 75°C)
Heizleistung	13'800 kW
Leistung an der Motorklemme	3'300 kW
Leistungsziffer COP	13'800/3'300=4.2
Verdichter Hersteller Typ AXIMA Refrigeration AG	
Offener Turboverdichter Uniturbo 28CX <i>(siehe Bild 5)</i>	
Drehzahl	16'100 rpm

Jede Wärmepumpe besteht aus: *(siehe Bild 6 und 7)*

- Röhrenkesselverdampfer mit Hochleistungsrohren aus Kupfer
- Röhrenkesselkondensator mit Stahlrippenrohren
- Röhrenkesselunterkühler mit Stahlrippenrohren
- Einstufiger, offener Turboverdichter
- Hochspannungs-Elektromotor 11kV
- Frei programmierbare Steuerung

Elektromotoren und Ölkühler werden durch das Wärmequellenwasser gekühlt, womit die gesamte Verlustleistung wieder in den Heizkreislauf eingebracht wird. Die beiden Wärmepumpen sind verdampfer- und kondensatorseitig in Serie geschaltet. Die Unterkühler sind parallel geschaltet, so dass die optimale Unterkühlung des Kältemittels erfolgt. Mit dieser Schaltung wird die optimale Leistungsziffer erzielt. Bei tiefen Heizwassertemperaturen können Leistungsziffern bis 5 erreicht werden.

Schlussbetrachtung

Die vorgestellte Müllverbrennungsanlage ist unseres Wissens die weltweit erste, bei der diese Art Wärmerückgewinnung angewendet wird. Eine nächste, noch grössere Anlage, bei der dieses Prinzip zur Anwendung kommt, wird z. Z. in Malmö erstellt. Weitere Anlagen sind in Projektierung.

Bei allen Kehrlichtverbrennungsanlagen mit Rauchgaswäsche ist die geschilderte Technik zur Wärmerückgewinnung grundsätzlich einsetzbar. Auch stehen in der Schweiz viele Seen, Flüsse und Abwasser als Wärmequellen zur Verfügung. Trotzdem besteht heute kaum die Aussicht, wie in Schweden und Norwegen Wärmepumpen für Fernwärme in grossem Stil zu bauen, da die entsprechenden Verteilsysteme fehlen.

Ich höre da Stimmen:

"Es hat doch schon jeder seine Heizung!?"

"Wie wäre es mit einer Volksabstimmung?"

„Momentan sind fossile Energieträger günstiger!“

Wärmepumpen: Wo sind die Grossen?

Leider nicht bei uns in der Schweiz, das Potential wäre zwar da.....

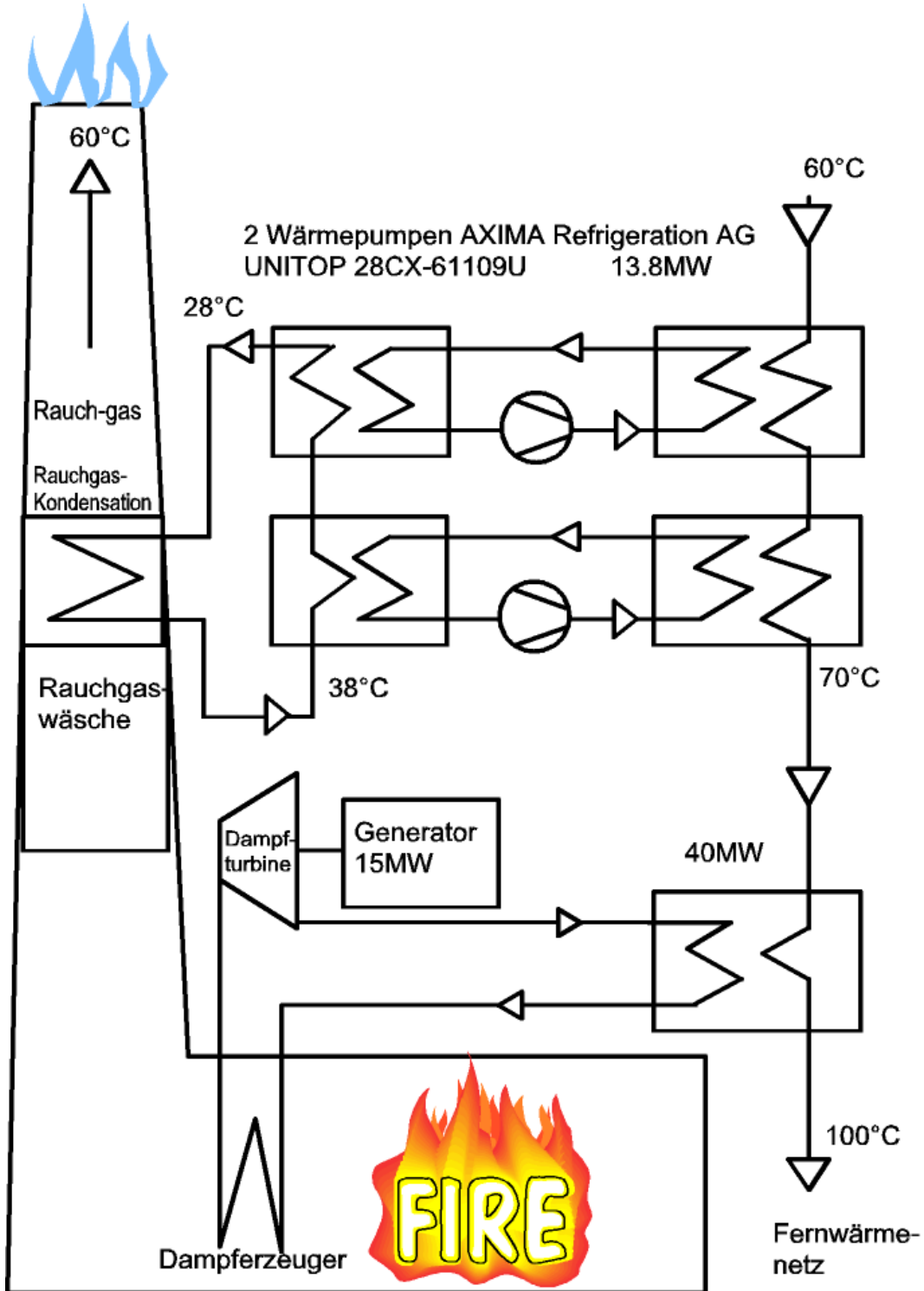
**Kehrrichtverbrennung UMEA Schweden**

Bild 4: Schema der Anlage.

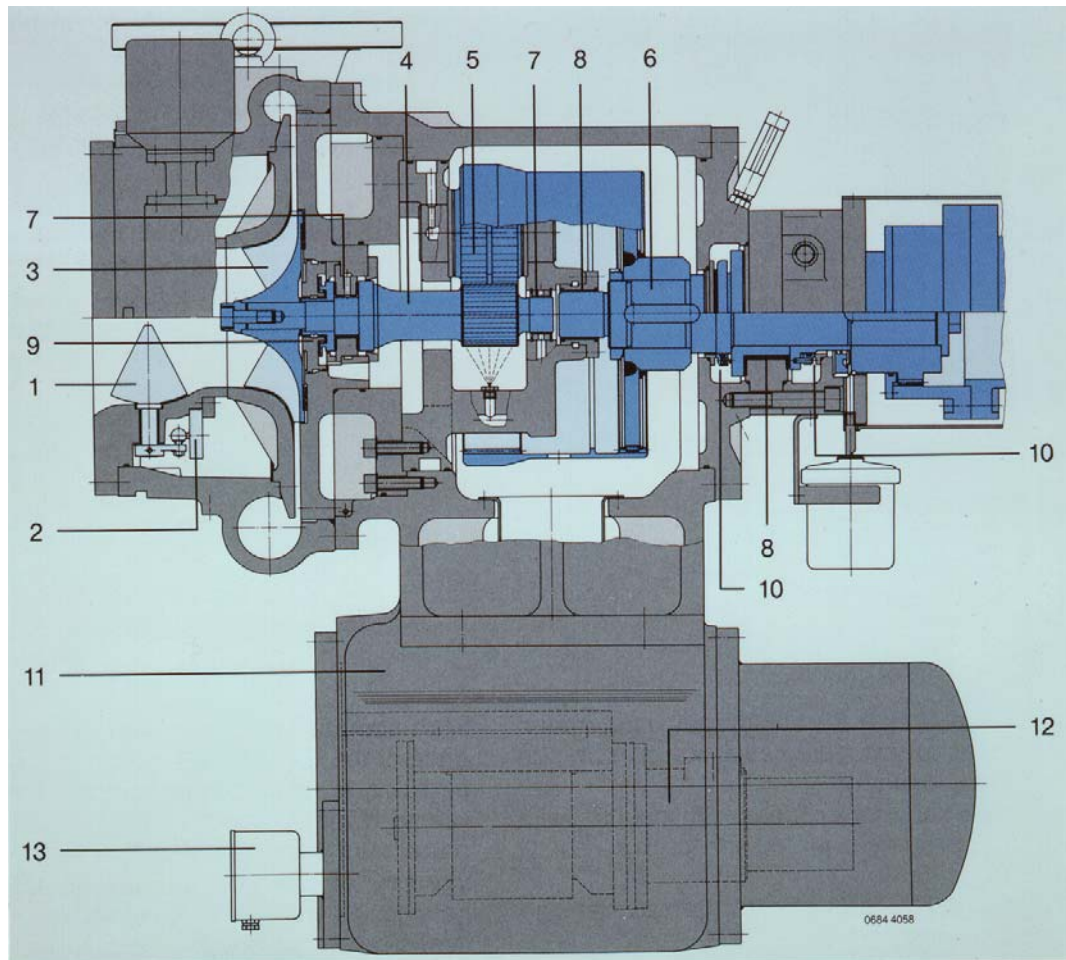


Bild 5: Uniturbo 33CX und 28CX.

- | | |
|-------------------------------|-------------------------------|
| 1 Vorleitschaufel | 8 Zwischenlager |
| 2 Vorleitschaufel Mechanismus | 9 Labyrinth Dichtung |
| 3 Laufrad | 10 Mechanische Wellendichtung |
| 4 Laufradwelle | 11 Schmieröltank |
| 5 Planetengetriebe | 12 Schmierölpumpe |
| 6 Zwischenwelle | 13 Schmierölheizung. |
| 7 Radial-Axiallager | |



Bild 6: Werkmontage bei AXIMA Refrigeration GmbH in Lindau (D)
Vorderseite der Wärmepumpe.



Bild 7: Werkmontage bei AXIMA Refrigeration GmbH in Lindau (D)
Rückseite der Wärmepumpe.

Bertrand Rochat
Roger Seematter SA
Ch. de la Veyre d'en Haut A11
1806 St-Légier s/Nevey
info@seematter.ch
www.seematter.ch

Un cordonnier bien chaussé

Zusammenfassung

Die Roger Seematter AG, in Kältetechnik tätig, hat im 2001 ein neues Gebäude für Büro und Herstellung gebaut. Da parallel Kälte- und Wärmebedarf anfallen, wurde eine Wärmepumpenanlage gewählt. Als Wärmequelle und Wärmepuffer dienen Erdwärmesonden. Die Wärmepumpe wurde speziell ausgerüstet um die parallele Erzeugung von Kälte und von Wärme sicherzustellen. Die Anlage wird zur Zeit während dem Betrieb gemessen. Je nach Betriebsbedingungen soll die Leistungsziffer für die Heizung zwischen 3.5 bis 6.0 liegen.

Résumé

L'entreprise Roger Seematter SA, active dans le domaine du froid, n'a pas hésité longtemps dans le choix du système de chauffage et de refroidissement de son nouveau bâtiment: une pompe à chaleur spécialement équipée assure la production simultanée de chaud et de froid. Des sondes géothermiques verticales jouent le rôle de source de chaleur et de tampon énergétique. Selon les conditions d'exploitation, le coefficient de performance en mode chauffage devrait s'établir entre 3.5 et 6.0. Les mesures sont en cours.

Historique

L'entreprise Roger Seematter SA. a été fondée en 1973 à Vevey par Roger Seematter. Elle est active dans les domaines de la laverie industrielle, de la réfrigération commerciale et de la climatisation.

Compte tenu du développement important qu'elle a connu au cours de ces dernières années, les locaux sis à Vevey sont devenus rapidement trop exigus pour faire face à l'augmentation de travail, tant du côté technique qu'administratif.

Entre le choix de louer de nouveaux locaux et la construction d'un bâtiment adapté aux besoins de l'entreprise, la décision s'est rapidement portée sur la construction, malgré l'investissement important que cela représente.

La planification du chantier et l'étude énergétique du bâtiment ont débuté en juin 2001 et c'est le 1^{er} mai 2002 que l'entreprise s'installait dans ses nouveaux locaux.

Pourquoi une PAC à double fonction ?

Frigoriste de longue date, M. Roger Seematter est convaincu depuis de nombreuses années que la PAC est une des solutions énergétiques les plus intéressantes de notre époque, l'étude de l'installation de chauffage s'est donc immédiatement portée sur ce système.

L'étude énergétique du bâtiment a rapidement démontré que parallèlement aux besoins de chauffage, il était nécessaire d'assurer un rafraîchissement des locaux administratifs en raison du nombre de poste de travail prévu.

Il nous est ensuite paru évident qu'avec un chauffage par PAC nous disposions d'une machine permettant d'assurer tous les besoins en chauffage et rafraîchissement du bâtiment.

Il existe sur le marché des PAC réversibles qui permettent de choisir entre un mode de fonctionnement en chauffage ou en refroidissement.

Il est clair que dans le cas d'un bâtiment artisanal avec un étage comprenant un dépôt-atelier et un étage administratif pourvu d'un parc informatique non négligeable, nous sommes confrontés à des besoins simultanés de chaud et de froid. La PAC réversible ne permettant pas d'assurer ce type de simultanéité, nous avons donc créé une installation adaptée à nos besoins, sur la base d'une PAC standard sol/eau avec ajout de 2 échangeurs supplémentaires.

Choix de la source de chaleur

Il existe plusieurs sources de chaleur disponibles pour ce type de PAC. Dans ce projet, nous avons 3 possibilités au choix, soit:

1. Air:

L'utilisation de l'air extérieur comme source chaude est un excellent moyen d'atténuer le réchauffement de la planète en «récupérant» l'apport thermique dégagé par l'activité humaine dans l'atmosphère. Par contre, le fonctionnement en refroidissement simple renvoie de la chaleur dans l'air et contribue à nouveau au réchauffement de l'atmosphère.

Toutefois, sous nos latitudes et dans une région soumise à de forts vents du nord en hiver, le risque est important de ne pouvoir assurer un bon fonctionnement de la PAC en raison d'une température d'air trop basse.

2. Serpentin terrestre horizontal:

Ce type de captage d'énergie permet de travailler dans de meilleures conditions de températures, à condition de disposer d'une surface importante de terrain et de pouvoir enterrer les tubes à plus d'un mètre de profondeur.

Ce système très sensible aux apports solaires, donc très intéressant sur le mode chauffage, peut poser problème lors du fonctionnement en refroidissement durant les périodes estivales, le terrain réchauffé par le soleil ne pouvant absorber au mieux l'énergie évacuée par l'installation.

3. Sondes terrestres verticales

Dans le cas de sondes terrestres verticales, nous travaillons avec une masse de terrain dont la température varie relativement peu en fonction des saisons et se maintient entre 8 et 12 °C. Cela permet donc de travailler aussi bien en hiver sans crainte de perte de performance de la PAC qu'en été où l'évacuation de l'énergie peut être réalisée à une faible température de condensation soit à un COP élevé.

D'autre part, nous comptons sur l'inertie de la masse du terrain pour réaliser un stockage thermique permettant, au début de l'hiver, de récupérer une part de l'énergie thermique générée par la climatisation en été et, au printemps, de profiter du refroidissement du terrain durant la période hivernale pour assurer la climatisation par free-cooling.

Principe de fonctionnement

L'installation est composée d'une PAC, de 2 échangeurs additionnels, d'un stock d'eau chaude et d'un stock d'eau froide. La puissance thermique maximale nécessaire en hiver est de 30 kW, la puissance de refroidissement maximale en été est de 21 kW.

Tout au long de l'année, chaque consommateur peut puiser dans chacun de ces stocks en fonction de ses besoins.

L'installation PAC va assurer le maintien en température de ces stocks selon les modes de fonctionnement suivants :

A) Période hivernale

- Chauffage grâce à l'extraction d'énergie dans le terrain, donc refroidissement des sondes.
- Refroidissement par by-pass des sondes lors du fonctionnement de la PAC et Free cooling lors de l'arrêt de cette dernière.

B) Période estivale

- Climatisation et envoi de la chaleur dans le terrain donc réchauffement des sondes.
- Chauffage de l'eau chaude sanitaire par by-pass des sondes lors du fonctionnement de la PAC.

Conclusions

Grâce au système de PAC à double fonction, nous pouvons assurer tous les besoins énergétiques d'une PME avec une seule machine tout en limitant au maximum les dégagements thermiques dans l'atmosphère. Il apparaît donc assez clairement que ce type d'installation est une partie de la solution que l'homme peut apporter au grave problème que représente le réchauffement planétaire.

Le coefficient de performance de cette installation est encore à mesurer in situ, nous ne pouvons donc donner de valeurs précises quant à l'impact réel sur l'environnement. Toutefois, selon les conditions de travail prévues, nous pouvons espérer un COP assez élevé compris entre 3.5 et 6.0, selon le régime de fonctionnement et sommes persuadés d'aller dans la bonne direction.

Herbert Giger
Leiter Verkauf Privatkunden
BKW FMB Energie AG
Viktoriaplatz 2
3000 Bern 25
herbert.giger@bkw-fmb.ch
www.bkw-fmb.ch
www.1to1energy.ch

UBS sanierte Thuner Überbauung mit Contracting

Contracting

Für jedes Kundensegment?

Oder ...

Tipps und praktische Erfahrungen anhand eines Beispiels.

Unsere und Kunden Erfahrungen anhand eines konkreten Objektes.

Positives aber auch nicht so erfreuliches.

Wichtig: Wir lernen täglich und Sie können daraus Ihre eigenen Schlüsse ziehen. Was sind die relevanten Kundennutzen?

Um im Contracting erfolgreich zu sein, gilt es auch hier den Kundennutzen zu erkennen und zu kommunizieren.

Je nach Bedürfnis des Kunden, sind Softfacts ebenso wichtig wie Hardfacts.

Unter Softfacts verstehen wir z. B.:

- Erreichbarkeit über 24 h, nicht nur auf dem Papier.
- Der Servicemonteur kommt pünktlich und gepflegt.
- Die behobene Störung wird dem Kunden stets mitgeteilt.

Le contracting

Pour tous les clients?

Vraiment?

Un exemple pour illustrer quelques astuces et des expériences pratiques

Nos expériences et celles de nos clients, concrètement

Des points positifs, ... et moins positifs

Note importante: nous nous améliorons tous les jours. Décidez vous-même quels peuvent être vos avantages!

Dans le domaine du contracting comme ailleurs, le succès dépend de l'aptitude à reconnaître les intérêts du client et à établir le dialogue

Selon les besoins du client, les aspects immatériels comptent au moins autant que les critères matériels

Exemples d'aspects immatériels:

- service-client atteignable 24h/24h dans les faits, pas seulement sur le papier
- ponctualité et apparence soignée du monteur de service
- information systématique du client sur la nature du dérangement après chaque intervention.

Was nimmt der Contractor dem Kunden alles ab?

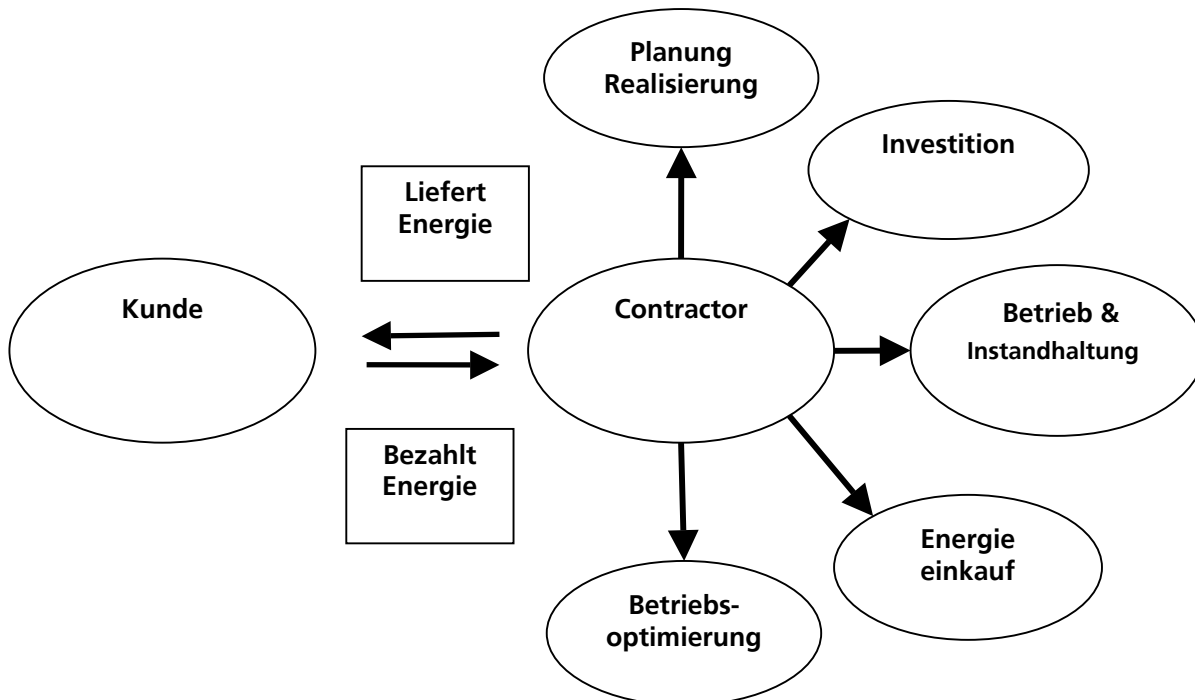


Bild 1: Der Kunde delegiert. Der Contractor übernimmt.

Grundpreis

Im Grundpreis sind folgende Elemente einberechnet:

- Abschreibung
- Verzinsung
- Risiko

Wir haben beim Grundpreis keine Indexierung.

Für unsere Kunden gilt über die Vertragszeit der Grundpreis als fix und deshalb transparent. Restwert und Investitionsanteil haben natürlich einen Einfluss auf den jeweiligen Grundpreis. Die definitive Bauabrechnung liefert die Verrechnungsbasis für den Grundpreis.

Energiepreis

Im Energiepreis sind folgende Elemente einberechnet:

- Primärenergie
(Öl, Gas, Strom.)
- Betrieb- und Instandhaltung
- Service 7/24/365
- Kaminfeger
- Tankrevisionen
- Boilerentkalkung
- Gebühren

Im diesem Preis sind sämtliche Gebühren, Energie - und Instandhaltungskosten enthalten.

Der Energiepreis ist indexiert. Basis sind marktrelevante Veränderungen bei der Primärenergie. Vereinfacht gesagt: Aus Grundpreis und Energiepreis entstehen die Wärmekosten verbrauchsabhängig. Deshalb gibt es keine unerwarteten und zusätzlichen Kosten.

Daten der Überbauung Meisenweg in Thun

Bauherrschaft UBS Fonds Management AG

Wohneinheiten: 138

Wohnblöcke: 8

Baujahr: 1969

Energieträger: Öl

Dies haben wir in der Projektphase angetroffen:

- 3 zentrale Ölheizkessel
- Warmwasser wurde zentral aufbereitet
- Und die Fernleitungen waren in einem schlechten Zustand und selbstverständlich unisoliert.

Contractingpreise

Investitionskosten: 1,1 Mio. CHF
 Energiepreis: 6.35 Rp./kWh
 Vertragsdauer: 15 Jahre
 Grundpreis: 100'488 CHF exkl. MWST.

Technische Daten der Wärmepumpe

Fabrikat: Steinmann Apparatebau AG

Heizwasservorlauftemperatur:	Bei 45 °C	Bei 60 °C
Heizleistung:	376 kW	320 kW
COP:	4.29	3.0

2 Kältekreise, Kältemittel R-134a, mit mehrstufiger Leistungsregulierung.

Für den Contractor ist es bei der Beschaffung wichtig, dass der COP Wert im richtigen Verhältnis Vertragsdauer und Preis betrachtet wird.

Es lohnt sich durchaus eine teurere WP mit besserer Leistungsziffer über die Zeit betrachtet einzusetzen.

Sehr oft entfremdend für Wärmepumpenlieferanten, welche trotz günstigstem Preis den Auftrag nicht realisieren können.

Vergleich

	vorher	2001
Installierte Wärmeleistung:	1'440 kW	1'040 kW
Ölheizkessel:	3x480 kW	1x720 kW
Grundwasser-WP:	-	1x320 kW
Heizölbedarf:	190'500 l/a	15'145 l/a
Primärenergie Öl:	1'905'000 kWh/a	151'450 kWh/a
Primärenergie Strom:	-	419'800 kWh/a
CO ₂ Öl:	504'500 kg/a	40'110 kg/a
CO ₂ Strom (127g CO ₂ /kWh) [1]:		53'310 kg/a
Warmwassererwärmung:	zentral	dezentral
Wärmeproduktion:		1'351'230 kWh/a
Wärmeproduktion mit Öl:		129'110 kWh/a
Wärmeproduktion mit WP:		1'222'120 kWh/a

In 15 Jahren:

- Öleinsparung 2'630'000 Liter, dies entspricht ca. 132 Tankwagen voll
- CO₂-Einsparungen ca. 6'200 Tonnen

Die JAZ inkl. Ölheizung, WP und dem Warmwasser liegt aktuell bei 2,36.

Eine ernüchternde Grösse mit der Wärmequelle Grundwasser?! Aber die mittlere Vorlauftemperatur muss systembedingt auf 62°C gefahren werden.

Quintessenz:

Eine massive Verbesserung der JAZ kann nur über gebäudetechnische Massnahmen erzielt werden. Bestätigt die Aussage einmal mehr: Vor der Heizungssanierung erst die Hülle prüfen resp. sanieren.

vorher



nachher



Bedienung + Überwachung der Anlage

Für den Kunden ist Fernmanagement rasches eingreifen und korrigieren von Parametern zur Veränderung der Anlagezustände, ein wichtiger Nutzen.

Die Optimierung über Internet ist heute Standard und erleichtert das Fernmanagement von jedem Standort aus.

Wichtig:

- Zuständigkeitsregelung
- Zugriffregelung
- Protokollführung.

Hemmnisse aus der Sicht der Bauherrschaft

- Vertrauen zum Contracting Partner
- Technik
- Mietrecht
- Verwaltung
- Vertrag.

Interview mit der Bauherrschaft zeigt, dass verschiedene Punkte zum Zeitpunkt der Vertragsverhandlung Neuland waren. So wurden die Mietpreise erst später um 4% reduziert. Die Investition trägt der Eigentümer und die Abschreibung dazu ist im Mietpreis zu berücksichtigen. Bei Verwaltungsabwicklungen fehlte die Erfahrung, im speziellen mit Sanierungen. Der Vergleich Konventionell mit Contracting kann nur mit einer Vollkostenrechnung erfolgen wie aber bestehende Infrastrukturen bewertet werden sollen war Gegenstand von Diskussionen.

Contracting heisst nicht mehr als Vertrag. Es gilt allgemein den Vertrag so einfach wie nötig und verständlich zu gestalten.

Kundennutzen, Kundenzufriedenheit

- Ein Ansprechpartner
- Viele Unsicherheiten werden abgenommen
- Ein Vertrag regelt Details langfristig
- Transparente Kosten für die Budgetierung
- Liquide Mittel frei für das Kerngeschäft
- Einsatz bewährter und neuer Technologien
- Energiemanagement liegt beim Betreiber
- Ein Servicepartner für die gesamte Anlage
- Werterhaltung.

Anforderungen an den Contractor

- Know-How
- Ressourcen
- Solvenz
- Qualität
- Innovation
- Politik, Gesetzgebung
- Risikobereitschaft.

Verträge sind ein zentraler Aspekt

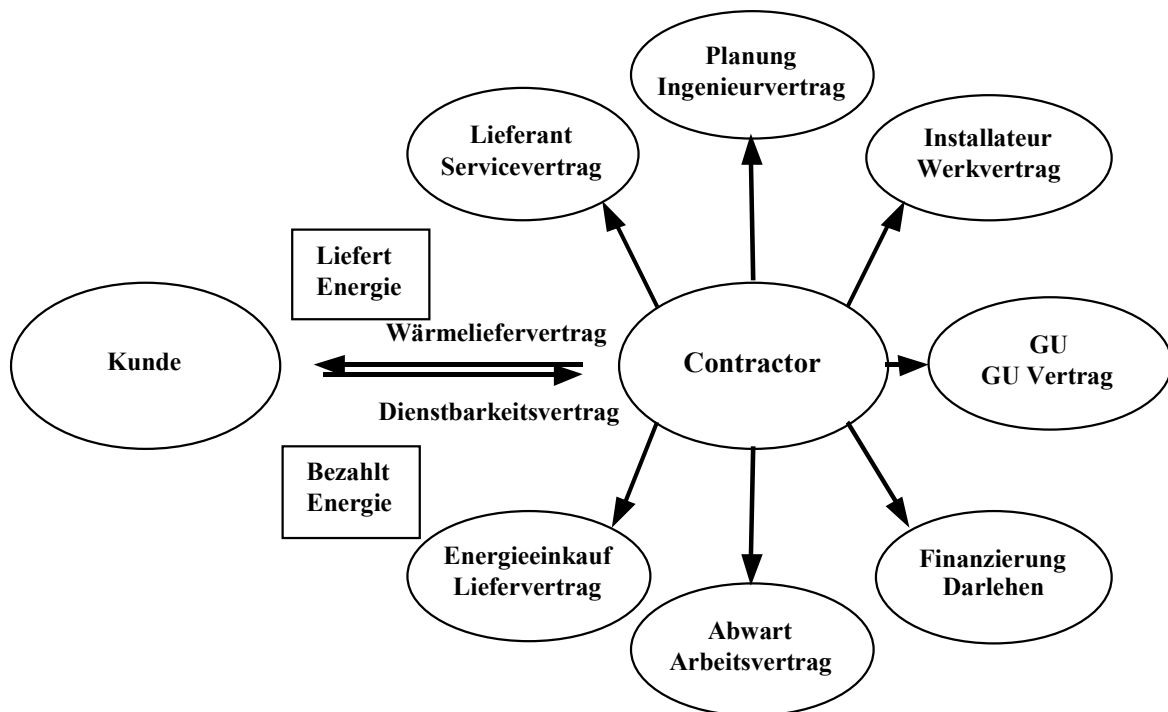


Bild 2: Dieses Modell zeigt auf, was für Verträge erforderlich sein können.

Informationen und Beratung:

BKW-FMB Energie AG:

Regionalvertretung Bern

Tel. 0844 30 30 30

Regionalvertretung Biel

Tel. 0844 30 30 30

Regionalvertretung Delémont

Tel. 0844 30 30 30

Regionalvertretung Spiez

Tel. 0844 30 30 30

Regionalvertretung Langnau

Tel. 0844 30 30 31

Regionalvertretung Wangen

Tel. 0844 30 30 32

Regionalvertretung Gstaad

Tel. 0844 30 30 33

Regionalvertretung Porrentruy

Tel. 0844 30 30 34

oder

Daniel Kammermann

Tel. 031 330 56 47

daniel.kammermann@bkw-fmb.ch

Links:

www.bkw-fmb.ch

www.1to1energy.ch

Quellen

- [1] R. Frischknecht et al., „Ökoinventare von Energiesystemen – Grundlagen für den ökologischen Vergleich von Energiesystemen in ökologischen Vergleich von Energiesystemen und den Einbezug von Energiesystemen in Ökobilanzen für die Schweiz“, ETH Zürich / PSI Villigen, 3. Auflage, ENET, Bern (1996).

Jean-Philippe Borel, Dr. ing. méc. EPFZ
Ingénieur Conseil
BEC Borel Energy Consulting
Route de la Corniche 30
CH-1096 Cully
contact@borelenergy.ch
www.borelenergy.ch

Chaleur et froid en toute saison

Zusammenfassung: Wärme und Kälte jederzeit

Das Ziel dieses Vortrages ist, mit zwei Anlagebeispielen und einigen Überlegungen über den potentiellen Markt grosser WP einen Beitrag zur Antwort auf die Frage „Wo sind die Grossen“ zu liefern.

Im ersten Beispiel wird eine WP-Heizzentrale von 140 kW, Ende 1999 gebaut, vorgestellt. Beide AEG WP-Einheiten von 70 kW, mit 4-gradigem Wasser als Wärmequelle, sind seither ohne Problem gelaufen. Die Wärmeverteilung wird parallel zwischen WW-, Schwimmbad- und Heizungsverbraucher geführt, und diese werden nacheinander gespiesen.

Als potentieller Markt für grosse WP sehen wir „Anlagen für kombinierte Produktion von Wärme und Kälte“, kurz AKPWK genannt, eher als Heizanlagen, denn sie weisen eine wesentlich bessere Rentabilität auf. Diese AKPWK, mit einer WP als Hauptkomponente, produzieren gleichzeitig Wärme und Kälte durch Aufladung von Heiz- und Kaltwasserspeicher. Eine Erdsonde kann überflüssige Kälte oder Wärme aufnehmen. Diese kombinierte Anlage ist funktionssicherer, kompakter und rentabler als separate Kälte- und fossile Heizanlagen.

Im zweiten Beispiel wird eine solche AKPWK-Anlage mit SATAG WP von 16 kW vorgestellt, die anfangs 2002 in Betrieb genommen wurde. Als Verbraucher für Kaltwasser sind ein Monobloc und ein Kühlraum, für Heizwasser Boden- und Radiatorenheizungen. Die Anlage ist seit der Inbetriebnahme ohne Problem gelaufen: sie bringt über 50% Stromeinsparung.

Die AKPWK-Anlage stellt eine mögliche und wahrscheinliche Entwicklung der WP-Technik. Solche Anlagen werden in den letzten Jahren gebaut. Die Hersteller werden gefordert, Regler mit den zusätzlichen notwendigen Funktionen auf den Markt zu bringen. Dann wird man „grosse WP auf Standorten mit Bedarf an Wärme und Kälte“ finden.

Introduction

Le but de cet exposé est d'apporter quelques éléments de réponse à la question posée «Où sont les grosses» (pompes à chaleur), au travers d'exemples d'installations réalisées ainsi que de réflexions sur le marché potentiel des grosses pompes à chaleur (PAC).

Une pompe à chaleur de 140 kW dans un Centre sportif

Situation initiale et concept

Par suite d'avaries à répétition sur les compresseurs de la PAC de la centrale de chauffage du Centre sportif de Bettmeralp, il a été décidé de la remplacer par une nouvelle machine.

Chargé de réaliser l'étude, nous avons proposé d'effectuer une révision en profondeur du schéma de la production et de la distribution de chaleur, dans le but de mieux tenir compte de la présence d'une pompe à chaleur, et de produire dorénavant l'eau chaude sanitaire (ECS) à partir de la PAC.

Les principales caractéristiques de la source de chaleur et des besoins à couvrir étaient les suivantes :

- Source de chaleur : eau de source, température de 3 à 4 °C, constante durant toute l'année, en quantité suffisante (env. 35 m³/h),
- Puissance à installer : env. 140 kW,
- Accumulateur de chauffage de 12 m³ préexistant,
- Consommateurs « chauffage » : climatisation de la halle, des restaurants, des saunas, chauffages de sols de la piscine, de la halle de tennis, chauffage du bureau communal, de l'appartement, des studios, des salles de fitness, etc.,
- Consommateurs « piscine » : piscine publique, piscine pour enfants et whirl-pool,
- Consommateurs « eau chaude sanitaire » : douches de la piscine et du tennis, restaurants, etc.

Le concept proposé comportait les éléments suivants :

- **Partie production** : comporte un circuit intermédiaire à eau glycolée, avec échangeur intermédiaire transférant la chaleur de l'eau de source à celle du circuit intermédiaire ($\delta T = 2.5$ à 3 °C, 30 à 35 m³/h aux primaire et secondaire de l'échangeur)
- Eau de source pompée depuis un bassin ouvert par une pompe à 2 vitesses (selon qu'une ou deux PAC en fonction),
- Débit d'eau de source dans le bassin réglé par une vanne hydromécanique à flotteur de type Clayton,
- Protection contre le givrage de l'échangeur par thermostat (libération PAC) sur le circuit intermédiaire.
- **Partie distribution** : une disposition particulière des départs permet de répartir les tâches entre les deux PAC et de tourner avec une seule PAC en cas de panne ou en été,
- Les 3 consommateurs principaux, la piscine (35 °C), le boiler (55 °C) et l'accumulateur de chauffage (30 à 55 °C) sont alimentés directement depuis les PAC, l'un après l'autre, pour un rendement maximum.
- Transport d'eau glacée depuis le circuit intermédiaire vers le monobloc de ventilation de la halle pour y assurer la fourniture de froid pour la déshumidification (la chaleur récupérée est ramenée à la PAC et recyclée).
- **Partie production d'ECS** : pour cause de manque de place, utilisation d'un boiler actif à microprocesseur Domotec, à faible volume d'eau, mais échangeur de chaleur de 150 kW.

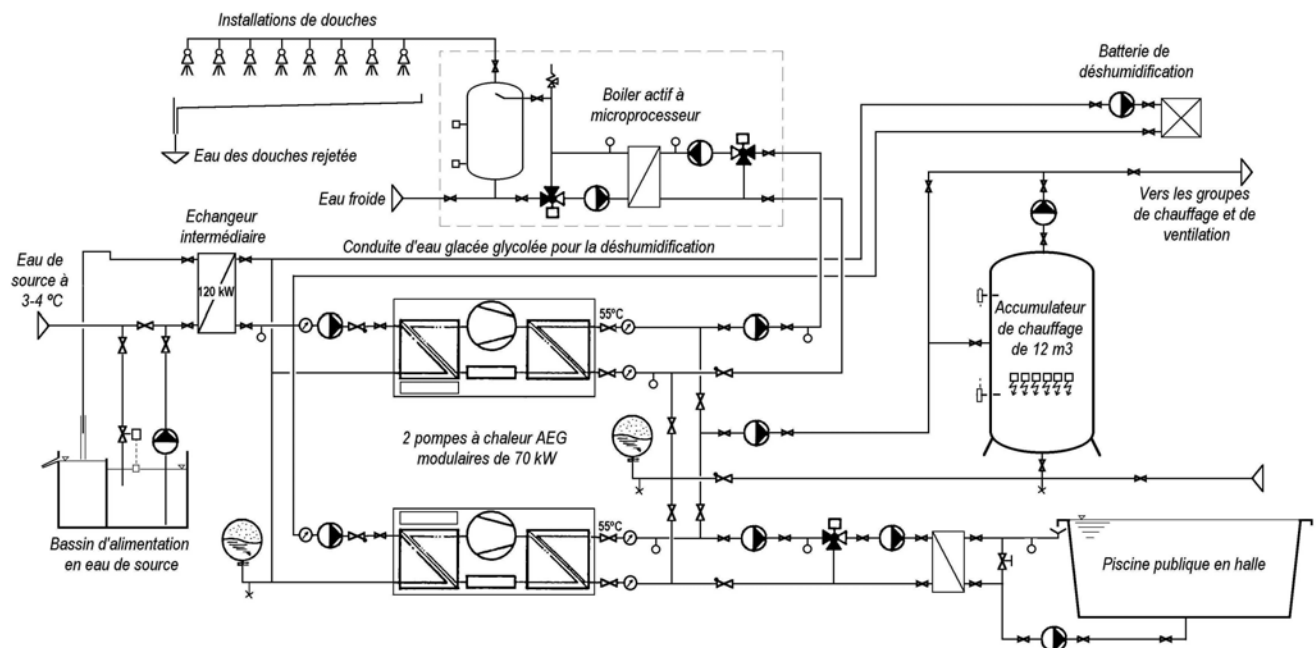


Illustration 1: schéma simplifié de la centrale de chauffage à PAC du Centre sportif de Bettmeralp.

Les raisons d'être d'une grosse PAC sur ce site sont les suivantes:

- Source de chaleur disponible en quantité suffisante et constante,
- Tarif électrique favorable (actuellement 16.6 ct le jour, 11.5 ct la nuit),
- Site à 2000 m d'altitude sans route d'accès, donc coût élevé du mazout à cause du transport,
- Site dans station sans voiture où l'on cherche à éviter le recours au mazout de chauffage.

Expériences d'exploitation

La rénovation, exécutée à fin 1999, comportait un échange de la PAC, et un minimum de modifications aux circuits de distribution, en se limitant aux améliorations apportant le plus d'économies d'énergie, et en effectuant une simple adaptation du contrôle-commande, en technique relais comme auparavant.

Après la mise en service, à cause de la complexité de l'ensemble de l'installation, une saison froide et la saison chaude suivante ont été nécessaires pour effectuer l'optimisation et le réglage fin.

Depuis lors, l'installation fonctionne sans aucun problème.

Les principales expériences accumulées ont été les suivantes :

- Le boiler Domotec n'était pas paramétré à l'origine pour une PAC: l'exploitant a été dû rechercher les bons réglages, et aussi poser des servomoteurs plus rapides sur les vannes de réglage,
- Il a été constaté que ce type de boiler devrait être placé idéalement à côté de la PAC, sinon les temps de réaction réduisent la marge de réglage,

- Il a été nécessaire de limiter le débit total des douches et celui de l'eau froide, car le boiler actif se met à l'arrêt si la demande d'ECS dépasse une valeur limite,
- Lors de fortes consommations d'ECS, on a mesuré l'utilité d'un boiler actif, car si la réserve d'eau est épuisée, il modifie sa configuration pour poursuivre sans interruption et en direct la production d'eau chaude : avec un boiler passif, il faudrait 2 heures sans pouvoir consommer d'ECS pour rétablir la température,
- Le whirl-pool est un consommateur exigeant pour une PAC, à cause de ses forts à-coups de consommation de chaleur: en hiver, il est donc préférable de l'alimenter à partir de l'accumulateur de chauffage,
- La remise en température de l'installation au début de chaque saison, avec une piscine à 10 °C, doit tenir compte des besoins de la PAC, qui s'arrête si la température de retour est trop basse: il faut donc grouper les consommateurs pour avoir un retour à température suffisante,
- Les PAC (AEG, sol-eau, 2 fois 70 kW) ont pour le reste toujours très bien fonctionné.
- Dans l'optimisation de l'installation, il a fallu tenir compte des très fortes variations de la demande (plus de 200 personnes présentes dans la halle certains jours de mauvais temps, et quasiment personne par beau temps),
- La flexibilité intégrée dans l'installation a facilité durant la première année le réglage et l'adaptation de l'installation à ces conditions très variables. Ceci a été possible grâce à la présence d'un technicien compétent et disponible, M. Anton Franzen, chef d'exploitation d'une partie des installations de la station (télécabine, restaurant d'altitude chauffé par PAC récupérant la chaleur des moteurs de traction, etc.),
- En ce qui concerne le contrôle-commande, si c'était à refaire, le choix se porterait aujourd'hui sans aucun doute sur un automate programmable, solution évitée en 1999 pour des raisons d'éloignement. Mais ces dernières années, le niveau des compétences techniques a augmenté si rapidement, dans une station d'altitude qui s'est mise à gérer ses canons à neige et télécabines à distance par un réseau de terrain Ethernet à fibres optiques, que l'on trouve maintenant sur les rayonnages de la société locale de transports des automates programmables complets parmi les pièces de rechange !

Projet Pilote et Démonstration de l'Office Fédéral de l'Energie

Cette réalisation a reçu le soutien de la Confédération (projet Pilote et Démonstration de l'Office Fédéral de l'Energie, OFEN) et du Canton du Valais : on a donc posé des compteurs de chaleur et d'électricité et effectué, comme l'exige l'OFEN, durant 2 ans des relevés mensuels de ces compteurs pour permettre de déterminer le coefficient de performances COP de la PAC.

Performances et consommation d'énergie

Le COP mesuré durant ces 2 années présente une valeur moyenne annuelle nette de près de 3.0 (2.99 exactement pour 2000 et 2001). Cette valeur est calculée en tenant compte des consommations des auxiliaires primaires et secondaires de la PAC.

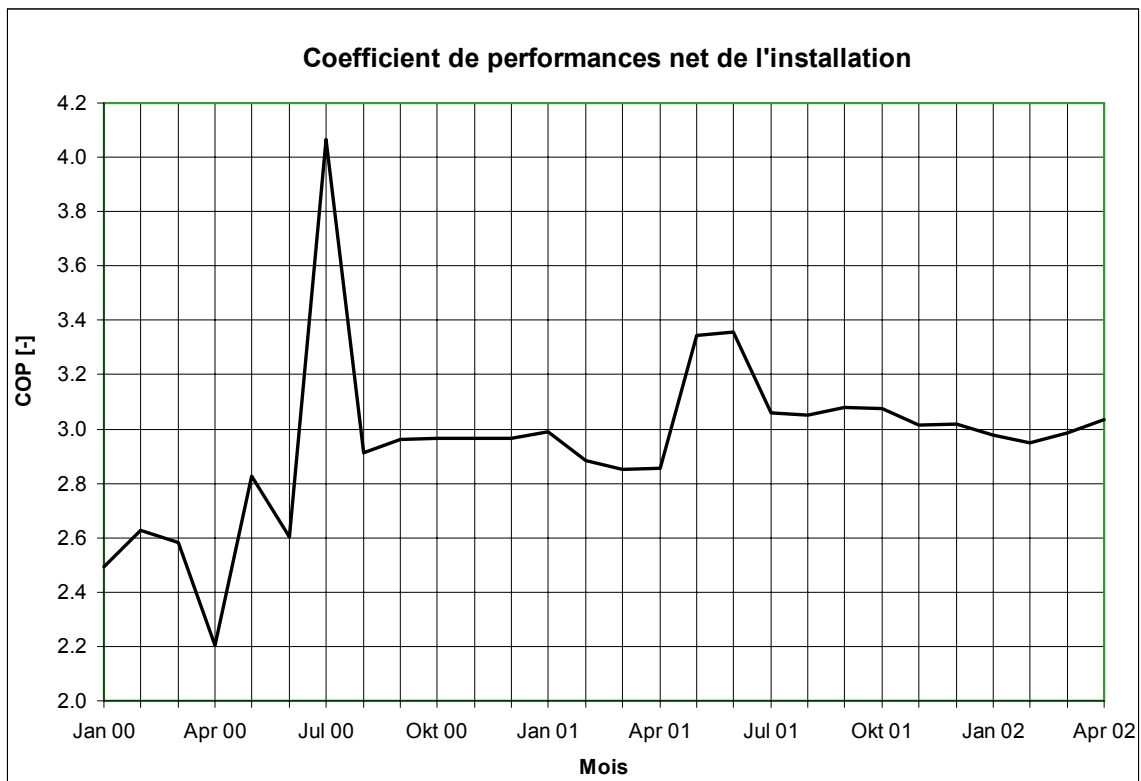
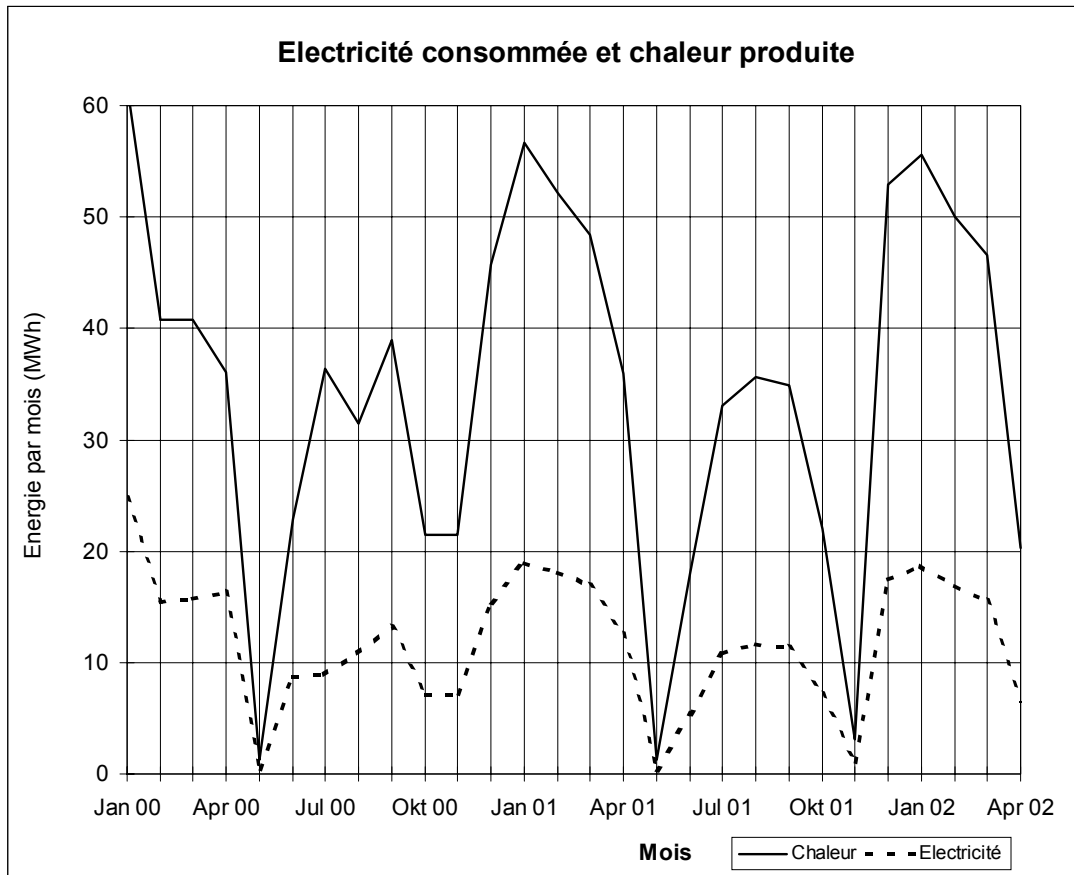


Illustration 2 et 3: à gauche les énergies consommées et produites, mois par mois : à droite, le COP net en exploitation.

Alors que la figure de gauche illustre les fortes variations de la durée d'utilisation des PAC d'un mois à l'autre dans un contexte de station de montagne (2 saisons principales de 4 mois), celle de droite révèle comment le COP a évolué durant la période de mise au point pour se stabiliser progressivement aux environs de 3.0.

Un autre graphique intéressant montre l'évolution de la consommation d'électricité de la PAC, resp. la piscine, avec leurs auxiliaires, dans les années suivant la rénovation de l'installation.

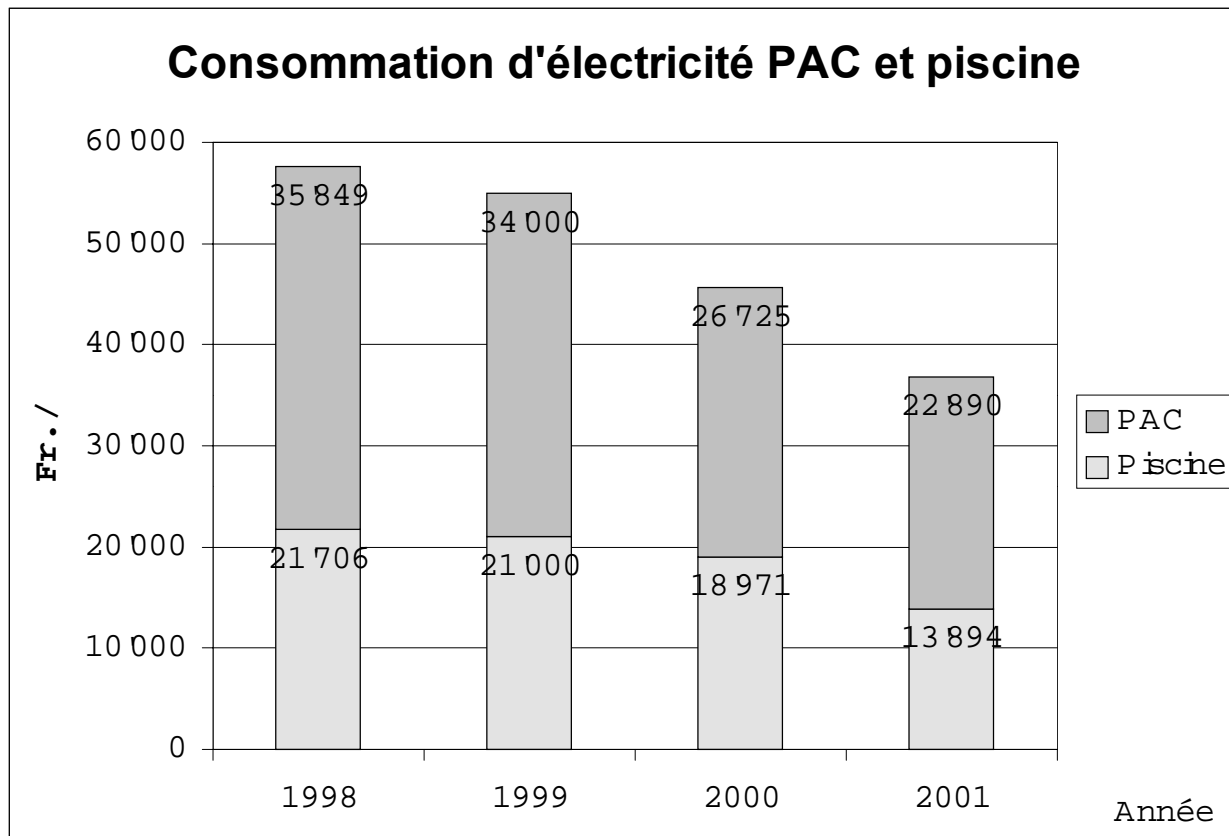


Illustration 4: Evolution de la consommation d'électricité après la rénovation.

Comme le montre la figure 4, la consommation d'électricité de la PAC et celle de la piscine ont toutes deux fortement diminué dès la rénovation:

- En l'an 2000, première année d'exploitation, baisse de env. 20% des coûts totaux d'électricité (nouvelle PAC et améliorations diverses),
- Puis en l'an 2001, réduction de 35%, notamment par suite d'améliorations à la production (échange de l'échangeur de chaleur de la piscine) et du travail systématique entrepris par un nouveau gérant (côté consommation),
- Pour le premier trimestre de 2002, une réduction supplémentaire de 10% (moins 40% en tout) montre que ce travail d'amélioration n'est pas encore terminé.

Ce “potentiel d'économies de l'exploitant” concerne notamment:

- Réglage des diverses et nombreuses installations de chauffage au plus près des besoins,
- Arrêt du chauffage de sol autour de la piscine,
- Suppression du solarium particulièrement vorace en électricité,
- Arrêt du pompage de l'eau du toboggan en cas de non-utilisation, etc.

Comme c'est souvent le cas après une rénovation, on constate que les prestations les plus importantes, comme la température de l'eau et de l'air de la piscine, se sont stabilisées à une valeur plus élevée qu'auparavant, ce qui constitue une amélioration des prestations.

Bien que l'on puisse considérer que le gros des économies d'électricité a maintenant été réalisé (dans les 40 %), une réduction de la consommation est encore possible, par exemple au fur et à mesure des remplacements de circulateurs, de ventilateurs et d'horloges de commande, par des appareils plus modernes et sobres.

Quel marché potentiel pour les grosses PAC ?

Généralités

Après cet exemple, dans lequel une PAC standard assure diverses prestations de processus, nous souhaitons effectuer une réflexion quelque peu prospective en rapport avec la question posée lors de cette journée du 11 juin 2002 sur les pompes à chaleur: où sont les grosses (pompes à chaleur) ?

Tout d'abord quelques précisions de langage :

- Les PAC dont il est question ici sont des machines modulaires compactes, produites en série, équipées de compresseurs hermétiques,
- Ces machines ne nécessitent pas d'entretien,
- Leur puissance se situe actuellement entre env. 20 et env. 90 kW par unité, en version sol-eau,
- On ne trouve pas sur le marché de PAC air-eau modulaire compacte dans cette gamme de puissance,
- Ces PAC doivent être équipées d'une régulation capable de s'adapter à différentes configurations des circuits hydrauliques primaire et secondaire, en vue d'applications orientées plutôt processus que chauffage.

Quel marché ?

Avec le prix actuel du pétrole, il est difficile de réaliser des installations de chauffage compétitives avec de grosses PAC, notamment pour les installations avec sondes géothermiques (exception: sondes-pieux). Par contre, on sera plus près de la compétitivité sur des sites offrant de “bonnes” ressources en eau (env. 10 °C, débit élevé). Mais ces sites sont et resteront relativement peu nombreux.

Alors, quel autre marché ?

Nous sommes d'avis que le marché des « Installations de Production Combinée de Chaleur et de Froid » (IPCCF) pourrait représenter à moyen terme un potentiel appréciable pour les « grosses PAC ».

De quoi s'agit-il ?

Les “Installations de Production Combinée de Chaleur et de Froid” (IPCCF)

Nous entendons par là une installation à PAC rassemblant les fonctions suivantes :

- Production de chaleur sous forme d’eau chaude, et gestion de la demande de chaleur,
- Production de froid sous forme d’eau glacée, et gestion de la demande de froid,
- Gestion et stockage des surplus de chaleur et de froid, c’est-à-dire des surplus de chaleur éventuels lors de la production de froid et des surplus de froid éventuels lors de la production de chaleur.

Cette installation comporte idéalement, dans sa variante de base :

- Une PAC comme seule unité de production,
- Un accumulateur d’eau chaude,
- Un accumulateur d’eau glacée,
- des groupes de charge de ces accumulateurs et de transfert de chaleur de et vers une sonde géothermique ou tout autre équipement analogue permettant d’échanger de la chaleur avec l’environnement,
- Des groupes de chauffage,
- Des groupes de refroidissement,
- Un régulateur ou système de régulation capable d’assurer la gestion et la surveillance de tous ces équipements.

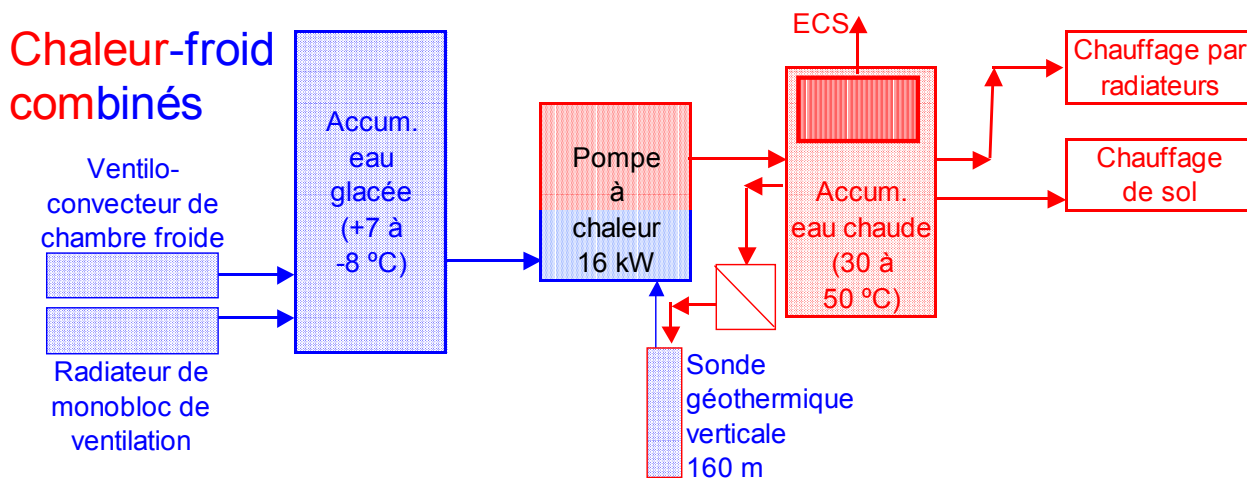


Illustration 5: Schéma de principe de l'Installation de Production Combinée de Chaleur et de Froid, pour le cas de l'installation de Vevey présentée ci-dessous.

Ainsi équipée, l'IPCCF peut fournir les mêmes prestations que les équipements suivants :

- Un groupe frigorifique produisant et gérant la demande d’eau glacée (climatisation ou froid commercial),
- Une installation de chauffage, au mazout, à gaz, éventuellement à PAC, complète,
- Un dispositif de récupération de chaleur (ECS et-ou chauffage).

L'intérêt de l'IPCCF réside dans le fait que :

- Techniquement, c'est une installation de chauffage à PAC, avec quelques composants supplémentaires,
- Economiquement, elle est un peu plus coûteuse à l'investissement qu'une installation de chauffage à PAC, et consomme un peu plus d'électricité,
- Mais en exploitation, elle fournit les prestations d'une installation de chauffage plus celles d'une installation d'eau glacée,
- Puisqu'elle offre nettement plus de prestations avec un peu plus d'investissement, elle présente donc des conditions très intéressantes au plan de la compétitivité.

Outre ces avantages économiques, notre IPCCF dispose encore de quelques qualités intéressantes :

- Pas de frais d'entretien, contrairement aux installations à eau glacée courantes,
- Elle fournit une solution aux problèmes de l'évacuation de la chaleur en production de froid (coût élevé du refroidissement à eau, problèmes de calcaire, mauvais rendement du refroidissement à air, bruit, panache de tour de refroidissement, encrassement, entretien fréquent, mauvaise fiabilité, etc.),
- Un gain de place notable, puisqu'il n'y a qu'une installation au lieu de deux, avec suppression éventuelle d'une citerne à mazout,
- Récupération poussée de la chaleur (à 2 niveaux), donc économies d'énergie appréciables,
- Fiabilité plus élevée, car la partie froid de l'installation n'est plus réalisée en technique frigorifique à haute pression avec ses risques de fuites, mais sous forme de circuits à eau glycolée à pression normale.

Nous insistons sur la différence entre l'IPCCF et l'installation d'eau glacée à récupération de chaleur, car dans le cas de l'IPCCF la production et gestion de la demande de froid mais aussi de chaleur est assurée : une installation de chauffage séparée n'est donc pas nécessaire.

Faisabilité technique

Diverses installations, et qui fonctionnent très bien depuis plusieurs années, existent déjà dans le terrain et apportent la preuve de la faisabilité du concept.

Les limites techniques sont actuellement les suivantes:

- Ce concept est valable uniquement pour les installations dans lesquelles le froid peut être transporté par un caloporteur,
- Les limites de température sont actuellement de l'ordre de -15 °C pour l'eau glacée, et de $+65\text{ °C}$ pour l'eau chaude,
- La puissance unitaire atteint env. 90 kW par unité de type sol-eau,
- La sonde géothermique verticale est de loin le dispositif source-puits de chaleur de grande capacité le plus approprié,
- Mais l'eau de surface, la nappe phréatique ou l'eau de source avec circuit intermédiaire d'eau glycolée peuvent également convenir, toutefois sans l'effet d'accumulation saisonnière qu'offre la sonde géothermique,
- Des études sont encore nécessaires pour améliorer le dimensionnement de sondes géothermiques soumises à une recharge durant une partie de l'année.

Dans notre pays, un nombre non négligeable de sites peuvent être équipés soit de sondes géothermiques, soit de registres terrestres ou sont proches d'une ressource d'eau de surface ou souterraine.

En ce qui concerne le régulateur, composant le plus important d'une IPCCF:

- Les régulateurs actuels des PAC modulaires ne comportent pas toutes les fonctions nécessaires,
- Il y a cependant de très grandes différences d'un fabricant à l'autre: les possibilités et flexibilité les plus étendues sont offertes à notre connaissance par le régulateur des PAC de la firme basée en suisse SATAG,
- Même un tel régulateur ne suffit pas actuellement, ce qui nécessite de le faire fonctionner au-delà des configurations prévues (par ex. en utilisant certaines fonctions de production d'ECS pour la production de froid), et en ajoutant des composants externes de régulation, notamment pour assurer la gestion de l'énergie entre les accumulateurs d'eau chaude, d'eau glacée et l'accumulateur de grande capacité.

Il est évident que pour maîtriser la conception, exécution et mise en service d'une telle installation, l'installateur doit disposer d'une très bonne connaissance du régulateur, ainsi que d'un contact étroit avec le fournisseur, ce qui n'est pas très courant.

A moyen terme, il serait par conséquent souhaitable que les fabricants de PAC envisagent d'ajouter aux régulateurs de certains modèles de PAC des fonctions de gestion de la production et de la demande d'eau glacée, ainsi que de gestion de la charge des 3 accumulateurs.

Applications possibles et exemples

Nous sommes d'avis que les applications possibles de l'IPCCF sont très nombreuses et variées, dans la construction neuve comme dans la rénovation.

Voici quelques exemples :

- Piscines couvertes : froid pour déshumidifier l'air de la halle, chaleur pour l'eau du bassin et autres consommateurs,
- Hôtels : froid pour des chambres froides et la climatisation, chaleur pour l'ECS et le chauffage, plus d'autres besoins pour les hôtels avec piscines couvertes,
- Grandes caves viticoles ou fruitières : refroidissement et chauffage des cuves et des caves, chauffage des bureaux,
- Boucheries, boulangeries : tous les besoins en froid, climatisation, ECS et chauffage,
- Bâtiments de services, bâtiments d'archives de l'Etat : climatisation et chauffage,
- Entreprises industrielles diverses : processus consommant de la chaleur, resp. du froid,
- Restaurants d'altitude et-ou souterrains : conservation, réfrigération, climatisation et chauffage souvent simultanés durant presque toute l'année.

Une pompe à chaleur dans un Centre funéraire

Nous souhaitons traiter ici un peu plus en détail un exemple d'une IPCCF mise en service récemment.

Situation initiale et concept

La commune de Vevey a décidé en 2001 de rénover le bâtiment et les installations techniques du Centre funéraire de St-Martin. Les besoins à couvrir y sont les suivants :

- Refroidissement pour maintien à 6-8 °C et ventilation des cellules funéraires et d'autres locaux,
- Refroidissement d'une chambre froide à 5 °C,
- Chauffage du bâtiment par radiateurs et de la chapelle par chauffage de sol,
- Besoins de froid durant toute l'année, et de chaleur env. 8 mois par an.

Nous avons été mandaté pour l'étude et la conduite de l'exécution de la rénovation des installations techniques, en proposant le concept suivant:

- Refroidissement des cellules uniquement par ventilation à récupération et utilisation multiple de l'air (chapelle – corridor – locaux de visite - cellules funéraires - extérieur),
- Production simultanée et combinée de froid (eau glacée à 2 °C) et de chaleur (eau chaude à 30 – 50 °C) au moyen d'une pompe à chaleur de 16 kW de la firme SATAG,
- Sonde géothermique de 160 mètres comme accumulateur de grande capacité,
- Régulation : utilisation de toutes les possibilités de la régulation de la PAC pour faire fonctionner ce système, et adjonction de composants externes pour gérer les flux d'énergie entre les accumulateurs.

Exécution et résultats d'exploitation

La mise en service et le premier semestre d'exploitation se sont déroulés sans panne ni surprise. Les mesures de températures et d'énergie effectuées ont confirmé le bien-fondé du concept ainsi que le dimensionnement.

Même constat pour la réduction de la consommation d'électricité, qui est maintenant inférieure à 50 % de la valeur avant rénovation.

Les principales raisons à cette forte réduction :

- Production : récupération quasiment intégrale de la chaleur, sur 2 étages (accumulateurs et sonde géothermique), machine de production très performante, pour le froid comme pour la chaleur,
- Réfrigération des cellules : remplacement d'un système combiné froid-réfrigération par ventilation par un système de réfrigération uniquement par ventilation à renouvellement partiel de l'air (env. 1 par 4 heures) et récupération du froid sur l'air rejeté,
- Chauffage des locaux au moyen de la chaleur produite en même temps que le froid.

Dans une telle installation, l'adoption d'une IPCCF n'apporte réellement que des avantages pour l'exploitant, à cause de sa simplicité et de sa très grande fiabilité : la fourniture de froid est assurée par une installation de chauffage sans entretien.

Actuellement, très peu d'entreprises sont capables de fournir de telles installations : celle décrite ici provient de l'entreprise Dalcalor SA, à Ecublens/Lausanne, qui a déjà réalisé un certain nombre d'IPCCF.

Perspectives

L'Installation Combinée de Production de Chaleur et de Froid (IPCCF) est à notre avis une évolution possible et très probable de l'application des «grosses pompes à chaleur», pour lesquelles il sera nécessaire de disposer, en plus des PAC standards performantes et fiables déjà disponibles, de modules de régulation offrant de nouvelles fonctions dans le domaine du froid.

Il manque également les concepteurs et les installateurs sachant maîtriser les différentes disciplines rassemblées dans une telle installation. Un effort de développement et de formation sera par conséquent nécessaire, si possible avec l'appui de la Confédération.

L'objectif étant de pouvoir réaliser, sur de nombreux sites potentiels, des installations du domaine de la technique courante de chauffage et du refroidissement à caloporteur plutôt que du domaine de l'art du froid.

Cette évolution permettra d'apporter à la question posée ici "Où sont les grosses" la réponse suivante: «Elles seront présentes sur des sites ayant des besoins combinés de chaleur et de froid».

Beat Kobel, dipl. Bau- und Betriebswirtschaftsingenieur HTL/NDS
des. Geschäftsführer, Projektleitung „Energie in ARA“
Ryser Ingenieure AG
Engestr. 9
CH-3000 Bern 26
beat.kobel@rysering.ch
www.rysering.ch

in Zusammenarbeit mit

Ernst A. Müller, dipl. Geograph
Projektleiter „Energie in ARA“
Büro eam
Lindenhofstr. 15
CH-8001 Zürich
mueller.eam@bluewin.ch

Vergessene Wärmequelle in der Gemeinde: ARA-Abwasser

Zusammenfassung

Abwasser fliesst über Jahr und Tag in grossen Mengen als „Abfall“-Produkt durch das weit verzweigte Kanalisationsnetz. In diesem Abwasser steckt eine enorme Wärmemenge, die zur Beheizung von Zehntausenden von Gebäuden genutzt werden kann. Den Grosswärmepumpen sollte das positive Image dieser innovativen Technologie, dank hoher Energieeffizienz und vielen realisierten Beispielen, zum Durchbruch verhelfen.

Résumé

Jour après jour, des millions de mètres cubes eaux usées coulent dans nos égouts. Dans cette matière, considérée comme un déchet, se trouve une quantité extraordinaire d'énergie qui peut être valorisé dans le chauffage d'immeubles. En Suisse, des milliers de sites réunissent la conjonction de quantités de chaleur utilisables situées à proximité de consommateur potentiels. La maturité des techniques, leur efficacité énergétique démontrées par le passé dans des installations exemplaires ouvrent la voie à la multiplication d'installations de grosses pompes à chaleur.

1. Potenzial der Abwasserwärme

1.1 Abwasser als Wärmequelle für Wärmepumpen

Wer kennt sie nicht, all die erneuerbaren Wärmequellen:

Holz, Umgebungswärme (Luft), Sonne, Grundwasser, See- und Flusswasser, Erdwärme etc.

Bei all diesen Aufzählungen geht aber eine immense Wärmequelle sehr oft vergessen: Nämlich das unter unseren Füßen in den Kanalisationsleitungen abfliessende Abwasser. Bekannt ist, dass die Abwasserreinigungsanlagen ARA mit dem Klär- resp. Biogas über einen eigenen hochwertigen Energieträger verfügen. Oft vergessen und wenig bekannt ist, dass die Kläranlagen und die Kanalisationsnetze mit der Wärme im Abwasser über einen weiteren Energieträger verfügen, der noch ein vielfach grösseres Potential besitzt. Die Wärme im Abwasser entsteht durch die natürliche und künstliche Erwärmung des Wassers mittels fossiler und elektrischer Energie (Warm- und Prozesswasser). Diese Wärme aus dem Abwasser kann zurückgewonnen und mittels Wärmepumpentechnologie genutzt werden [1/2].

Die Abwasserwärme ist für Wärmepumpen eine sehr günstige Wärmequelle, da

- Abwasserwärme langfristig eine sichere Quelle darstellt,
- das Wärmeangebot ständig und in grosser Menge verfügbar ist,
- die Temperaturen relativ hoch sind (guter Wirkungsgrad der Wärmepumpe).

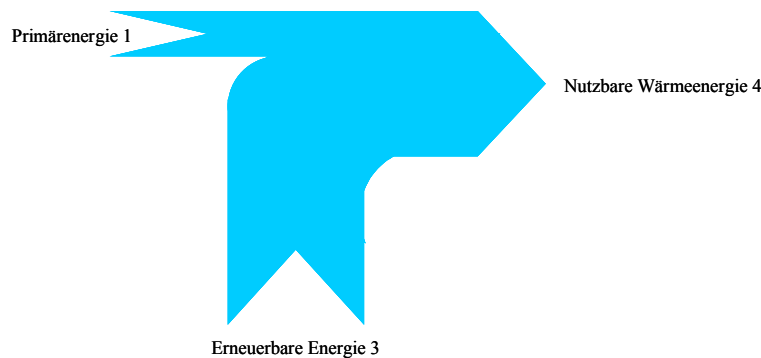


Bild 2: Energiefluss-Darstellung am Beispiel einer Wärmepumpe mit Leistungsziffer 4.

1.2 Berechnung Wärmeinhalt im Abwasser

Das Abwasser kann grundsätzlich dem normalen Wasser gleichgestellt werden. Pro 1 m³ kann dem Abwasser pro Stunde und pro 1 Kelvin Abkühlung 1,16 kW Wärme entzogen werden. Eine Wärmepumpe kann damit bei einer angenommenen Leistungsziffer von 4 eine Wärmemenge von 1,55 kW pro 1 Kelvin Abkühlung bereitstellen. Da neben einer Wärmepumpe in der Regel zur Spitzendeckung eine konventionelle Heizung installiert wird, kann die gesamte Heizzentrale eine Wärmeleistung von insgesamt 2-5 kW pro 1 Kelvin Abkühlung bereitstellen.

Pro Einwohner fallen im Mittel rund 100 m^3 Abwasser pro Jahr oder ca. $0,01 \text{ m}^3/\text{Std}$ an [1/2]. Eine Kläranlage mit beispielsweise 100'000 angeschlossenen Einwohnern verfügt also über so viel Abwasserwärme, dass damit der Heizbedarf von rund 10'000 Einwohnern gedeckt werden kann.

1.3 Potenzial der Abwasserwärme

Das Angebot der Abwasserwärme ist so gross, dass damit eine Vielzahl von Gebäuden in Siedlungsgebieten beheizt werden kann. Für die Umsetzung stellt sich deshalb weniger die Frage nach dem Wärmeangebot im Abwasser, sondern vielmehr die Frage, ob geeignete Abnehmer gefunden werden und diese mit wirtschaftlich vertretbarem Aufwand die erneuerbare Energie nutzen können.

Vom Angebot her könnten theoretisch rund 5 - 10% aller Gebäude, welche an das Kanalisationsnetz und an die Kläranlage angeschlossen sind, mit Abwasserwärmepumpen versorgt werden. In der Schweiz könnte dadurch der Heizbedarf von rund 350'000 - 700'000 Einwohnern gedeckt werden.

2. Stand der Technik

Die Wärme aus dem Abwasser von Kläranlagen oder aus dem Kanal wird in der Schweiz schon seit über 20 Jahren genutzt. Mehr als 30 Anlagen wurden in der Zwischenzeit realisiert. In Skandinavien stehen diverse Grossanlagen in Betrieb, und auch in Deutschland wurde kürzlich die erste Anlage mit Wärmetauscher im Kanal in Betrieb genommen. Durch die entsprechende technologische Weiterentwicklung und durch das forcierte Auftreten von Elektrizitätsversorgungsunternehmen als Folge der Strommarktliberalisierung, haben die Abwasserwärmepumpen in den letzten Jahren einen enormen Aufschwung erfahren.

Die Abwasserwärme wurde früher vor allem mit einem Wärmeentzug nach der Kläranlage genutzt. Inzwischen hat sich auch die Variante mit Wärmeentzug aus dem Abwasserkanal durchgesetzt, was viele neue Nutzungsmöglichkeiten eröffnet.

2.1 Drei verschiedene Standorte der Wärmeentnahme

Die Wärme für die Wärmepumpen kann dem Abwasser mit speziellen Wärmetauschern an drei unterschiedlichen Standorten entnommen werden: Entweder

- nach der Kläranlage (im Auslauf der ARA)
- im Kanal (direkt im Siedlungsgebiet)
- im Gebäude selbst (nur bei grösserem Warmwasserverbrauch).

Die Kläranlagen wurden in der Regel etwas abseits am Rande der Siedlungsgebiete gebaut. Zwischen dem Siedlungsgebiet und der Kläranlage befinden sich häufig neue Baugebiete, die inzwischen mehr und mehr erschlossen werden. Solche Neubaugebiete sind für die Versorgung mit einem Abwassernahwärmeverbund bei der Variante Wärmeentzug nach der Kläranlage besonders geeignet. Bei einem Wärmeentzug aus dem Kanal liegen hingegen die Abnehmer nahe bei der Wärmequelle, da die grösseren Gemeinden mit einem dichten Netz von Kanälen überzogen sind. Dadurch sind keine grossen Verteilleitungen notwendig. Eine Wärmerückgewinnung direkt im Gebäude profitiert von den hohen Temperaturen des Abwassers und davon, dass keine Verteilleitungen gebaut werden müssen, kommt aber nur für Objekte mit grossem Warmwasserverbrauch in Frage.

Wärmeentnahme nach der Kläranlage

Bei einer Wärmeentnahme nach der Kläranlage wird die Wärme zuerst mit Nahwärmenetzen - wie in Münsingen oder Muri (vergl. Punkt 5) - zu den Abnehmern transportiert. Dabei kann die Wärme bis zur ersten Heizzentrale auf dem ursprünglichen Temperaturniveau des Abwassers (Winter meist 10-15° C) belassen werden, wofür kostengünstige, unisolierte Verteilleitungen verwendet werden können. Liegen die Gebäude sehr nahe bei der Kläranlage, so kann die Wärmepumpe auch direkt in der Heizzentrale der Kläranlage installiert und allfällige Überschusswärme aus dem Blockheizkraftwerk BHKW genutzt werden. Besonders geeignet sind Neubaugebiete im Abstand bis zu 1 km zur Kläranlage.

Bundesamt für Energie
Energie in ARA (E2000)

Bundesamt für Statistik
GEOSTAT

Kommunale Energiekarte

Auskunft: Energie in ARA (E2000)

Büro eam
Lindenhofstrasse 16
CH-8001 Zürich
Tel. 01 228 39 90
Fax 01 228 30 99

Ryser Ingenieure AG
Engelstrasse 9
CH-3012 Bern
Tel. 031 301 85 11
Fax 031 301 87 52

Quellen:
Voll-, Gebäudef- und Wohnungszählung 1990
Daten Heizanlagen; Kantonale Feuerungskontrolle
Daten ARA: BLWA/L 1994 - 1998
Kartendaten: PIGS © Bundesamt für Landestopographie 2000

Produktion: GEOSTAT 09/00

Grenzen

Gemeindegrenze

Abwasseranlagen

Abwasserkanal

Abwasserkanal 60cm <math>\leq s < 120\text{cm}</math>

Abwasserkanal 120cm $\leq s$

ARA mit Distanzreis Radius=600 Radius=1000

Heizanlagen

Installierte Kapazitätsleistung (kW)

150 - 350

351 - 1000

1001 - 2500

2501 - 6000

> 6000

Energieträger

Öl

Gas

Holz

Prozesswärme

> 100 Grad

Identifikationsnummer

12 ID Heizanlage

Wohndichte

> 50 Wohnungen pro Hektar

> 75 Wohnungen pro Hektar

Bauzonen

übrige Bauzone

Industriezone

0 600 1000 1600 Meters

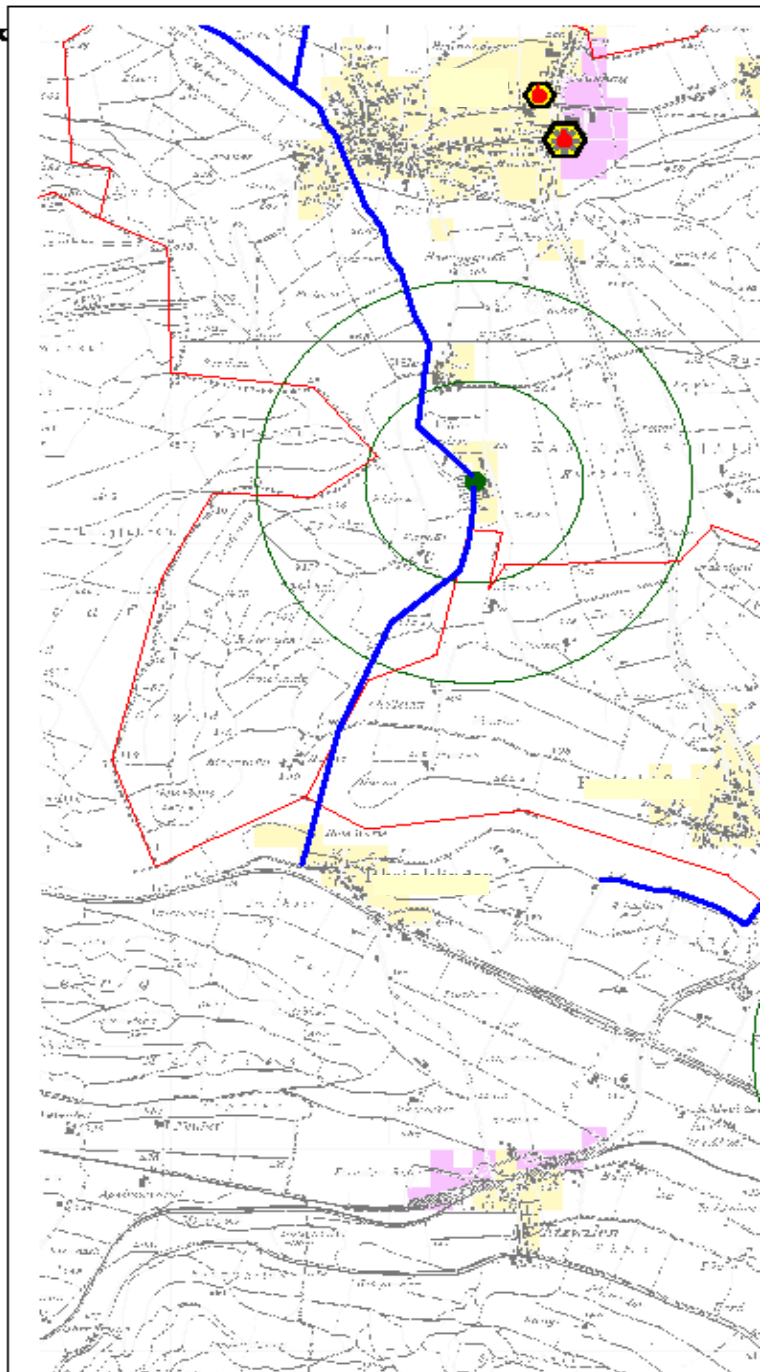


Bild 2: Kommunale Energiekarte, Wärmeentzug aus Kläranlage.

Der Wärmeentzug nach der Kläranlage erlaubt es, das Abwasser soweit wie technisch machbar abzukühlen (ca. 5-7° C). Dadurch werden die Vorfluter, d.h. die Bäche, Flüsse und Seen von der Einleitung von warmen Wasser entlastet, was gesamtökologisch sehr sinnvoll ist. Das Wärmeangebot ist in diesem Fall nahezu unerschöpflich.

Wärmeentnahme aus Kanalisation

Für die Wärmenutzung aus dem Abwasserkanal wird ein Wärmetauscher in der Sohle des Kanals installiert. Dazu braucht es einen minimalen Durchmesser des Kanals, damit die Wärmetauscher installiert werden können. Bei diesen grösseren Kanälen (Durchmesser > 80 cm) ist in der Regel ein ausreichendes Wärmeangebot im Abwasser vorhanden. Geeignete Kanäle sind in Gemeinden mit 5 - 10'000 Einwohnern in der Regel an vielen Standorten vorhanden. In diesen grösseren Gemeinden sind jeweils auch viele potentielle Abnehmer zu finden, die für einen Wärmepumpeneinsatz in Frage kommen (bestehende Gebäude mit normalen Vorlauftemperaturen oder Neubauten). Die Wärmetauscher können sowohl in bestehende Kanäle als auch in solche, die saniert werden müssen, oder in neu zu erstellende Kanäle eingebaut werden.

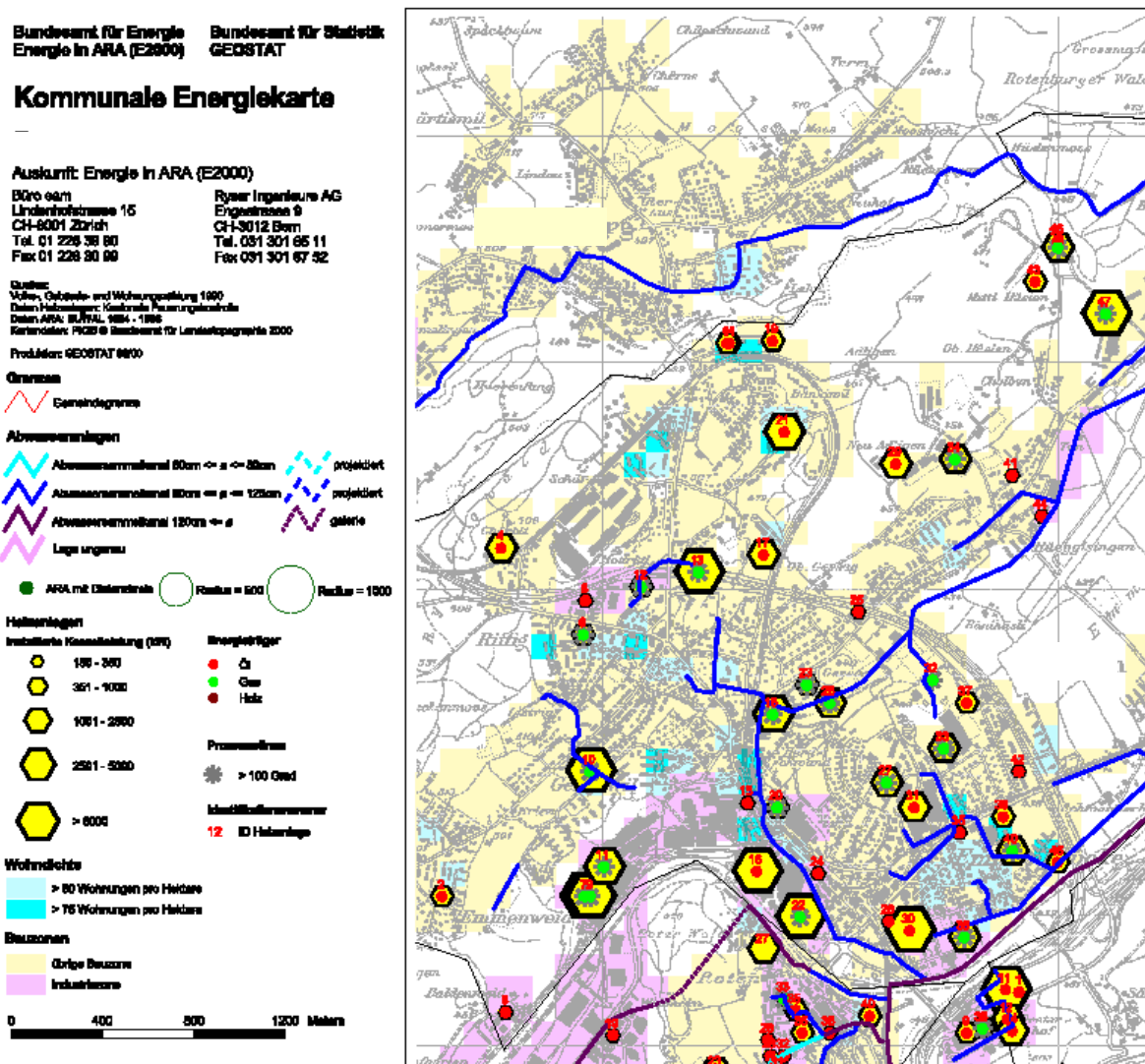


Bild 3: Kommunale Energiekarte, Wärmeentzug aus Kanal:

Bei einer Wärmeentnahme aus dem Kanal muss darauf geachtet werden, dass die Temperatur den Anforderungen der Kläranlage entsprechend, nicht zu weit abgesenkt wird. Das Wärmeangebot im Kanal ist somit geringer als das im Auslauf der Kläranlage.

Wärmerückgewinnung aus eigenem Abwasser direkt im Gebäude

Die Wärme im Abwasser kann auch direkt im eigenen Gebäude genutzt werden. Dabei muss aber berücksichtigt werden, dass die Variante nur bei Objekten mit grossem Wärmeverbrauch sinnvoll ist, z.B. bei Hallenbädern, Sportzentren, Thermalbädern, grösseren Heimen oder Wohnsiedlungen, Industrien mit Kühl- oder Prozessabwasser etc. Im Rahmen der Abwasserwärmenutzung aus der Kanalisation wird nicht weiter auf diese Varianten eingegangen.

2.2 Anforderungen an Abnehmer

Für einen sinnvollen Einsatz von Abwasserwärmepumpen müssen an die Abnehmer und an die Standorte ganz bestimmte Anforderungen gestellt werden. Grössere Gebäude oder Gebäudegruppen können in überbauten Gebieten einige 100 m von den Sammelkanälen oder bis zu 1 km von der Kläranlage (in unüberbautem Gebiet noch mehr) entfernt liegen. Entscheidend für die Wirtschaftlichkeit ist neben der Distanz auch die Leitungsführung (Leitungen in unüberbauten Gebieten ohne Hindernisse sind kostengünstiger) und vor allem die Grösse der Abnehmer, da bei grösseren Objekten die Kosten für Leitungen und Heizzentrale pro erzeugte Energieeinheit kleiner sind. Bei kleinen Gebäuden ist hingegen kaum eine Wirtschaftlichkeit zu erreichen.

An eine Wärmepumpenheizzentrale können auch mehrere Gebäude angeschlossen werden; bei Neubaugebieten ist auch der Zusammenschluss von einer Gruppe von Einfamilienhäusern möglich. Der Einsatz ist sowohl bei Neubauten als auch bei bestehenden Bauten realisierbar. Dabei muss die Vorlauftemperatur aber im üblichen Bereich liegen. Die Wärmepumpenheizzentrale wird meist bivalent betrieben, d.h. ein Spitzenkessel ergänzt oder übernimmt an den kältesten Tagen im Jahr oder in einem Notfall den Betrieb. Bei bestehenden Gebäuden kann die bereits vorhandene Öl- oder Gasheizung als Spitzenkessel weiterverwendet werden.

2.3 Funktion und Vorteile einer Wärmepumpe mit Abwasser

Wärmepumpen sind alternative Heizsysteme. Sie können der Umgebung oder eben dem Abwasser Wärme entziehen und zur Beheizung von Gebäuden nutzbar gemacht werden. Die Temperaturen der Wärmequelle Abwasser sind mit Werten von 10-15 °C im Winter relativ günstig, so dass Wärmepumpen mit Abwasser als Wärmequelle - im Vergleich zu den üblichen Wärmequellen Luft oder Flusswasser - effizienter arbeiten und eine positivere CO₂- und Primärenergie-Bilanz erzielen. Die Wärmepumpentechnologie ist altbekannt und bewährt, das zeigen z.B. 60'000 realisierte Anlagen in der Schweiz [3/4].

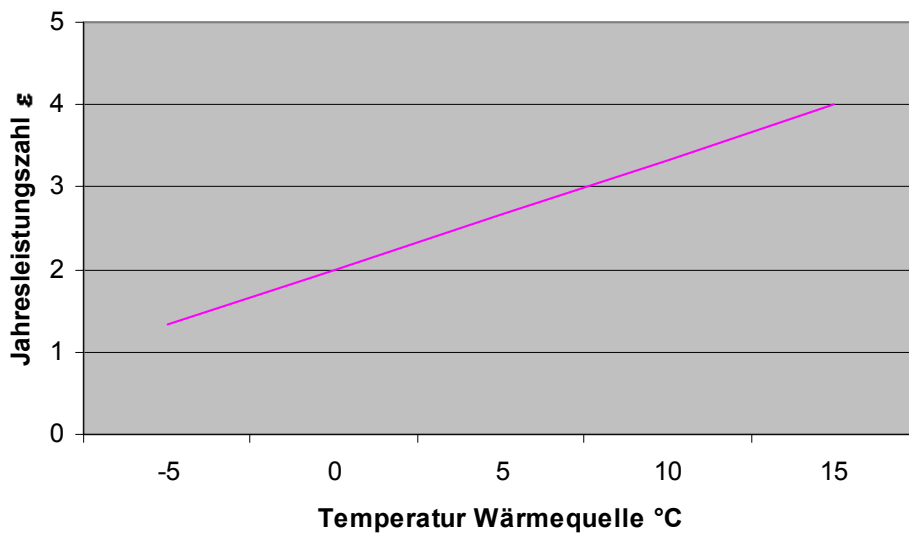


Bild 4: Jahresleistungszahl ϵ (y -Achse) einer Elektro-Wärmepumpe in Funktion der Abwassertemperatur (x -Achse).

Wärmepumpen entziehen dem Abwasser Wärme und komprimieren diese Wärmemenge auf ein höheres Temperaturniveau von ca. 40 –60 °C. Diese Temperaturen reichen für die Beheizung von Neubauten problemlos aus; in bestehenden Gebäuden kann der Spitzenkessel der bivalenten Wärmepumpen-Heizzentrale die Temperatur auf das erforderliche Niveau weiter anheben. Dadurch kann die Wärmepumpe auch in bestehenden Gebäuden mit alten Heizungsinstallationen und den üblichen Vorlauftemperaturen (90/70 °C und tiefer) eingesetzt werden, jedoch nicht in Industrie- oder Gewerbebauten für Prozesswärme.

Die Wärmepumpe arbeitet um so effizienter, je höher die Temperaturen der Wärmequelle und desto tiefer die Vorlauftemperaturen der Heizanlage sind. Die Energieeffizienz der Wärmepumpe wird an der Leistungszahl gemessen, dem Verhältnis der produzierten Wärmemenge zur aufgewendeten Fremdenergie für den Antrieb. Mit der Wärmequelle Luft erreichen Wärmepumpen üblicherweise Leistungszahlen von ca. 2-2½, mit Flusswasser ca. 2½-3 und mit Abwasser 3-4. Bei Neubauten mit tiefen Vorlauftemperaturen und hohen Abwassertemperaturen wurden bei Abwasserwärmepumpen sogar durchschnittliche Jahresleistungszahlen von 5 gemessen.

3. Wirtschaftlichkeit und Contracting

3.1 Wirtschaftlichkeit der Abwasserwärmenutzung

Die Wirtschaftlichkeit der Abwasserwärmepumpen streut je nach Ausgangslage stark. Bei gegebenen Voraussetzungen sind die Abwasserwärmepumpen gegenüber den konventionellen Erdöl- oder Erdgasheizungen in etwa konkurrenzfähig. Das zeigen rund 50 verschiedene Studien und Projekte, die in der Schweiz in den letzten 2-3 Jahren durchgeführt wurden. Dies wird auch durch realisierte Anlagen bestätigt. In der Gemeinde Muri (Aargau) mit 7'000 Einwohnern werden z.B. - selbst bei einem weit verzweigten Wärmeverbund von 3 km Länge - vom betreibenden Gemeindewerk nach einigen Betriebsjahren gesamte Gestehungskosten von 8,4 Rp. pro kWh (bzw. 8.9 Rp. pro kWh ohne Subvention) ermittelt, was gegenüber konventionellen Heizanlagen konkurrenzfähig ist, berücksichtigt man dabei alle Kosten wie Raumbedarf für Tank, Service-Abonnement Brenner, Kaminfeger etc.

Die Abwasserwärmepumpe steht somit unter Anrechnung der längeren Nutzungsdauer der Installationen im Kanal und bei günstigen Voraussetzungen an der Schwelle zur Wirtschaftlichkeit.

Folgende zwei Beispiele veranschaulichen die Bandbreite der Wirtschaftlichkeit je nach Ausgangslage und Berechnungsart.

Für die Überbauung Feldhofstrasse in Zug wurde die Variante Abwasserwärmenutzung mit Wärmepumpe einer Gasheizung gegenübergestellt. Infolge geringer Wassermenge und tiefen Abwassertemperaturen ergibt sich bei einer monovalenten Auslegung mit 400 kW Wärmepumpenleistung folgender Vergleich:

Gasheizung	8.7 Rp/kWh
Wärmepumpe ohne Subventionen	12.6 Rp/kWh

An einem konkreten Projekt in Rielasingen (D) wurden durch die Klimaschutz- und Energieagentur Baden-Württemberg GmbH folgende sechs Varianten direkt miteinander verglichen:

1. Konventioneller Einzelkessel
2. Nahwärmenetz mit Heizzentrale
3. Heizzentrale mit Erdgas-BHKW
4. Heizzentrale mit Erdgas-BHKW plus Wärmepumpe
5. Heizzentrale mit Wärmepumpe
6. Heizzentrale mit Holzpellet-Heizung.

Da ein Hauptsammelkanal mit viel Abwasser und hohen Temperaturen unmittelbar neben der geplanten Überbauung vorbeiführt, ergeben sich mit bivalenter Auslegung folgende Resultate:

	konv. Einzelkessel	Nahwärme-netz mit Heizzentrale	Heizzentrale mit Erdgas-BHKW	Heizzentrale mit Erdgas-BHKW plus Wärmepumpe	Heizzentrale mit Wärmepumpe	Heizzentrale mit Holzpellet-Heizung
Gesamtinvestitionen (kDM)	228.3	203.3	289.3	285.9	279.3	261.3
Wärmegestehungskosten DM/MWth:						
- Verwaltungskosten	0	19.4	19.4	19.4	19.4	19.4
- Energiekosten	101.5	108.6	87.4	70	85.3	90.0
- HA/HÜS	0	44.4	44.4	44.4	44.4	44.4
- Leitungskosten	0	40.9	40.9	40.9	40.9	40.9
- BHKW	1	1	61	27.4	0	0
- Wärmepumpe	0	0	0	38.1	55	0
- Kessel	215.6	27	23.1	23.1	23.1	74.6
Summe	317.0	240.4	268.6	258.9	268.1	259.8

Tabelle 1: Kostenvergleich für 6 Varianten an konkretem Projekt.

3.2 Contracting, eine neue Finanzierungsform

Bei einem Contracting übernimmt der Contractor die Finanzierung der Heizanlage mit der Abwasserwärmepumpe. Der Wärmebezüger bezahlt nur die bezogene Wärme. Für den Bauherrn/Wärmebezüger besteht der grosse Vorteil eines Contractings darin, dass er sich die Investitionen für den Bau oder die Sanierung seiner Heizanlage sparen und sich seinem Kerngeschäft widmen kann. Ein Contractingvertrag kann sogar so weit gehen, dass der Contractor auch die Planung, den Bau und den Betrieb der Anlage vollständig übernimmt. Der Bauherr/Wärmebezüger muss sich dann nicht mehr um diese anspruchsvollen/zeitraubenden Aufgaben kümmern, das wird von - erfahrenen - Fachleuten des Contractors übernommen, wodurch sich auch die Betriebssicherheit erhöht.

Bereits haben verschiedene Contractingfirmen mehrere Abwasserwärmepumpen in der Schweiz realisiert und bauen diesen Markt ständig weiter aus. Dadurch konnten sie wertvolle Erfahrungen bei der Planung und beim Bau sammeln und konnten auch eine professionelle Equipe für den Unterhalt und Betrieb von Abwasserwärmepumpen-Heizanlagen aufbauen.

Unter den Wärmepumpen-Contractoren sind viele Elektrizitätswerke vertreten, die auch in fremden Versorgungsgebieten Verträge anbieten. Für die Elektrizitätswerke sind Wärmepumpen mit Abwasserwärme besonders interessante Contractingobjekte, da die Elektrizitätswerke dadurch mehr Strom absetzen und mit dem Wärmeverkauf noch einen zusätzlichen Markt erschliessen. Da Elektrizitätswerke mit anderen Strompreisen kalkulieren, können sie Abwasser-Wärmepumpen auch zu konkurrenzfähigen Preisen anbieten.

In der Schweiz bieten viele Firmen ein Contracting an [5/6]. Die Abwasser-Wärmepumpe eröffnet ihnen ein neues, interessantes Tätigkeitsfeld und ermöglicht den Bauherren eine neue Finanzierungsform, so dass sie für die Realisierung der Abwasser-Wärmepumpen keine Investitionen tätigen müssen.

4. Einfluss Wärmenutzung auf Kläranlagen-/Kanalbetrieb

Der Betrieb und die Sicherheit der Kläranlage und des Abwasserkanals haben auch bei einer Abwasserwärmenutzung immer vorrangige Priorität. Bei einem Wärmeentzug aus dem Kanal muss diesem Umstand gebührend Rechnung getragen werden.

4.1 Kanalbetrieb

Bei einem Einbau in den Kanal dürfen die Wärmetauscher und deren Zu- und Abgänge den Fluss des Abwassers nicht behindern. Es dürfen keine Hindernisse entstehen, welche im Kanal zu Verstopfungen führen können oder den Unterhalt, die Reinigung und die Begehung beeinträchtigen. Diese Probleme sind heute in der Praxis lösbar, sowohl für einen Einbau in einen bestehenden Kanal (Bsp. Zwingen) als auch für solche Kanäle, die saniert werden müssen.

4.2 Kläranlagenbetrieb

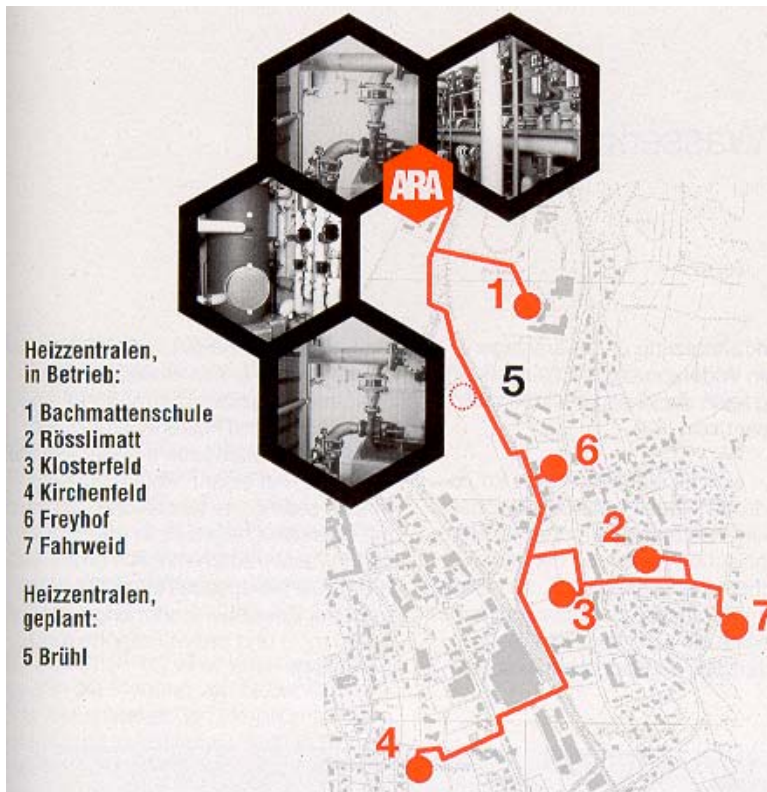
Die Kläranlagenbetreiber standen früher einem Wärmeentzug vor der Kläranlage oft skeptisch gegenüber, da ein negativer Einfluss auf den Betrieb der Belebung befürchtet wurde. Neuere Untersuchungen der Eidgenössischen Anstalt für Wasserversorgung, Abwasserreinigung und Gewässerschutz EAWAG zeigen aber, dass in den meisten Fällen bei fachgerechter Planung der Einfluss auf den Kläranlagenbetrieb vernachlässigbar klein ist, es entsteht auch kein zusätzlicher Stromverbrauch bei der Belebung. Eine Studie in der Stadt Zürich z.B. hat auch gezeigt, dass die Abwassertemperatur in der Kläranlage während den kältesten Tagen in den Wintermonaten lediglich um $\frac{1}{2}$ Kelvin abgekühlt wird, wenn optimistischerweise alle geeigneten Abnehmer das gesamte Potenzial ausschöpfen würden. Die natürlichen Tagesschwankungen der Abwassertemperaturen sind bei den Kläranlagen wesentlich höher, die täglichen Temperaturen schwanken im Winter häufig mehr als um 1 bis 2 Kelvin. Zudem ist zu berücksichtigen, dass solche Heizanlagen mit Abwasserwärmepumpen in den meisten Fällen bivalent betrieben werden. An den kältesten Tagen oder wenn z.B. die Abwassertemperatur unter ein gewisses Niveau sinkt, kann deshalb die Wärmepumpe abgestellt und der Spitzenkessel den Betrieb vollständig übernehmen. Liegen die Abwassertemperaturen in den Wintermonaten allerdings häufig unter ca. 8-10 °C, so ist ein Wärmeentzug vor der Kläranlage ohne weitere Detailabklärungen durch Spezialisten nicht zu empfehlen.

4.3 Einbezug von Spezialisten aus Kläranlagen-/Kanalbereich notwendig

Bei der Planung und dem Bau von Abwasser-Wärmepumpen sind unbedingt von Anfang an Fachspezialisten aus dem Kläranlagen- und Kanalbereich beizuziehen. Das zeigen auch die Erfahrungen mit Anlagen, die wegen fehlender Fachkenntnisse der Planer Probleme im Betrieb hatten. Diese Probleme sind aber heute lösbar.

Projekte über Abwasser-Wärmepumpen sind auch frühzeitig mit dem Kläranlagen- und Kanalbetreiber abzusprechen, insbesondere die Temperaturverhältnisse des Abwassers in der Kläranlage und ein störungsfreier Durchfluss im Kanal sind zu beachten.

5. Beispiele und Erfahrungen von projektierten und ausgeführten Anlagen



Muri AG; weit verzweigter Nahwärmeverbund versorgt 6 grössere Heizzentralen

In Muri im Kanton Aargau wird die Wärme nach der Kläranlage entnommen. Ein weitverzweigter Nahwärmeverbund von 3 km Länge transportiert die Wärme zu den dezentralen Heizanlagen. Diese Heizzentralen verfügen je über eine Wärmepumpe, welche der kalten Fernwärme die notwendige Wärme entzieht. Heute werden 6 Überbauungen mit insgesamt 2,4 Mio kWh Jahreswärmebedarf versorgt, eine weitere ist geplant. Die Anlage ist für den Betreiber (Elektrizitätswerk) und die Abnehmer wirtschaftlich [6].

Bild 5: Situationsübersicht des Nahwärmeverbundes Muri AG.

Energiekennzahlen	totale Jahreswärmeproduktion WP	2'400 MWh
	Gesamtleistung der installierten Wärmepumpen	1'700 kW
	Jahresarbeitszahl	3,1
Finanzen	Investitionen	3.96 Mio Fr.
	Wärmepreis	8.4 Rp./kWh

Binningen BL; Neuste realisierte Anlage in der Schweiz

In Binningen, einem Vorort von Basel mit knapp 14'000 Einwohnern, realisierte die Wärmeversorgung Binningen AG (WBA) eine Wärmepumpenanlage mit Nutzung von Abwärme aus der Kanalisation. Die dem Abwasser entzogene Wärme wird in der Zentrale des Wärmeverbundes mit einer Wärmepumpe auf ein für die Heizung erforderliches Temperaturniveau angehoben. Mit der genutzten Umweltwärme wird der Bedarf (Raumheizung und Warmwasser) von ca. 300 Wohnungen gedeckt [6].

Energiekennzahlen	totale Jahreswärmeproduktion WP	1'800 MWh
	Gesamtleistung der installierten Wärmepumpen	320 kW
	Jahresarbeitszahl	3,5

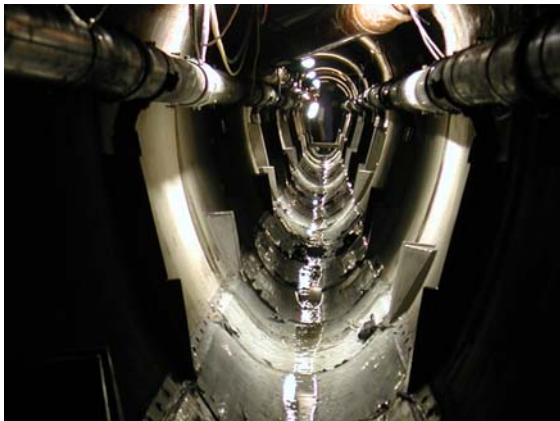


Bild 6: Die verlegten Wärmetauscher im Kanal mit Ei-Profil.



Bild 7: Detail der Anschlussleitung auf den Wärmetauscher.



Bild 8: Die Wärmepumpe mit 320 kW Leistung.

Zwingen BL; Kanalabwasser beheizt 31 Einfamilienhäuser (Leistungsziffer 5)

In Zwingen werden 31 Einfamilienhäuser mit Wärme aus dem Abwasserkanal geheizt. Die Wärmepumpe stellt über 70% der Heizwärme bereit. An besonders kalten Tagen erfolgt eine zusätzliche Spitzenabdeckung mit einem abgasarmen Flüssiggas-Brenner. Die Wärme wird zentral in einem Keller erzeugt und dann in die einzelnen Häuser geliefert. Die Bauherrschaft hat sich für eine Contracting-Lösung entschieden, d.h. die Elektra Birseck EBM hat die Anlage auf eigene Rechnung geplant und gebaut und betreut sie auch selbst [6].

Energiekennzahlen	totale Jahreswärmeproduktion WP	280 MWh
	Gesamtleistung der installierten Wärmepumpen	64 kW
	Jahresarbeitszahl	5
Finanzen	Jahreskosten	ca.1'200 Fr./Haus



Bild 9: Die ökologische Siedlung Ringer-matten.



Bild 10: Heizzentrale für alle 31 Einfamilienhäuser.

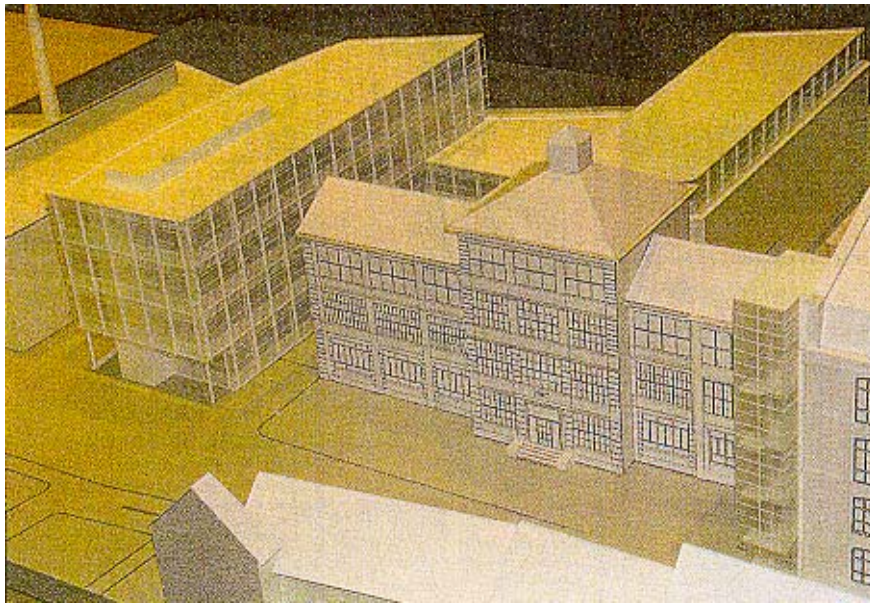


Bild 11: Modell der geplanten Erweiterung der IWC in Schaffhausen .

Schaffhausen SH; bekannter Uhrenhersteller setzt auf Ökologie

Die International Watch Company IWC möchte die vorhandenen Produktionskapazitäten schrittweise ausweiten. Folglich soll die Uhrenfabrik sukzessive ausgebaut werden. Im Rahmen der Modernisierung und Erweiterung der bestehenden Heizzentrale ist vorgesehen, zum ersten Mal in Schaffhausen die im Abwasser vorhandene Wärme zu nutzen.

Energiekennzahlen	totale Jahreswärmeproduktion WP	410 MWh
	Gesamtleistung der installierten Wärmepumpen	250 kW
	Jahresarbeitszahl	3.8
Finanzen	Gesamtinvestitionen	ca. 810'000 Fr.

Worb BE; 2 Wärmequellen für 1 Wärmepumpe

Das Projekt sieht vor, die Wärmeversorgung „monovalent“ mittels zwei Elektrowärmepumpen, die die Wärme aus dem Abwasserkanal und aus Erdsonden beziehen, aufzubauen. Da der Verbandskanal ohnehin wegen der Überbauung verlegt werden muss, gestaltet sich der Einbau der Wärmetauscher einfach und problemlos.

Energiekennzahlen	totale Jahreswärmeproduktion WP	1'500 MWh
	Gesamtleistung der installierten Wärmepumpen	2 x 440 kW
	Jahresarbeitszahl	3,1
Finanzen	Gesamtinvestitionen	ca. 2.6 Mio. Fr.

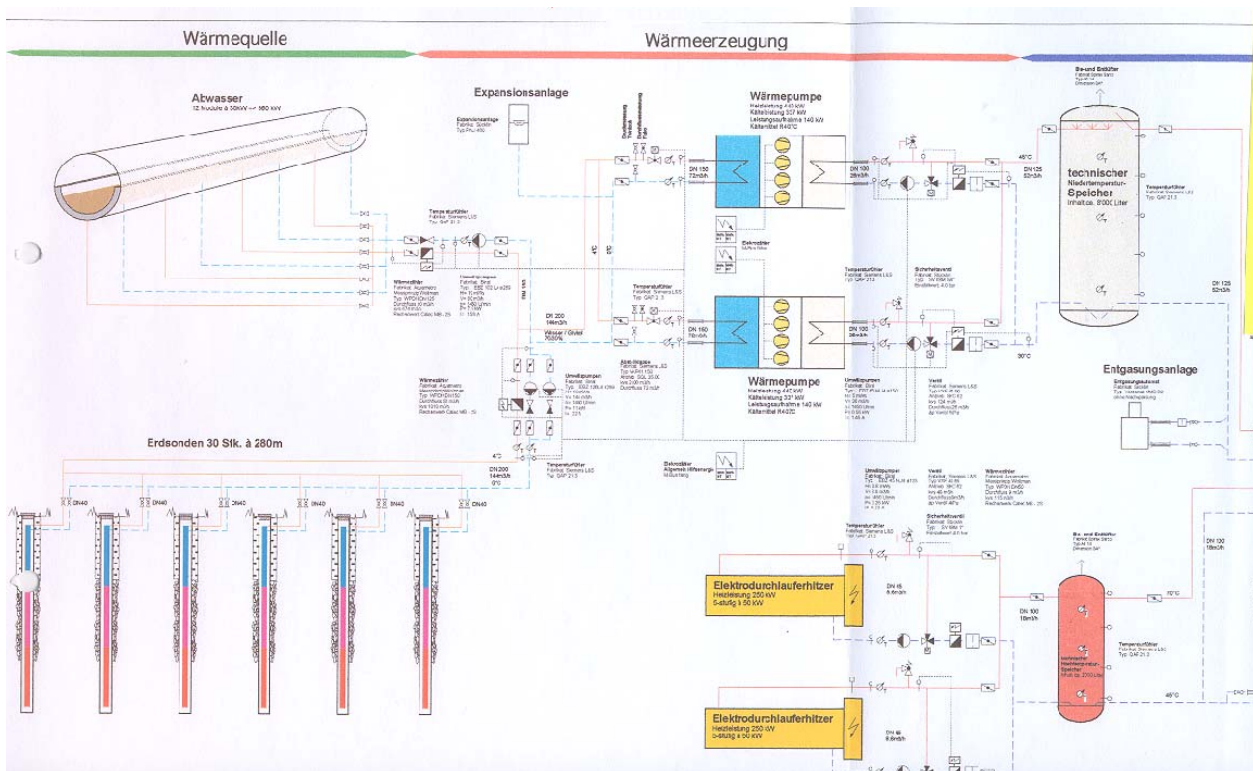


Bild 12: Prinzipschema Wärmeversorgung Überbauung Alpina Worb.

Zug ZG; Privater Generalunternehmer setzt auf Abwasserwärmepumpen

In der Überbauung Feldhof sollen mit einer monovalenten Wärmepumpe vier Gebäude mit Raumwärme und Warmwasser versorgt werden. Als Energiequelle dient der neu zu verlegende Abwasserkanal an der Feldhofstrasse.

Energiekennzahlen	totale Jahreswärmeproduktion WP	1'100 MWh
	Gesamtleistung der installierten Wärmepumpen	400 kW
	Jahresarbeitszahl	3,0

Finanzen	Gesamtinvestitionen	ca. 1.2 Mio. Fr.
-----------------	---------------------	------------------

Luzern LU; Wohlbefinden mit Abwasserwärmepumpe

Für den Neubau Tivoli Luzern, Stadtwohnungen mit Dienstleistungsbetrieben und Wellnessangeboten, wurden diverse Varianten zur Deckung des Wärmebedarfes geprüft. Eine Wärmepumpe, die Wärme aus dem Schmutzwasserkanal gewinnt, erwies sich als optimalste Variante. Als Spitzenlastkessel sind zwei Heizkessel mit Öl-/Gasfeuerung vorgesehen.

Energiekennzahlen	totale Jahreswärmeproduktion WP	1'300 MWh
	Gesamtleistung der installierten Wärmepumpen	430 kW
	Jahresarbeitszahl	4.2

Finanzen	Gesamtinvestitionen	ca.1.25 Mio. Fr.
	Wärmepreis	ca.13.1 Rp./kWh

Bachgraben BL; Kanalvariante seit 20 Jahren störungsfrei in Betrieb

Bereits vor 20 Jahren wurde in Basel eine Wärmepumpenanlage gebaut, welche die Abwasserwärme aus dem Kanal nutzt. Die Anlage beheizt ein Garderobengebäude einer Sportanlage der Stadt Basel. Die Abwasserwärmepumpe hatte keine nennenswerten Störungen zu verzeichnen. Die Heizanlage muss nun nach 20 Jahren altersbedingt saniert werden, es wird wieder eine Wärmepumpe eingebaut: der beste Beweis für die Zufriedenheit des Betreibers mit der Abwasserwärmepumpe.



Bild 13: Seit 20 Jahren wird ein Garderobengebäude dank dieser Wärmepumpe mit Abwasserwärme aus dem nahen Kanal beheizt, gemäss dem verantwortlichen Hauswart sehr wartungsfreundlich.

Folgende Erkenntnisse lassen sich aus den aufgeführten Beispielen ziehen:

1. Sehr oft wird über eine mono- oder bivalente Auslegung diskutiert. Bild 14 zeigt klar auf, dass mit einer Leistung von 30-40% der Wärmepumpe bereits der Wärmebedarf von 65-75% gedeckt werden kann. Dies führt zu hohen Betriebsstunden der Wärmepumpe und somit zu einer wirtschaftlichen Auslegung der Gesamtanlage. Spitzenkältetage werden dann durch den Spitzenlastkessel gedeckt.

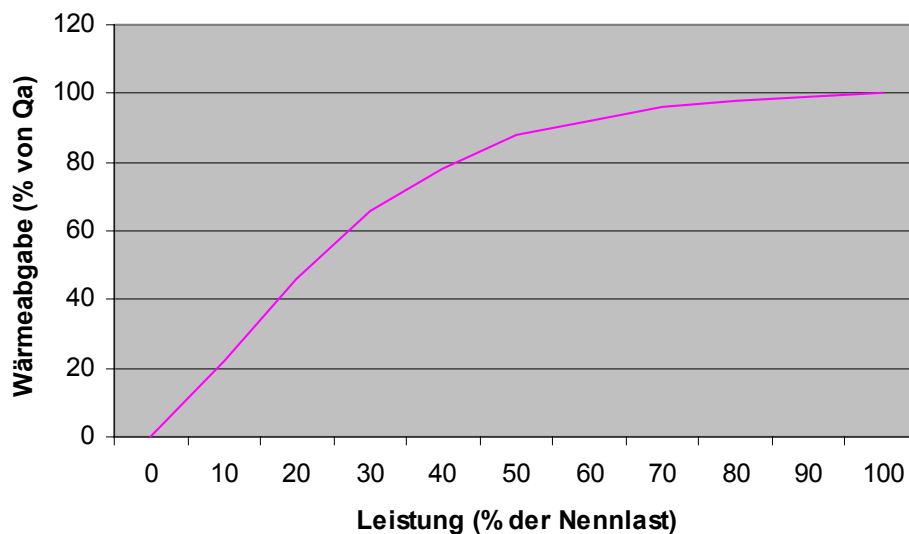


Bild 14: Deckungsanteil der Wärmepumpe an der Jahreswärmeerzeugung Q_a (%) als Funktion der Auslegung (in % der Nennlast).

Betreiber schwören aber auf monovalente Anlagen, weil sie einfacher in der Handhabung und im Unterhalt sind. Neu kommt hinzu, dass es bereits Bauträger gibt, die Wohnsiedlungen mit dem Prädikat „ohne Kamin“ erstellen wollen und somit die Realisierung von monovalenten Anlagen verlangen. Als Beispiele seien hier die Überbauung Alpina in Worb und Feldhof in Zug erwähnt.

2. Konkrete und korrekte Dimensionierung der Wärmetauscher.
Die Wärmetauscher stellen neben der Wärmepumpe selbst den kostenintensivsten Anlageteil dar. Je nach Auslegung können die Wärmetauscher in den Leitungen grösser oder kleiner sein. Aus wirtschaftlichem Druck ist eine optimale Auslegung gefordert, die den benötigten Wärmebedarf sicherstellen kann. Da es sich im Kanalnetz aber um ein dynamisches System handelt, sind alle Einflussgrössen sauber zu betrachten. Diese sind:

- unterschiedliche Kanalprofile und Gefälle
- schwankende Abwassertemperaturen
- Abflussmenge nicht konstant
- Veränderung des Wärmeübergangskoeffizienten durch Sielhautbildung. (Ablagerungen auf dem Wärmetauscher vermindern den Wärmeübergangskoeffizient).

Zur Zeit läuft ein grosses Forschungsvorhaben an der EAWAG, das den Einfluss der Sielhautbildung auf die Wärmetauscher konkret untersucht. Erste Resultate und allenfalls Aussagen über Reinigungshäufigkeit etc. sind auf Frühjahr 2003 zu erwarten.

Wir hoffen, dass mit der nötigen Unterstützung des Bundesamtes für Energie BFE, aufbauend auf diesen Erkenntnissen allgemeine und verständliche Anleitungen für Bauträger, Ingenieure und Betreiber erstellt werden können. Damit lassen sich die vorhandenen Wissenslücken schliessen und die Entscheidungsträger erhalten die notwendigen Werkzeuge, um der Abwasserwärmenutzung aus dem Kanal zum Durchbruch zu verhelfen.

6. Schlussfolgerungen und Ausblick

Mit der Möglichkeit, die Abwasserwärme aus den Kanalisationsleitungen zu nutzen, verfügen wir über ein sehr grosses Energiepotential, das bisher noch kaum bekannt war. Tausende von Gebäuden könnten in Zukunft mit der Wärme aus dem Abwasser mittels Wärmepumpen mit hohen Wirkungsgraden beheizt werden. Das Wärmeangebot einerseits, wie auch die Wärmeabnehmer andererseits sind für den Einsatz von grossen Wärmepumpen vorhanden. Zahlreiche realisierte Anlagen zeigen die Tauglichkeit und Zuverlässigkeit dieses Systems auf. Da die Abwasserwärmepumpe bei günstigen Voraussetzungen an der Schwelle der Wirtschaftlichkeit steht, erlebt diese innovative Technologie in jüngster Zeit einen wahren Boom.

Die neusten Entwicklungen gehen dahin, die getätigten Investitionen noch besser auszunutzen und somit die ganzen Anlagen wirtschaftlicher zu betreiben. Die ersten Anlagen sind in der Projektierungen, bei denen mit der gleichen Anlage und der gleichen Wärmepumpe im Winter Gebäude beheizt und im Sommer gekühlt werden. Dadurch lassen sich höhere Betriebszeiten und somit kostengünstigere kWh Wärme oder Kälte erzeugen.

Für alle, die sich von dieser Technologie angesprochen fühlen und das Potential in ihrem Kanton oder ihrer Gemeinde ausloten möchten, bietet die Aktion „Energie in ARA“ und „EnergieSchweiz“ kostenlose und neutrale Vorgehensberatung. Die vorgestellten kommunalen Energiekarten können kostengünstig für jede Gemeinde in der Schweiz wie auch für ganze Kantone erstellt werden.

Weitere Auskünfte erteilt:

„Energie in ARA“
Herr Ernst A. Müller
Büro eam
Lindenhofstrasse 15
CH-8001 Zürich
Tel. 01 226 30 90
FAX 01 226 30 99
mueller.eam@bluewin.ch

Literatur

- [2] E.A. Müller ,R. Thommen; P. Stähli, et al:
Handbuch Energie in ARA, im Auftrag des Bundesamtes für Energiewirtschaft BEW,
Bundesamt für Konjunktur BfK und Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft BUWAL
Bern, 1994
- [2] E.A. Müller , B. Kobel, J. Pinnekamp, K. Böcker, et al (D):
Handbuch Energie in Kläranlagen, im Auftrag des Ministeriums für Umwelt, Raumordnung
und Landwirtschaft des Landes Nordrhein-Westfalen.
Düsseldorf, 1999
- [3] Schweizerische Gesamtenergiestatistik 2000, Schlussbericht BFE
Bern, 2001
- [4] F. Beyeler:
Immer mehr Schweizer heizen mit Erdwärme, in Bulletin des SEV/VSE 12/2000, Zürich,
2000
- [5] W. von Braunmühl, et al, (D):
Contracting Handbuch, Düsseldorf, 2000
- [6] Bundesamt für Energie:
- Abwärmennutzung Abwasserreinigungsanlage Muri, Fernwärme aus der
ARA
- Nahwärmeverbund in Wipkingen, Heizwärme aus der Kanalisation
- Heizwärme aus dem Abwasserkanal, Wohnsiedlung Ringerminen
Zwingen
Reihe Energie INNOVATION, Gute Lösungen, Bern, 2000/2001
- [7] F. Schmid:
Die Wärme, die aus der Kanalisation kommt, Artikel in der Basler Zeitung, 2.6.2000, Basel,
2000
- [8] R. Frischknecht
Der Einfluss des Strommodells auf die Umweltbilanz von Wärmepumpen, Schlussbericht,
BFE Bern, 1998, ENET-Nr. 190221
- [9] Bundesamt für Energie:
Indirekte Gasmotor-Wärmepumpe, Vorgehen und Standardlösungen bei der Planung von
Elektro-Wärmepumpen in Kombination mit Blockheizkraftwerken, Bern 1998

Bernhard Eggen, dipl. Ing. FH
Geschäftsleiter
Dr. Eicher+Pauli AG
Viktoriastrasse 69
CH-3000 Bern 25
bernhard.eggen@eicher-pauli.ch
www.eicher-pauli.ch

Stadt Bern nutzt Wärme aus der Aare

Die Kombination von Elektro-Wärmepumpe und Blockheizkraftwerk hat sich bei grösseren Heizleistungen bewährt und wird vom Bundesamt für Energie wegen der hohen Primärenergienutzung speziell gefördert. In der Stadt Bern wurden zwischen 1996 und 2000 zwei Anlagen mit diesem Konzept in Nahwärmeverbänden mit je rund 3 MW Heizleistung realisiert. Dank optimierten hydraulischen Schaltungen decken diese Alternativenanlagen auch mit maximalen Systemtemperaturen von 85 °C zweidrittel des jährlichen Wärmebedarfes. Da im Normalfall Grosswärmepumpen teurere Wärme erzeugen als konventionelle fossile Anlagen, haben heute nur Konzepte eine Realisierungschance, die vorhandene Rahmenbedingungen und mögliche Synergien optimal einbeziehen.

La combinaison d'une pompe à chaleur électrique et d'un couplage chaleur-force a fait ses preuves pour les grandes puissances thermiques. Cette solution est spécialement encouragée par l'Office fédéral de l'énergie à cause de son utilisation élevée d'énergie primaire. Entre 1996 et 2000, deux installations ont été réalisées en ville de Berne selon ce concept pour des chauffages à distance d'une puissance thermique de près de 3 MW. Grâce à des circuits hydrauliques optimisés, ces installations utilisant de l'énergie renouvelable couvrent les deux tiers des besoins annuels de chauffage, même à températures maximales de distribution de 85 °C. Comme les grosses pompes à chaleur produisent normalement une chaleur plus chère que celle des installations fossiles conventionnelles, seuls des concepts tenant compte de manière optimale des conditions cadres et des synergies possibles ont une chance d'être réalisés.

Kombination von Elektro-Wärmepumpe mit Blockheizkraftwerk

Als Folge von hohen Energiepreisen und erwarteten weiteren Kostensteigerungen wurde vor 20 Jahren mit der Installation von fossil betriebenen Wärmepumpen begonnen. Zu einer Serienproduktion von standardisierten Anlagen kam es aber nicht. Praktisch jede Wärmepumpe war eine Einzelanfertigung, was eine wichtige Ursache von zahlreichen betrieblichen Problemen war. In einer vom Bundesamt für Energie eingeleiteten Untersuchung [1] wurden 10 Jahre Betriebserfahrung ausgewertet: 1991 waren rund 70 Wärmepumpen mit Verbrennungsmotoren in Betrieb, die lediglich eine durchschnittliche jährliche Betriebszeit von 2'200 Stunden aufwiesen. Die mittlere Leistungsziffer der erfassten Anlagen (ca. 50 %) lag bei 1,4. Hohe Unterhaltskosten, teilweise tiefe Verfügbarkeiten und gefallene Energiepreise liessen keinen wirtschaftlichen Betrieb zu.

In einer weiteren Studie [2] konnte in der Folge nachgewiesen werden, dass die Kombination von Elektro-Wärmepumpen mit Blockheizkraftwerken (BHKW) als „indirekte Gasmotor-Wärmepumpe“ wesentliche Vorteile bringt: Durch den Einsatz von marktgängigen Produkten sinken die Unterhaltskosten, die Verfügbarkeit und Flexibilität steigt. Womit auch die Wirtschaftlichkeit besser ausfällt. Wie Dr. M. Zogg, Programmleiter Forschung&Entwicklung des Bereiches "Umgebungswärme/WKK" in [4] nachgewiesen hat, kann der Nachteil von höheren Übertragungsverlusten (elektrische Kopplung) mit hohen elektrischen Wirkungsgraden des BHKWs und guten COP der Wärmepumpe wettgemacht werden.

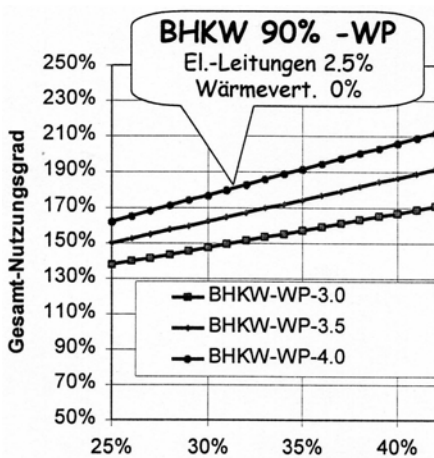


Bild 3: Gesamtnutzungsgrad von kombinierten Systemen mit Elektro-Wärmepumpe und Blockheizkraftwerk [4] (Gesamtwirkungsgrad BHKW 90 %, 2.5 % Übertragungsverluste für die elektrische Energie, keine Verluste in der Wärmeverteilung).

Mit dem erreichten hohen Nutzungsgrad der eingesetzten Primärenergie verkörpert dieses Konzept die WP-Philosophie des Bundesamtes für Energie. Damit lässt sich auch die generelle Förderstrategie des BFE sehr gut aufzeigen: Der von Wärmepumpen verbrauchte Strom ist in dezentralen WKK-Anlagen zu erzeugen. Die Gesamtbilanz von erzeugter und verbrauchter Elektrizität soll sich die Waage halten.

Stadt Bern setzt Demonstrationsanlagen um

Die Stadt Bern verfolgt seit Jahren eine Strategie für eine rationelle und umweltfreundliche Energieversorgung. Bereits in den 80-iger Jahren wurden in Energiekonzepten Nahwärmezonen bestimmt, die mit WKK-Anlagen und Wärmepumpen versorgt werden sollen. Verschiedene davon konnten in den letzten 10 Jahren umgesetzt werden.

Wie dem Bild 2 entnommen werden kann, stehen auf Stadtgebiet nur einzelne Grundwasserleiter für eine Umweltwärmenutzung zur Verfügung. Das Potential der Aare ist wohl sehr gross, das Fassen dieser Wärmequelle aber aufwändig und teuer. Die im folgenden kurz vorgestellten Demoanlagen konnten zwischen 1996 und 2000 realisiert werden. In beiden Anlagen wird heute aarenahes Grundwasser genutzt, das zu grossen Teilen von der Aare gespiesen wird.

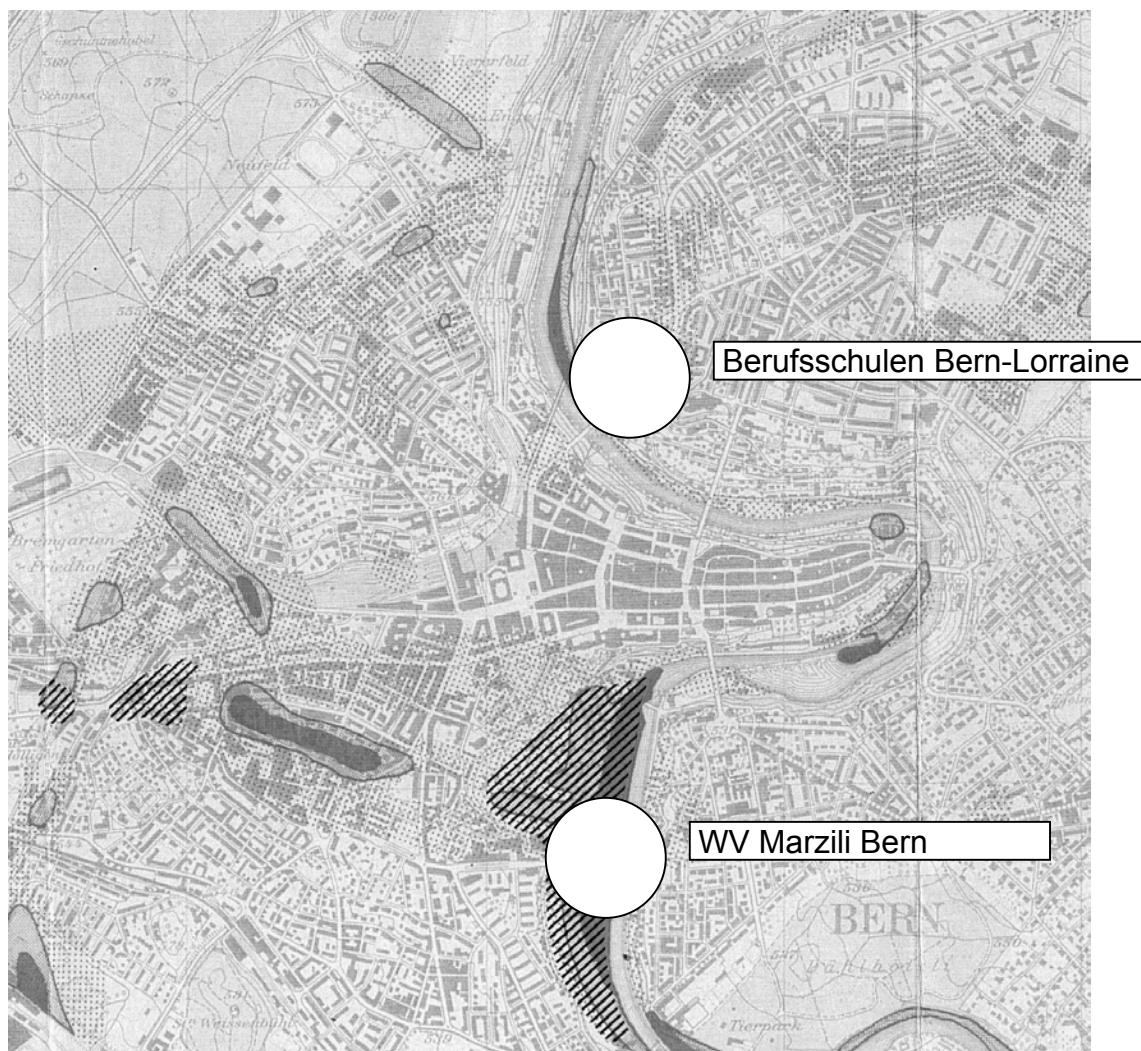


Bild 2: Grundwasservorkommen in der Stadt und Standorte der Demoanlagen Bern (graue Flächen mit grosser Ergiebigkeit, umrandete Gebiete mit kleinerer Ergiebigkeit, schraffierte Zonen sind setzungsgefährdet).

WV Marzili – Bern: Über einen neuen Wärmeverbund werden eine Privatliegenschaft und zahlreiche Gebäude der öffentlichen Hand (eidgenössische Steuerverwaltung, kantonale Verwaltung und Lehrerbildung sowie Liegenschaften für Gewerbe und Kultur der Stadt) mit umweltfreundlicher Wärme versorgt. Als Träger (Contractor) für dieses Projekt wurde 1996 die Wärmeverbund Marzili AG gegründet, die je zur Hälfte die Stadt Bern und die ADEV Bern finanzierten. Der Wärmeliefervertrag richtet sich nach den Tarifen des Fernheizwerkes Bern, was aber nur durch Beiträge des Bundes, des Kantons und der Stadt Bern möglich wurde. Die eingesetzte 2-stufige Wärmepumpe mit Ammoniak als Kältemittel erbringt auch mit den hohen Heizwassertemperaturen von 65 °C eine Jahresarbeitszahl von 3,4. In Kombination mit dem BHKW ergibt sich ein Wert von 1,72. Zur Verhinderung von Ablagerungen, welche die mit dem Betrieb festgestellten Eisenbakterien verursachen würden, muss das Grundwasser leicht behandelt werden.

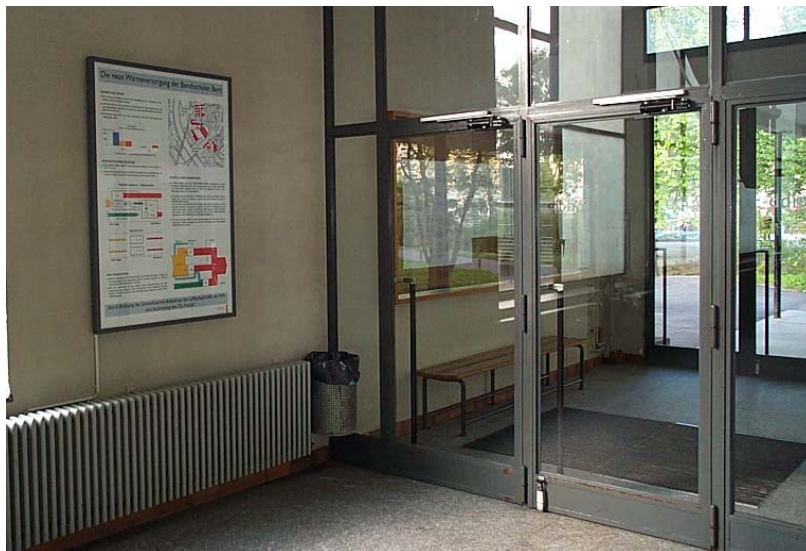


Bild 3: Wärmepumpe Berufsschulen Bern-Lorraine mit überflutetem Verdampfer (rechts).

Berufsschulen Bern – Lorraine: In den letzten 10 Jahren wurde ab der Heizzentrale der Berufsschule (Baujahr 1939) schrittweise ein Wärmeverbund aufgebaut. Dieser versorgt heute die Gebäude der gewerblich-industriellen Berufsschulen, der Lehrwerkstätten, der Schule für Gestaltung, Gebäude des botanischen Gartens sowie einer neuen, privaten Wohn- und Geschäftsüberbauung mit Wärme für Heizung und Warmwasser. Die Erschliessung der Umweltwärme gestaltete sich recht aufwändig: Über eine Druckleitung von 670 m Länge und 45 m Höhendifferenz wird das Grundwasser der Wärmepumpe zugeführt und anschliessend in einem Regenwasser-Überlaufkanal zurück in die Aare gegeben. Der erforderliche Pumpenstrom führt zusammen mit den notwendigen hohen Heiztemperaturen zu einer relativ bescheidenen Jahresarbeitszahl von knapp 3. Das Blockheizkraftwerk wurde mit einer WRG-Wärmepumpe ausgerüstet, welche die Wärme der Motorenabstrahlung und der Abgase nutzt. Total resultiert eine Jahresarbeitszahl von 1,6. Seit 1939 hat sich die ab der Zentrale versorgte Energiebezugsfläche um den Faktor 2,4 vergrössert, gleichzeitig konnte der Luftschadstoffausstoss um über 90% gesenkt werden. Diese Anlage eignet sich im Umfeld der Gewerbe- und Technikerschule gut als Demonstrationsanlage. Entsprechend können sich Interessierte in zwei Eingängen der Schule über eine Schautafel und einen Grossbildschirm informieren.

	WV Marzili Bern	Berufsschulen Bern-Lorraine
Gesamtwärmebedarfsleistung Wärmebezug max. Heizwassertemperatur	3'300 kW 6'600 MWh/a 85 °C	2'800 kW 4'900 MWh/a 85 °C
Wärmepumpe - Heizleistung - max. Vorlauftemperatur - Kältemittel/Typ - Quelltemperaturen - JAZ	409 - 500 kW 65 °C Ammoniak/2-stufig 8 - 14 °C 3,4	320 - 450 kW 64 °C R134a 6.5 – 13 °C ≈ 2,9
Blockheizkraftwerk - Heizleistung - Elektroleistung - Motorentyp	388 kW 266 kW Magermotor	426 kW ¹⁾ 164 kW λ1-Motor mit 3-Weg-Kat.
JAZ I-GWP	1,72	1,60
Spitzendeckungs-Heizkessel	4'650 kW (2x Gas/Öl)	2'960 kW (2xGas)
Speicheranlage	2 x 17'000 l	1 x 32'000 l
Zielwerte Alternativanlage - Deckungsanteil - Substitution fossile Energie	70 % 165 t Öläquivalent	75 % 125 t Öläquivalent

1) inkl. WRG-Wärmepumpe

Tabelle 2: Daten der Berner Demonstrationsanlagen.**Bild 3:** Infotafel beim Eingang der industriell-gewerblichen Berufsschule Bern.

Initialisierungsphase: Schlüssel zum Erfolg

Zahlreiche Faktoren entscheiden über Erfolg oder Misserfolg eines Projektes.

Im Normalfall sind Grosswärmepumpen teurer als fossile Wärmeerzeuger. Darum ist beim Erstellen einer Projektidee speziell darauf zu achten, dass die vorhandenen Rahmenbedingungen und mögliche Synergien gut erfasst werden.

Zahlreiche Punkte sind zu klären und in ein realisierbares Konzept zu integrieren:

- Aufnahme der bestehenden Infrastruktur und Situation:
 - Welche öffentlichen und privaten Liegenschaften sollen näher betrachtet werden?
 - Wo besteht Handlungsbedarf?
 - Wer könnte persönliche und geschäftliche Interessen haben?
 - Welche bestehenden Infrastrukturen können einbezogen werden?
- Das Versorgungsgebiet ist realistisch zu wählen. Eher klein als gross beginnen.
- Klares, einfach kommunizierbares Konzept erstellen.
 - Kann die Versorgung von öffentlichen Gebäuden eine Basis bilden?
 - Kann Neubaugebiet eingebunden werden?
- Bestimmen möglicher Trägerschaften:
 - Verfügt Gemeinde über einen entsprechenden Betreiber?
 - Welche Contractoren kommen in Betracht?
- Abschätzung der Investition und Wirtschaftlichkeit:
 - Das Sparpotential der Bezüger ist in der Wirtschaftlichkeitsrechnung zu beachten und eher hoch einzusetzen!
 - Wie könnte Wärmepreisstruktur aussehen?
 - Ist Anlehnung an Fernwärmetarif möglich?
 - Wer könnte Projekt zusätzlich finanziell unterstützen?
- In die Initialisierungsphase sind die wichtigen Akteure einzubeziehen. Diese sollen sich als Väter und Mütter der Idee sehen.

Beim Einleiten eines Projektes geht es oft weniger um Technik als viel mehr um eine gute Kommunikation und Begeisterungsfähigkeit für eine gemeinsame Sache. Die Herausforderung liegt darin, die vorhandenen Rahmenbedingungen aufzunehmen und daraus eine realistische Projektidee zu entwickeln.

Anlagekonzept: Systemtemperaturen beachten!

Der Einsatz von Wärmepumpen in bestehenden Infrastrukturen stellt besondere Anforderungen an die Planer. Wie die zwei Beispiele zeigen, können Wärmepumpen bei richtiger Planung auch bei maximal erforderlichen Systemtemperaturen von 85°C eingesetzt werden. Dabei sind aber zahlreiche Details zu beachten:

- Dimensionierung Wärmeleistungsbedarf:
 - Sparpotential der Bezüger kritisch hinterfragen!
 - Leistungsanteil alternative Erzeugung eher kleiner als grösser!
 - Erfassen der vorhandenen Systemtemperaturen:
 - Welche maximalen Vorlauftemperaturen sind für die einzelnen Bezüger erforderlich?
 - Mit welchen Massnahmen können die Rücklauftemperaturen der Bezüger gesenkt werden?
- Warmwasserladungen und Lüftungsanlagen sind speziell zu beachten.

- Mit welchen Massnahmen kann eine hohe Spreizung der Systemtemperaturen (VL-RL) erreicht werden?
- Bestimmen der Anforderungen an die Wärmepumpe:
 - max. erforderliche Vorlauftemperatur?
 - welches Konzept erbringt einen hohen Nutzungsgrad?
- Damit der Niedertemperaturanteil möglichst gross und die Rücklauftemperatur zur Wärmepumpe möglichst tief ist, sind in der Hydraulik der Zentrale speziell zu beachten:
 - Hochtemperatur- und Niedertemperatur-Speicher vorsehen.
 - Beimischung in Gruppen ab Niedertemperatur-Speicher und nicht von Haupt-Rücklauf
 - Rückläufe mit hohen Temperaturen auf Speicher, solche mit tiefen direkt auf Wärmepumpe führen.
 - Wärmepumpe möglichst in Stufenladung betreiben, Schichtladung nur wenn erforderlich!

Die obigen Punkte wurden in den beiden Demonstrationsanlagen konsequent umgesetzt. Das Prinzipschema der Anlage Marzili Bern zeigt beispielhaft eine hydraulische Schaltung zum Erreichen einer möglichst langen Laufzeit der Wärmepumpe. Diese entspricht weitgehend der in [3] publizierte Standardschaltung von indirekten Gasmotor-Wärmepumpen Anlagen.

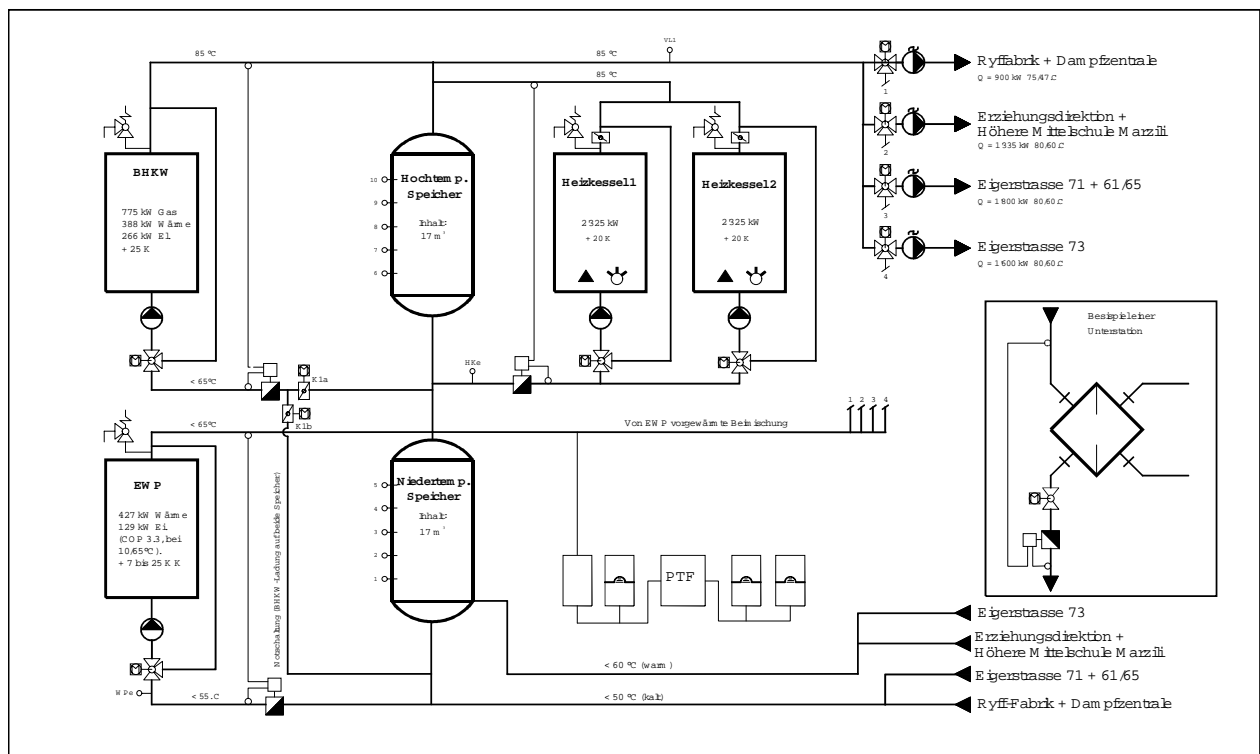


Bild 4: Prinzipschema WV Marzili Bern - Schaltungen zum Erreichen einer möglichst langen Laufzeit der Wärmepumpe.

Umsetzung und Betrieb: Gefragt ist Beharrlichkeit

Bei bestehenden Systemen muss auch bei einer sehr minutiösen Vorbereitung mit kleinen und grossen Überraschungen gerechnet werden.

- Realisierung der Anlage:
 - Umsetzung in Etappen kann vorteilhaft sein: Zuerst Heizkesselanlage und Wärmeverbund, teure Komponenten der Alternativanlage erst wenn Absatz gesichert und System bereinigt.
 - Realisierungszeit nicht zu knapp bemessen.
 - Mit Unvorgesehenem rechnen.
- Erfolgskontrolle und Optimierung:
 - Erfolgskontrolle unbedingt erforderlich: Es zeigen sich mit Sicherheit Fehlannahmen und Anlagemängel.
 - Mit einer Betriebsoptimierung sollten Vorgaben des Projektes erreicht werden können.

Wie die zwei Beispiele zeigen, können Grosswärmepumpen in bestehenden Strukturen mit Erfolg eingesetzt werden. Neben gutem technischen Wissen werden dabei hohe Anforderungen an die Planer hinsichtlich Kommunikation und Durchhaltevermögen gestellt.

Quellen

- [3] St. Lanz, B. Eggen: Gasmotor-Wärmepumpen - Erfahrungen und Planungsregeln, Bundesamt für Energie (EF-PROC (91)023, 1992.
- [2] St. Lanz, B. Eggen: Direkte oder indirekte Gasmotor-Wärmepumpe?, Bundesamt für Energie (ET-FOER(93)006, 1994.
- [3] M. Albrecht, St. Lanz, B. Eggen: Vorgehen und Standardlösungen bei der Planung von Elektro-Wärmepumpen in Kombination mit Blockheizkraftwerken, Bundesamt für Energie, 1998.
- [4] M. Zogg: Maximale Primärenergienutzung und CO₂-Reduktion mit Wärmepumpensystemen, Bundesamt für Energie, 1998.
- [5] B. Liesch: Wärmeverbund Marzili – Nutzung erneuerbarer Energie mit Blockheizkraftwerk und Grundwasser-Elektrowärmepumpe, Bundesamt für Energie, 2002.

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 (instantaner Wert)
eff.	effektiv
EFH	Einfamilienhaus
El. oder el.	Elektrisch
FAWA	Feldanalyse von Wärmepumpenanlagen
FWS	Fördergemeinschaft Wärmepumpen Schweiz
HPP	Heat Pump Program (Wärmepumpenprogramm)
Hzg	Heizung
IEA	Internationale Energieagentur
JAZ	Jahresarbeitszahl (AZ über ein Jahr oder eine Heizperiode gemessen)
L/W	Luft/Wasser
LZ	Leistungsziffer, siehe AZ
Min.	Minimum
Max.	Maximum
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)

Nützliche Adressen

Bereichsleitung Umgebungswärme/Wärme-Kraft-Kopplung/Kälte:

Bundesamt für Energie

Fabrice Rognon

CH-3003 Bern

Fax 031 323 25 00

fabrice.rognon@bfe.admin.ch

<http://www.admin.ch/bfe>: Alles über das Bundesamt für Energie und EnergieSchweiz

<http://www.waermepumpe.ch>: Seiten des Bereiches, Infos über Forschung&Entwicklung, Pilot- und Demonstrationsprojekte, Oekologie,... inkl. Berichtbestellungen

Programmleitung Forschung&Entwicklung:

Dr. Martin Zogg

Kirchstutz 3

CH-3414 Oberburg

Fax 034 422 69 10

martin.zogg@bluewin.ch

<http://www.waermepumpe.ch/fe>: alles um die Wärmepumpen-Forschung des BFE

<http://www.ENET.ch>: die Vertriebsstelle des BFE für Berichte

Fördergemeinschaft Wärmepumpen

Schweiz FWS

Informationsstelle

Postfach 298

CH-3000 Bern 16

Tel. 031 352 41 13

Fax 031 352 42 06

<http://www.fws.ch>

Groupement promotionnel suisse

pour les pompes à chaleur GSP

Centre d'informations

C.P. 338

CH-1001 Lausanne

Tél. 021 310 30 10

Fax 021 310 30 40

<http://www.pac.ch>

Wärmepumpentest- und Ausbildungszentrum

Sekretariat

c/o NOK

Parkstrasse

CH-5401 Baden

Tel 056 200 35 55

Fax 056 200 37 72

<http://www.wpz.ch> (Liste der geprüften Wärmepumpen, Prüfergebnisse...)

