Wärmepumpen : die Erfolgsgeschichte seit 1990

Autor(en): **Zogg, Martin**

Objekttyp: **Article**

Zeitschrift: **Bulletin.ch : Fachzeitschrift und Verbandsinformationen von Electrosuisse, VSE = revue spécialisée et informations des associations Electrosuisse, AES**

Band (Jahr): **99 (2008)**

Heft 16

PDF erstellt am: **24.05.2024**

Persistenter Link: https://doi.org/10.5169/seals-855874

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.
Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.
Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Ein Dienst der *ETH-Bibliothek*
ETH Zürich, Rämistrasse 101, 8092 Zürich, Schweiz, www.library.ethz.ch

http://www.e-periodica.ch

Wärmepumpen – die Erfolgsgeschichte seit 1990

Die Wärmepumpenheiztechnik hat sich bei neuen Einfamilienhäusern einen Anteil von über 70% erobert. Die erfreuliche nationale und internationale Entwicklung in den letzten Jahren wird als Ausschnitt aus einer umfassenden Geschichte der Wärmepumpentechnik vorgestellt [1]. Schweizerische Pionierleistungen haben dazu wesentlich beigetragen. Einige ausgewählte Anlagen aus der Schweiz illustrieren den Stand der Wärmepumpenheiztechnik bis hin zu einer bereits realisierten Zukunftsvision, einer mit Solarstrom betriebenen Heizung und Warmwasserbereitung in einer grösseren Überbauung.

Im Vergleich zu einer konventionellen Kesselheizung kann der Brennstoffverbrauch und damit die CO_2-Emission mit einer Wärmepumpenheizung auf rund die Hälfte gesenkt werden. Gegenüber einer elektrischen Widerstandsheizung ergibt die Wärmepumpenheizung sogar eine Reduktion des Energiebedarfs um bis zu 80%.

Martin Zogg

Wärmepumpen erreichen in der Schweiz bei neuen Einfamilienhäusern bereits einen Marktanteil von gegen 75%. Sie werden sich deshalb im Hinblick auf die Verknappung der Energievorräte und die beängstigend voranschreitende Klimaerwärmung noch vermehrt durchsetzen.

Die ersten Wärmepumpen in Europa wurden in der Schweiz realisiert. Die schweizerischen Pionierarbeiten in der Entwicklung von Brüdenkompressionsanlagen, von Erdwärmesonden, der Nutzung von Abwasser als Wärmequelle, der Entwicklung ölfreier Kolbenkompressoren sowie von Turbokompressoren sind allgemein bekannt. Die grösste je gebaute Wärmepumpe stammt aus der Schweiz. Die schweizerischen Beiträge und die internationalen Meilensteine der Wärmepumpentechnik von der ersten funktionierenden Dampfkompressionsmaschine im Jahr 1834 bis zur Gegenwart wurden in [1] umfassend und in [2] zusammenfassend dargestellt.

In diesem Beitrag wird als Ausschnitt aus [1] die letzte Entwicklungsperiode von 1990 bis zur Gegenwart herausgegriffen. In dieser erfolgte der endgültige Durchbruch der Wärmepumpenheiztechnik. Der Erfolg beruht nicht nur auf der Verfügbarkeit kostengünstigerer, effizienterer und verlässlicherer Wärmepumpen und optimalerer Gesamtsysteme. Der Einsatz von Wärmepumpen ist auch nicht nur ökologisch sinnvoll. Er wurde in einer Zeit rasant steigender Energiepreise auch ökonomisch interessant. Auch die nationalen und internationalen Anstrengungen in Forschung und Entwicklung, in der Qualitätssicherung und im Marktauftritt haben die Wärmepumpenheizung gefördert. Die vollständigen Quellenangaben findet man in [1].

Internationale Entwicklungen

Der auch in Kältemaschinen und Kühlschränken dominierende Dampfkompressionsprozess entwickelte sich schon vor 1990 zu einer reifen Technik. Nach der Entdeckung der ozonschichtabbauenden Wirkung der häufig verwendeten chlorierten synthetischen Kältemittel (Arbeitsmittel) wurde der durch internationale Vereinbarungen geforderte rasche Ersatz dieser Kältemittel zur grossen Herausforderung. Daneben verschob sich der Entwicklungsschwerpunkt von der Innovation neuer Komponenten zur Systemoptimierung und zur kostengünstigeren Massenproduktion. Weiter ist eine Tendenz zu natürlichen Kältemitteln – insbesondere zu Ammoniak – und zu höheren Wirkungsgraden mit Niedrigtemperatur-Fussbodenheizungen unverkennbar. Energie-Contracting[1)] nimmt dem Nutzer das Risiko teurer Investitionen ab und wurde bei grösseren Anlagen sehr populär.

Ab den frühen 1990er-Jahren hat die Anzahl eingesetzter hermetischer *Scroll-*

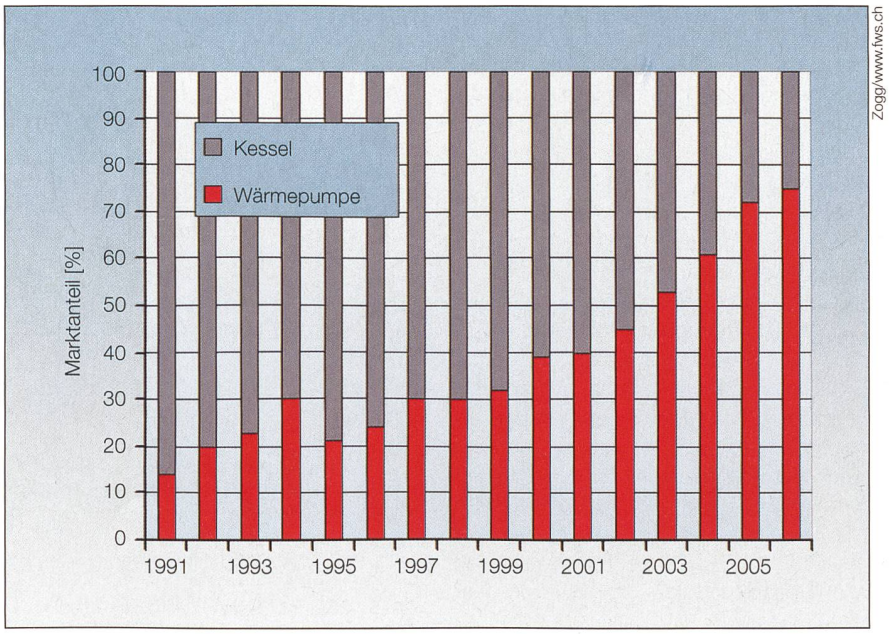
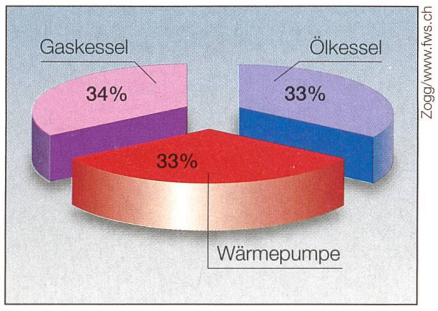


Bild 1 Wärmepumpenmarktanteil < 20 kW in neuen Einfamilienhäusern.



Zogg/www.fws.ch

Bild 2 Gesamtmarktanteile bei den 2006 neu installierten Heizungen.

kompressoren («Spiralkompressoren») jene hermetischer Kolbenkompressoren deutlich überholt. Sie wurden für kleinere Wärmepumpen zum Standardkompressor. Die Effizienz kleiner Kompressoren wurde deutlich gesteigert. Permanentmotoren werden künftig weitere Verbesserungen bringen. Für das wieder aktuell gewordene Kohlendioxid als Kältemittel werden weltweit neue Kompressoren entwickelt.

Das Geschehen bei den *Kältemitteln* wurde durch die Herausforderungen zur Bewältigung des durch die chlorierten synthetischen Kältemittel mitverursachten Abbaus der Ozonschicht diktiert. Zum Vergleich der Umwelteinwirkungen unterschiedlicher Kältemittel wurden international zahlreiche Untersuchungen mit bedeutenden Beiträgen der Schweiz durchgeführt [1]. Sie trugen wesentlich zu einem beschleunigten Ausstieg aus den FCK- und HFCK-Kältemitteln bei. Durch weltweite konzertierte Anstrengungen ist es bis etwa 2005 gelungen, den die Zivilisation bedrohenden Ozonschichtabbau zu stoppen. In der Schweiz erfolgte der Ausstieg aus den FCK-Kältemitteln (R-11, R-12, ...) bis 1995 und aus den HFCK-Kältemitteln (R-22, ...) bis 2002.

Mit den neuen *chlorfreien synthetischen Kältemitteln* (teilhalogenierte Fluorkohlenwasserstoffe FKW wie z.B. R-134a) werden gute Resultate erzielt. Sie bleiben aber infolge ihres hohen Treibhauspotenzials und vor allem ihrer schwer abbaubaren Zersetzungsprodukte (Trifluoressigsäure) nicht unangefochten. Möglicherweise könnte es deshalb auch noch zu einem FKW-Ausstieg kommen. Dies würde zu einem vollständigen Übergang auf *natürliche Kältemittel* führen. Ihre wichtigsten Vertreter sind *Ammoniak, Kohlendioxid und Kohlenwasserstoffe* wie Propan oder Isobutan. Aber jedes dieser Kältemittel kommt mit Herausforderungen: Das in Grossanlagen oft eingesetzte Ammoniak hat zwar ausgezeichnete thermodynamische Stoffwerte – ist aber toxisch und entzündbar. Sein stechender Geruch warnt im Leckagefall allerdings lange vor dem Erreichen gefährlicher Konzentrationen. Kohlendioxid erfordert einen überkritischen Prozess, welcher für die meisten Raumheizungsanwendungen (im Gegensatz zur Warmwasserbereitung) ungünstig ist. Dafür kann die hohe Abwärmetemperatur bei Kälteanwendungen zu zusätzlichen Abwärmenutzungsmöglichkeiten führen. Kohlendioxid-Wärmepumpen für die Warmwasserbereitung werden schon seit 2000 erfolgreich eingesetzt. Mit Propan lassen sich effiziente Wärmepumpenprozesse betreiben. Es ist aber leicht entzündbar, und seine Verwendung wird deshalb insbesondere in den USA und in Japan als nicht tolerierbares Risiko eingestuft.

Zu Beginn der 1990er-Jahre setzte sich der *Plattenwärmeübertrager* endgültig durch. Dies führte zu geringerem Kältemittelinhalt, zu kleineren Temperaturdifferenzen (und somit zu geringerem Exergieverlust bzw. höherer Effizienz) und zu kleineren Wärmepumpenabmessungen. Um 1990 kam die digitale Regelung auf. *Mikrocomputer* ermöglichten die Programmierung komplizierterer Regelungskonzepte mit modellbasierten Ansätzen und die Automatisierung ganzer Prozesse. Nur wenig später folgte das Zeitalter der *Datenkommunikation* über längere Distanzen. Die Mensch-Maschinen-Kommunikation wurde damit auf eine völlig neue Ebene gehoben. Die Fernüberwachung und dann die Fernbedienung über Modems wurden möglich. Neue Diagnosemethoden ermöglichten einen Übergang vom periodischen Unterhalt zu einem Unterhalt nach effektivem Bedarf. All dies führte zu einer deutlichen Verbesserung der Verlässlichkeit und Effizienz des Anlagenbetriebs und zu einer Reduktion der Unterhaltskosten. Schliesslich wurden diese Entwicklungen durch das *Internet* enorm beschleunigt.

Schweizer Beiträge zur Wärmepumpenheizung

Nach Überwindung der Qualitätsprobleme in den 80er-Jahren [1] begann ab 1990 ein definitiver Aufschwung des Heizens durch Wärmepumpen auch für Kleinanlagen (<50 kW). Dies hatte technische Gründe wie eine grössere Verlässlichkeit, ruhigere, effizientere Kompressoren und die Regelung durch Mikrocomputer. Weniger Vorurteile durch ein breiteres Verständnis der Vorteile der Wärmepumpenheiztechnik, besser ausgebildete Planer, kompetentere Installateure, Qualitätskontrollen und nicht zuletzt innerhalb von 25 Jahren auf 50% gefallene Investitionskosten waren aber ebenso entscheidend.

1991 waren in der Schweiz etwa 30 000 Wärmepumpen mit einer mittleren Heizleistung von 25 kW in Betrieb. Etwa zwei Drittel davon nutzten Umgebungsluft als Wärmequelle. Der Anteil an Erdwärmesondenanlagen nahm allerdings rasch zu. Um jene Zeit lag die Jahresarbeitszahl[2] bei Luft/Wasser-Systemen bei etwa 2,4. Bei Sole/Wasser-Systemen war sie mit rund 2,5 nicht viel besser. Der Grund für den kleinen Unterschied zwischen diesen beiden Systemen lag in den hohen Energieverlusten zur Förderung viel zu hoher Wärmeträgervolumenströme durch die Erdwärmesonden und in einem Mangel an verlässlichen Auslegungsgrundlagen. Nach 1998 be-

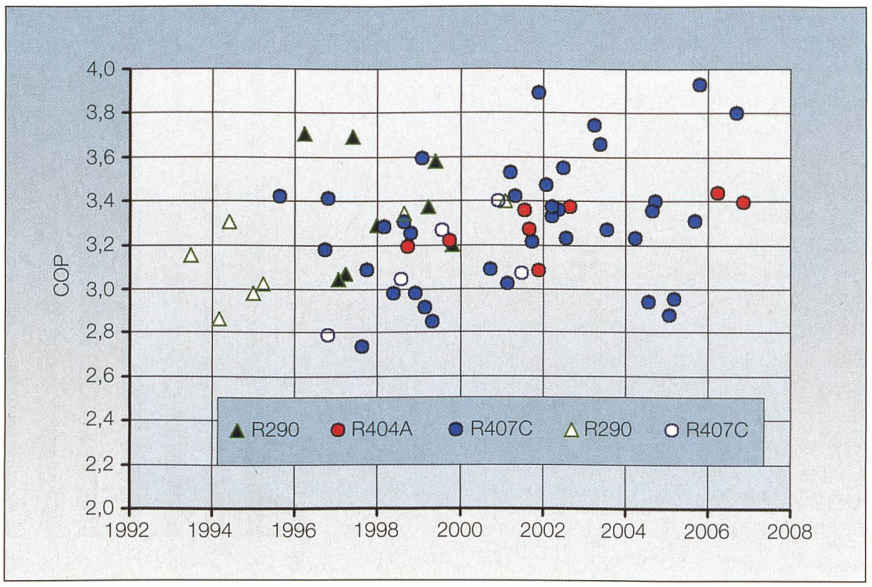


Bild 3 Leistungszahlen (COP) kommerzieller Luft(2 °C)/Wasser(35 °C)-Wärmepumpen. Maximale Wärmesenkentemperaturdifferenz 10 K. Messergebnisse mit vollständigen Abtauzyklen. Ausgefüllte Symbole: Scrollkompressoren; leere Symbole: Kolbenkompressoren. Werte aus [4] und [5].

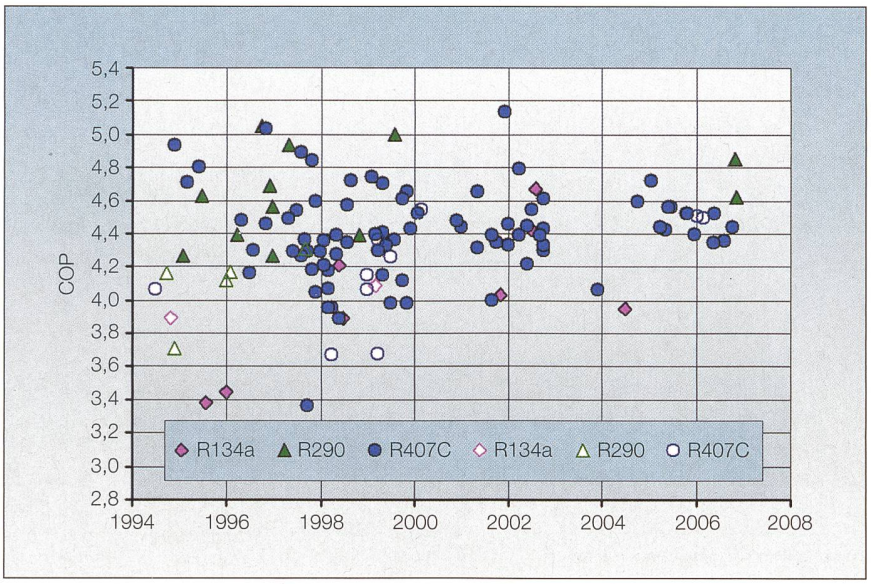


Bild 4 Leistungszahlen (COP) kommerzieller Sole(0 °C)/Wasser(35 °C)-Wärmepumpen. Maximale Wärmesenkentemperaturdifferenz 10 K. Messergebnisse ohne Berücksichtigung des Energiebedarfs für die Sole-Umwälzpumpe. Ausgefüllte Symbole: Scrollkompressoren; leere Symbole: Kolbenkompressoren. Werte aus [4] und [5].

schleunigte sich der Anteil mit Wärmepumpen beheizter neuer Einfamilienhäuser deutlich (siehe Bild 1). Er liegt heute bei über 70%.

Wärmepumpen erobern langsam auch den Sanierungsmarkt. Um 2006 hat der Anteil der Wärmepumpen unter 20 kW im gesamten Raumheizungsmarkt 33% erreicht (siehe Bild 2).

Zu dieser Zeit waren in der Schweiz etwa 100 000 Wärmepumpen in neuen Gebäuden und erst etwa 3000 Wärmepumpen in ehemaligen Kesselheizungen in Betrieb. Bei Heizleistungen über 50 kW wird die Wärmepumpenheizung auf der Basis des *Energie-Contractings* immer populärer. Die grössten Energie-Kontraktoren in der Schweiz sind die Elektrizitätswerke des Kantons Zürich (EKZ) und der Stadt Zürich (EWZ). Sie haben 2006 zusammen mehr als 50 GWh Wärme geliefert.

Die meisten grundlegenden Innovationen kamen bereits vor 1990. Aber es galt – und gilt immer noch –, ein enormes Optimierungspotenzial anzugehen. Viel wurde bereits erreicht, wie die Resultate des *Schweizerischen Wärmepumpentestzentrums* belegen. Innerhalb der vergangenen 15 Jahre wurde bei den getesteten Wärmepumpen für zentrale Warmwasserheizungen und Luft als Wärmequelle eine Verbesserung der mittleren Leistungszahlen[3] um 30% von 2,6 auf 3,4 beobachtet (siehe Bild 3). Dies entspricht nur moderaten Lorenzwirkungsgraden[4] von 28% bis 36%. Die getesteten Luft/Wasser-Wärmepumpen lagen bei einer mittleren Heizleistung von 8 kW in einem Heizleistungsbereich von 2,5 kW bis 30 kW.

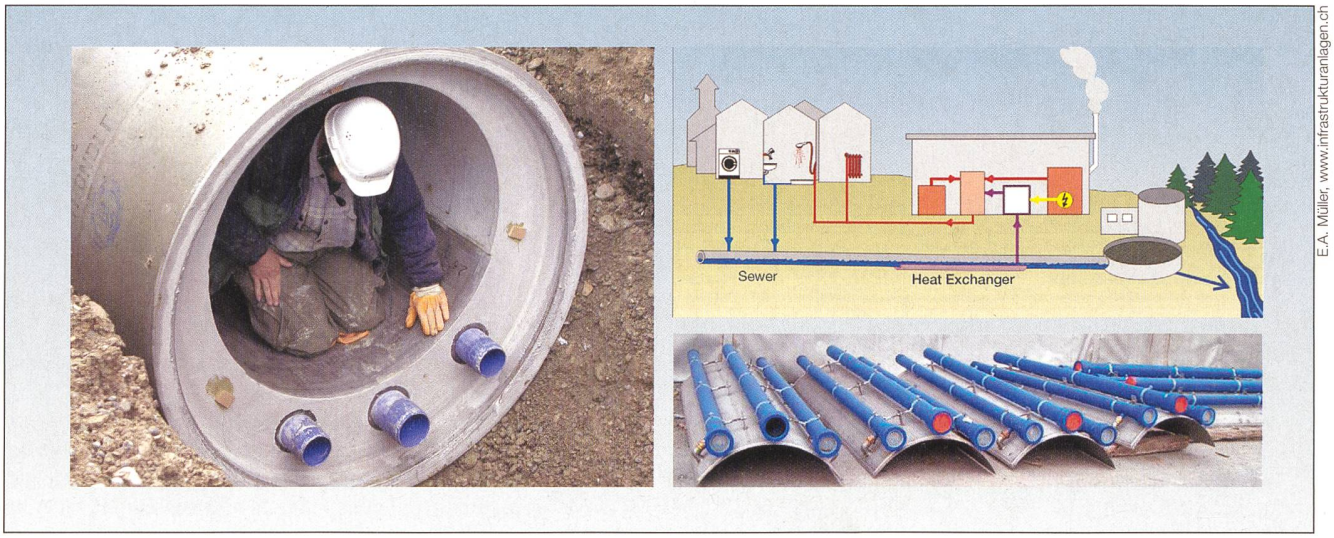
In der gleichen Zeitperiode wurde bei Sole[5]/Wasser-Wärmepumpen lediglich eine Verbesserung der mittleren Leistungszahl um 17% von 3,8 auf 4,5 oder eine Erhöhung des Lorenzwirkungsgrads von 43% auf 50% gemessen (siehe Bild 4). Bei den besten Maschinen wurden allerdings in den letzten 15 Jahren keine merklichen Verbesserungen mehr erzielt. Die getesteten Sole/Wasser-Wärmepumpen lagen bei einer mittleren Heizleistung von 12 kW in einem Heizleistungsbereich von 5 kW bis 80 kW. Die deutlich höheren Werte für die Sole/Wasser-Maschinen verraten allerdings noch nicht die ganze Wahrheit, da sie die Pumpenergie zur «Sole»-Umwälzung in den Erdwärmesonden nicht enthalten. Für einen fairen Vergleich mit den Luft/Wasser-Maschinen muss diese noch berücksichtigt werden. Gemäss einem in [3] beschriebenen Ansatz reduzieren sich dabei die Leistungszahlen von 3,8 auf 3,5 und von 4,5 auf 4,1. Dies entspricht noch mittleren Lorenzwirkungsgraden von 40% bis 47%.

Die bei den Messungen benützten Temperaturen der Wärmequellen (Luft 2 °C, Sole 0 °C) und der Wärmesenke (Wasser 35 °C) geben einen ersten groben Eindruck über die für schweizerische Verhältnisse *zu erwartenden Jahresarbeitszahlen*. Es gibt aber viele Grössen, welche den tatsächlich erreichten Wert beeinflussen [1]. Bei Luft/Wasser-Systemen werden heute maximale Jahresarbeitszahlen von 3,4 und bei Erdwärmesonden/Wasser-Systemen sogar solche von 5,6 gemessen.

Die Messergebnisse in den Bildern 3 und 4 lassen den Verdacht aufkommen, dass seit dem verstärkten Wärmepumpenboom *ab 2005 keine signifikanten Effizienzverbesserungen* mehr erzielt wurden. Behindert ein boomender Markt die Entwicklungen zu einer weiteren Verbesserung der Effizienz? Die beiden Bilder verdeutlichen auch den Siegeszug des *Scrollkompressors* bei Kleinwärmepumpen. Weiter zeigen sie nach einem anfänglichen Enthusiasmus einen gewissen Rückzug von Propan als natürlichem *Kältemittel* bei den Luft/Wasser-Wärmepumpen. Sieger bei den Luft/Wasser- und den Sole/Wasser-Wärmepumpen ist R-407C, gefolgt von R-404A für Luft/Wasser- und R-134a oder Propan für Sole/Wasser-Maschinen. Die *Forschungs- und Entwicklungsaktivitäten* wurden in der Schweiz durch Pioniergeist und eine gute Zusammenarbeit zwischen Praxis und Hochschule gefördert. Sie konzentrierten sich auf den Ersatz ozonschichtgefährdender synthetischer Kältemittel (FCK, HFCK) durch teilhalogenierte Fluorkohlenwasserstoffe (FKW), die Entwicklung validierter Auslegungswerkzeuge für Erdwärmesondenanlagen, die Verbesserung der Wärmeübertragung bei Ein- und Zweiphasenoperationen, die Reduktion des Kältemittelvolumens, die Untersuchung neuer Kompressortypen, die Computersimulation für die verbesserte Auslegung von Wärmepumpenheizungssystemen und die Entwicklung einer Diffusions-Absorptionswärmepumpe. Auch Stirlingprozesse – vorab Freikolbensysteme – wurden untersucht. Hauptprioritäten waren aber die Entwicklung einer *Wärmepumpe für den Sanierungsmarkt mit hohen Vorlauftemperaturen* (Projekt «Swiss Retrofit Heat Pump») und die *Optimierung ganzer Wärmepumpenheizungssysteme* durch ein optimales Einbinden der Wärmepumpen sowie die Entwicklung neuer Regelungs- und Diagnosemethoden. Weiter wurden neue Testmethoden zum Erfassen des dynamischen Verhaltens der Wärmepumpen und von Wärmepumpen mit kombinierter Warmwasserbereitung ausgearbeitet.

Ausgewählte Anlagen und Entwicklungen

In dieser Periode wurden zahlreiche grössere Kombinationen von Blockheizkraftwerken mit Wärmepumpen, sogenannte *Totalenergieanlagen*, realisiert. Flusswasser, Seewasser, Grundwasser, Abwasser, Erdboden, aber auch Kühlhäuser und Kunsteisbahnen wurden als Wärmequellen genutzt. Hohe Nutzungsgrade[6] von Totalenergieanlagen sind nur mit effizienten Blockheizkraftwerken realisierbar. Deshalb wurde im Rahmen eines BFE-Forschungsprojekts durch die Firma Liebherr Machines Bulle und die ETH Zürich ein Gasmotor mit extrem tiefen Emissionswer-



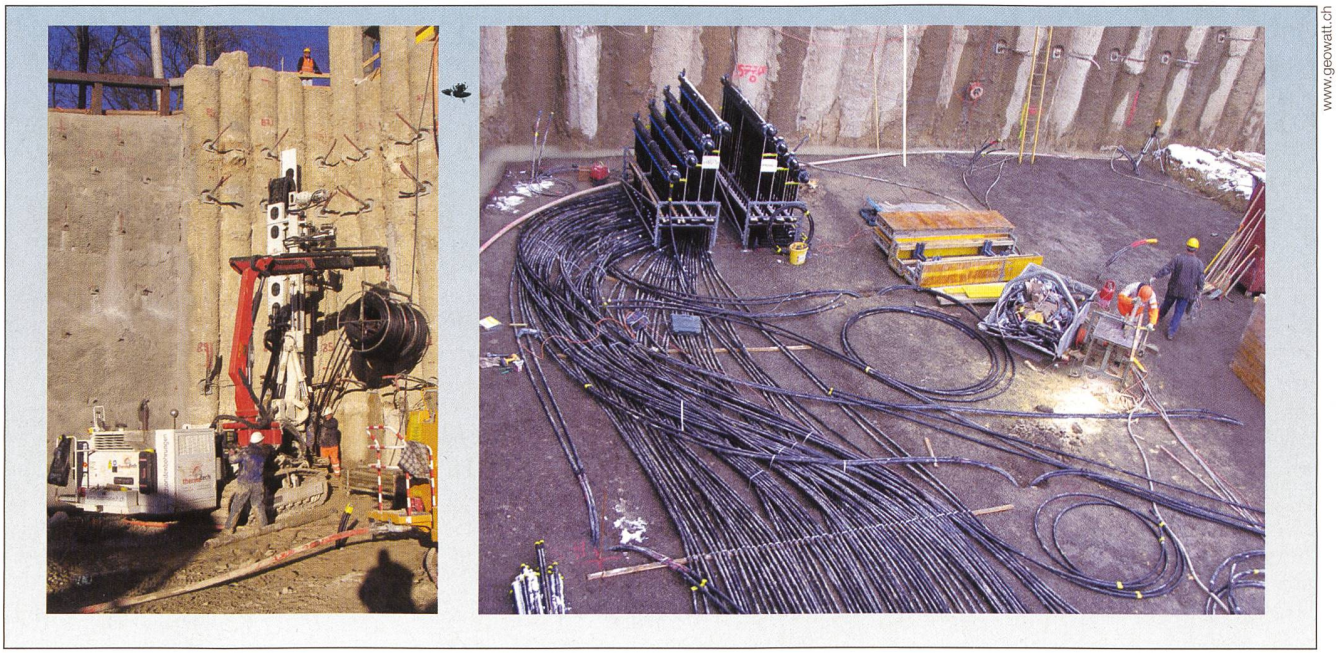
E.A. Müller, www.infrastrukturanlagen.ch

Bild 5 Rabtherm-Abwasserkanalelement (links), Prinzip und Rabthermelemente (rechts).

ten und sehr hohem mechanischem Wirkungsgrad entwickelt. Dieser sogenannte «*Swissmotor*» ist mit einer patentierten, geregelten Abgasrückführung ausgerüstet und wird heute durch Liebherr in Bulle für Blockheizkraftwerke im elektrischen Leistungsbereich von 140 kW bis 280 kW produziert.

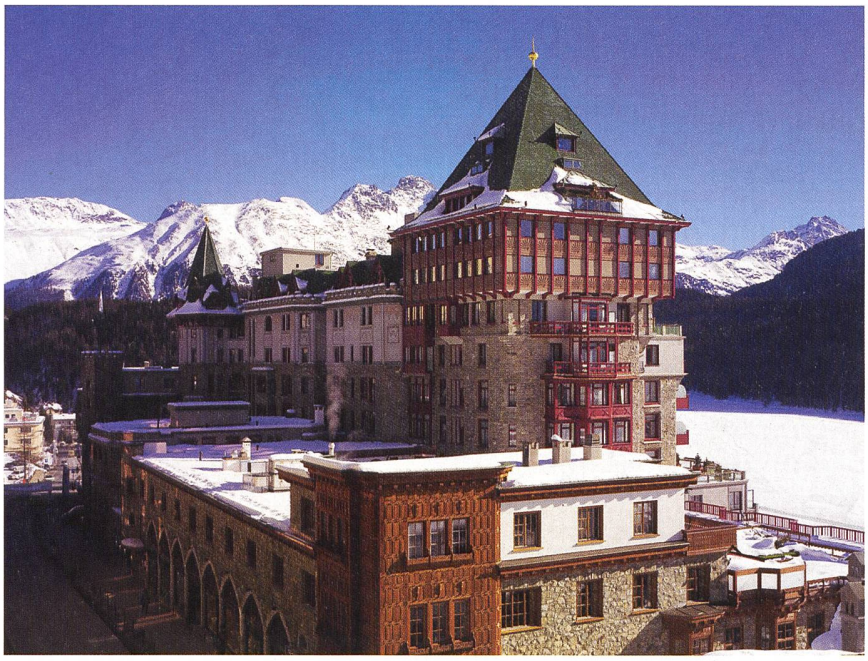
Anstatt Wärme über ein konventionelles Fernwärmesystem mit trotz teurer thermischer Isolation hohen Wärmeverlusten zu transportieren, wird beim *kalten Wärmeverbund* Abwärme tiefer Temperatur durch einfache Rohrleitungsnetze zu den Verbrauchern transportiert. Dort wird das Niedrigtemperaturwasser von Wärmepumpen als Wärmequelle genutzt. Diese liefern dann die Nutzwärme mit der gewünschten Temperatur. Solche kalte Wärmeverbünde sind oft kostengünstiger als konventionelle Fernwärmesysteme. 1995 wurde in Muri ein erster solcher kalter Wärmeverbund mit *gereinigtem Abwasser aus einer Abwasserreinigungsanlage* und preisgünstigen Kunststoffrohren realisiert. Bei einer totalen Heizleistung von 2,4 MW wurde mit den angeschlossenen Wärmepumpen eine mittlere Jahresarbeitszahl von 3,1 erreicht. Inzwischen wurden etwa 50 weitere Abwasserwärmepumpen nach diesem Prinzip realisiert. Der kalte Wärmeverbund wurde zu einer konkurrenzfähigen Technologie. Mit den angeschlossenen Wärmepumpen wurden je nach Nutztemperaturniveau Jahresarbeitszahlen bis 5 gemessen. Abwasser hat in der Schweiz das *Potenzial*, über Wärmepumpen bis zu 15% der an die Kanalisation angeschlossenen *Gebäude* zu beheizen.

Eine interessante Anlage zur Nutzung der Abwärme der Abwasserreinigungsanlage (ARA) Werdhölzli der Stadt Zürich wurde 2006 durch die Elektrizitätswerke der Stadt Zürich EWZ im Energie-Contracting-Verfahren erstellt. Diese deckt den



www.geowatt.ch

Bild 6 Erdwärmespeicher des Hotels The Dolder Grand in Zürich.



EWZ, Zürich

Bild 7 Hotel Palace in St.Moritz mit dem eisbedeckten See (rechts im Bild) als Wärmequelle.

Allreal, Zürich

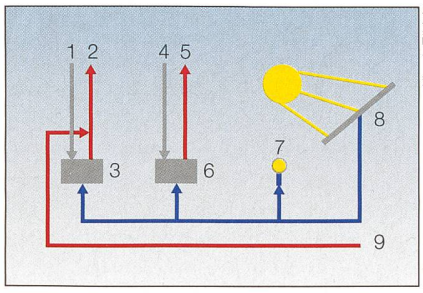
Bild 8 Eulachhof Winterthur mit Fotovoltaikzellen zum Antrieb der Wärmepumpe und der kontrollierten Belüftung.

hohen Wärme- (9500 MWh/a mit einer Maximaltemperatur von 65 °C) und Kältebedarf (8500 MWh/a, 8–12 °C) des automatischen *Verteilzentrums Mülligen der Schweizerischen Post* in Schlieren durch eine Ammoniak-Wärmepumpenanlage mit 5,5 MW Leistung. Die ARA ist davon etwa einen Kilometer entfernt.

In den 1990er-Jahren hat Urs Studer Wärmeübertrager zur *Wärmerückgewinnung aus unbehandeltem Abwasser* eingeführt. Diese werden in der Bodenzone der Kanalisationsrohre eingebaut (siehe Bild 5). Das System «Rabtherm» wurde in der Schweiz schon in mehreren Pilotinstallationen erprobt. Im Stadium Bachgraben-Basel funktioniert es bereits seit 25 Jahren problemlos [6]. Auch in der Anlage in Binningen, welche 2001 installiert wurde, sind bisher keine Belagsbildungen bekannt geworden. In Zürich-Wipkingen wurden 1999 durch die Elektrizitätswerke der Stadt Zürich EWZ Rabthermelemente mit einer Gesamtlänge von 200 m installiert. Sie dienen als Wärmequelle zur Wärmepumpenbeheizung von 900 Wohnungen. Hier traten einige Probleme durch die Bildung eines Biofilms auf den Wärmeübertrageroberflächen auf. Diese wurden in einem BFE-Forschungsprojekt analysiert, und als Gegenmassnahmen wurden Empfehlungen zur Fliessgeschwindigkeit und zur Oberflächenbehandlung ausgearbeitet.

Einzelne *Erdwärmesonden* für Kleinobjekte oder ganze *Erdwärmesondenfelder* mit mehreren Erdwärmesonden für grössere Anlagen wurden zu einer effizienten Standardwärmequelle. Bis 1990 lag die *Bohrtiefe* für Erdwärmesonden unter 150 m. Heute werden Bohrtiefen bis zu 350 m erreicht. Hier liegt die Festigkeitsgrenze des heutigen Sondenmaterials aus Kunststoff. Die optimale Bohrtiefe hängt von zahlreichen Einflussgrössen ab wie den geothermischen Eigenschaften und dem Temperaturgradienten des Erdbodens, der Durchströmgeschwindigkeit und dem Druckverlust (Wärmeträgerpumpleistung!). Heute liegen die häufigsten Bohrtiefen zwischen 150 m bei wichtiger passiver Sommerkühlung und bis 250 m bei reinem Heizen. Das bisher grösste Erdwärmesondenfeld der Schweiz wurde 2005 für das Hotel «The Dolder Grand» in Zürich mit 72 Sonden und einer gesamten Sondenlänge von 10 600 m gebaut. In diesem Luxushotel der Spitzenklasse wird die Sommerkühlung als ebenso wichtig beurteilt wie die Heizung im Winter. Deshalb wird das Erdwärmesondenfeld als Erdwärmespeicher betrieben und die Bohrtiefe beträgt nur 152 m. Bild 6 zeigt links die Bohrmaschine im Einsatz und rechts die Vorbereitung der U-Rohr-Erdwärmesonden aus Polyethylen.

1993 wurde eine Wärmepumpenanlage zum Beheizen von Oberwald (Goms) mit warmem *Abwasser aus dem Furkatunnel* installiert. Das Abwasser aus dem neuen Lötschberg-Basistunnel hat eine Temperatur von rund 20 °C. Es soll als Wärmequelle für ein kleines Fernheiznetz in Frutigen genutzt werden. Der «Nahwärmeverbund Frutigen» plant die Betriebsaufnahme auf die Heizsaison 2008/2009.



Allreal, Zürich

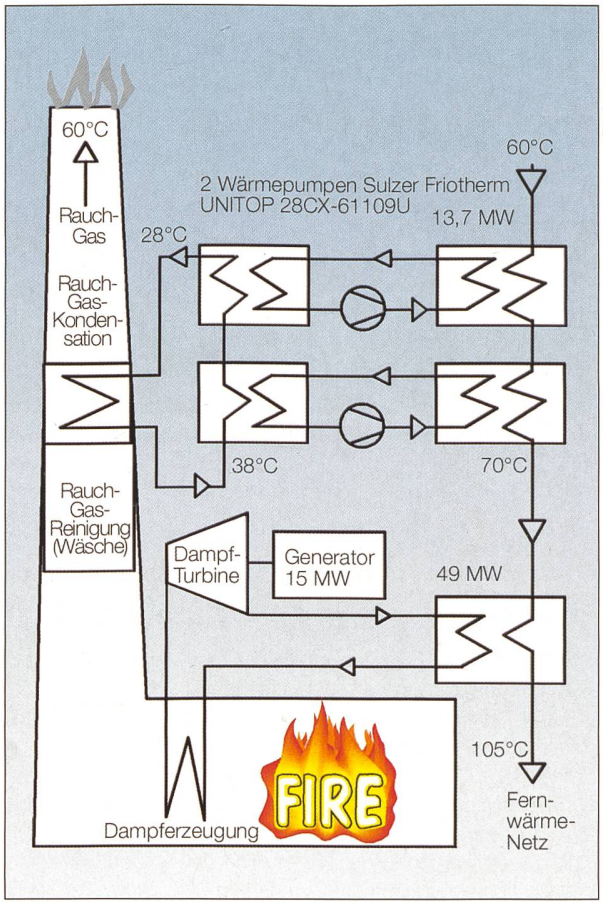
Bild 9 Prinzip des Eulachhof-Wärmepumpensystems. 1 Abluft, 2 Frischluft, 3 Wärmepumpe zur Raumheizung, 4 Abwasser, 5 Warmwasser, 6 Warmwasser-Wärmepumpe, 7 Elektrizitätsnetz, 8 Fotovoltaikzellen, 9 Spitzendeckung mit Fernwärme ab Kehrichtverbrennung.

Friotherm, Winterthur

Bild 10 18,4-MW-Wärmepumpe der Viken Fjernvarme.

Das Engadin gehört zu den Regionen der Schweiz mit den tiefsten Wintertemperaturen. Die mittlere Januartemperatur erreicht in St.Moritz nur rund –10 °C. Deshalb hat hier eine effiziente Raumheizung besondere Bedeutung. 2006 wurde für das Palace-Hotel (siehe Bild 7) und das Schulgebäude «Grevas» in *St.Moritz* ein Wärmepumpenheizungssystem mit dem St.Moritzer *Bergsee auf 1759 m* über Meer als Wärmequelle gebaut. Die Ammoniak-Wärmepumpe mit einer Jahreswärmeproduktion von 4000 MWh deckt 80% des Bedarfs des Hotels Palace und 70% des Wärmebedarfs der Schule. Während die Oberfläche des St.Moritzersees mit einer bis zu 75 cm dicken Eisschicht bedeckt ist, beträgt die Wassertemperatur an der Entnahmestelle für die Wärmepumpe im Winter etwa 4 °C. Obwohl die erforderliche maximale Heizungsvorlauftemperatur 70 °C beträgt, erreicht die Wärmepumpe noch eine Jahresarbeitszahl von rund 3. Die Anlage wurde durch die Elektrizitätswerke der Stadt Zürich EWZ im Energie-Contracting-Verfahren gebaut. Sie wird von der EWZ-Zentrale in Zürich überwacht und vollständig ferngesteuert.

Nullenergie-Wohnüberbauung – eine Vision wurde Wirklichkeit. Heute werden in der Schweiz etwa 15% der neuen Häuser nach dem Niedrigheizenergiestandard «Minergie» gebaut (www.minergie.ch). Einige zukunftsorientierte Architekten und Ingenieure gehen aber noch weiter. Ein solches Beispiel ist die 2006/2007 gebaute *Wohnüberbauung Eulachhof* in Winterthur mit *132 Wohnungen*. Sie unterschreitet sogar noch deutlich den Passivhaus-Standard «Minergie-P-Eco» und kann hier nicht umfassend beschrieben werden. Allein die Isolationsdicke von 38 cm vermag aber einen Eindruck von der hervorragenden Isolation der Gebäudehülle zu geben. Auf dem Dach der Gebäude sind 1240 m² Fotovoltaikzellen mit einer Gesamtspitzenleistung von 176 kW_p installiert (Bild 8). Diese liefern im Mittel über das ganze Jahr die volle elektrische Antriebsenergie für die Gebläse der kontrollierten Lüftung und die beiden Wärmepumpen. Bei Überproduktion der Fotovoltaikanlage wird die nicht benötigte elektrische Energie in das öffentliche Elektrizitätsnetz abgegeben – bei ungenügender Produktion wird die fehlende Energie aus dem Netz bezogen (siehe Bild 9). Die kontrollierte Lüftung ist mit einem zentralen Plattenwärmeübertrager zur Wärmerückgewinnung aus der Abluft ausgerüstet. Dies ist die Wärmequelle der ersten Wärmepumpe zur Raumheizung. Sie arbeitet hocheffizient, da die Heizungsvorlauftemperatur unter 30 °C liegt. Als Wärmequelle für die zweite Wärmepumpe, die der Warmwasserbereitung dient, wird die Wärme aus dem häuslichen Abwasser mit Hilfe eines in [1] beschriebenen speziellen Abwassertanks zurückgewonnen. Zur Spitzendeckung werden etwa 8,5% des Gesamtwärmebedarfs durch die Fernheizung einer Kehrichtverbrennungsanlage gedeckt. Die aus der Fernheizung bezogene Wärme entspricht etwa der Verbrennungsenergie des



Friotherm, Winterthur

Bild 11 Rauchgaswärmerückgewinnung Kraftwerk Umea (S).

Hausmülls, welchen die Überbauungsbewohner der Kehrichtentsorgung abliefern.

In Europa ist mit Friotherm nur noch ein Hersteller *grosser Wärmepumpen mit Turbokompressoren* übriggeblieben. Die relevanten Aktivitäten von Sulzer wurden 1996 zur Sulzer Friotherm umgruppiert. Zusammen mit Sulzer Infra wurde diese 2001 an die französische Suez-Gruppe verkauft und setzte die Tätigkeit unter dem Namen Axima Kältetechnik fort. Schliesslich wurde Friotherm 2005 durch ein Management-Buyout wieder eine selbständige Schweizer Firma. Nachfolgend werden einige ausgewählte Anlagen erwähnt, welche für skandinavische Länder gebaut wurden. Eine umfassendere Übersicht zu den grossen Radialkompressor-Wärmepumpen findet man in www.friotherm.com.

Eine Friotherm-Wärmepumpe mit einer Heizleistung von *18,4 MW* und einer Leistungszahl von 2,8 wurde 2002 in *Oslo* (N) installiert. Sie nutzt Rohabwasser mit 9,6 °C als Wärmequelle zur Erzeugung von Nutzwärme von 60 °C und 90 °C für das Fernwärmesystem von Oslo (siehe Bild 10). In *Umea* (S) wird die *Abwärme der Rauchgase eines Kraftwerks* von 38/28 °C zur Verwendung im Fernheizungssystem mit 60/70–75 °C aufgewertet. Die Wärmepumpenanlage (Bild 11) mit einer Heizleistung von *13,7 MW* erreicht eine Leistungszahl von 4,1. Die Heizleistung lässt sich im weiten Bereich von 10% bis 100% regeln. Eine andere Anlage wurde für ein Kraftwerk in *Malmö* (S) gebaut: *19 MW* und eine Leistungszahl von 5,43 bei 34,2/24,3 °C → 50/60–70 °C. In *Helsinki*, Finnland, hat Friotherm kürzlich die weltweit grösste *kombinierte Heiz- und Kühlwärmepumpe* in Betrieb genommen. Mit *60 MW Kälteleistung und 90,5 MW Heizleistung* im Sommerbetrieb bei 45/88 °C und 83,8 MW Heizleistung bei 40/62 °C im Winterbetrieb erreicht sie im Winterbetrieb eine Heizleistungszahl von 3,5 und im Sommerbetrieb eine Kühl-Heizleistungszahl von 6,0. Im Winterbetrieb dient ein indirektes Abwassersystem mit 12/5 °C als Wärmequelle.

Referenzen

[1] Zogg, M.: Geschichte der Wärmepumpe – Schweizer Beiträge und internationale Meilensteine, Bundesamt für Energie, Bern 2008; www.zogg-engineering.ch/publi/GeschichteWP.pdf; Buchausgabe in Vorbereitung.

[2] Zogg, M.: History of Heat Pumps – Swiss Contributions and International Milestones, preprints, 9th International Energy Agency Heat Pump Conference, Zürich, May 20–22, 2008.

[3] Nani, M.: Bestimmung der Kategorie Energieeffizienz, WPZ-Bulletin 2005-01, S.19.

[4] Nani, M., Hubacher, P., Ehrbar, M.: Qualitäts-Prüfung von Klein-Wärmepumpen mittels Norm- und Feldmessungen – Teilprojekt Effizienzsteigerung Norm- und Feldmonitoring Bestanlagen, Jahresbericht, Bundesamt für Energie, Bern 2005.

[5] Nani, M.: Private Mitteilung. Marco Nani, Wärmepumpentestzentrum, CH-9471 Buchs.

[6] Müller, E.-A.: Heizen und Kühlen mit Abwasser, Gas-Wasser-Abwasser gwa 85 (2005) 2, S. 93–99.

Angaben zum Autor

Martin Zogg, Dr. sc. techn., dipl. Masch.-Ing. ETHZ, wirkte nach Industrietätigkeiten in Flugzeugbau, Kraftwerks-, Tieftemperatur- und Prozesstechnik 25 Jahre als Professor für Prozesstechnik an der Berner Fachhochschule, 10 Jahre als Forschungsprogrammleiter für das Bundesamt für Energie und 7 Jahre als Experte für Forschungsprojekte mit den Schwerpunkten Energie- und Prozesstechnik für die Schweizerische Innovationsförderungsagentur KTI/CTI.

Résumé

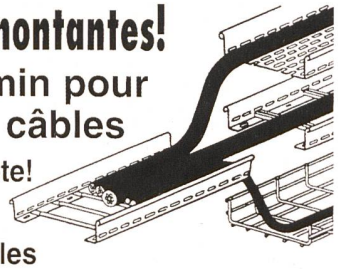
Pompes à chaleur: success story depuis 1990

La technique du chauffage par pompes à chaleur pour les maisons individuelles neuves a emporté plus de 70% du marché suisse. Cette évolution réjouissante des dernières années aux niveaux national et international est présentée par un extrait de l'histoire à succès de la technique des pompes à chaleur [1]. La Suisse a fourni des prestations pionnières en la matière. Diverses installations sélectionnées en Suisse illustrent l'état de la technique de chauffage des pompes à chaleur ainsi qu'une vision d'avenir déjà réalisée: un chauffage et une préparation de l'eau chaude alimentés à l'électricité solaire dans un lotissement relativement grand.

[1] Beim «Energie-Contracting» kauft der Kunde kein Wärmepumpensystem und er kümmert sich auch nicht um den Unterhalt; er bezahlt nur für die gelieferte Wärme.
[2] Jahresarbeitszahl = Jahresnutzwärme / elektrischer Jahresenergiebedarf.
[3] Leistungszahl = Nutzwärmeleistung / elektrische Antriebsleistung.
[4] Mass für die Wärmepumpeneffizienz, siehe [1], Kap. 2.
[5] «Sole» ist der leider allgemein verwendete Ausdruck. Heute werden für Erdwärmesonden aber aus Korrosionsgründen Mischungen aus Wasser und organischen Antifrostmitteln (meist Ethylenglykol) als Wärmeträger verwendet.
[6] Nutzungsgrad: Nutzwärme / eingesetzte Brennstoffenergie.

Finis les chemins à grille, les chemins de câbles et les **conduites montantes!**

Il existe maintenant les Multi-chemins LANZ: un chemin pour tous les câbles



- Les Multi-chemins LANZ simplifient la planification, le métré et le décompte!
- Ils diminuent les frais d'agencement, d'entreposage et de montage!
- Ils assurent de meilleurs profits aux clients: excellente aération des câbles
- Modification d'affectation en tout temps. Avantageux. Conformes aux normes CE et SN SEV 1000/3.

Pour des conseils, des offres et des livraisons à prix avantageux, adressez-vous au grossiste en matériel électrique ou directement à

LANZ **lanz oensingen sa** e-mail: info@lanz-oens.com
CH-4702 Oensingen • Tél. 062/388 21 21 • Fax 062/388 24 24

kf 5

PKG

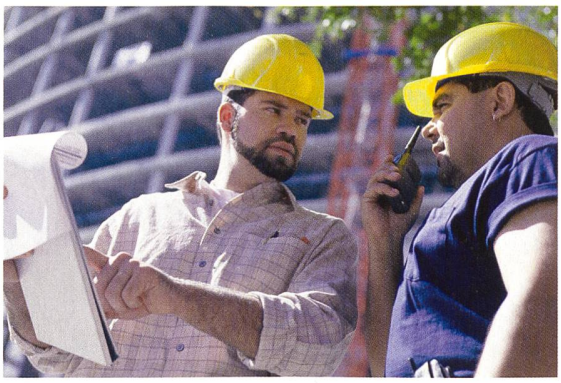
PKG

- Der GAV-konforme Branchenversicherer
- Die Krankentaggeldversicherung mit den stabilen Prämien
- Die unkomplizierte Versicherung nach KVG

Verlangen Sie noch heute eine unverbindliche Taggeldofferte für Ihre Firma, wir beraten Sie gerne.

Es lohnt sich!

PKG



PKG
Paritätische Krankenversicherung für Branchen der Gebäudetechnik
Postfach 234
3000 Bern 15

Telefon 031 940 28 28
Fax 031 940 28 29
E-Mail pkg@sympany.ch
Web www.moovesympany.ch

cablecom service plus und cablecom digital home

«So sind wir auch multimediale Gipfelstürmer.»

Nach der Fusion mit Serimo bewirtschaftet die EPM Swiss Property Management AG neu rund 71 000 Mietobjekte, darunter gut 33 000 Wohnungen. Höchste Qualität in allen Bereichen hat EPM sich dabei auf die Fahne geschrieben, da sind zuverlässige Partner unabdingbar. Für den Bereich der multimedialen Facilities hat sich EPM für eine Partnerschaft mit cablecom entschieden und einen service plus-Vertrag unter-zeichnet. Gemeinsam sollen die hochgesteckten Ziele erreicht werden – den Mietern gefällts.

Berg-Hochtouren gehören zur Freizeitbeschäftigung von Hans Peter Egloff, Delegierter des Verwaltungsrats und CEO der EPM Swiss Property Management AG. Was es auf dem Weg zur Spitze braucht, weiss er genau: «Als Leiter eines Dienstleistungs-Unternehmens lege ich grössten Wert auf ein dienstleistungsorientiertes Denken und Handeln unserer Mitarbeitenden in höchster Qualität.»

Höchste Qualität erwartet er auch von cablecom service plus sowie cablecom digital home. «Ein service plus-Vertrag von cablecom gibt die notwendige Garantie für einen konstanten Empfang sowie für den laufenden Unterhalt und die zukunftsorientierte Entwicklung der Anlage», beschreibt Hans Peter Egloff den Service und bringt dabei die Vorteile auf den Punkt. Tatsächlich sichern beide Produkte den Anschluss einer Liegenschaft an die multimediale Welt von heute und morgen und lassen Mieter jederzeit die modernste Infrastruktur der Schweiz über den Kabelanschluss nutzen. Kosten für Wartung, Modernisierung sowie Reparaturen werden zum Fixpreis abgedeckt: mit nur zwei Franken pro Monat und Wohneinheit.

Sieben Tage pro Woche während 24 Stunden können sich die Mieter bei Empfangsstörungen direkt an die cablecom wenden. Das schafft Luft im administrativen Bereich. Und gibt Zeit fürs Kernbusiness. Aber nicht nur geschäftlich, auch privat hat Hans Peter Egloff seine Erfahrungen mit cablecom gemacht: «Multimediale Facilities sind auch bei Egloff's zu einem wichtigen Bestandteil des Alltags geworden. Und wie bei der täglichen Arbeit ist mir auch hier Zuverlässigkeit und hohe Qualität sehr wichtig.» Eine entscheidende Rolle spielt für ihn dabei die Schnelligkeit des Internets. «Auf mit hispeed in neue Höhen!» so sein Echo.

Detaillierte Informationen zu cablecom service plus gibts unter Telefon 0800 99 56 22 oder www.cablecom.ch/serviceplus; mehr Informationen zur EPM Swiss Property Management AG: www.epm-swiss.ch

«Mit cablecom service plus schaffen wir sowohl für die Eigentümer wie auch für die Mieter einen Mehrwert.» Hans Peter Egloff, CEO, EPM Swiss Property Management AG, Wallisellen

EPM Swiss Property Management AG