

# Wärme aus dem Abwasserkanal

## Wärmepumpeneinsatz im Schulhaus



Bild 1: Das Objekt: Schulhaus Limmat, Baujahr 1909

Die Stadt Zürich übernimmt eine Vorreiterrolle in Umweltschutzbelangen und handelt gemäß dem politischen Auftrag, bei städtischen Bauten die technischen und wirtschaftlichen Möglichkeiten für den sparsamen Umgang mit Ressourcen auszuschöpfen. Im „7-Meilen-Schritte“-Programm des Hochbaudepartements, das einen sparsamen Energie- und Ressourcenverbrauch im Gebäudebereich zum Ziel hat, ist unter anderem festgehalten, dass die Stadt Zürich die Anwendung von Technologien fördern

kann, die in wenigen Jahren Stand der Technik sein werden. Zu diesem Zweck werden Pilot- und Demonstrationsprojekte mit einem hohen Umweltnutzen finanziert. Dass man bei dieser Zielsetzung an einem Wärmepumpen-Heizsystem, betrieben mit einem natürlichen Kältemittel in Kombination mit einer möglichst ergiebigen Wärmequelle kaum herumkommt, erklärt sich beinahe von selbst. Die Wärmepumpe im Schulhaus Limmat, die das Rohabwasser als Wärmequelle nutzt und mit dem natürlichen Kältemittel Propan (R290) betrieben wird, ist eines dieser Projekte. Sie ging im Januar 2006 in Betrieb und versorgt heute die drei Trakte A, B und C mit Wärme für die Raumheizung und Warmwasser für die Turnhallen. Auf diese Weise kann bis zu 85 % der jährlichen Wärmeproduktion, die vorher mit Gas erfolgte, durch die Wärmepumpe ersetzt werden. Die restlichen 15 % werden, wenn erforderlich, nach wie vor durch einen modernen Gasbrennwertkessel erbracht.

### Das Objekt

Das Schulhaus Limmat ist eine der größeren Primar- und Volksschulen der Stadt Zürich und verfügt als denkmalgeschütztes Objekt mit Baujahr 1909 über folgendes Raumprogramm:

Klassenzimmer	34
Lehrerzimmer	4
Werkräume	6
Schulküchen	6
Bibliothek	1
Aula	1
Turnhallen	2
Hausmeisterwohnungen	2

Das Schulhaus Limmat wurde bis zur Sanierung der Kesselanlage durch zwei Zweistoffkessel (Kessel, in denen sowohl Öl als auch Gas verfeuert werden kann) beheizt und hatte eine installierte Wärmeleistung von 970 kW. Da die alten Kessel der Luftreinhalteverordnung (LRV) nicht mehr genügten, musste im Jahr 2004 in einer I. Phase die Kesselanlage ersetzt werden.

Die Leistung der überdimensionierten Anlage wurde halbiert und der Öltank wurde aufgehoben. Heute versorgt ein moderner, modulierender Gasbrennwertkessel mit 480 kW die Gesamtanlage. In einer 2. Phase wurde eine Wärmepumpe installiert, die das Rohabwasser als Wärmequelle nutzt. Die Auslegung der Wärmepumpe erfolgte aus wirtschaftlichen Gründen nicht für einen Vollastbetrieb, da diese sonst zu groß, zu teuer und nicht mehr wirtschaftlich wäre. Die Wärmepumpe übernimmt heute den größten Teil der Wärmeproduktion, lediglich bei tiefen Außentemperaturen wird die Wärmepumpe durch den Gasbrennwertkessel unterstützt.

### Die technischen Vorabklärungen

Die Größe der Wärmezentrale im Schulhaus und die Tatsache, dass unmittelbar hinter dem Schulhaus ein großer Abwasserkanal vorhanden ist, der die Abwässer von drei Stadtkreisen dem Klärwerk Werdhölzli zuführt, war eine hervorragende Ausgangslage. Diese Punkte bewogen das Amt für Hochbauten der Stadt Zürich, zusammen mit der Entsorgung & Recycling der Stadt Zürich, das Objekt vertieft zu untersuchen. Die detaillierten Abklärungen ergaben, dass die Rohabwassermenge ganzjährig groß genug ist – auch in Trockenwetterperioden – und die in Auftrag gegebene Ökobilanz-Studie, die auch das Klärwerk Werdhölzli berücksichtigte, zeigte eine positive Umweltbilanz.

Die Einschränkung, dass die Wärmepumpe nicht die gesamte Wärmelast übernehmen kann, kann relativiert werden, als bei tiefen Rohabwassertemperaturen (unter 8 °C) die Wärmepumpe sowieso stillgelegt werden muss, damit die Biologie im Klärwerk nicht beeinträchtigt wird. Die Überprüfung der Wirtschaftlichkeit mit Stand Juli 2004 zeigte, dass sich die Investitionen über einen Zeitraum von 20 Jahren amortisieren. In der Zwischenzeit haben sich alle Energiepreise massiv verteuert und aufgrund der heutigen Energiezahlen dürfte die Amortisation deutlich kürzer sein.



Bild 2: Trocken gelegter Abwasserkanal, Schlussabnahme der Montage der Wärmepumpenelemente

## Die Wärmequelle Rohabwasser

Rohabwasser ist eine ideale Wärmequelle, in der eine enorme Wärmemenge steckt. Die jährliche Durchschnittstemperatur beträgt +14 °C. Damit ist die jährliche Durchschnittstemperatur im Rohabwasser 3 °C höher als in der Limmat als großem Fließgewässer. Entscheidender ist aber, dass in der Heizperiode diese Differenz zugunsten Rohabwasser als Wärmequelle noch größer wird und in den Wintermonaten gegen 10 °C betragen kann. Mit der Nutzung von Rohabwasser gelingt es, einen Teil der Wärmemenge aus unserem Brauchwasser oder anderen Prozessen zurückzugewinnen. Einen großen Abwasserkanal vor der Haustür zu haben war zwar ideal, die Schwierigkeiten bestanden dann aber im Bauablauf darin, diese Wassermengen in Provisorien zu bewältigen, damit die Wärmetauscher-elemente eingebracht werden konnten.

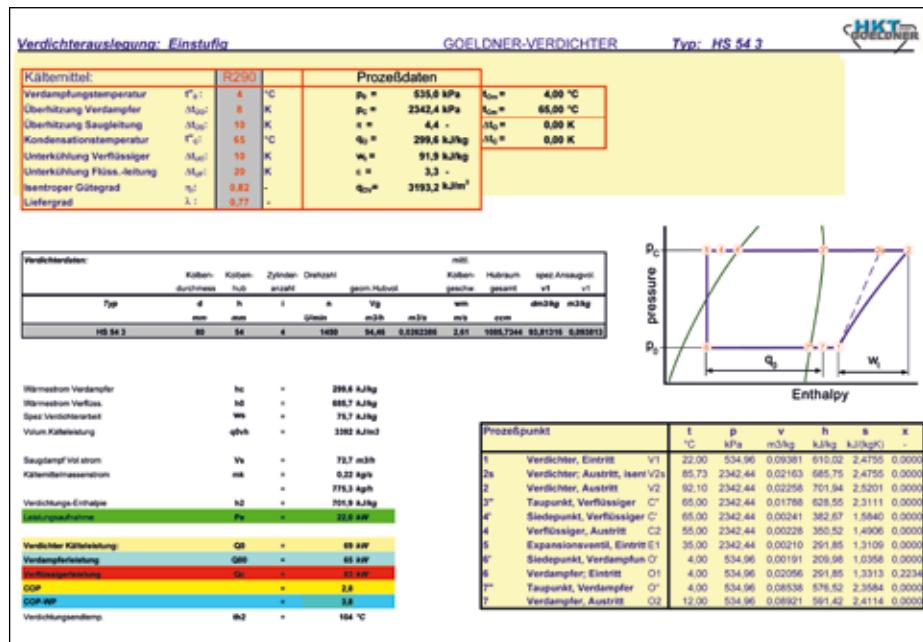


Bild 3: Goeldner-Verdichterauslegung für Wärmepumpe Limmat (HKT GmbH)

# TECHNIK / Wärmepumpe

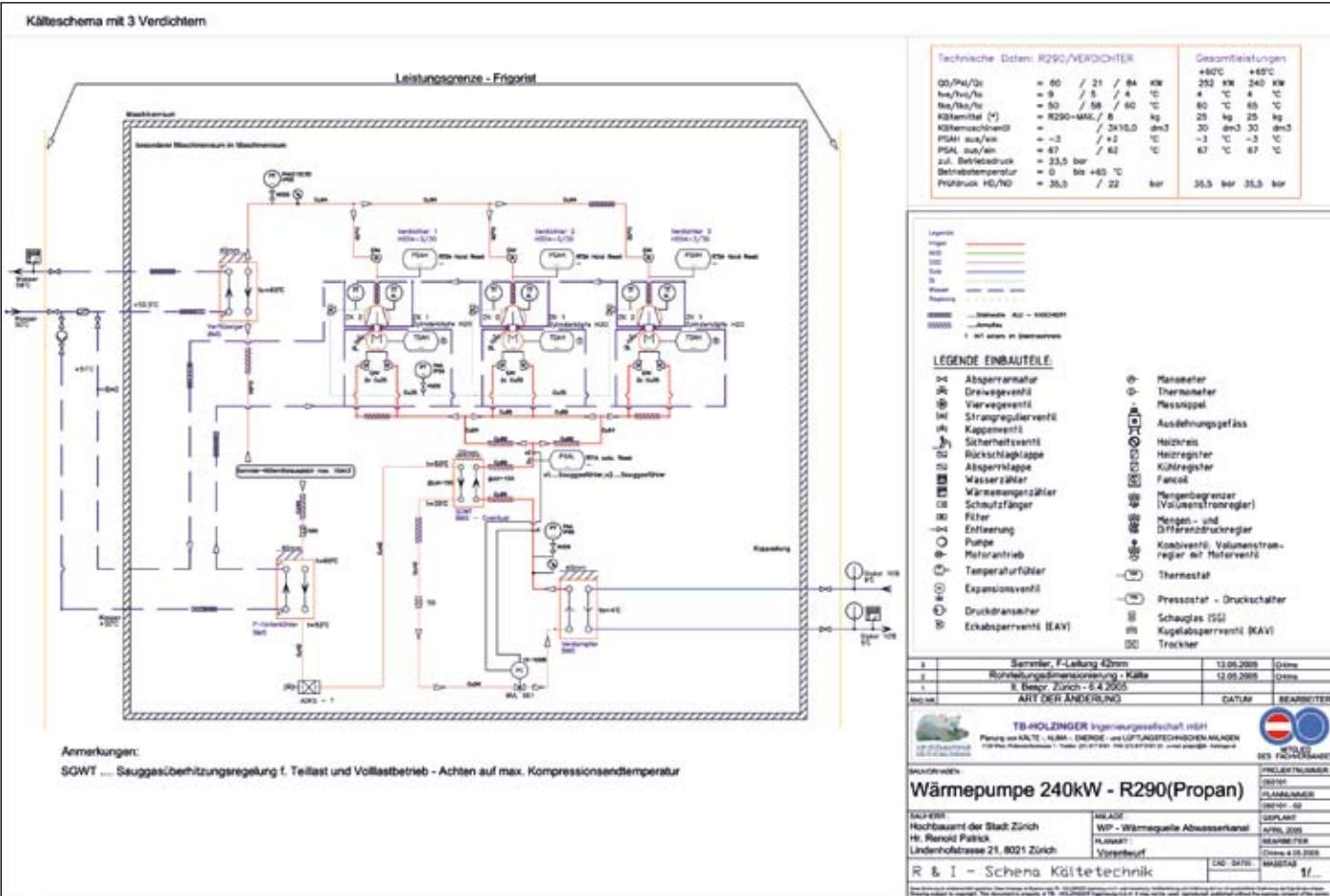


Bild 4: Kälteschema mit drei Verdichtern (TB-Holzinger Ingenieurgesellschaft mbH)

Die provisorischen Fäkalpumpen mussten 400 l/s oder 1440 m<sup>3</sup>/h Wasser bewältigen. Als Ausführungstermin kam nur die Zeit Mai bis Ende Juni in Frage. Im Juli muss bereits wieder mit Sommergewittern und damit noch höheren Wassermengen und im Winter mit Schmelzwasser gerechnet

werden, wenn bei etwas höheren Temperaturen Schnee liegt und Regen einsetzt. Mobile Fäkalpumpen in dieser Größe gibt es in der Schweiz nicht. Diese mussten in Holland für die Dauer der Arbeiten gemietet werden. Trotz dieser gewaltigen Wassermassen, auf die das Provisorium ausgelegt

worden war, wurde der Kanal dreimal komplett überschwemmt. Während dieser Zeit mussten die Arbeiten unterbrochen und der Kanal evakuiert werden. Gewarnt wurde die Montageequipe durch eine Wasserstandsmeßung 400 m weiter kanalaufwärts. Es verblieben der Mannschaft 15 Minuten,



Bild 5: Der Verdichterverbund zum Einbau in das Gehäuse



Bild 6: Die Wärmepumpe auf dem Podest zur erdgleichen Aufstellung im Untergeschoss, Gehäuse geöffnet

um den Kanal zu verlassen und alle nicht bereits fixierten Wärmetauscherelemente und das Montagematerial auszuräumen. Die Wärmetauscherelemente, welche die Nutzung von Rohabwasser als Wärmequelle für die Wärmepumpe ermöglichen, sind auf den Kanal angepasste „Flachschalen“ aus hochlegiertem Chromstrahl. Insgesamt wurden 30 Wärmetauscherelemente mit 72 m<sup>2</sup> Wärmetauscherfläche eingebracht. Die Einbringung in den begehbar Kanal war problemlos.

## Die Wärmepumpe als Pilotanlage

### Die Funktion einer Wärmepumpe

Wie eine Wärmepumpe arbeitet, wird als dem Leser bekannt vorausgesetzt und soll nur kurz erläutert werden. Eine Wärmepumpe entzieht der Umwelt (Wärmequelle genannt) Wärme auf einem tiefen Temperaturniveau. Mit Hilfe von elektrischer Energie für den Kompressor wird diese Wärmemenge auf höheres und somit nutzbares Temperaturniveau gebracht.

### Die Wärmepumpe für das Schulhaus Limmat

Weil es sich beim Schulhaus Limmat um ein denkmalgeschütztes Objekt handelt und Fenster sowie Fassade aus der Erstellungszeit sind, werden hohe Vorlauftemperaturen gefordert. Temperaturen von 65 °C sind für eine Wärmepumpe technisch eine Herausforderung (siehe Bild 3), vor allem aber sinkt der Wirkungsgrad der Wärmepumpe, weil die elektrische Stromaufnahme des Kompressors steigt und die Wärmeproduktion abnimmt. In unserem Fall konnten die hohen Vorlauftemperaturen wirtschaftlich realisiert werden, da mit Rohabwasser auch eine Wärmequelle zur Verfügung stand, die auf einem hohen Temperaturniveau ist. Entscheidend ist die Temperaturdifferenz, die die Wärmepumpe bewältigen muss (siehe auch Bild 4).

Zu Beginn stellte sich die Frage nach der Art der Wärmepumpe. Die Anlage sollte einen Vorbildcharakter haben, in diesem Sinn kam der Einsatz von einem halogenierten Kohlenwasserstoff oder herkömmlichen



Bild 7: Goeldner-Propan-Verdichter im eingebauten Zustand

Kältemitteln als Betriebsmittel mit einem großen Treibhauspotential nicht in Frage. Die Suche nach einem umweltverträglichen Kältemittel war nicht einfach. Technisch einfach zu handhaben und wirtschaftlich – für diese Anwendung – ist einzige Propan (R270). Für das Amt für Hochbauten stand der Gedanke im Hintergrund, den Beweis



Bild 8: Der Kanalverschluss mit den Saustutzen für den Bypass



Bild 9: Der Kanalbypass, 300er-Rohr, ca. 150m lang

zu erbringen, dass mit Propan auch Anlagen mit einer größeren Füllmenge der aktuellen Normensituation genügen können und dass solche Anlagen nicht teurer sein müssen. Das Spezielle an dieser Anlage ist die Größe der Anlage und der Anlageninhalt mit 21 kg Propan. Aufgrund der besseren Regelbarkeit entschied man sich für einen 3er-Verbund aus Goeldner-Verdichtern in spezieller Propanausführung in Ex II 3G EEx IIA TI vom Typ HS 54 3/30P (Bild 5).

#### Propan als Kältemittel

Der Vorteil von Propan ist, dass es ein umweltneutraler Stoff (ohne Treibhauseffekt) und ein hervorragendes Kältemittel ist. Weiter hat Propan chemische und physikalische Eigenschaften, die es erlauben, dass die heutige Wärmepumpentechnik verwendet werden kann. Auf diese Weise lassen sich technisch gute und kostengünstige Anlagen erstellen. Der Nachteil von Propan ist, dass Propan in einem Zündbereich vom 2,1 – 9,5 Vol.-% in Umgebungsluft explosiv ist. Da Propan schwerer ist als Luft, musste zudem die gesamte Maschine auf Erdgleiche gebracht werden. Dies bedeutete die Einbringung auf einem Podest im Untergeschoss (siehe Bild 6).

Die Machbarkeitsabklärung mit der kantonalen Gebäudeversicherung (GVZ), der kantonalen Feuerpolizei, zeigte aber, dass einer solchen Anlage – mit Auflagen – zugestimmt werden kann. Das Amt für Hochbauten hat sich aufgrund der Sachlage entschieden, die Wärmepumpe in der Schule Limmat mit Propan auszuführen.

#### Konformitätsprüfung der Propananlage auf den Explosionsschutz

Durch die Größe der Anlage und den Anlageninhalt ist die Anlage prüfpflichtig und muss speziellen Sicherheitsanforderungen entsprechen. So ist die Wärmepumpe in einem gelüfteten Gehäuse untergebracht und alle innerhalb dieses Gehäuses verbauten Komponenten erfüllen die Explosionsschutzvorschriften (Bild Nr.7). Die Wärmepumpe wurde nach der Erstellung und vor der Inbetriebnahme durch eine unabhängige Prüfstelle, Swiss Technical Services ([www.swissts.ch](http://www.swissts.ch), TÜV Süd), auf die Konformität bezüglich der Normen geprüft und erst anschließend für den Betrieb freigegeben.

#### Unterhalt und Wartung

Um die größtmögliche Sicherheit zu erhalten, wurde die Anlage so erstellt, dass die

se nicht mehr Unterhalt und Wartung als ein moderner Kühlenschrank verlangt. Dies wird unter anderem durch die präventive Überwachung der Verdichtungsendtemperatur eines jeden Zylinders ermöglicht. Die Notwendigkeit zu einem Eingriff in den Propan-Kältekreis ergibt sich damit nicht, da im Vorfeld schon Schäden erkannt bzw. vermieden werden können.

#### Kosten der Anlage

Die Wärmepumpe ist auf eine Wärmeproduktion von 250 kW ausgelegt und die Anlagekosten betragen CHF 840 000 (ca. 532 000 €) oder etwa 3360 CHF/kW (ca. 2130 €/kW). Diese Kosten beinhalten nur die Wärmeproduktion ohne Wärmeverteilung und den Gasbrennwertkessel und man muss wissen, dass die Hälfte dieser Kosten auf die Tiefbauarbeiten und die Wärmetauscherplatten entfällt. Sehr kostenintensiv hat sich dabei auch, wie schon oben erwähnt, die Erstellung des Bypasses mit den Spezialpumpen aus Holland gezeigt (siehe Bilder 8 und 9). Die Investitionskosten sind damit deutlich höher als bei einer Wärmepumpe mit den Wärmequellen Erdsonde oder Oberflächengewässer. Die höheren Investitionskosten werden kompensiert durch tiefere Betriebskosten, da die Wärmequelle auf einem höheren Temperaturniveau und die Leistungszahl der Wärmepumpe höher ist.

#### Wirtschaftlichkeit der Anlage

Gegenüber einer herkömmlichen Wärmepumpe gehen die theoretischen Betrachtungen bei dieser Propan-Wärmepumpe von einer 20 % höheren Leistungszahl aus. Dass eine solche Leistungssteigerung

Tabelle I: Auslegung Wärmepumpe

Auslegung Wärmepumpe		Heizung	Brauchwarmwasser
Verdampfungstemperatur	[°C]	4	4
Kondensationstemperatur	[°C]	60	65
Basis Wärmequellenseite (Abwasserkanal)		Rohabwasser mit +14 °C	
Temperatur/ein (Verdampfer)	[°C]	9	9
Temperatur/aus (Verdampfer)	[°C]	5	5
Differenz [K]		4	4
Leistungszahl COP	[ - ]	4,1	3,7

möglich ist, kann eingesehen werden unter [www.schulhauslimmat.ch](http://www.schulhauslimmat.ch). Bei der Betrachtung der Leistungszahl müssen die relativ hohen Vorlauftemperaturen berücksichtigt werden. Der Gütegrad der Wärmepumpe beträgt 0,55-0,60 und ist damit deutlich höher als der Gütegrad einer herkömmlichen Wärmepumpe (Der Gütegrad beschreibt das Verhältnis zwischen der rein theoretischen Betrachtung – der Carnot-Zahl – und der im effektiven Betrieb realisierbaren Leistungszahl). Dabei wird der Leistungsgewinn durch die Kältemittelunterkühlung über einen separaten Plattenwärmetauscher konsequent ausgenutzt (siehe hierzu auch das Kälteschema in Bild 4). Die Wärmepumpe erbringt gemäß den ersten Abschätzungen 85 % der gesamten Wärmeproduktion, die das Schulhaus benötigt inklusive Brauchwasser. Wenn die Wärmepumpe von der Leistung her nicht mehr genügt, schaltet sich der seriell eingebundene, modulierende Gaskessel automatisch dazu.

Für die Wärmepumpe wurden im Pflichtenheft mit der ausführenden Fachfirma die nebenstehenden Leistungszahlen (COP) vereinbart (s.Tabelle I).

Die Auslegung der Komponenten erfolgt auf den Betriebspunkt I mit der Kondensationstemperatur 60 °C (Grafik Nr.I).

### Umweltnutzen

Durch die Wärmepumpe ergibt sich mit dem Schweizer Strommix eine CO<sub>2</sub>-Reduktion von 230 000 kg/a infolge eines Minderverbrauches an fossiler Energie.

- Einsparung thermische Energie 800 MWh/a
- Reduktion CO<sub>2</sub>-Ausstoss 230 000 kg/a
- Umrechnung auf Heizöl als Wärmeträger 80 000 kg
- Umrechnung auf Gas in m<sup>3</sup>/h 71 200 m<sup>3</sup>

### Erste Messungen

Im Moment laufen die Messungen (siehe Diagramme I bis 3). Die Resultate sind besser als unsere Annahmen, vor allem weil die Rohabwassertemperatur auch in den kalten Wochen im März 2006 nicht unter +13 °C gefallen ist. Messungen haben gezeigt, dass bei der vollen Leistungsentnahme das Rohwasser durch den Wärmetauscher lediglich um 0,2 K, also kaum messbar, abgekühlt wird und bei einem Wasserfluss in der Trockenperiode von nur 400 l/s.

Die Außentemperatur betrug am 1.02.2006 (Messdaten-Diagramm 2-3) im Tagesmittel

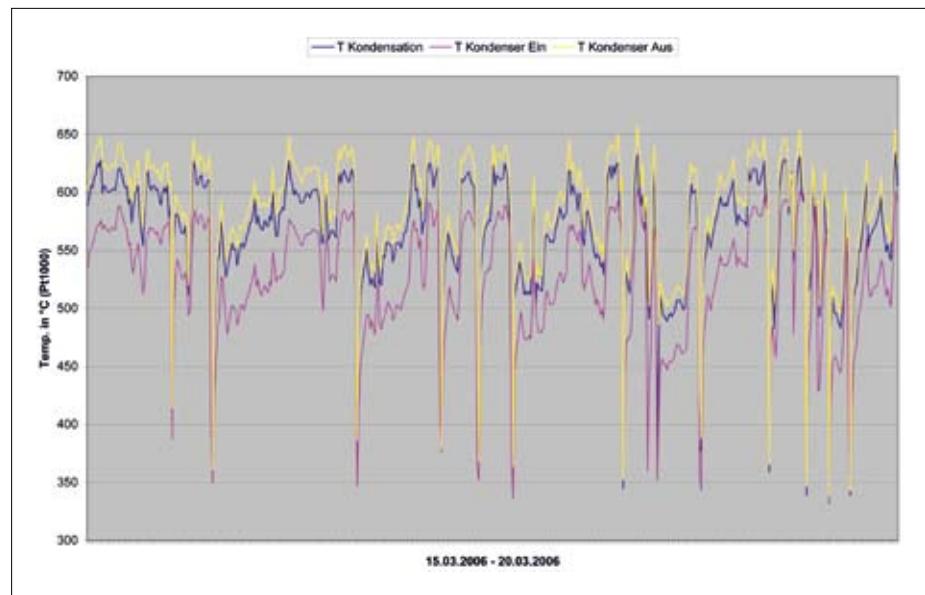


Diagramm 1: Verflüssigungstemperatur

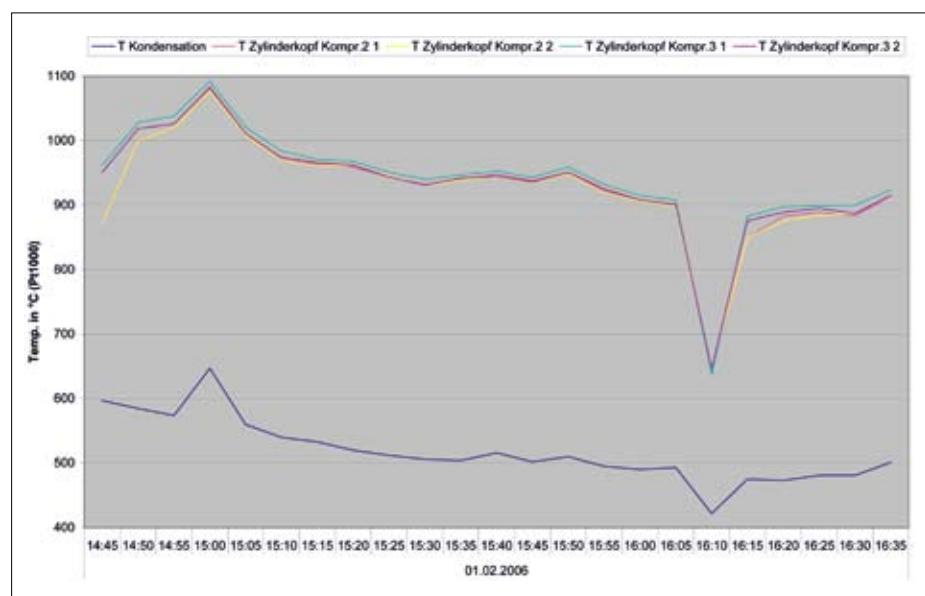


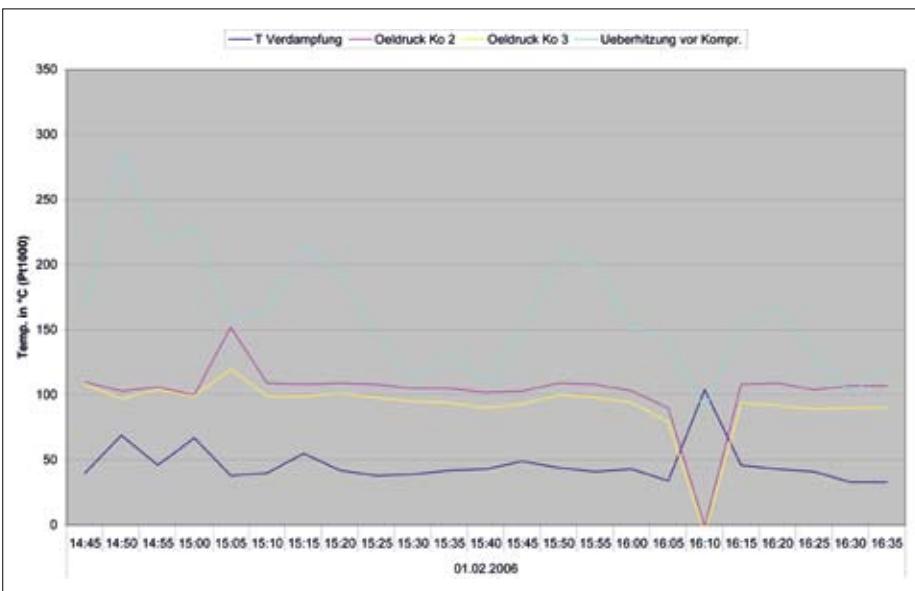
Diagramm 2: Verdichtungsendtemperatur

-3 °C, laut Messung Zürich-MeteoSchweiz, Stationshöhe: 556 m ü.NN, 2 m über dem Boden und [www.wetter.com](http://www.wetter.com).

Aufgrund der Messresultate, die zeigen, dass die Anlage sehr zuverlässig und stabil läuft, wurde die maximal zulässige Kondensationstemperatur seitens des Verdichterherstellers auf +68 °C angehoben. Mit diesen Temperaturen kann ein Altbau, ohne auf Komfort verzichten zu müssen, mit einer Wärmepumpe saniert bzw. modernisiert werden.

### Schlussbemerkung

Die Bemühungen, eine Anlage mit dem umweltneutralen Kältemittel Propan zu realisieren, haben sich gelohnt, denn mit Propan realisierte Anlagen müssen nicht teurer sein als herkömmliche Anlagen. Alle halogenierten Kältemittel sind in ihrem Einsatz durch das Treibhauspotential vom Gesetzgeber begrenzt. Der Ausstiegsfahrplan der Europäischen Union sieht ein Verbot und ein Ende der Produktion von halogenierten Kältemitteln ab 2010 vor. Die Wartung



**Diagramm 3: Verdampfungstemperatur**

bestehender Anlagen ist bis ins Jahr 2015 mit Recycling-Kältemittel möglich. Damit ist absehbar, dass diese Stoffe ab 2010 preislich stark steigen werden. Diese Entwicklung ist voraussehbar anhand der Erfahrungen aus dem Ausstieg mit den chlorierten Kältemitteln vor zehn Jahren.

Für den Anlagenbetreiber und Bauherren, die Stadt Zürich, hat eine Lösung mit einem umweltneutralen Kältemittel den Vorteil einer Investitionsgarantie. Bereits heute dürfen halogenierte Kältemittel in Ländern wie Holland und Dänemark für Neuanlagen nicht mehr eingesetzt werden. Damit ist jede Bauherrschaft gut beraten, heute die Weichen zugunsten einer langfristigen Alternative zu stellen.

Die Wärmequelle Rohwasser ist zwar selten in der Konstellation wie im vorliegenden Fall vorhanden. Sie wäre aber nicht

nur energetisch, sondern auch kostenmäßig absolut im Vorteil verglichen mit Tiefenbohrungen oder sogar Erdkollektoren, würden die dazu geeigneten Kanäle schon bei der Erstellung oder Erneuerung mit einem Wärmetauscher bestückt werden. In der

Praxis liegt in der Vernetzung der einzelnen Ressorts zwar einerseits sicherlich ein Problem, aber es birgt natürlich andererseits auch eine große Chance für Einsparpotentiale in monetärer Hinsicht genauso wie in ökologischer Hinsicht.

An dieser Stelle sei aber auch zwingend darauf hingewiesen, dass von der Ausführung einer Propananlage ohne Vorabklärungen mit der Bewilligungsbehörde, kantonale Feuerpolizei, und ohne Kenntnisse der EN 378 und der anderen einschlägigen Vorschriften abzuraten ist. Das Amt für Hochbauten der Stadt Zürich will in Zukunft vermehrt natürliche Kältemittel einsetzen. Abhängig von der Anwendung können das auch andere Stoffe als Propan, wie Ammoniak, Ammoniak-Dimethylether oder Kohlendioxid sein.

**Patrick Renold,**  
Amt für Hochbauten,  
Zürich

#### Ausführung und Unterstützung:

Die Ausführung erfolgte im Amt für Hochbauten der Stadt Zürich durch folgende Personen:  
 Dr. Heinrich Gugerli, Leiter Fachstelle nachhaltiges Bauen,  
 Werner Kälin, Ing. FH, Leiter Fachstelle Energie + Gebäudetechnik,  
 Patrick Renold, Ing. FH, Projektleiter Fachstelle Energie + Gebäudetechnik  
 Ansprechpartner für Auskünfte und Fragen: patrick.renold@zuerich.ch,  
 Tel.: 00 41/44/4 12 43 26

#### Projektbeteiligte Institutionen und Unternehmen:

- Elektrizitätswerke der Stadt Zürich EWZ
- Amt für Abfall, Wasser, Energie und Luft, AWEL
- Immobilien-Bewirtschaftung der Stadt Zürich als Gebäudeeigentümerin
- Entsorgung & Recycling, Tiefbauamt
- Immobilien-Bewirtschaftung der Stadt Zürich, Hochbaudepartement
- Amt für Hochbauten, Hochbaudepartement

#### Beteiligte Ingenieurunternehmungen:

- Technisches Büro Holzinger, Pottendorferstraße 1, A-1120 Wien
- Swiss Technical Services AG, Richtistr. 145, CH-8304 Wallisellen
- Gruneko AG, Güterstrasse 137, CH-4053 Basel

#### Erstellung Wärmepumpe und Regelungstechnik:

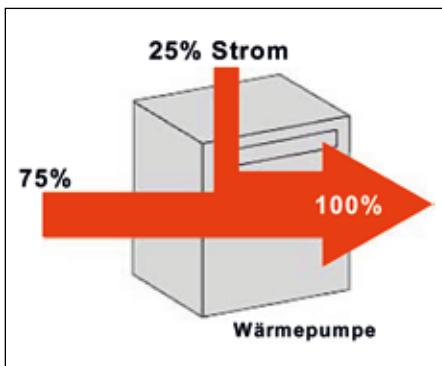
- KAPAG, Kälte-Wärme AG, CH-8126 Zumikon

#### Herstellung und Montage Kanalwärmetauscher:

- KASAG, Langnau Apparate & Behälterbau, CH-3550 Langnau

#### Kompressoren und technische Unterstützung:

- HKT Huber-Kälte-Technik GmbH, Goeldner-Verdichter, D-83128 Halfing



**Grafik 1:** Eine Leistungszahl von 4,1 bedeutet, dass für 100 % Wärmemenge 75 % Umweltwärme und nur 25 % Strom benötigt werden