

**Schlussbericht November 2006**

# **Sanierung und Optimierung der Wärmepumpenanlage mit Gebirgswasser im Haus Kristall in Oberwald**

**ausgearbeitet durch**  
**Dr. Heinz Kronig**  
**Hochschule Westschweiz, Standort Wallis**  
**Rte de Rawyl 47, 1950, Sitten**

**Diese Arbeit ist im Auftrag des Bundesamtes für Energie entstanden. Für den Inhalt und die Schlussfolgerungen ist ausschliesslich der Autor dieses Berichts verantwortlich.**

## **Zusammenfassung**

Nach Inbetriebnahme des Furkatunnels stellten die Einheimischen fest, dass das auslaufende Tunnelwasser nie zufror. Also beschlossen sie mit kräftiger Unterstützung durch das Bundesamt für Energie in Zusammenhang mit der Sanierung der Infrastruktur (Wasser-, Kanalisations-, Telephonnetz) im Dorf die Installation eines Verteilnetzes dieses Tunnelwassers, damit dieses von den Interessenten mittels Wärmepumpen für die Heizung und die Warmwasserzubereitung genutzt werden konnte.

Dabei wurden insgesamt 1645 m Heizungsrohre, umgeben von einer 50 mm dicken Isolierung, in einer Tiefe von 2.5 m verlegt. Dank dieser Massnahmen stellt das Infiltrationswasser des Furkatunnels eine sehr interessante Wärmequelle dar, da die Temperatur dieses Tunnelwassers, verglichen mit dem Tunnelportal nur etwa 1 Grad Celsius verliert, und so auch beim entferntesten Nutzer über das Jahr sehr konstant um 15 Grad Celsius liegt.

Um eine möglichst breite Nutzung dieses Tunnelwassers zu ermöglichen, muss dieses auf mindestens 4 Grad Celsius abgekühlt werden; aus diesem Grund ist es dringend empfohlen die Wärmepumpen mittels eines Durchflusswächters vor dem Einfrieren zu schützen.

Aus den insgesamt zur Zeit 16 angeschlossenen Liegenschaften wurde schon 1995 für eine Untersuchung über die Wirksamkeit der Tunnelwassernutzung das Haus Kristall ausgewählt; wegen verschiedener Probleme mit der 1. Wärmepumpe und kurz nach Inbetriebsetzung der 2. Wärmepumpe, zog sich das Messverfahren leider in die Länge; so dass erst in diesem Herbst ein optimales Betriebsjahr abgerechnet werden konnte.

Die Auswertung der Messungen ergab eine Jahresarbeitszahl von 4.02. Diese Zahl liegt deutlich über dem Durchschnitt der im Projekt „FAWA“ ermittelten Arbeitszahlen für Sole-Wasser- und Wasser-Wasser-Wärmepumpen, vor allem wenn man berücksichtigt, dass auf eine konstante Speichertemperatur von 54 °C gearbeitet werden musste. Würde man die Speichertemperatur gleitend fahren, erhielte man eine noch höhere Jahresarbeitszahl.

Bei dieser Anwendung und unter Berücksichtigung der geltenden Stromtarife (zur Zeit 13.5 Rp./kWh) und des Tarifs für die Wassernutzung des Tunnelwassers (0.15 Fr./m<sup>3</sup>) erreicht man somit (ohne Einbezug eines Servicevertrags für die Wärmepumpe) einen Wärmegestehungspreis von unter 5 Rp./kWh.

Die Sanierung hat sich betrieblich und energetisch als voller Erfolg erwiesen. Auch der Wärmepreis ist liegt in einem sehr wirtschaftlichen Bereich.

## **Resumé**

Après la mise en service du tunnel ferroviaire de la Furka, les indigènes d'Oberwald se sont aperçus, que l'eau des infiltrations ne gelait jamais. Dans le contexte d'une modernisation de l'infrastructure (eau sanitaire, égouts, téléphone) du village, ils ont décidé avec l'aide financière de l'office fédérale de l'énergie d'installer un réseau de distribution basse température de ces eaux d'infiltrations du tunnel, pour qu'ils puissent être utilisés par une pompe à chaleur pour le chauffage et la préparation d'eau chaude sanitaire.

On a alors posé 1645 m de tuyau de chauffage, préfabriqué avec une isolation de 50 mm d'épaisseur. Grâce à cette démarche, les eaux d'infiltrations du tunnel de la Furka représentent une source de chaleur très intéressante, car les pertes en température depuis le tunnel jusqu'à l'utilisateur, le plus éloigné du réseau est que de 1 degré Celsius et représente avec ces 15 degrés Celsius pratiquement constantes une source de chaleur intéressante.

Pour donner la possibilité d'utilisation de ces eaux d'infiltrations à un nombre important d'utilisateurs, on a fixé dans le règlement d'exploitation de la commune une limite de supérieure pour la température de l'eau après l'utilisation avec la PAC à 4 degrés. Pour éviter le gel dans l'évaporateur de la PAC il est fortement recommandé d'équiper la PAC avec un détecteur de débit minimal.

En tout il y a actuellement 16 maisons qui sont reliées à ce réseau de distribution et déjà en 1995 on a choisi la maison Kristall pour faire des mesures d'efficacité. Dûs à différents problèmes avec une première PAC et juste après la mise en service de la deuxième PAC, la campagne de mesure, c'est prolongé et uniquement cet automne on a pu terminer une année d'exploitation optimale.

L'analyse des mesures a donné un coefficient de performance annuel de 4.02. Ce chiffre est bien en dessus de la valeur moyenne des PAC's sole-eau et eau-eau, analysée dans le programme „ANIS“, surtout, si on prend en compte, qu'on travaille sur une température d'accumulateur constante de 54 °C. En travaillant avec une température d'accumulateur selon la demande, on obtiendrait un coefficient de performance encore plus élevé.

Pour cette application et en tenant compte du tarif d'électricité (actuellement 0.135 Frs./kWh) et du tarif pour l'utilisation de l'eau du tunnel (0.15 Frs./m<sup>3</sup>) on obtient un prix de revient pour le chauffage (sans tenant compte de contrat de maintenance de la PAC) d'en dessous de 0.05 Frs./kWh.

On peut dire, que l'assainissement de l'installation est économiquement et énergétiquement un succès. Le prix pour la chaleur est très intéressant.

## **Summary**

During the winters that followed the putting into operation of the Furka-railway-tunnel, the people from Oberwald realised, that the water coming out off the tunnel never freezes. So they decided with the financial help of the federal office of Energy to install a system of low temperature distribution of this infiltration water in the village of Oberwald, that it can be used with heat-pumps for heating and hot water supply; it helped, that they had to remake the infrastructure of the village (water-distribution, waste-water-, telephone).

Totally 1645 m of heating tubes were posed in 2.5 m depth; the tubes were surrounded with 50 mm isolation. Thanks to that measures the infiltration water of the Furka-Tunnel represents a very interesting heat-source for heat-pump-applications, as the temperature drops only 1 degree Celsius even for the most distant consumer and it remains almost constant at 15 degrees Celsius.

In order to give a very large exploitation of the infiltration water, it was fixed, that the maximum temperature at the outlet of the heat pump has to be at 4 degrees Celsius; that's why it is highly recommended equipping the vaporisation circuit of the heat pump with a minimum flow detector.

Already in 1995 one installation out of the 16 houses was chosen to make efficiency measurements; due to different problems with the first heat-pump and after the putting into operation of the second one, only this autumn a year of optimal exploitation could be finished.

The analyse of the measurements gave a coefficient of annual performance of 4.02, which is not an extraordinary high value for a floor heating system; by considering that the system works with a fixed temperature on a accumulator, it is an interesting value anyway.

With the application and with the price of electricity (actually 0.135 Fr./kWh) and the price for the use of tunnel-water (0.15 Fr./m<sup>3</sup>) the price for heating (without considering the maintenance of the heat-pump) is below 0.05 Fr./kWh.

<b>Schlussbericht November 2006 .....</b>	1
Zusammenfassung .....	3
Resumé .....	4
Summary .....	5
Übersicht Nutzung Tunnelwasser auf dem Gebiet der Gemeinde Oberwald .....	7
Anlage Haus Kristall.....	11
Betriebskonzept der Wärmepumpe .....	15
Auswertung der Messungen über das letzte Jahr .....	17
Literaturverzeichnis : .....	20
Anhang : .....	21

## **Übersicht Nutzung Tunnelwasser auf dem Gebiet der Gemeinde Oberwald**

Oberwald ist die erste Gemeinde der Region Goms, wenn man vom Gotthard her durch den Furkatunnel fährt und liegt auf ca. 1'300 m üM. Es hat ca. 300 Einwohner und etwa 2500 Fremdenbetten. Einen wesentlichen Faktor für die Entwicklung des Goms spielt dabei der Bau des Furkatunnels in den Jahren 1972 - 1982. Mit dem Bau dieses Tunnels wurde das Goms näher zu den Zentren im Mittelland der Schweiz gerückt. Durch den Furkatunnel fährt auch der weltberühmte Glacier Express.

Nach Inbetriebnahme des Furkatunnels fiel einigen Leuten auf, dass beim Einmünden des Wassers aus dem Furkatunnel in die Rhone im Winter nie Schnee lag; so hat sich der Gemeinderat von Oberwald 1986 entschlossen, dieses Wasser näher zu untersuchen [1]. Während des Jahres 1987 wurden Messungen durchgeführt, welche zeigten, dass die mittlere Wassertemperatur 16 Grad Celsius beträgt und mit einer mittleren Wasserführung von 97 l/sec gerechnet werden kann. Diese Daten sind auch heute noch gültig.

Um die Nutzung zu prüfen, wurde eine chemische Analyse des Wassers durchgeführt. Diese ursprüngliche Analyse war leider nicht mehr verfügbar, weshalb auf vor kurzem durchgeführte Analyse dieses Tunnelwassers eingegangen wird; man kann jedoch davon ausgehen, dass diese Werte sich nicht geändert haben [2]. Die Details finden sich im Anhang zu diesem Bericht.

Darin wird ausgeführt : „Es handelt sich gemäss Härteskala um „sehr weiches Wasser“. Der Calciumcarbonat-Sättigungsindex liegt mit -0.7 im negativen Bereich. Es besteht somit eine Tendenz zu kalkaggressiver Kohlensäure. Die Voraussetzungen zur Ausbildung einer Kalk-Rost-Schutzschicht in wasserführenden Installationen sind wegen der zu tiefen Gesamthärte und des tiefen m-Wertes nicht erfüllt. Die Wahrscheinlichkeit für örtliche Korrosion ist wegen des eher ungünstigen berechneten Korrosions-Index erhöht. Der hohe Silikatgehalt von 10.8 mg/l ist korrosionstechnisch günstig.“ Die Interpretation dieser Analyse führt dazu, dass am Anfang in vielen Anlagen Zwischenkreise für die Nutzung des Tunnelwassers eingebaut wurden, während neuere Anlagen mit rost-freien Wärmetauschern ausgestattet ohne Zwischenkreis realisiert werden.

Zusammen mit dem Heizungsingenieur Anton Imhof aus Lax wurde die Nutzung dieser Wärmequelle erarbeitet und es zeigte sich, dass eine Verteilung der Wärme auf der kalten Seite, das heißt ein Verteilen des Tunnelwassers direkt im Dorf die beste Variante ist. Dadurch dass das Tunnelportal ca. 10 m über dem übrigen Dorf liegt, sind für die Verteilung des Tunnelwassers keine Pumpen notwendig.

Es wurde ein Reglement zwischen der Gemeinde Oberwald und den möglichen Nutzern dieser Abwärme ausgearbeitet, in welchem das Bewilligungsverfahren, die technischen Vorschriften, die Eigentumsgrenzen der Anlagen und die Kosten für den Anschluss festgelegt sind. Dieses Reglement wurde 1989 von der Urversammlung der Gemeinde Oberwald angenommen, so dass 1990 mit dem Bau begonnen werden konnte.

Die Arbeit wurde in mehrere Lose aufgeteilt, welche von 1990 bis 1992 realisiert wurden [3]. Die Erstellung dieser Infrastruktur wurde im Rahmen eines P+D Projektes des Bundesamtes für Energie mit einem namhaften Beitrag unterstützt [4]. Bei der Realisierung der Anlage kam der Gemeinde zum Vorteil, dass gleichzeitig auch die Wasserversorgung, die

Kanalisationsleitungen, die Meteowasserableitung und die Infrastruktur der PTT auf dem Gemeindegebiet erneuert werden konnten.

Direkt am Portal des Furkatunnels wurde ein Entsander erstellt, der schwimmende oder schwelende Partikel sowie Feinsand aus dem Tunnelwasser mittels Überlauf, bezw. Absetzung entfernt.



Abbildung 1 : Verteilung des Tunnelwassers ab Ostportal Furkatunnel (rechter Bildrand)

Von dort aus führt das Hauptnetz mit einem DN 250 mm Rohr, welches 50 mm dick isoliert wurde und einen Außen-DN 355 mm aufweist, in 2.5 m Tiefe verlegt bis ins Dorf. Dank dieser Isolation und der gewählten Verlegetiefe verliert das Tunnelwasser maximal 1 Grad an Temperatur, so dass immer noch 15 Grad warmes Wasser für die Nutzung mit einer Wärmepumpe zur Verfügung steht. Ein Querschnitt durch dieses Hauptnetz ist in Abbildung 2 auf der folgenden Seite dargestellt.

Mit dieser gewählten Ausrüstung der Zuleitung des Tunnelwassers erreicht man, wie erwähnt, einen sehr geringen Temperaturverlust. Für das Haus Kristall, welches am Ende der Stichleitung oben links der Abbildung 1 liegt, schwankt die Temperatur zwischen 14.4 Grad im März und 15.1. Grad im Oktober, so dass man von einer recht konstanten Wärmequelle reden kann.

Insgesamt wurden 1645 m Rohre für die Tunnelwasserverteilung verlegt. Die Querung des Flusses „Goneri“ auf der rechten Seite von Abbildung 1 erfolgt in einem Dücker von 25 m Länge, während für die Querung der Rhone auf der linken Bildseite die Leitung, zusätzlich isoliert, an der Straßenbrücke angehängt wurde.

Im erwähnten Reglement wurden auch die Anschlussbedingungen festgelegt; diese umfassen einen festen einmaligen Beitrag für den Anschluss an das Verteilnetz von Fr. 1'200.00 je kW elektrischer Kompressorleistung, sowie einen Beitrag von Fr. 0.15 je m<sup>3</sup> genutztes Tunnelwasser; die Ablesung der verbrauchten Tunnelwassermenge erfolgt durch die Gemeinde Oberwald und die Rechungen werden jährlich, jeweils per Ende Juni zugestellt.

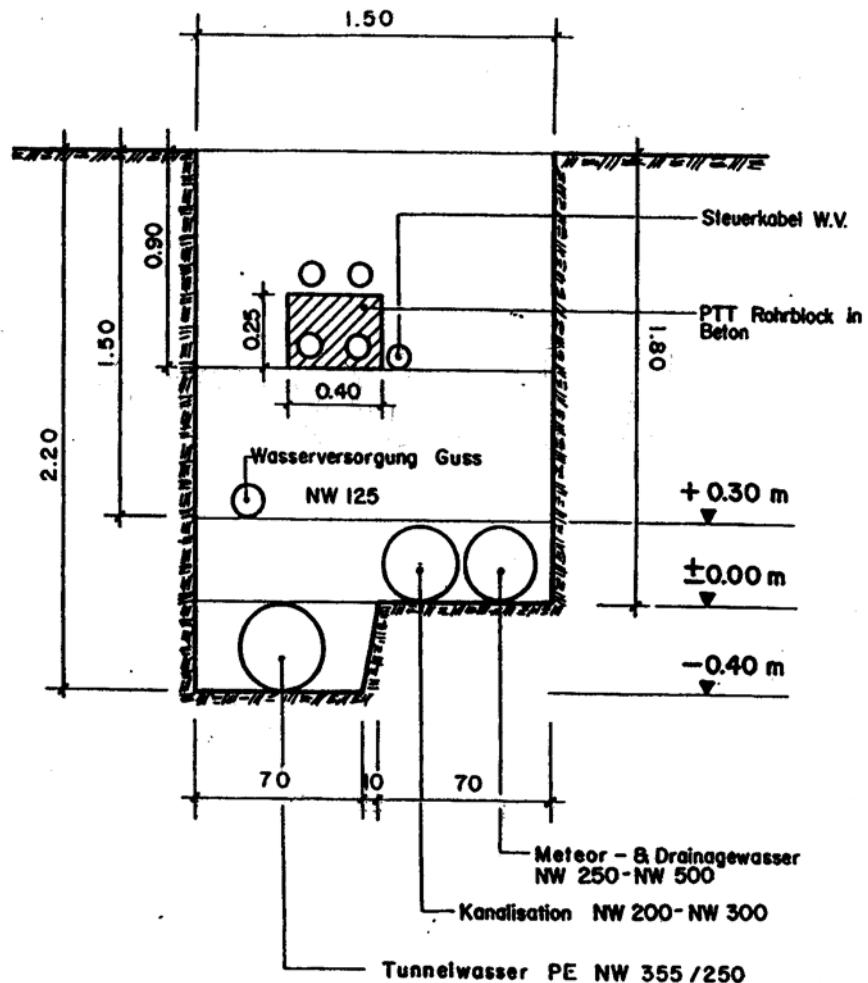


Abbildung 2 : Schnitt durch den Versorgungsgraben

Um die Nutzung des Tunnelwassers möglichst vielen zur Verfügung stellen zu können, wurde in dem erwähnten Nutzungsreglement festgelegt, dass die Rückgabetemperatur des Tunnelwassers höchstens 4 Grad Celsius betragen darf.

Mit den zur Verfügung stehenden 90 l/sec Tunnelwasser ergibt dies jedoch eine Wärmeleistung von ca. 3'600 kW; in der jetzigen Ausbaustufe werden jedoch nur 45 l/sec ins Dorf geleitet.

Die folgende Tabelle zeigt die seit Beginn der Nutzung angeschlossenen Gebäude (Stand Okt. 2006):

(Quelle Gemeinde Oberwald, Sept. 2006)

### ANLAGENÜBERSICHT OBERWALD

Jahr	Bezeichnung	Haustyp	Anzahl Whg	Baujahr Haus	Heiz Leistung [kW]
1992	Pfarrhaus (Gemeinde)	EFH	1	1965	10.50
1992	Kristall (Nanzer)	MFH	14	1992	42.00
1992	Patrizia 1+2 (Suter)	MFH	12	1992	32.00
1993	Oberwalderhof A+B (Kenzelmann)	MFH	32	1993	155.00
1993	Saashorn (Hischier)	MFH	8	1993	32.20
1994	Bella Vista (Jossen)	MFH	20	1994	108.00
1994	Achat / Rubin (Hutter)	MFH/G	12	1994	43.00
1995	Sporthalle (Gemeinde)	Sport	0	1995	200.00
1995	Rhone A+B (Kenzelmann)	MFH	19	1995	108.00
1995	Lengis (Hischier)	MFH/G	11	1995	51.00
1995	Nanzer Werner	MFH/G	2	1969	33.00
1996	Antica (Walter)	MFH	4	1996	22.50
1997	Wohnhaus (Kreuzer Lukas, Josef)	MFH	2	1996	13.20
1999	Arnica A+B (Kenzelmann)	MFH	22	1999	76.00
2000	Arniaka C (Kenzelmann)	MFH	11	2000	50.00
2000	Wohnhaus (Wagner Christine)	EFH	1	2000	8.80

<b>TOTAL</b>	<b>171</b>	<b>985.20</b>
--------------	------------	---------------

Die insgesamt jährlich genutzten Wassermengen sind aus der folgenden Graphik ersichtlich:

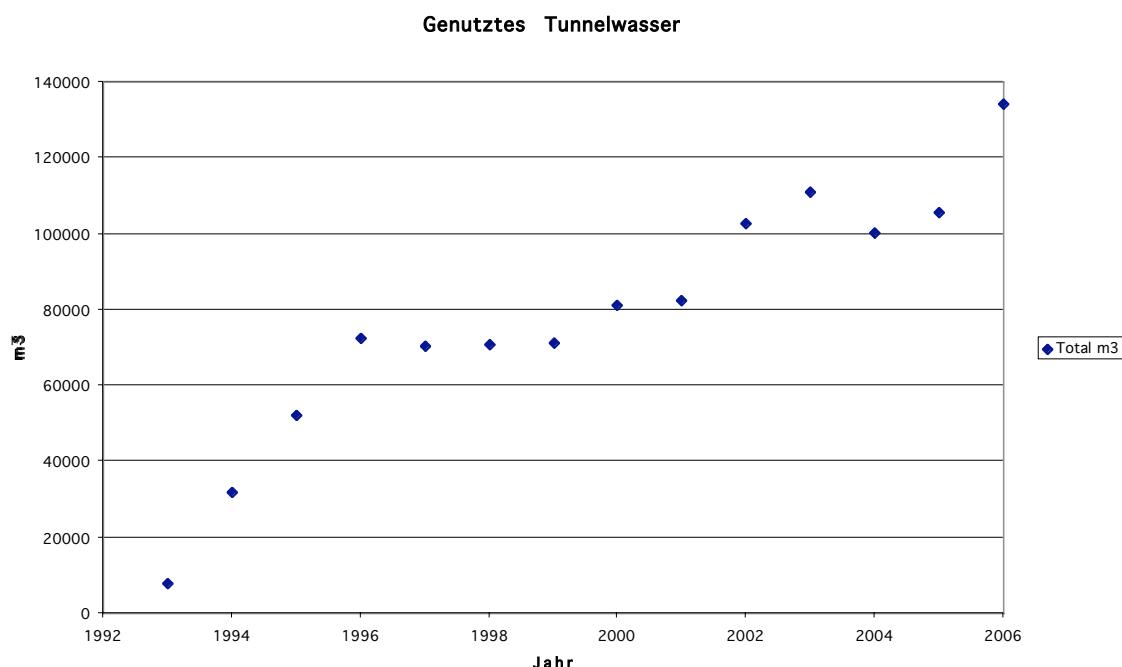


Abbildung 3: Jährlich genutzte Tunnelwassermenge Gemeinde Oberwald  
Quelle Gemeinde Oberwald, Sept. 2006)

Man kann annehmen, dass zurzeit die zur Verfügung stehende Wassermenge nur zu ca. 45 % genutzt wird.

## Anlage Haus Kristall

Auf Grund eines im Jahre 1995 erteilten Mandates des Bundesamtes für Energie und der Gemeinde Oberwald wurde eine Anlage zur « Messung der Wirksamkeit einer Wärmepumpe zur Nutzung der thermischen Energie des Infiltrationswassers des Furkatunnels » ausgewählt und ausgemessen ; es handelt sich dabei um das Haus Kristall, mit einer Heizleistung von 42 kW. Dieses Haus liegt auf der rechten Flussseite der Rhone, an der Passstrasse Richtung Furka / Grimsel, vis-à-vis des Hotels Furka; es liegt, wie erwähnt, am Ende der Stichleitung oben links der Abbildung 1 dieses Berichtes.

Das Haus Kristall hat insgesamt 14 Wohn-Einheiten und wird zum Teil von Ortsansässigen bewohnt, zum grossen Teil aber als Zweitwohnsitz genutzt. Die Wärmepumpeninstallation wird nur für die Heizung eingesetzt; Brauchwarmwasser wird individuell in jeder Einheit mittels eines abgesetzten Elektroboilers erzeugt.



Abbildung 4 : Aufnahme Haus Kristall, Oberwald

Das folgende Schema zeigt das Prinzipschema dieser ersten Anlage mit Zwischenkreis:

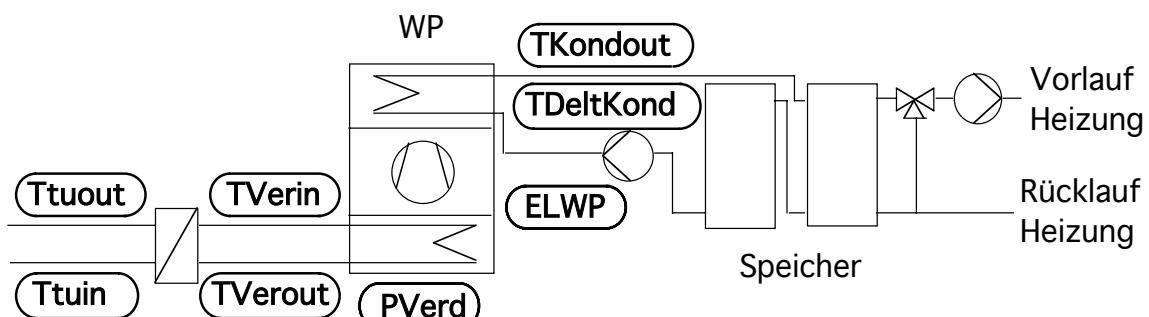


Abbildung 5 : Vereinfachtes Heizschema des Gebäudes « Haus Kristall » (Ursprüngliche Hydraulik mit Zwischenkreis auf der Wärmequellenseite)

Diese erste Anlage wurde mit einem Zwischenkreis betrieben, das heisst, dass zwischen dem Anschluss des Tunnelwassers und dem Verdampfer der Wärmepumpe noch ein Wärmetauscher eingebaut war, da die chemische Zusammensetzung des Wassers unsicher war, und man keine Risiken eingehen wollte.

Die Messungen an dieser ersten Anlage waren zwar recht Erfolg versprechend, so wurde eine Jahresarbeitszahl (JAZ) von 3.8 bestimmt, es zeigte sich jedoch, dass punkto Steuerung der Anlage ein Problem vorhanden war, da die Anlage bis zu 70 mal pro Tag ein- und ausschaltete.[5]

Vermutlich wegen dieser häufigen Schaltungen wurde die JAZ der Wärmepumpe immer schlechter und damit stieg auch der Verbrauch an Tunnelwasser, so dass im Rahmen dieses Mandates ein Ersatz dieser Wärmepumpe bewerkstelligt werden konnte.

Da die meisten der Eingangs erwähnten Anlagen ohne Zwischenkreis funktionieren und die Wasserqualität nie Anlass zu Störungen gab, wurde für die neue Wärmepumpe der Verdampfer direkt an das Tunnelwassernetz angeschlossen. Diese neue Wärmepumpe wurde dann im Herbst 2002 in Betrieb genommen; bei diesem Modell wurde die geforderte Rückgabedtemperatur von 4 °C mittels eines Durchfluss-Begrenzungsventils sichergestellt.

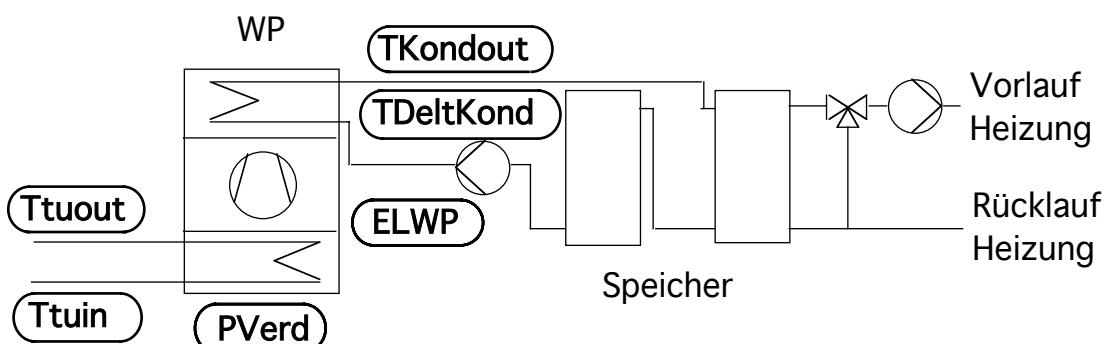


Abbildung 6 : Hydraulisches Schema nachdem Umbau (ohne Zwischenkreis)

Schon nach einigen Monaten traten bei der Wärmepumpe Störungen auf, die auf Probleme im Verdampferkreis zurückzuführen waren; daraufhin wurde die Wärmepumpe vom Lieferanten ausgebaut und es zeigte sich, dass der Wärmetauscher des Verdampfers defekt

war. Im Laufe der ersten Kontrollen an der Wärmepumpe wurde vom Servicetechniker eine Anomalität an dem Durchfluss-Begrenzungsventil diagnostiziert, so dass als mögliche Ursache des Defektes auch ein mangelnder Durchfluss durch den Verdampfer und damit ein Einfrieren des Wärmetauschers in Frage gekommen wäre. Die Anlage wurde zwar durch einen Durchflussanzeiger geschützt, doch ist dessen Genauigkeit und Reaktionsschnelligkeit bei den benötigten Wassermengen zu ungenau.

Im Laufe der Diskussionen zwischen den Stockwerkeigentümern (STWE) Haus Kristall und dem WP-Lieferanten über das weitere Vorgehen, schien man sich zuerst zu einigen ; dann wurde jedoch von Seiten des Wärmepumpenlieferanten die Wasserqualität als Ursache des Defektes angegeben; die defekte Wärmepumpe mit dem Verdampfer-Wärmetauscher wurde zurückbehalten, so dass keine unabhängige Expertise über die wahre Ursache des Defektes veranlasst werden konnte.

Nach juristischen Abklärungen kam die Bauherrschaft zur Überzeugung, dass weitere rechtliche Schritte nichts nutzen würden und sie entschloss sich dem Wärmepumpenlieferanten eine Anzahlung zu machen, worauf dieser die reparierte Wärmepumpe dem Eigentümer zustellte.

Dieses Geplänkel dauerte insgesamt vom Frühjahr 2003 bis zum Frühjahr 2005; auf die Heizsaison 2005 wurde die Wärmepumpe wieder in Betrieb genommen; doch wurde zur Überwachung des Durchflusses ein Durchflusswächter eingebaut. Es handelt sich um ein Fabrikat der Firma Kobold Messring GmbH, Nordring 22, D-65719 Hofheim ([www.kobold.com](http://www.kobold.com)); nachfolgend noch mehr dazu.

Die folgende Aufnahme zeigt einen Ausschnitt vom Tunnelwasserkreis der Wärmepumpe.

Am unteren Rand sieht man die Zufuhr des Tunnelwassers mit der Wasseruhr, für die Abrechnung mit der Gemeinde, darauf folgend ein Filter, das im Durchschnitt ca. alle 14 Tage gereinigt wird und im aufsteigenden Rohr den Durchflusswächter in Ruhelage.

Dieser Filter weist eine Korngrösse von 800 Mikrometer auf; üblicherweise werden in den Anlagen von Oberwald Filter mit einer Korngrösse von 500 Mikrometer eingebaut.

Oben am Bildrand befindet sich das Rohr mit der Rückgabe des abgekühlten Tunnelwassers; am linken Bildrand sind noch die beiden Tauchhülsen mit den PT 100 Thermoelementen sichtbar.



Abbildung 7 : Teilansicht des Tunnelwasserkeises

Bei Durchfluss verändert der Schwimmer des Durchflusswächters seine Lage, wie im folgenden Bild dargestellt; dabei muss der Schwimmer im Bereich der beiden Striche sein, ansonsten wird Alarm ausgelöst und die WP abgestellt.

Es hat sich gezeigt, dass diese Art der Durchflussüberwachung viel zuverlässiger und vor allem schneller ist, als die herkömmlichen Schalter. Diese Durchflussüberwacher werden eingesetzt, wenn der Durchfluss wegen der geforderten Rückgabetemperatur gedrosselt wird, damit die benötigte Mindestwassermenge durch den Verdampfer gewährleistet ist.

Auf diese Weise kann sichergestellt werden, dass die Wärmepumpe abgeschaltet wird, bevor der Verdampfer einfriert und damit ein finanziell folgenschwerer Schaden eintreten kann.



Abbildung 8 : Kobold-Durchflusswächter mit Schwimmer-Position in Betriebslage (Aufnahme um 90 Grad gedreht).

Während der gesamten Messperiode (Okt. 2005 bis Okt 2006) hat die Wärmepumpe immer funktioniert, es trat nur eine Störung beim Verzögerungsrelais für die Ladepumpe des Heizkreises auf, ansonsten war keine Intervention notwendig.

## Betriebskonzept der Wärmepumpe

Mit der neuen Wärmepumpe hat sich auf der Heizungsseite nichts geändert; der Speicher wird geladen, und zwar auf eine Temperatur von 54 Grad C, unabhängig von der Temperatur des Außenfühlers. Die maximale Vorlauftemperatur für den Heizkreis ist auf 50 Grad Celsius eingestellt, aus diesem Grunde befindet sich im Abgang (auf der rechten Seite der Schemas der Figuren 1 und 2 dargestellt) ein Dreiwegventil für die Anpassung der Vorlauftemperatur an die Außentemperatur. (Auslegung 1992 nach SIA 384/2 für Station Münster auf -14 Grad C; zusätzlich Korrektur für Lage und Bauweise auf -19 Grad C; Spitzenwärmeverbrauch berechnet mit 39 kW).

Von Seiten des Elektroenergieversorgers ist die Sperrzeit für Wärmepumpen jeweils von 11h00 bis 12h00 festgelegt; andere Einschränkungen für den Betrieb der Wärmepumpe sind nicht vorhanden und es ist zurzeit auch kein Lastmanagement vorgesehen.

Sinkt die untere Temperatur des linken Speichers der Abbildung 6 unter 33 Grad C wird die Wärmepumpe aktiviert. Als erstes läuft die Zirkulationspumpe des Tunnelwasser-Kreises an; sobald der Schwimmer des Durchflusswächters in der gewünschten Position ist, werden die Umwälzpumpe des Heizkreises und die Wärmepumpe selbst eingeschalten.

Ist die Eintrittstemperatur des Kondensatorkreises (Heizung) niedrig, so wird die Umwälzpumpe gedrosselt, damit eine genügend grosse Temperaturdifferenz auf der Heizungsseite erreicht wird ; erst bei Anstieg der Eintrittstemperatur im Kondensatorkreis wird die Umwälzpumpe freigegeben, und die Temperaturdifferenz über der Wärmepumpe nimmt ab, wie aus dem folgenden Diagramm für einen Ladevorgang ersichtlich ist.

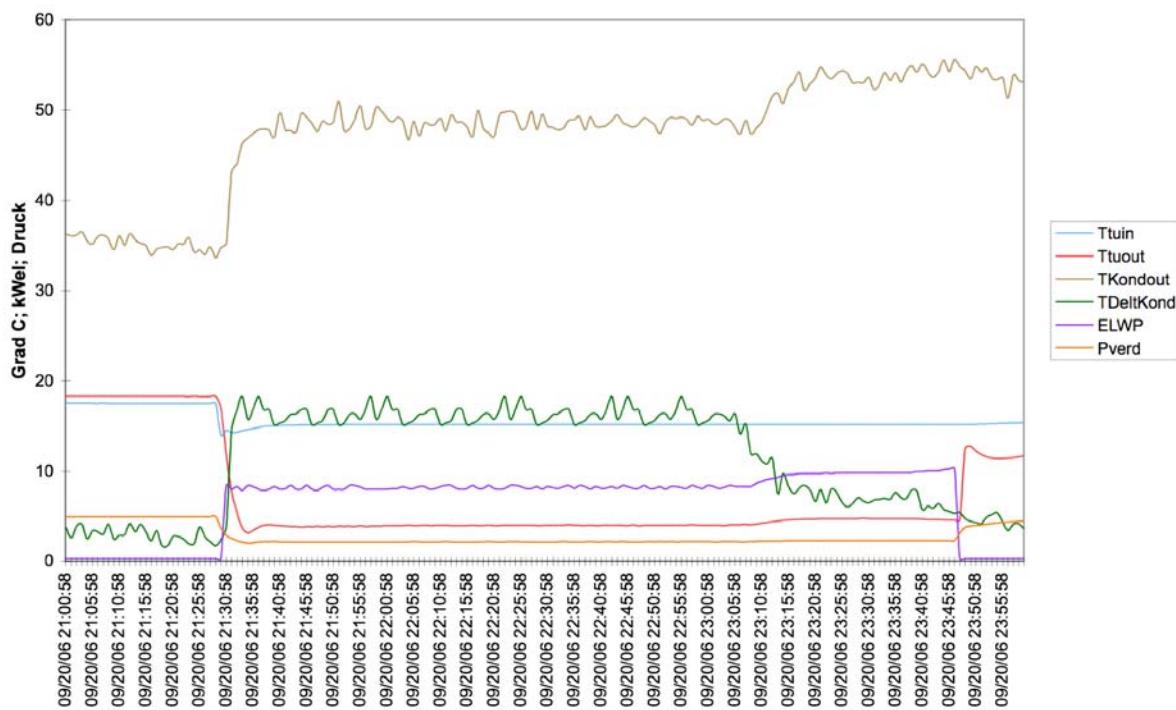


Abbildung 9 : Darstellung der Temperaturverläufe und des Verdampfungsdruckes (Überdruck) auf Grund der Messungen

In der folgenden Abbildung 10 sind für einen anderen Tag (1. Januar 2006) die Temperaturverhältnisse vom Tunnelwasser (Ein- und Austrittstemperatur), sowie die Austrittstemperatur des Kältemittels (R134a) aus dem Verdampfer aufgetragen. Es zeigt sich, dass die Wärmepumpe sehr konstant arbeitet, und bei dem vorliegenden Durchfluss eine genügend grosse Frostsicherheit vorliegt.

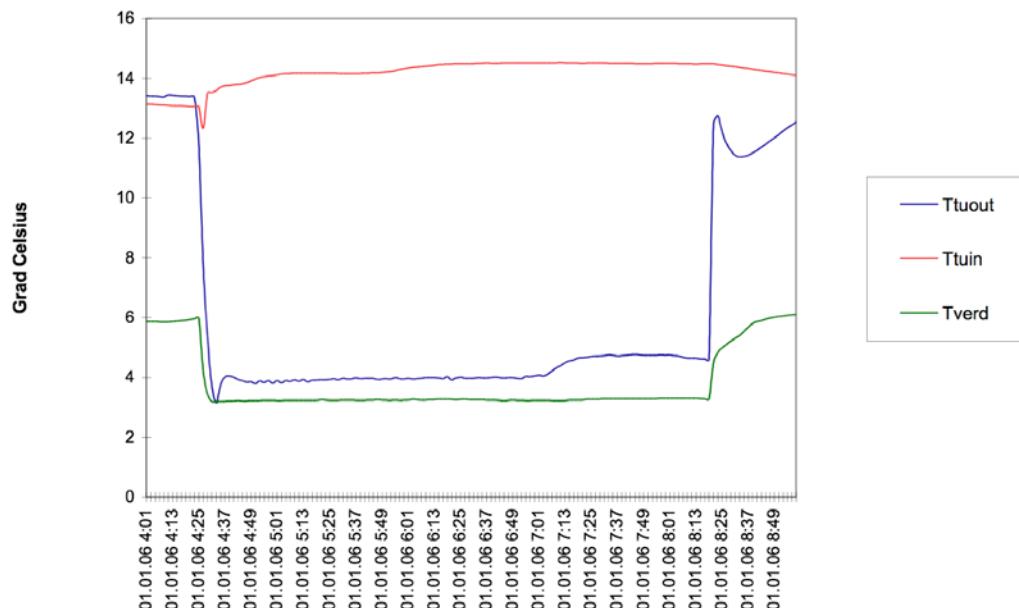


Abbildung 10 : Tunnelwasserein- und –austrittstemperatur; Verdampfungstemperatur

## Auswertung der Messungen über das letzte Jahr

Die folgende Figur zeigt den Verlauf der Außentemperatur und die Anzahl der Betriebsstunden der Wärmepumpe pro Tag, in Abhängigkeit dieser Außentemperatur. :

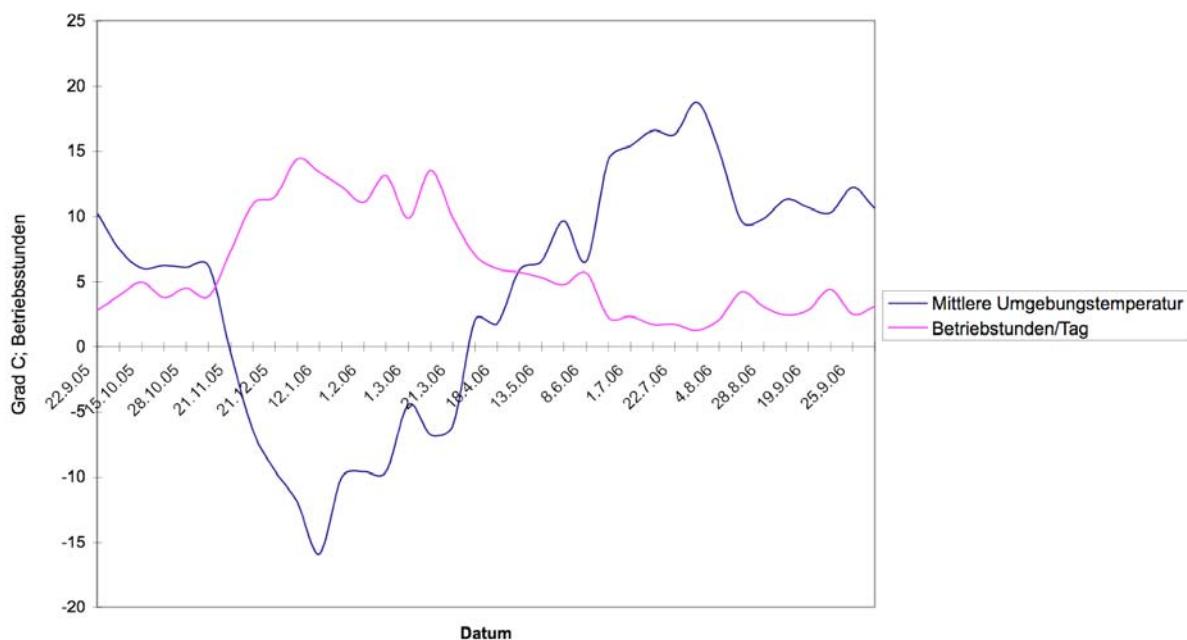


Abbildung 11 : Außentemperatur (Tagesmittel) und Betriebsstundenzahl über der Messperiode

Die vorhergehende Abbildung 11 ist insofern nicht aussagekräftig, da über Weihnachten und in den Ferien, besonders in den Fasnachtsferien, meistens alle Wohnungen belegt sind, und zu dieser Zeit damit der Wärmebedarf stark ansteigt, weil in der nicht benutzten Zeit ein Grossteil der Wohnungen die Heizung abstellt.

Diese Tatsache ist vor allem aus der folgenden Darstellung ersichtlich, in der die Betriebszeit der Wärmepumpe in Abhängigkeit der Außentemperatur aufgezeichnet ist, sowie die dazugehörige Trendlinie; die Ausreisser sind meistens solche Wochen mit starker oder schwacher Belegung der Wohnungen:

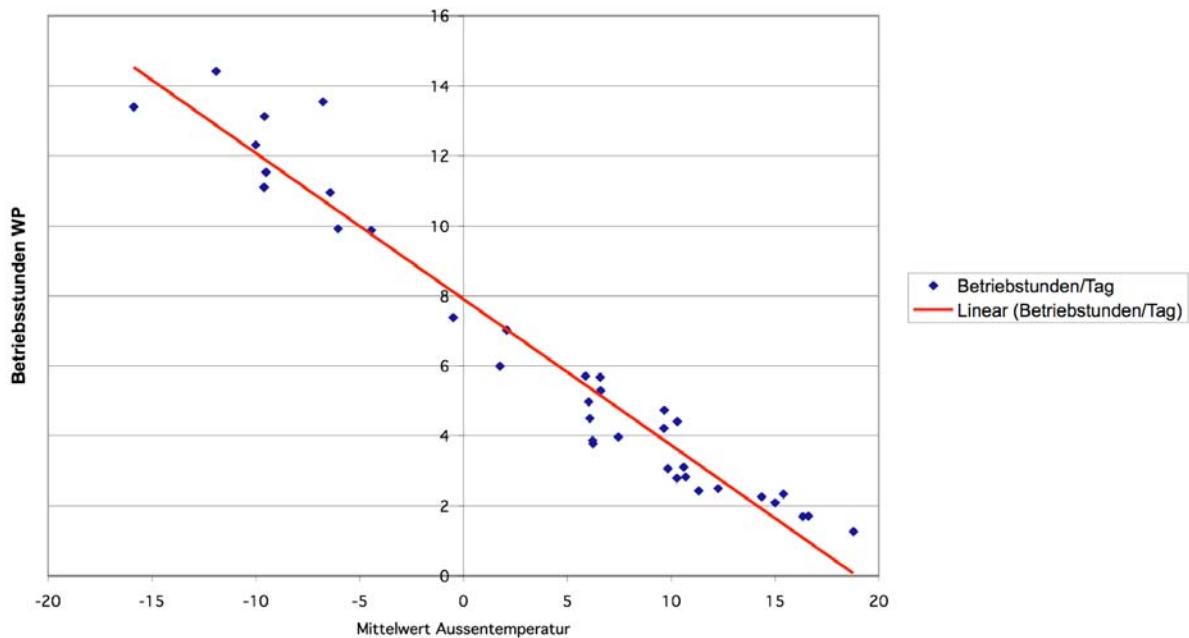


Abbildung 12 : Betriebsstundenzahl in Abhängigkeit der Aussentemperatur.

### Unterhalts- und Betriebskosten

Verbrauchsabhängige Kosten sind zum Einen die Gebühren je genutzten m<sup>3</sup>-Tunnelwasser mit 0.15 Fr./m<sup>3</sup>, sowie der Stromtarif mit zurzeit 0.135 Fr./kWh. Der Filter wird ca. alle 14 Tage mit Frischwasser durchgespült; diese Arbeit wird vom Abwart im Rahmen seines Pflichtenheftes erledigt.

In der folgenden Darstellung sind die in den letzten Jahren für die Heizung des Haus Kristall angefallenen Aufwändungen dargestellt.

Mit der im letzten Jahr (2006 wurde berechnet von Ende September 2005 bis Anfang Oktober 2006) nun einwandfrei funktionierenden Wärmepumpe kommt man auf einen Energiegestehungspreis von unter 5 Rp./kWh (wobei ein möglicher Servicevertrag für die Wärmepumpe nicht eingerechnet ist).

Bei einem Gesamtverbrauch von 85'570 kWh Wärme und einem Stromverbrauch von 21'250 kWh für Wärmepumpe mit Ladepumpe und Regelgerät kommt man auf eine Jahresarbeitszahl von 4.02, was als gut angesehen werden kann.

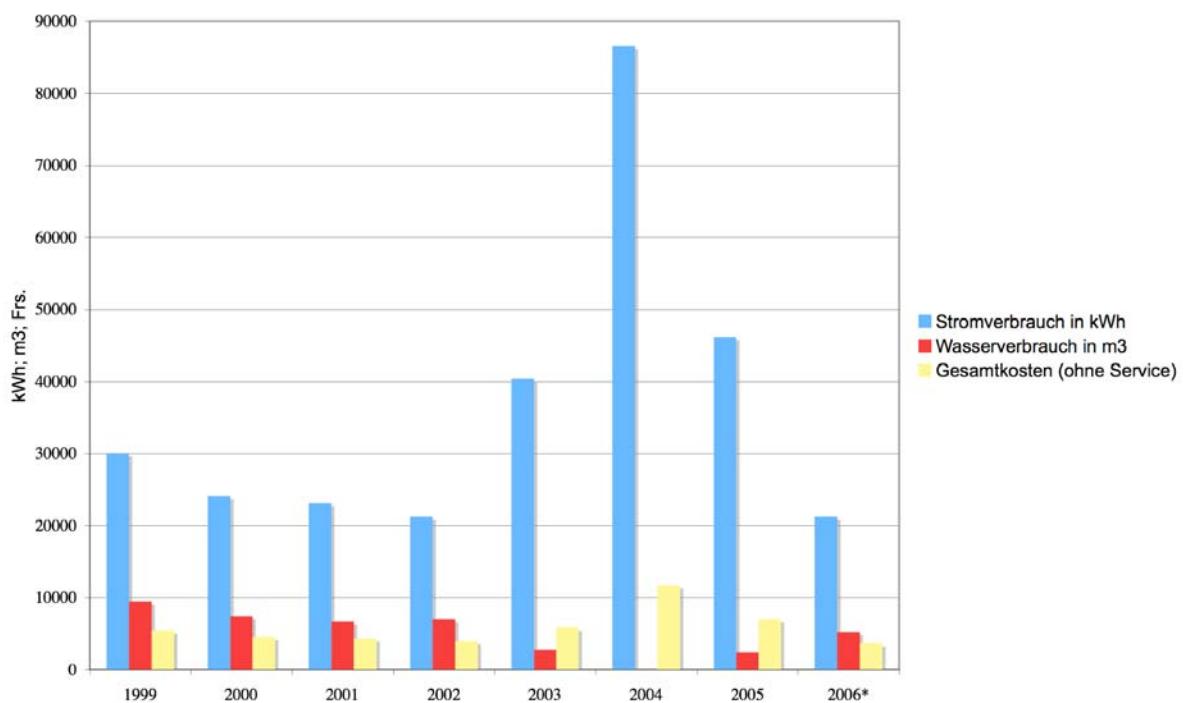


Abbildung 13 : Verbrauch an Strom, Tunnelwasser und Kosten für Heizung Haus Kristall  
(Erläuterung: Im Winter 2004 wurde wegen der defekten Wärmepumpe ausschliesslich mit Widerstandheizung geheizt)

#### Optimierungspotential

Bei der vorliegenden WP des Haus Kristall in Oberwald ist die Regulierung des Heizungskreises so ausgeführt, dass auf eine konstante Speichertemperatur gefahren wird, unabhängig von der Außentemperatur.

Dadurch erhält man zwar in der Zwischenzeit kürzere Laufzeiten der Wärmepumpe, hingegen könnte bei einer Außentemperatur abhängigen Vorlauftemperatur die Leistungszahl noch verbessert werden, weil der Temperaturhub durch die Wärmepumpe verringert werden könnte.

Des Weiteren wurde im Rahmen dieser Untersuchungen immer von den gleichen Einstellungen für die Wärmeverteilung ausgegangen; bei einer Optimierung der Wärmeverteilung könnten auch hier noch gewisse Verbesserungen erreicht werden. Bei der Wärmeverteilung ist die Heizungspumpe auf der rechten Seite in den Figuren 1 und 2 eine Umwälzpumpe ohne Druckregulierung. Weil ein Grossteil der Stockwerkeigentümer während der Abwesenheit in der Wohnung die Wärmeverteilung zu drehen, ist (in den Schemas nicht eingezeichnet) ein Überströmungsventil eingebaut, welches zum Teil warmes Wasser in den Rücklauf vom Heizkreis leitet; mit Einbau einer Druck regulierten Umwälzpumpe könnten unnötige Durchmischungen und damit bessere Auslastung der Heizspeicher erreicht werden.

## Dank

Der Verfasser dankt dem Bundesamt für Energie für die Unterstützung und die Ermöglichung der Messungen; dem Leiter des Programms „Pilot- und Demonstrationsanlagen“ im Bereich „Umweltwärme, Abwärme, Wärmekraftkoppelung“ des Bundesamtes für Energie“, Herrn Prof. Dr. Max Ehrbar für die Unterstützung und die Diskussionen und Anregungen und der Gemeinde Oberwald und der Stockwerkeigentümerschaft Haus Kristall für die Zuverfügungstellung der Daten und der Anlage.

## **Literaturverzeichnis :**

[1]	Klaus Nanzer	Wärmenutzung aus dem Furkatunnel Tagungsband 4. Geothermische Fachtagung Konstanz, S. 341-347, GfV Neubrandenburg/Geeste 1996
[2]	Bachema, Analytische Laboratorien, Schlieren	Chemische Analyse No. 595793 Tunnelwasser Oberwald; 26. Nov. 2006
[3]	Ingenieurbüro Derendinger & Co, 3900 Brig	Pressebericht Ingenieurbüro Derendinger & CO, 3900 Brig vom Februar 1993 Infrastruktur 1990 - 1992
[4]	Leo Arnold	Furkatunnelwärme für die Stuben von Oberwald; Pressemitteilung verfasst von Leo Arnold, Brig. <a href="http://www.umwelt-oberwallis.ch/pdf/7/Furkatunnel.pdf">www.umwelt-oberwallis.ch/pdf/7/Furkatunnel.pdf</a>
[5]	Bernard Schmutz EIV Ecole d'ingenieurs du Valais, 1950 Sion	Mesure de l'efficacité d'une pompe à chaleur valorisant l'énergie thermique des eaux d'infiltrations du tunnel de la Furka Rapport intermédiaire OFEN, Septembre 1996

## **Anhang :**

**Eigenschaften Tunnelwasser:** Analyse No. 59793 der Bachema AG, Schlieren, zHd KAPAG Wärme-Kälte AG; durchgeführt am 15. 11. 06; Bericht vom 23. 11. 06 :

### Physikalisch-chemische Parameter

Aussehen	klar
Farbe	farblos
Geruch	geruchlos
Leitfähigkeit	132 µS/cm
pH-Wert (Labor)	8.00 pH
pH-Messtemperatur	18.8 °C
<u>Allgemeine und anorganische Parameter</u>	
Silikate	10.8 mg / L SiO <sub>2</sub>
Härteparameter und Kationen	
m-Wert (Säureverb. pH 4.3)	0.66 mmol / L
Karbonathärte (berechnet)	3.1 °fH
Gesamthärte (berechnet)	4.1 °fH
Gesamthärte (berechnet)	0.41 mmol / L
Calcium (gelöst)	16.0 mg / L Ca
Magnesium (gelöst)	0.2 mg / L Mg
<u>Anionen</u>	
Chlorid	0.3 mg / L Cl
Nitrat	< 0.1 mg / L NO <sub>3</sub>
Sulfat	32.4 mg / L SO <sub>4</sub>
<u>N- und P-Verbindungen</u>	
Ammonium	< 0.01 mg / L NH <sub>4</sub>
Nitrit	< 0.005 mg / L NO <sub>2</sub>
Ortho-Phosphat	< 0.01 mg / L PO <sub>4</sub>
<u>Berechnete Größen</u>	
Freie Kohlensäure	0.6 mg / L
Gleichgewichts-Kohlensäure	0.1 mg / L
Kalkaggressive Kohlensäure	0.5 mg / L CO <sub>2</sub>
Gleichgewichts-pH	8.7
Calciumcarbonat-Sättigungsindex	- 0.7
Korrosionsindex (für vezinktes Eisen DIN 50950 Teil 3)	1.0
<u>Elemente und Schwermetalle</u>	
Eisen (gesamt) ICP-OES	< 0.050 mg / L Fe
Mangan (gesamt) ICP-OES	< 0.010 mg / L Mn
<u>Organische Summenparameter</u>	
DOC	0.13 mg / L C

## Messstellenverzeichnis

Die Messinstallation wurde von [5] übernommen und weitergeführt.

Bezeichnung Messgrösse	Bezeichnung in Abbildungen	Messprinzip	Genauigkeit
Tunnelwasser Eintrittstemperatur	Ttuin	PT100	± 0.6 Grad C
Tunnelwasser Austrittstemperatur	Ttuout	PT100	± 0.6 Grad C
Kondensator Austrittstemperatur	TKondout	PT100	± 0.6 Grad C
Temperaturunterschied Kondensator Ein- und Austritt	TdeltKond	PT100	± 0.6 Grad C
Verdampfer Zwischen- kreis Austritts- temperatur	TVerout	PT100	± 0.6 Grad C
Verdampfer Zwischen- kreis Eintritts- temperatur	TVerin	PT100	± 0.6 Grad C
Elektrische Energie Wärmepumpe (inkl. Umwälzpumpe)	ELWP	ELControl und Zähler EW Obergoms	0.2 %
Verdampfungsdruck	PVerd	Druck-Spannungs- wandler	
Wasseruhr Tunnelwasser			
Energiezähler			