

Schlussbericht Septembre2004

Renovation und Betriebsoptimierung der Wärmepumpenanlage des Sportzentrums Bachtla in Bettmeralp

ausgearbeitet durch
Jean-Philippe Borel
BEC Borel Energy Consulting
Rue des Cerisiers 5
1530 Payerne

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

ZUSAMMENFASSUNG

Ziel der Arbeit

Die Renovation der Wärmepumpe (WP) im Sportzentrum Bachtla, in Bettmeralp/Oberwallis wurde nach wiederholten Havarien notwendig. Das als P+D, von Bund und Kanton Wallis unterstützte Projekt, wurde charakterisiert durch:

- Wärmeproduktion durch standardisierte Wärmepumpen grosser Leistung (2 mal 70 kW),
- Anlagestruktur, die die Versorgung jedes Verbrauchers bei angepasster Temperatur erlaubt,
- Wärmeentnahme grosser Leistung aus einem Gebirgsbach,
- Speisung einer Kühlbatterie mit Kaltwasser aus dem WP-Zwischenkreis.

Das Ziel der Arbeit war zu kontrollieren, ob die systematische Verfolgung dieser Ziele noch zu guten Leistungszahlwerten führt.

Lösungsweg

Im Bild 2 wird im Prinzipschema die Anlagestruktur gezeigt: sie macht klar, wie die Wasserbecken-, Brauchwasser- und Raumheizung parallel und direkt von der WP mit Wärme versorgt werden, um den bestmöglichen Wirkungsgrad erreichen zu können.

Im Bild 3 werden die Anlageteile mit roter Umrandung markiert, und in den Kommentaren die Planungshintergründe und Lösungen für jeden Teil erläutert. Dazu können wir sagen, dass:

- als WP dienen 2 Serien-WP von je 67 kW Heizleistung, mit je 2 Scroll-Kompressoren,
- als Wärmequelle dient 3-grädiges Wasser, und über einen Solezwischenkreis wird die entnommene Wärme an die WP geführt,
- aus dem Zwischenkreis wird Kaltwasser entnommen und in das Hallenlüftungsgerät für die Luftentfeuchtung geführt,
- durch Anwendung eines Microprocessor-gesteuerten Boilers kann die WW-Erzeugung dem momentanen Bedarf besser und schneller angepasst werden.

Für die Inbetriebsetzung und Überwachung des Betriebes der renovierten Anlage konnte sich der Betreiber auf die Mitarbeit von Anton Franzen, Betriebchef der nahe gelegenen Bettmerhornbahn, stützen.

Im anschliessenden Kostenvergleich wird gezeigt, dass eine neue WP verglichen mit anderen Lösungen technisch sehr vorteilhaft ist, und dadurch finanziell unterstützt wird, so dass diese Variante die kürzeste Amortisationsdauer der Renovationskosten erreicht.

Hauptergebnisse

Qualitative Betriebserfahrungen:

- Die Wärmeentnahme (120 kW) aus dem 3-grädigen Wasser zeigte sich sehr stabil,
- WP mit Scroll-Kompressoren sind für die Lastfolge (hier 2 mal 2 Kompr.) sehr gut geeignet,
- Nach Einregelung hat sich der aktive Boiler sehr gut verhalten, besonders bei starken Variationen der Besucherzahl,
- Bei einer solchen Renovation sollte man heute unbedingt auf eine SPS übergehen ,
- Standardisierte Wärmepumpen brauchen kein Unterhalt, machen praktisch keinen Lärm unter ihrer Schutzhülle, und sind sehr wenig störanfällig.

Quantitative Betriebsergebnisse: dies heisst Beurteilung der Qualität der Energieumsetzung durch die Wärmepumpenanlage. Bei der diskutierten Anlage wird das Zielwert von 3.0 (+/- 0.1 wegen der Mess-Ungenauigkeit) für die Leistungszahl erreicht. Er wurde aber nicht übertroffen, wegen der hohen Temperaturunterschiede, die die WP oft, vor allem bei der WW-Erzeugung, entgegenstehen muss.

Insgesamt hat diese Untersuchung gezeigt, dass standardisierte Wärmepumpen selbst unter rauen Bedingungen ihren Dienst mit hoher Verlässlichkeit und Effizienz jahrelang verrichten können.

RESUME

Objet de l'étude

La rénovation de la pompe à chaleur (PAC) du Centre sportif Bachtla, à Bettmeralp/VS a été réalisée en tant que projet P+D, soutenu financièrement par la Confédération et le canton du Valais, et caractérisé par:

- Production de chaleur par des PAC de série
- Installation structurée pour alimenter chaque consommateur à une température adaptée,
- Eau de source comme source de chaleur,
- Alimentation d'une batterie froide en eau glacée.

L'objectif de l'étude était de vérifier si une valeur du COP élevée est compatible avec la poursuite systématique de ces objectifs.

Démarche

Les principales solutions adoptées ont été:

- les PAC sont des machines de série de 70 kW, comportant chacune 2 compresseurs scroll,
- Un circuit intermédiaire d'eau glycolée qui conduit à la PAC la chaleur tirée de la source,
- afin de parvenir à une efficacité maximale, l'eau du bassin de natation, l'eau chaude sanitaire et l'eau de chauffage sont alimentées en chaleur en direct et en parallèle.
- De l'eau glacée extraite de ce même circuit est conduite dans le monobloc de ventilation de la halle de natation pour y assurer la déshumidification,
- Le recours à un boiler piloté par microprocesseur permet d'adapter très rapidement la production d'eau chaude sanitaire (ECS) à la demande instantanée.

La comparaison de coûts effectuée montre que, grâce à la pose d'une nouvelle PAC techniquement très favorable, donc susceptible de bénéficier d'un soutien financier, l'installation présente dans ce cas la plus courte durée d'amortissement des dépenses de rénovation.

Principaux résultats

Expériences d'exploitation qualitatives:

- Le prélèvement de chaleur (120 kW) à partir d'eau de source à 3 °C s'est avéré très stable,
- Les PAC à compresseurs scroll (ici 2 fois 2 compresseurs) conviennent très bien pour le suivi de charge,
- Une fois correctement réglé, le boiler actif s'est très bien comporté, en particulier lors de hausses très rapides du nombre de visiteurs,
- Pour une installation de cette complexité, il faut absolument remplacer, lors d'une rénovation, les divers éléments de régulation par un automate programmable,
- Les pompes à chaleur standardisées ne nécessitent aucun entretien, font très peu de bruit grâce à leur enceinte fermée, et sont des machines très fiables.

Expériences d'exploitation quantitatives: sous forme de vérification du niveau de la transformation énergétique effectuée par l'installation complète. La valeur cible de 3.0 pour le COP (+/- 0.1 dû à l'imprécision des mesures) pour la PAC doit être atteinte. Elle n'a toutefois pas été dépassée, à cause des différences de températures élevées que la PAC doit souvent vaincre, surtout en production d'ECS.

ABSTRACT

Purpose of the study

The renovation of the heat pump (HP) of the Sports Center Bachtla at Bettmeralp/VS has been realised as a P+D project supported by the Swiss Confederation and the Canton of Valais. Its main aspects are:

- Heat production by means of standard HP,
- The installation is structured so that each consumer get heat at adapted temperature,
- Heat source is groundwater,
- Supply of cool water to a cooling battery.

The purpose of the study was to check if a high COP of the HP was compatible with the systematic pursuit of these objectives.

Method

The main adopted solutions were:

- HP's in standard 70 kW execution, each with 2 scroll compressors,
- Intermediate circuit of glycolic water conducting heat from the groundwater into the HP,
- water for the swimming pool, for the domestic hot water and for room heating are heated directly and in parallel to obtain maximum efficiency,
- Cool water from that circuit conducted to the main ventilation bloc to draw out the humidity,
- Hot water production following changing needs, thanks to a microprocessor-controlled boiler.

The cost comparison shows that with a new HP, which is technically very effective and thus available for federal subventions, the installation proposed offers the best possible amortisation time of the renewal cost.

Main results

Qualitative conclusions from the initial exploitation:

- The heat retrieval (120 kW) from groundwater at 3°C is very stable,
- HP's with scroll compressors (in our case 2 x 2 compressors) are very convenient for load following,
- The active boiler proved to function very satisfactorily, particularly after a rapid increase of the number of visitors, once it had been properly set up.
- The various regulation elements must imperatively be replaced by a programmable automaton in the case of the renovation of such a complex installation.
- Standard HP's need no maintenance, and they are very silent, once inside their cover, and very reliable.

Quantitative conclusions from the initial exploitation:

They consist in a verification of the energetic efficiency provided by the complete installation. A COP value of 3.0 (+/- 0.1, because of the measurement imprecision) had to be reached. But it could not be exceeded, because of the high temperature differences which the HP has to cope with, mainly in the production of domestic hot water.

INHALTSVERZEICHNIS

1. Ausgangslage	7
1.1 Leben und Tod der ersten WP-Anlage	7
2. Ziel der Arbeit	8
2.1 Zielsetzungen	8
2.2 Allgemeines Konzept für das Projekt	8
2.3 Wie wird das Ziel erreicht	9
3. Lösungsweg	10
3.1 Konzeptstruktur	10
3.2 Wärmeentnahme aus der Quelle	11
3.3 Solezwischenkreis mit Kaltwassernutzung	12
3.4 Wärmepumpen	12
3.5 Heizwassererwärmung und –speicherung	13
3.6 Schwimmbadwassererwärmung	13
3.7 Brauchwassererwärmung	13
3.8 Verbraucherkreisverteilung	14
3.9 Heizwasserverteilung unter den Verbrauchern	14
3.10 Messen, Steuern, Regeln	15
3.11 Betrieb	15
3.12 Kostenvergleich zwischen Konkurrierenden Varianten	16
4. Hauptergebnisse	19
4.1 Einführung	19
4.2 Allgemeine qualitative Betriebserfahrung	19
4.3 Quantitative Betriebsergebnisse	21
4.4 Verschiedenes	23
4.5 Schlussfolgerung	23

Bildverzeichnis

Bild 1: Aussenansicht des Sportzentrums, im kleinen Bild die beiden WP von je 70 kW therm. Leistung	9
Bild 2: Prinzipschema der Heiz-, Schwimmbad- und Brauchwassererwärmung	10
Bild 3: Anlageschema mit roter Umrandung der verschiedenen Anlageteilen	11
Bild 4: In der WP-Anlage verbrauchter Strom und produzierte Wärme pro Monat, Jahre 2000 und 2001	22
Bild 5: Netto monatliche Leistungsziffer der Wärmepumpenanlage, Jahre 2000 und 2001	23

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Geräte-Informationen über die verwendeten Wärmepumpen	17
Tabelle 2: Kostenvergleich zwischen konkurrierenden Varianten für die Wärmeproduktion	19
Tabelle 3: Liste der für die Erstellung der monatlichen Energiebilanzen verwendeten Wärme- und Stromzähler	21

1. Ausgangslage

1.1 Leben und Tod der ersten WP-Anlage

Seit 1984 verfügt der autofreie Ferienort Bettmeralp über ein Sportzentrum. Unter einem Dach sind hier Tennishalle, Restaurant, Hallenbad mit grosser Wasserrutschbahn, Sauna, Kegelbahn, Discoraum, Wohnung, und Gemeindebüro vereint. Weil der Betrieb nie selbsttragend war, das Zentrum jedoch für die Oberwalliser Ferienstation als Schlechtwetteralternative grosse Bedeutung hat, beschloss man im Jahre 1998, die Trägerschaft in eine Stiftung umzuwandeln. Daran beteiligt sind die Gemeinde, der Verkehrsverein und die Verkehrsbetriebe.

In diesem Sportzentrum war von Anfang an die Wärmeleitung durch eine Heizanlage mit Wärmepumpe (WP) gesichert. Diese WP, als klassische Kälteanlage geplant und ausgeführt, war seit vielen Jahren mit wiederholten Problemen behaftet, vor allem wegen Verdampfervereisung und schlechter Ölrückführung. In den Jahren vor der Renovation sind immer häufiger Kompressorhavarien passiert.

Danach wurden wir durch die Maschinenbruchversicherung beauftragt, diese Havarien und deren Ursachen zu analysieren und die Schadensherkunft zu bestimmen. Unsere Schlussfolgerungen waren:

- Infolge schlechtem Wärmeübergang und Tieflage soll sich progressiv eine grosse Menge an Flüssigkeit im Verdampfer gesammelt haben, so dass sich während einem Start der Anlage Flüssigkeitsstösse sich ereignet haben, mit Bruch von Lamellenventilen, mit starker Beschädigung der Kolben und zuletzt Kurzschluss im blockierten Motor,
- Als Ursache wurden mehrere Faktoren identifiziert: ungünstige Konzeption des Kältekreislaufes bzw. Auslegung sowie Ausführung des Verdampfers, ungenügender Unterhalt der Anlage, usw.,
- Verschiedene mögliche Verbesserungsmassnahmen der Anlage wurden im Expertisebericht ebenfalls erwähnt,
- Dass diese Havarien sich so regelmässig wiederholt hatten, sprach dafür, ehe eine grundlegende Renovation als eine Reparatur zu planen.

Nach Lieferung des Berichtes wurden wir vom Bauherrn aufgrund einer Offerte beauftragt, eine Vorstudie für einen WP-Ersatz auszuführen.

Einige besondere Merkmale dieser Anlage sprachen für ein P+D-Projekt:

- Wärmeleitung durch standardisierte Wärmepumpen grosser Leistung,
- die Anlagestruktur muss dieser Tatsache angepasst werden,
- Wärmeleitung mit Wärmepumpen in einer Anlage, mit vielen Verbrauchern bei unterschiedlichen Temperaturen,
- Wärmeentnahme grosser Leistung aus einem Gebirgsbach bei tiefer (3°C) Temperatur,
- Speisung einer Kühlbatterie mit Kaltwasser aus dem WP-Zwischenkreis.

2. Ziel der Arbeit

2.1 Zielsetzungen

Sportzentren sind unter den grossen Wärmeverbrauchern solche, bei denen der Einsatz von Wärmepumpen sich besonders gut eignet, denn der grösste Teil des Wärmebedarfs befindet sich im Bereich von tiefen Temperaturen. Weiterer Vorteil: es wird gleichzeitig auch Kälte gebraucht, zwar für die Entfeuchtung der Hallenluft, vor allem in der Heizperiode, denn sonst entfällt dieses Bedürfnis beim Sommerbetrieb mit 100% Umluft.

Es gibt noch andere Grossverbraucher von Wärme bei tiefen Temperaturen als die Sportzentren. Jedoch ist der Einsatz von standardisierten Wärmepumpen bei solchen Anlagen bis jetzt relativ selten, obwohl diese Maschinen heute Einheitsleistungen von 110 kW Wärme erreichen.

Deswegen sind beim vorliegenden Demonstrationsprojekt die folgenden Themen von Bedeutung:

- Der Einsatz von standardisierten Wärmepumpen bei Anlagen mit grossem Wärmeverbrauch,
- Die mittlere Leistungszahl,
- Die jährliche Energiebilanz,
- Die jährlichen Energie-, Unterhalts- und Reparaturkosten,
- Eventuelle Probleme beim Anlagebetrieb.

2.2 Allgemeines Konzept für das Projekt

Die Lösung der Probleme, die sich mit der früheren Anlage gestellt hatten, verlangte die folgenden Verbesserungsmassnahmen:

- Ersatz der ganzen Wärmepumpenanlage, inklusiv Wärmeentnahme aus der Wärmequelle, denn dort lag, wie bereits gesagt, der Grund für die auftretenden Probleme,
- Einbau eines Zwischenkreises zwischen Wärmequelle und Wärmepumpe (WP), damit das Quellwasser den Verdampfer nicht direkt durchquerte, und um eine gewisse hydraulische Entkopplung zwischen Quellwasserkreis und Wärmepumpenkreis einzuführen.

Die Hauptgründe, die für eine WP als Wärmelieferant im Sportzentrum sprachen, waren die folgenden:

- Eine Wärmequelle hoher und konstanter Leistung bereits verfügbar im Sportzentrum,
- Günstige Stromtarife (16.6 Rp/kWh am Tag, 11.5 Rp/kWh nachts),
- Hohe Kosten für den Öltransport mit der Seilbahn, kein Gasnetz,
- Schlechte Akzeptanz für konzentrierte Abgasemissionen in einem Ort ohne Kraftstoff-Emissionen.

Ein wichtiges Element des Konzeptes war auch, die Anlage von Anfang an ohne Intervention des WP-Herstellers zu betreiben, wegen der Entfernung, aus Kostengründen und damit eventuell auftretende Probleme lokal gelöst werden könnten (Bettmeralp wird nur über eine Seilbahn erreicht).

Dringend notwendig war auch eine starke Senkung des Energieverbrauches, was nicht nur bei der Wärmeproduktion, sondern auch bei der Energienutzung an vielen Orten der Anlage zu erreichen war. Zu diesem Zweck wurden noch die folgenden Massnahmen programmiert:

- Änderung der Wärmeverteilung und -speicherung, um die verschiedenen Verbraucher direkt auf die optimale Temperatur zu bedienen,

- Renovationsarbeiten an vielen verschiedenen Stellen der technischen Anlagen im Sportzentrum, um eine bessere Funktionssicherheit und einen tieferen Wärme- und Stromverbrauch zu erreichen.

Neben diesen Massnahmen zum Ersatz von gewissen Ausrüstungen wurde auch eine tiefgreifende Änderung der Betriebstrategie (Betriebsart und Betriebkompetenz) vorgeschlagen, über welche wir später zurückkommen werden.

Das Ziel der vorgesehenen Renovationsarbeiten an der WP-Anlage war, eine neue, funktionsfähige und von jedem Havarierisiko befreite Anlage wiederherzustellen. Gleichzeitig wollte man deren Energieverbrauch stark (20 bis 30%) reduzieren.

2.3 Wie wird das Ziel erreicht

Obwohl diese Anlagerenovation bei vielen Anlageteilen mit dem Bestehenden sowie mit begrenzten finanziellen Mitteln auskommen musste, konnten Antworten auf die gestellten Fragen ermittelt werden, von denen wir hoffen, dass sie einigermassen allgemeingültig sind.

Mit diesen Antworten, die aus der Betriebserfahrung mit der renovierten Anlage und den Energiebilanzen sowie -messungen abgeleitet wurden, soll das Ziel des P+D-Projektes erreicht werden.



Bild 1: Aussenansicht des Sportzentrums, im kleinen Bild die beiden WP von je 70 kW therm. Leistung

3. Lösungsweg

3.1 Konzeptstruktur

Das Prinzipschema zeigt die Anlagestruktur nach Renovation, mit separater Speisung der unterschiedlichen Verbrauchergruppen. Vor der Renovation waren alle Verbraucher (ohne Warmwasser, das direkt elektrisch geheizt wurde) über den Warmwasserspeicher gespiesen.

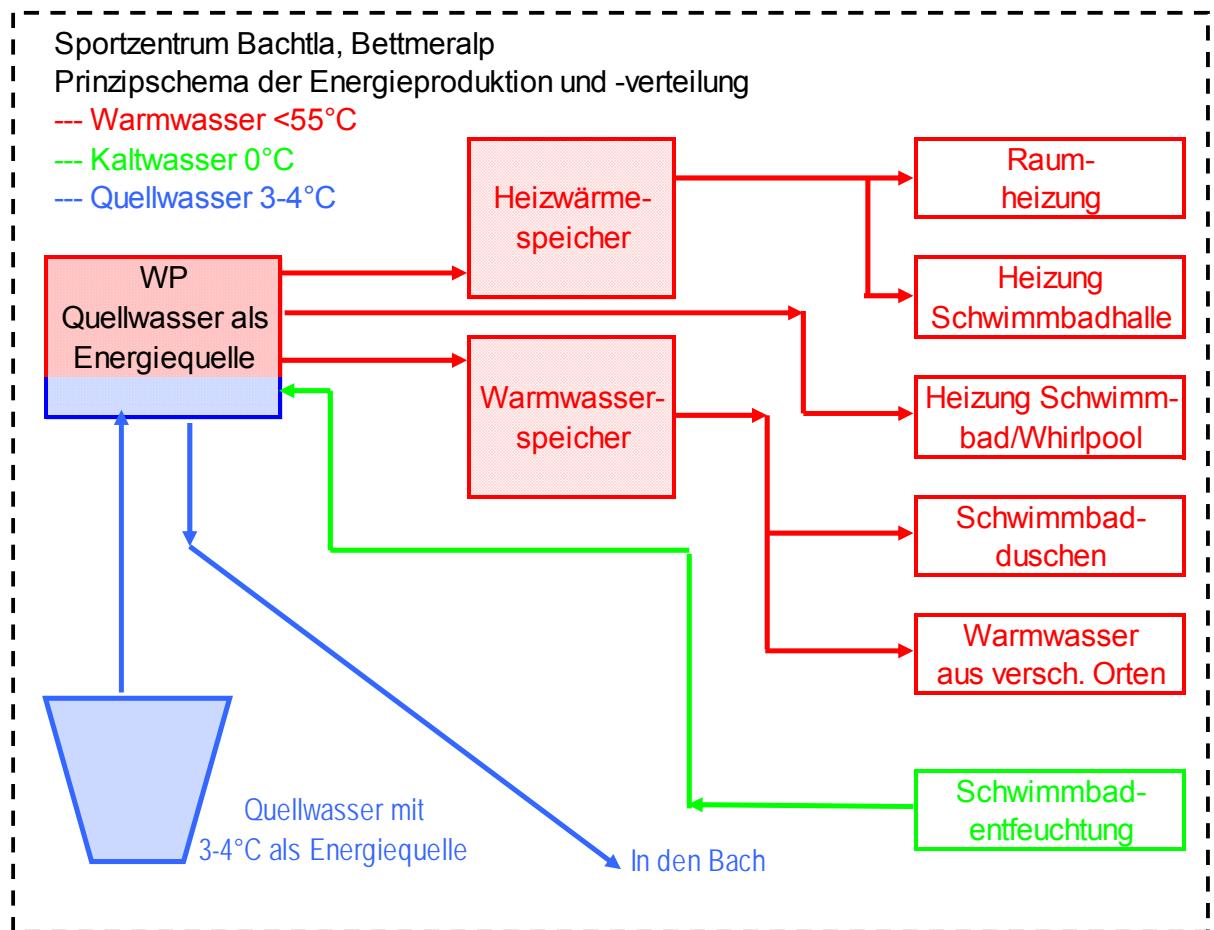


Bild 2: Prinzipschema der neuen Heiz-, Schwimmbad- und Brauchwassererwärmung

Das allgemeine Konzept wurde bereits vorgestellt. Jetzt werden wir das Konzept für die verschiedenen Anlageteile separat erklären, nämlich:

- 1. Wärmeentnahme aus der Quelle
- 2. Solezwischenkreis mit Kaltwassernutzung
- 3. Wärmepumpen
- 4. Heizwassererwärmung und -speicherung
- 5. Schwimmbadwassererwärmung
- 6. Brauchwassererwärmung
- 7. Verbraucherkreisverteilung
- 8. Heizwasserverteilung unter den Verbrauchern
- 9. Messung, Steuerung und Regelung
- 10. Betrieb (sehr anlagespezifisch, wird mit wenigen Details vorgestellt).

Wir haben diese Anlageteile auf dem Anlageschema mit roter Markierung eingekreist.

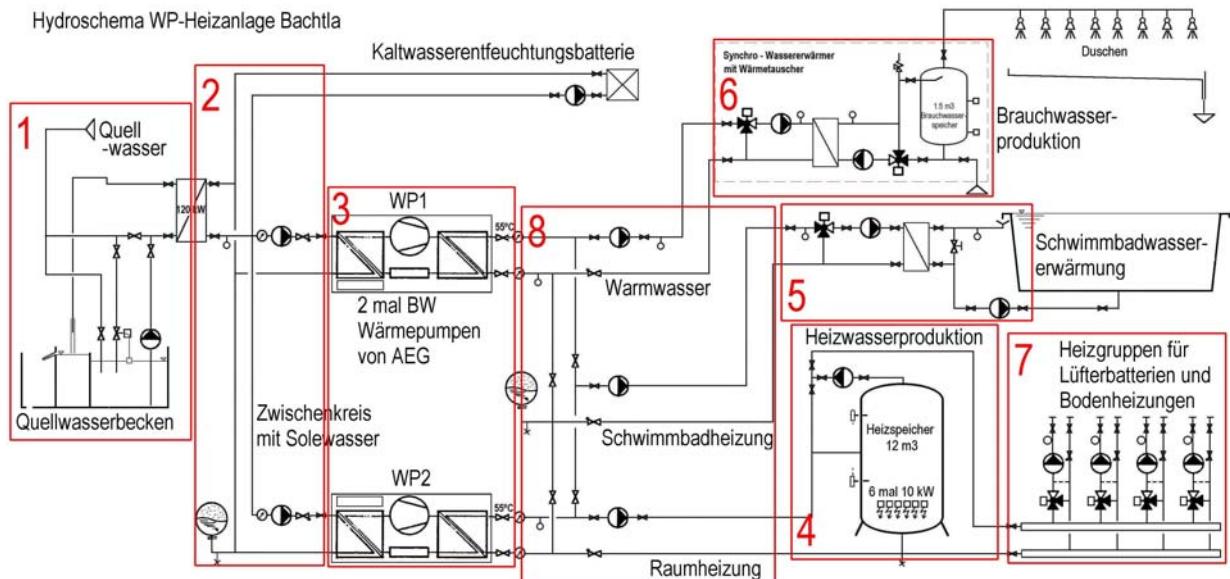


Bild 3: Anlageschema mit roter Umrandung der verschiedenen Anlageteilen

3.2 Wärmeentnahme aus der Quelle

Als Wärmequelle verfügt man über Quellwasser, das nach seiner Nutzung in einen Bach abfließt. Dieses Wasser ist in genügender Menge über das ganze Jahr verfügbar, aber mit einer Temperatur von nur 3 bis 4 °C.

Notwendig für die Deckung aller Bedürfnisse war, dass man genügend Leistung (aus 33 m³/h kann man 120 kW bei $\Delta T=3^{\circ}\text{C}$ entziehen) aus diesem Wasser mit hoher Verlässlichkeit entziehen konnte.

Neben dem Wärmepumpen-Raum befindet sich ein Becken, etwa 1 mal 5 Meter Fläche, in welchem der frühere Verdampfer installiert war. In dieses Becken ergiesst sich das Quellwasser.

Zur Zeit der Planung wurde uns angegeben, es gebe neben dem "Quellwasserrohr" ein "Seewasserrohr". Oberhalb des Sportzentrums befindet sich der Bettmersee, dessen Wassertemperatur zwischen 0°C im Winter und 14°C im Sommer schwankt. Da diese Angabe im Winter gemacht wurde, konnten wir dies erst im nächsten Sommer kontrollieren. Als die Anlage in der warmen Jahreszeit fertiggeplant war, stellten wir fest, dass in der Tat beide Röhren Quellwasser lieferten.

Für die Speisung der WP-Anlage mit Quellwasser wurde das folgende Dispositiv geplant und ausgeführt:

- Das Quellwasser fliesst in ein Becken, wobei die Wassermenge durch ein hydraulisches Ventil so eingestellt wird, dass das Niveau im Bassin konstant bleibt,
- Das Wasser wird aus dem Becken in den Wärmetauscher durch eine Pumpe gefördert,
- der Wärmetauscher, der die Wärme aus dem Quellwasser entnimmt, wird über dem Becken installiert,
- Das Becken wird in zwei Teile mit einer Wand getrennt, um den Wasserabfluss im zweiten Teil realisieren zu können.

Dieses System sichert, dass die Kontrolle über den Wasserfluss auch noch nach einer Strompanne erhalten bleibt, und bringt eine hydraulische Entkopplung zwischen Quellwassernetz und Primärkreis, so dass dieser mit konstantem Druck gespiesen wird.

Das im Sportzentrum verwendete Quellwasser ist ein Teil von dem, welches im Bach daneben fliessst. Prinzipiell müsste Wasser nicht gespart werden. Trotzdem wollten wir dieses Wasser nicht kontinuierlich durch den Wärmetauscher fliessen lassen. Dieses Ziel wurde mit folgenden Einrichtungen erreicht:

- Es wird eine Quellwasserpumpe mit elektronischem Drehzahlregler ausgewählt,
- Die Pumpe wird bei laufender Wärmepumpe eingeschaltet,
- Läuft nur eine WP, dann 70% Nominaldrehzahl, mit beiden WP geht es auf 100% über.

3.3 Solezwischenkreis mit Kaltwassernutzung

Vor allem aus Sicherheitsgründen wurde beschlossen, einen Solezwischenkreis zwischen Wärmequelle und Wärmepumpe vorzusehen, mit einem geschraubten Plattenwärmetauscher als Verbindungselement. Damit konnten mehrere Ziele erreicht werden:

- Funktionssicherheit: Schutz der WP-Verdampfer vor Verunreinigungen und Sand, Minimierung des Einfrierrisikos dank hydraulischer Entkopplung, usw.,
- Energieeinsparung: dank der Möglichkeit, die Luftentfeuchtung in einem Luftkühler mit Solewasser aus dem Zwischenkreis effizienter als mit einer separaten Kältemaschine im Hauptlüftungsgerät zu realisieren.

Der Zwischenkreis wurde dann folgendermassen konzipiert:

- Eine Umwälzpumpe pro WP: jede Pumpe wird durch den entsprechenden WP-Regler angesteuert (Einschalten eine Minute vor dem ersten WP-Kompressor, Ausschalten eine Minute nach der WP-Abschaltung),
- Neben der Stromeinsparung wird erreicht, dass jede WP immer mit denselben Wassermengen und Temperaturen im Verdampfer arbeitet, daher kein Temperatursprung bei Ein- bzw. Ausschalten der zweiten Maschine,
- Ein Sicherheitsthermostat schaltet alle WP aus, sobald die Soletemperatur einen Grenzwert unterschreitet (etwa 0 °C).

Es wurde also von Anfang an eine Leitung zwischen diesem Kreis und dem Klimagerät der Badehalle installiert, um dieses mit kaltem Solewasser für die Sicherung der Entfeuchtung zu versorgen: damit war es möglich, eine havarierte Klimagerät-Wärmepumpe mit minimalen Kosten und maximaler Effizienz zu ersetzen. Dafür wurde eine neue Batterie im Klimagerät montiert, und das Einschaltsignal zur Einschaltung der Wärmerückgewinnungs-WP schaltet die Umwälzpumpe ein.

3.4 Wärmepumpen

Für die neuen WP haben wir ganz normale Standardmaschinen verwendet, denn solche Maschinen heutiger Bauart eignen sich sehr gut für solche Anwendungen. Die Gründe, die dafür sprechen, sind unserer Meinung nach die folgenden:

- Kompakte WP sind standardisierte Produkte, mit reproduzierbaren Charakteristiken,
- Es werden davon tausende pro Jahr in Europa installiert (fast 10'000/Jahr in der Schweiz),
- dadurch ist das Verhalten dieser Maschinen sehr gut bekannt, dokumentiert und exakt voraussehbar,
- Die Praxis zeigt, dass solche Maschinen energetisch, kostenmässig und in Sachen Funktionssicherheit besser als die klassischen, als Kälteanlagen speziell ausgelegten Anlagen abschneiden,
- Diese Maschinen sind mit Reglern ausgestattet, die dank ihres grossen elektrischen und regeltechnischen Funktionsumfangs die Auslegung und Ausführung des Elektroschrankes sehr vereinfachen.

Mit der Zeit haben die Hersteller immer grössere WP-Moduleinheiten produziert, die auf die bei der Raumheizung gesammelter Erfahrung basierten, dies mit genügend Leistung für Anwendungen in grösseren Gebäuden und Anlagen.

Zur Zeit der Planung des besprochenen Projektes sind bei mehreren Herstellern WP-Module mit etwa 70 kW in Sole-Wasser-Ausführung erschienen. Damit war mit zwei solchen Einheiten genügend Leistung für das Sportzentrum von Bettmeralp verfügbar.

Für die besprochene Anlage wurde die Planung durch folgende Prinzipien geleitet:

- Leistung grösser als die bisherige, da diese nicht immer ausreichend war,
- Mit zwei Standardmaschinen verfügt man über 4 Kompressoren für die Lastfolge,
- Wahl von Wärmepumpen der Firma AEG, denn deren Regelung ist auch für Schwimmbadanlagen vorgesehen, und der Vertreter, Herr Roman aus Martinach, brachte hohe Kompetenzen und guten Rat mit,
- Aufstellung der Maschinen am selben Platz wie die vorherigen, jedoch nach Entfernung des 30 Zentimeter hohen Betonsockels.

3.5 Heizwassererwärmung und -speicherung

Vom ursprünglichen grossen Verteiler sind jetzt nur noch die Heizwasserverbraucher auf dem gekürzten Verteiler übrig geblieben.

Die Heizwassererwärmung findet direkt im WP-Kondensator statt. Da dieser Kreis nur noch zu Heizzecken dient, kann die Speichertemperatur gleitend in Funktion der Aussentemperatur gesteuert werden. Die Rücklauftemperatur in die WP wird kontinuierlich gemessen und dient der Ein-Ausschaltung der Kompressoren.

Es wurden an verschiedenen Orten in der Anlage, neben dem eigentlichen Wärmeerzeugungsteil Änderungen angebracht, wie zum Beispiel die Verbesserung der Zirkulation mit einer neuen Umlözpumpe durch den Speicher im Falle von kleinem Wärmebedarf, Vereinfachungsmassnahmen an den meisten Verbraucherkreisen.

Im Heizspeicher befinden sich immer noch 60 kW Heizstäbe als Sicherung bei WP-Ausfall.

3.6 Schwimmbadwassererwärmung

Aus Kostengründen wurden bei der Renovation die bestehenden Wärmetauscher für Schwimmbad und Whirlpool zuerst beibehalten.

Mit diesen Wärmetauschern waren aber die Vorlauftemperaturen sowie die durchgesetzte Leistung unbefriedigend, das heisst zu tiefer Wirkungsgrad und zu lange tägliche Ladedauer des Schwimmbadwassers.

Deswegen wurde nachträglich ein neuer Wärmetauscher geplant und installiert. Damit ist die Vorlauftemperatur von über 50°C auf 35°C gesunken, und die Ladedauer sank dann auf etwa 8 Stunden.

Damit konnte diese tägliche Ladung falls notwendig in der Nacht ausgeführt werden, und zudem wurde damit mehr Zeit für die Speisung der anderen Verbraucher frei.

3.7 Brauchwassererwärmung

Das Ziel war, die Brauchwassererwärmung, die vor der Renovation praktisch nur mit Strom produziert wurde (ein Teil wurde zeitweise durch WRG vorgeheizt), nach der Renovation mit Hilfe der WP auszuführen.

Vorher waren drei Boiler mit je tausend Liter vorhanden. Bei hoher Besucherzahl kam es öfters zu Warmwasserpannen. In einem solchen Fall waren nur die 3 mal 10 kW der Heizstäbe verfügbar, die sehr viel Zeit brauchten für die Aufheizung der 3'000 Liter Wasser.

Bei der Planung wurde folgendes bemerkt:

- Sehr starke Verbräuche sind schwer zu vermeiden (bis 250 Personen im Schwimmbad, Kinder schalten als Spiel alle Duschen nacheinander ein),
- Für die Vergrösserung der Kapazität der Boiler war kein Platz vorhanden,
- Es musste also die maximale Leistung "an der Stange" verfügbar sein,
- Mit 140 kW Leistung kann man bis 4 m³ Wasser pro Stunde von 5 auf 35 °C heizen,
- Mit einem "Synchro-Boiler" von Domotec kann die ganze WP-Leistung (140 kW) effektiv auf die Duschenwassererwärmung konzentriert werden,
- Es wurde so ein Gerät vorgesehen, mit 150 kW Wärmetauscherleistung und 500 Liter Inhalt, plus 1'000-Liter aus einem der drei installierten Boiler.

Inbetriebnahme und Optimierung des Synchro-Boilers haben einige Probleme bereitet, denn dieses Gerät war ausschliesslich für eine Anwendung mit Oel- und Gaskessel vorgesehen und ausgelegt. Zuletzt konnten aber alle Probleme gelöst werden. Zudem musste der maximale Duschenwasserdurchfluss begrenzt werden, eben wegen dieser Kinder...!

3.8 Verbraucherkreisverteilung

Die zu ersetzende Anlage war wie viele WP-Anlagen, nämlich auf der Basis eines gemeinsamen Verteilers mit grossem Wärmespeicher, ab welchem alle Verbraucher erreicht werden. Dabei wird der Speicher auf konstante Temperatur (etwa 55 bis 60 °C) gehalten, und über Misch-, bzw. Einspritzgruppen werden die jeweiligen Verbraucher mit Wasser auf die richtige, selbstverständlich tiefere, Temperatur versorgt.

Die Konsequenzen sind:

- Einfacher und sicher Betrieb, durch laden und entladen des Speichers,
- Dafür aber muss die WP ständig eine sehr grosse Temperaturdifferenz überwinden, wodurch der Wirkungsgrad schlecht bleibt, und die Maschine stark belastet wird.

Mit dem neuen Hezwasserverteiler sollten diese Nachteile vermieden werden, denn die Verbraucherkreise wurden in Kategorien mit unterschiedlichen Bedürfnissen in Sachen Temperatur getrennt: Heizkreise (verschiedene Bodenheizungen, Lüftungsgeräte), Badewasserkreise (Schwimmbad, Whirlpool) und Brauchwasserkreis. Die Speisung jedes Verbraucherkreises wird durch Einschaltung der entsprechenden Umwälzpumpen gesichert, und je nach Bedarf werden eine oder zwei WP in Betrieb genommen.

Werden die Verbraucherkreise nacheinander gespiesen (sequentielle Versorgung), dann wird die höchste Energieeffizienz dank dem Betrieb der WP bei der tiefster notwendiger Temperatur ermöglicht. Damit werden Misch- und Speicherverluste zum grössten Teil vermieden.

3.9 Hezwasserverteilung unter den Verbrauchern

Daran wurde wenig geändert. Die alte Speisung des Schwimmbades und des Whirlpools aus diesem Heizkreis konnte sicherheitshalber jederzeit über Ventile wie vorher aus dem Speicher gesichert werden.

Über diesen sehr anlagespezifischen Teil werden wir hier nur sagen, dass wir durch eine Analyse der bestehenden Kreise feststellen konnten, dass Verbesserungen an vielen Orten in der ganzen Anlage eine gute Verbesserung im Energieverbrauch (Wärme, aber auch

Elektrizität) bringen konnte. Damit wurde auch als Ziel gesetzt, die effizientesten Massnahmen in Bezug auf Kosten-Nutzen-Verhältnis zu identifizieren und auszuführen. Dieser Teil der Arbeiten war mit demjenigen der Renovation der Wärmeproduktion eng verbunden. Beispielhaft ist in diesem Sinn der Ersatz einer Klimagerät-Wärmepumpe durch eine mit Solewasser aus dem Zwischenkreis gespiesene Kühlbatterie.

3.10 Messen, Steuern und Regeln

Jede Einheit der neuen WP kommt mit Regler und Elektroschrank mit ihren vielen Funktionen, davon:

- Direkte Speisung der Primärpumpen der drei Verbraucherkreise (Heizung, Warmwasser und Schwimmbad), das heisst bedarfs- und prioritätsabhängige Steuerung der Wärmelieferung an diese drei Verbraucher (Prioritäten: 1) WW-Speicher, 2) Heizspeicher, 3) Schwimmbadwasser),
- Ansteuerung der zwei Zwischenkreis-Umwälzpumpen,
- Ansteuerung der leistungsstarken, dreiphasigen Brunnenpumpe,
- Aussentemperaturabhängige Steuerung der Hauptspeichertemperatur,
- Schutz der WP gegen Quellwassermangel und -untertemperatur im Verdampfer, gegen Hezwassermangel und -übertemperatur im Kondensator.

Der Synchro-Boiler war mit einem Mikroprozessorregler ausgerüstet, der alle Funktionen zum sicheren Betrieb dieses Gerätes ebenfalls steuerte.

Es blieben wenige Funktionen, die noch eine Steuerfunktion bedürften: Leistungsniveau der Brunnenpumpe, direkte Steuerung der WP-Kompressoren bei der WW-Produktion.

An verschiedenen Stellen mussten noch gewisse Änderungen, vor allem Revisionen von defekten Regelungen, vorgenommen werden, wie:

- Revision der Regelungen der 3 Klimageräte,
- Steuerung der UWP der Entfeuchtungsbatterie,
- Änderungen an den Reglern der Schwimmbad- und Whirlpoolgruppen.

3.11 Betrieb

Für den Betrieb von Anlagen dieser Komplexität ist es notwendig, einen erfahrenen Fachmann für die Inbetriebsetzung und Betriebsoptimierung beauftragen zu können.

Im Sportzentrum konnte dies realisiert werden. Der Betriebchef der nahe gelegenen Bettmerhorn-Sesselbahn, akzeptierte, die Betriebsoptimierung, Pannenbehebung sowie die Zählerablesungen mit anschliessender Messwertzusammenstellung zu übernehmen. Im Kapitel 4 wird über die gesammelten Erfahrungen berichtet. Diese Erfahrungen und die guten Wirkungsgradwerte konnten nur dank dem erfahrenen und effizienten Einsatz von Herrn Anton Franzen, sowie der Motivation des Sportzentrumsbetreibers erreicht werden.

Aus dem Anlageschema ist ersichtlich, dass die Wärmeproduktion durch eine oder zwei WP parallel gesichert werden könnte. Mit der Zeit hat sich aber herausgestellt, dass die besten Resultate mit dem folgenden Schaltschema erreicht werden:

- die WP1 bedient die Warmwasserbereitstellung und die Schwimmbad- und Whirlpoolheizung, also die direkte Wärmeproduktion ohne Zwischenspeicherung, die im Winter sowie im Sommer stattfindet,
- die WP2 bedient die Raumheizung, das heisst die aussentemperaturabhängige Warmhaltung des 12'000 Liter fassenden Heizspeichers, dies nur während der Heizsaison.

Dafür werden die Ventile, die zwischen den Schwimmbad- und Raumheizungskreisen, geschlossen (nicht vollständig, damit die Druckhaltung in beiden Kreisen gewährleistet wird).

Bei den monatlichen Zählerablesungen, die im Hinblick auf die vorliegende Berichterstattung durchgeführt wurden, wurden nur Energiewerte aus den Zählern abgelesen. Es wurden daneben keine Lastkurvenmessungen gemacht, denn diese würden einen grossen Messaufwand für ihre Interpretation brauchen, wegen der Vielzahl an Verbrauchern. Jede Wärmepumpe ist mit zwei Verdichtern ausgerüstet: der interne Regler muss jederzeit einfach entscheiden, ob er mit einem oder zwei Verdichtern (halbe oder volle Leistung) fahren sollte, aufgrund des Signals des Rücklaufleitungs- oder Speicherfühlers. Dabei muss er noch nach jeder Abschaltung 20 Minuten bis zur nächsten Einschaltung warten, und noch den Verdichterlaufzeitausgleich nicht vergessen.

Da die WP 1 und 2 Wärme bei unterschiedlichen Temperaturen abgeben (aber bei einer praktisch konstanter Zwischenkreiswassertemperatur von etwa 0 bis 1 °C), wurden bei den Ablesungen Leistungen zwischen 60 und 66 kW, je nach momentaner Verbrauchkonfiguration, festgestellt. In der folgenden Tabelle werden die wichtigsten Geräte-Informationen für die verwendeten WP (Marke AEG zur Zeit der Renovation, Dimplex heute, Sole-Wasser Wärmepumpen, Typ SI 70CS) reproduziert.

Bestellkennzeichen	SI 70 CS	
Temperatur-Betriebsgrenzen:		
Heizwasser/Sole	°C	55/-5
Heizleistung/Leistungszahl bei Bo/W35 ³⁾	kW/–	67,8/4,1 ⁴⁾
	kW/–	37,2/4,4 ⁵⁾
Elektrische Leistungsaufnahme		
bei Bo/W35	kW	16,34 ⁴⁾
Kältemittel R407C	kg	12,0
Soledurchfluss (Wärmequelle)	m³/h	16
bei interner Druckdifferenz	mbar	125
Heizwasserdurchfluss	m³/h	6
bei interner Druckdifferenz	mbar	60
Abmessungen ⁶⁾	BxTxHcm	148x89x83
Gewicht (inkl. Verpackung)	kg	450

Dabei bedeuten z. B. Bo/W35 Wärmequellentemperatur 0 °C, Heizwasser-temperatur 35 °C. Solekreis bei -13 °C Sole-Einfrier temperatur. 3) Betrieb mit einem Verdichter. 4) Betrieb mit zwei Verdichtern. 5) Wärmepumpenmanager seriell integriert.

Tabelle 1: Geräte-Informationen über die verwendeten Wärmepumpen

Was den Kaltwasserverbrauch für die Entfeuchtung im Hauptlüftungsgerät anbelangt, wurde mit einer Spitzenkälteleistung von etwa 12 kW gerechnet. Es wurden aber aus Kostengründen keine Wärmezähler installiert. Diese Funktion wird nur im Winter eingesetzt, denn im Sommer wird das Entfeuchtungsproblem mit Hilfe eines hohen Anteils an Außenluft geregelt.

3.12 Kostenvergleich zwischen konkurrierenden Varianten

In der Ausführungsofferte, erstellt auf der Basis des Konzeptes, wurde ein Kostenvergleich zwischen verschiedenen konkurrierenden Varianten durchgeführt.

Die betrachteten Varianten deckten nur die Wärmeproduktion:

- “Neue WP”: Installation einer neuen Wasser-Wasser-WP,
- “Oel+Sonne”: Oelkessel plus Sonnenkollektoren,
- “Öl”: Heizkessel allein,
- “Alte WP”: Reparatur und diverse Verbesserungen an der alten WP,
- “Elektroheizung: nach der Havarie der alten WP musste die ganze Wärmeproduktion zuerst mit Strom und dann mit einer gemieteten Heizzentrale gedeckt werden.

Offerten wurden bei verschiedenen Firmen für die Bestimmung der Investitionskosten eingeholt. Das Ingenieurhonorar wurde auf etwa 60% des SIA-Wertes für das Jahr 2001 festgelegt. Die Zinskosten betragen 15% der Investition, entsprechend 3% während 10 Jahre auf die Hälfte (linearer Mittelwert) der Investitionssumme.

Unter Gutschriften versteht sich die Versicherungsdeckung für die Schäden an den WP sowie die Subventionen von Bund und Kanton. Investition minus Gutschrift ergibt für jede Variante die Nettoinvestitionskosten.

Dann wurden die Energiekosteneinsparungen bestimmt: in Bettmeralp ist Leichtöl teurer als im Tal, und wegen dem besseren Wirkungsgrad der neuen WP kann mit niedrigeren Stromkosten pro Wärmeeinheit gerechnet werden. In der Rubrik Energieverbrauch müssen die Kesselverluste berücksichtigt werden, und bei der Sonnenanlage die Sonnenenergie einbezogen werden.

Bei den Kosten für Serviceabonnement wurden die Servicekosten mit denjenigen der Weiterführung der alten WP verglichen.

Nach Berechnung der jeweiligen Jahreskosteneinsparungen, bezogen auf die Netto Investitionskosten konnten die Amortisationsdauer der verschiedenen Varianten bestimmt werden.

Auch wenn eine Rechnung dieser Art nur als Indikator betrachtet werden kann, wird damit bestätigt, dass unter den gegebenen Umständen (u.a. Subventionen) der Ersatz der WP die beste Variante in Bezug auf die Amortisationsdauer darstellte.

Die Variante “Neue WP” wurde damit dem Bauherrn zur Ausführung vorgeschlagen.

Kostenvergleich zwischen 4+1 Varianten für das Erholungszentrum Bachtla					
Kostenpunkt	Neue WP	Oel+Sonne	Oel	Alte WP	Elektroheizung
Wärmepumpenanlage mit 2 WP (134 kW)	127'000				
Änderungen Schwimmbadanlagen	114'000	114'000	114'000	114'000	
Oelkessel		57'000	57'000		
Sonnenanlage		130'000			
Kältekreisschutz				12'500	
Neue Steuerungsanlage				18'000	
Reparatur und Montage				18'500	
Ingenieurhonorar	46'800	56'340	35'400	25'080	
Zinskosten	51'450	63'000	36'150	17'100	
Unvorgesehenes	9'000	6'000	3'000	3'000	
Kosten brutto	348'250	426'340	245'550	208'180	
Versicherungsdeckung	-18'000	-18'000	-18'000	-18'000	
Subvention Bund für WP, bzw. Solar (geschätzt)	-75'000	-12'000			
Gutschriften	-93'000	-30'000	-18'000	-18'000	
Investitionskosten netto	255'250	396'340	227'550	190'180	0
Netto Wärmeproduktion pro Jahr [kWh]	500'000	500'000	500'000	500'000	500'000
Brennstoffverbrauch pro Jahr [kWh]	0	550'000	600'000		100'000
Stromverbrauch pro Jahr [kWh]	160'000	40'000	40'000	290'000	540'000
Mittlerer Brennstoftarif [Rp/kWh]		4.50	4.50		4.50
Mittlerer Stromtarif [Rp/kWh]	12.50	15.00	15.00	12.50	12.50
Brennstoffkosten [Fr]	0	24'750	27'000	0	4'500
Stromkosten [Fr]	20'000	6'000	6'000	36'250	67'500
Summe Energiekosten [Fr]	20'000	30'750	33'000	36'250	72'000
Energiekosteneinsparung pro Jahr	-52'000	-41'250	-39'000	-35'750	0
Serviceabo Wärmeverteilung	5'000	5'000	5'000	5'000	
Serviceabo Wärmeproduktion	0	1'500	1'500	10'000	
Serviceaboeinsparung pro Jahr	-10'000	-8'500	-8'500	0	
Summe Jahreskosteneinsparungen	-62'000	-49'750	-47'500	-35'750	
Amortisationsdauer	4.1	8.0	4.8	5.3	

Tabelle 2: Kostenvergleich zwischen konkurrierenden Varianten für die Wärmeproduktion

Bei der Kostenfrage muss man jedoch berücksichtigen, dass hier eine lokale, erneuerbare Ressource benutzt wird. Im Allgemeinen werden dafür sogar gewisse Mehrkosten akzeptiert.

In der Tat fielen die im Laufe der Ausführungsstudie bestimmte Kosten höher aus als in diesem Vergleich, was nicht erstaunlich ist, denn bei einer solchen Renovation wurden im Laufe der Studien viele neue Kostenfaktoren entdeckt.

Bei der Ausführung wurden aber die budgetierten Kosten im Grossen und Ganzen gehalten.

4. Hauptergebnisse

4.1 Einführung

Bei der behandelten Anlage bestehen die Ergebnisse einerseits aus gemessenen Wirkungsgradwerten der Wärmeproduktion und andererseits aus gesammelten Erfahrungen und Schlussfolgerungen bei der Konstruktion, Inbetriebsetzung und beim täglichen Betrieb der Anlage. Im vorliegenden Fall ist der zweite Teil mindestens so wichtig wie der erste; anders gesagt: damit solche Anlagen mit standardisierten Wärmepumpen als gültige Alternative für betriebliche Anwendungen ihren Weg finden, ist ein problemloser Betrieb ebenso wichtig wie gute Wirkungsgradwerte.

Wir beginnen also mit den allgemeinen Erfahrungen beim täglichen Betrieb, in der Form von Fragen und Antworten.

4.2 Allgemeine qualitative Betriebserfahrungen

Hat sich die gewählte Methode für die Wärmeentnahme aus dem Quellwasser bewährt ?

- Der Betrieb dieses Anlageteils war mit sehr wenigen Problemen behaftet,
- Kein Problem mit der Temperaturstabilität, auch wenn der Abstand zwischen Quellwasser-temperatur (3°C) und Vereisungstemperatur sehr eng ist,
- Am Anfang musste die Wasserrückführung in den Becken bis unter die Wasseroberfläche verlängert werden, um die Bildung von Wassertröpfchen und von resultierendem Kondenswasser gegen die Raumwände zu vermeiden,
- Nach etwa zwei Jahren Betrieb wurde der Zwischenwärmetauscher geöffnet und völlig sauber gefunden.

Wie hat die Frostschutzeinrichtung im Zwischenkreis ihren Dienst absolviert ?

- Bei Anlagen dieser Leistung stellt die kleine Menge an Glykolwasser des Zwischenkreises ein Problem beim Schutz gegen die Vereisung des Wärmetauschers im Falle eines Quellwassermangels dar: jeder Temperaturabfall muss schnell und sicher nachgewiesen werden, bevor die Glykolwassertemperatur zu weit unter Null Grad gefallen ist,
- Die gewählte Lösung, ein Kapillarrohrthermostat (langes Kapillarrohr eines Schutzthermostates gewickelt um die Sammelleitung am WP-Ausgang, und mit Außenisolierung versehen), der im Fall einer Temperaturunterschreitung sofort abschaltet, hat bis jetzt sehr gut funktioniert.

Welche Erfahrungen wurden beim Betrieb mit den WP gesammelt ?

- Der Betrieb mit einer so tiefer Temperatur im Verdampfer (unter -5°C) in einer Anlage mit einen so grossen Bedarf an Warmwasser (Austrittstemperatur um die 50°C) ist nicht besonders leicht für Wärmepumpen,
- Die WP haben immer effizient und präzis auf die verschiedenen in der Anlage aufgetretenen Probleme reagiert, und wurden dadurch sicher geschützt,
- Nach jeder Zwischensaison muss das Schwimmbadwasser von 4 auf 28°C aufgeheizt werden: um zu tiefe Temperaturen im Kondensator zu vermeiden (mit resultierender WP-Abschaltung), müssen dann am Anfang der Aufheizung die verschiedenen Verbraucher nicht nacheinander, sondern in Handsteuerung parallel bedient werden. Damit wird eine nicht zu tiefe mittlere Temperatur im Heizkreis der WP erreicht.

Welche Erfahrungen wurden bei der Lastfolge gemacht ?

- Der Wärmebedarf im Hallenbad Bachtla kennt sehr starke Schwankungen, denn am Wochenende können bei schlechtem Wetter plötzlich 200 bis 250 Personen diese Badanlage besuchen: außerdem können sehr starke Außentemperaturschwankungen

(man befindet sich bei 2'000 MüM) zwischen Tag und Nacht festgestellt werden. Die WP und der aktive Boiler haben stets die notwendige Leistung erbracht. Die direkte Verbindung zwischen WP-Kondensator und Duschenwasser über dem Boilerwärmetauscher von 150 kW haben es ermöglicht, in jeder Saison etwa 4 m³ pro Stunde Warmwasser mit 38°C aus 4°C Kaltwasser zu produzieren.

Welche Erfahrungen wurden mit dem Speicher gemacht ?

- Die WP prüft die Temperatur des Wassers in der Rücklaufleitung zum Kondensator, und hält diese auf die aussentemperaturabhängige Zieltemperatur.
- Der grosse, vor der Renovation bereits bestehende Speicher (12 m³ Heizwasser), muss nicht mehr das ganze Jahr auf die maximale Temperatur gehalten werden, denn seit dem Ersatz der Schwimmbeckenwasser- und Whirlpoolwasserwärmetauscher genügt Heizwasser mit weniger als 40°C für die Warmhaltung dieser Verbraucher.

Welche Erfahrungen wurden mit dem aktiven Boiler gemacht ?

- Damit der aktive Boiler der Anlage mit der Wärmepumpe arbeiten konnte, musste der Betreiber, Herr Franzen, die Eckwerte der Regelung für den Betrieb mit einer WP versuchsweise ermitteln. Dabei wurde festgestellt, dass das Paar WP-aktiver Boiler sehr gut mitarbeiten kann. Dies weil die WW-Leistung im Boiler dem Bedarf konstant durch Einstellung von zwei Mischventilen angepasst wird: die Anpassung führt dazu, dass je höher die benötigte Leistung im Boiler, desto tiefer stellt sich die Vorlauftemperatur ein. Diese Arbeitsweise ergibt gute Arbeitszahlen bei der Warmwasserproduktion.
- Damit dieses Paar richtig funktioniert, müssen beide Geräte möglicherweise nebeneinander installiert werden. In Bachtla musste eine grössere Entfernung, etwa 10 Meter, gehalten werden. Dadurch mussten alle Steuerungstemperaturen mit einem Sicherheitsabstand festgelegt werden, und dadurch wurde die verfügbare Temperaturspreizung enger, und die Energiereserve im Boiler kleiner.
- Zudem ist es notwendig, für den guten Betrieb des aktiven Boilers, den Kaltwasserdurchsatz hydraulisch auf die Kapazität des Wärmetauschers zu begrenzen. Auf dem Markt findet man kostengünstige passive Durchflussbegrenzer (z.B. Ticodos Dosierventile).
- Der aktive Boiler ist das einzige Gerät, das bei sehr grossen Duschenwasserverbräuchen den Bedarf stundenlang halten kann, denn er ändert dann seine Schaltung und produziert WW ab der Stange, ohne Zwischenspeicherung.
- Der aktive Boiler von Domotec hat sich jahrelang als ein sehr effizientes und verlässliches Gerät erwiesen.

Welche Erfahrungen mit der so einfach wie möglich gehaltenen MSR-Anlage ?

- Zur Zeit der Renovationsarbeiten hat man aus verschiedenen, vor allem finanziellen, Gründen auf eine SPS verzichtet.
- Dadurch hat man mit Hilfe von vielen Schaltuhren, Relais, Thermostaten, Temperaturregler, usw. die Steuerung der Anlage dezentral und unkoordiniert durchführen müssen, mit viel Zeitverlust für die betriebsverantwortlichen Personen bei der Pannensuche, bei den Einstellungen und den Hardwareänderungen.
- Heute würden wir bei einer solchen Renovation allenfalls wesentlich stärker automatisieren, um die Prozessübersicht und -eingriffsmöglichkeiten zu verbessern, und auch um die ganze Anlage aus der Ferne überwachen und einstellen zu können.
- Dies wäre heute viel leichter durchführbar als zurzeit, denn die Programme und SPS-Geräte im Bereich Haustechnik sind viel einfacher und effizienter geworden.
- Ein weiterer wichtiger Aspekt muss noch berücksichtigt werden: bei der Planung einer SPS muss der Planer im Voraus viel tiefere Gedanken über die möglichen Betriebszustände der Anlage entwickeln. Dadurch werden sowohl die Inbetriebsetzung als auch die Optimierung der Anlage dank besserer Vorbereitung wesentlich gekürzt.

Welche sind die betrieblichen Erfahrungen bezüglich Lärmemissionen, Störanfälligkeit, Unterhalt und Bedienungsaufwand ?

- Lärm: kein Problem mit gekapselten Einheiten, die wesentlich leiser als Kolbenkompressoren laufen, weil für den Einsatz in Privathäusern gebaut,
- Störanfälligkeit: bei richtig eingeregelter Anlage laufen diese WP jahrelang ohne irgendwelche Störungen,
- Unterhalt: seit der Inbetriebsetzung (über 3 Jahre) wurden für die beiden WP überhaupt keine Unterhaltsarbeiten durchgeführt, und es sind keine geplant.

Haben sich allgemein gültige planerische Aspekte ergeben ?

- Nutzung der Wärme aus dem Quellwasser: bei so kleinen Temperaturunterschieden zwischen Ein- und Austritt Quellwasser (es werden 120 kW aus 3°C-Wasser entnommen) musste ein System gefunden werden, mit dem ein sehr sicher Betrieb erreicht wird,
- Flexibilität ist bei Anlagen an entfernten Ortschaften von Vorteil, damit ohne externen Eingriff provisorische Konfigurationen sicher gefahren werden können.

Sind noch Verbesserungen in der Anlage im Sinne eines optimalen Zusammenwirkens aller Komponenten möglich ?

- Bei der hydraulischen Schaltung wurde in dieser Hinsicht das Wesentliche ausgeführt. Als nächste Etappe käme bestimmt eine "intelligenter" Steuerungsanlage in Frage.

4.3 Quantitative Betriebsergebnisse

Als Resultate gelten auch, wie bereits gesagt, die energetischen Leistungen der Anlage im Bereich der Wärmeproduktion.

Definition: es wird die Netto-Leistungszahl der Wärmepumpenanlage für die quantitative Beurteilung angewendet: diese Leistungszahl ist das Verhältnis zwischen der durch die WP produzierte Wärme und dem dafür verbrauchte Strom. Man berücksichtigt dabei den Verbrauch der beiden WP sowie denjenigen der Umwälzpumpen und Hilfsantriebe.

Im Anlageschema werden die betrachteten Geräte markiert.

Erhebungsmethode: Die Tabelle enthält ein Messstellenverzeichnis mit Abschätzung der Genauigkeit der erhobenen Messwerte. Da die bei dieser Anlage verwendeten Zähler keine Fernablesung ermöglichen, mussten regelmässige Ablesungen durchgeführt werden. Während der Optimierungsperiode wurden diese im wöchentlichen Zyklus durchgeführt, und es wurde am Ende dieser Periode auf einen monatlichen Rhythmus übergegangen.

Parameter	Einheit	Zählertyp	Zähler-modell	Hersteller	+/-
Wärmemenge Ausgang WP1	kWh	Wärmezähler mit Mehrstrahl-volumenmessteil	MTW-VF 1.5"	GWF	3%
Wärmemenge Ausgang WP2	kWh	Wärmezähler mit Mehrstrahl-volumenmessteil	MTW-VF 1.5"	GWF	3%
Stromverbrauch WP1 und UWP	kWh	Elektronischer Stromzähler		EMU	2%
Stromverbrauch WP2 und UWP	kWh	Elektronischer Stromzähler		EMU	2%

Tabelle 3: Liste der für die Erstellung der monatlichen Energiebilanzen verwendeten Wärme- und Stromzähler

Betriebsergebnisse: diese werden in der Tabelle zusammengestellt. Die einzige durchgeföhrten arithmetischen Operationen sind Summenbildungen für die Bestimmung der Verbräuche und Quotienten für die Berechnung der WP- Leistungszahl. Bei dieser letzten Operation werden die relativen Ungenauigkeiten summiert. Das heisst, dass die Leistungszahl

mit Ungenauigkeiten im Bereich von über 5% behaftet ist, und dass der Mittelwert von 3.0 in der Tat zwischen etwa 2.9 und 3.1 sich befinden könnte.

Über diese Frage der Genauigkeit der berechneten Werte der Leistungszahl muss noch folgendes gesagt werden:

- Die durch die beiden WP produzierte Wärme wird auf verschiedene Temperaturen (WW, Schwimmbadheizung und Raumheizung) erzeugt,
- Der Jahresbedarf bei jeder dieser drei Kategorien hängt von vielen Faktoren: Heizgradtagen, Schwimmbad-Besucherzahl, mittlere Sommertemperatur, usw. ab,
- Damit ist klar, dass die mittlere jährliche Leistungszahl von solchen Faktoren stark beeinflusst werden kann,
- Auch wenn die Größenordnung der Genauigkeit der Zähler und der Leistungszahlbestimmung ermittelt werden muss, ist es klar, dass unsichtbare und unkontrollierbare Faktoren diesen Mittelwert von Jahr zu Jahr doch beeinflussen können.

Energiewirkungsgrade der Wärmepumpen: die Leistungszahl, die diesen Wirkungsgrad darstellt, wird aus den monatlichen Werten der produzierten und verbrauchten Energien einfach so abgeleitet: die Leistungszahl resultiert aus dem Verhältnis der produzierten Wärme zum eingesetztem Strom, über eine gegebene Zeitspanne (Stunde, Tag, Woche, usw.).

Diese Werte der produzierten Wärme und des eingesetzten Stromes, siehe folgendes Bild, werden im Sportzentrum eines hochgelegenen Feriendorfes durch die zwei Zwischensaison-Monate (Mai/Juni und Oktober/ November) stark beeinflusst. Diese Werte zeigen auch wie aus einer Einheit Strom drei Einheiten Heizwärme dank der Entnahme von zwei Einheiten Wärme aus dem Quellwasser produziert werden.

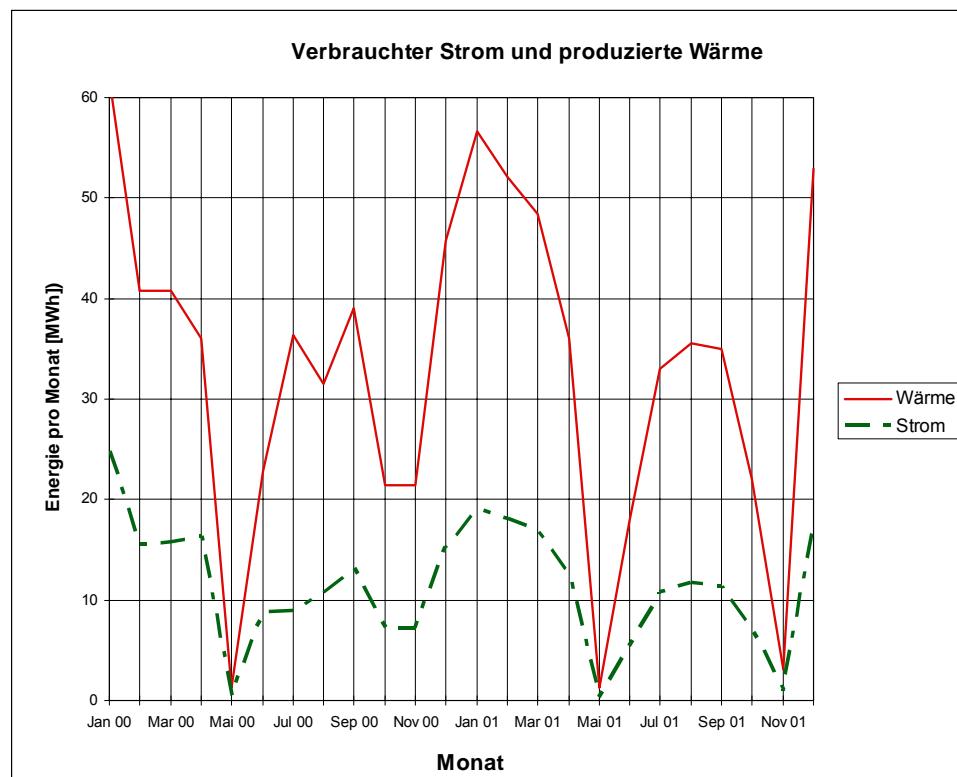


Bild 4: In der WP-Anlage verbrauchter Strom und produzierte Wärme pro Monat, Jahre 2000 und 2001

Die daraus berechnete mittlere monatliche Leistungszahl zeigt tiefere Werte während der Inbetriebsetzung, stabilisiert sich später und erreicht ein Jahremittel von 3.0, wie das folgende Bild zeigt. Dieser Wert entspricht genau dem, was vom BEW erwünscht wird. Es darf aber nicht vergessen werden, dass im vorliegenden Fall einerseits die Wärmequelle über das

ganze Jahr eine sehr tiefe Temperatur aufweist, und andererseits dass die Verbraucher zeitlich stark variierende Temperaturen und Leistungen verlangen.

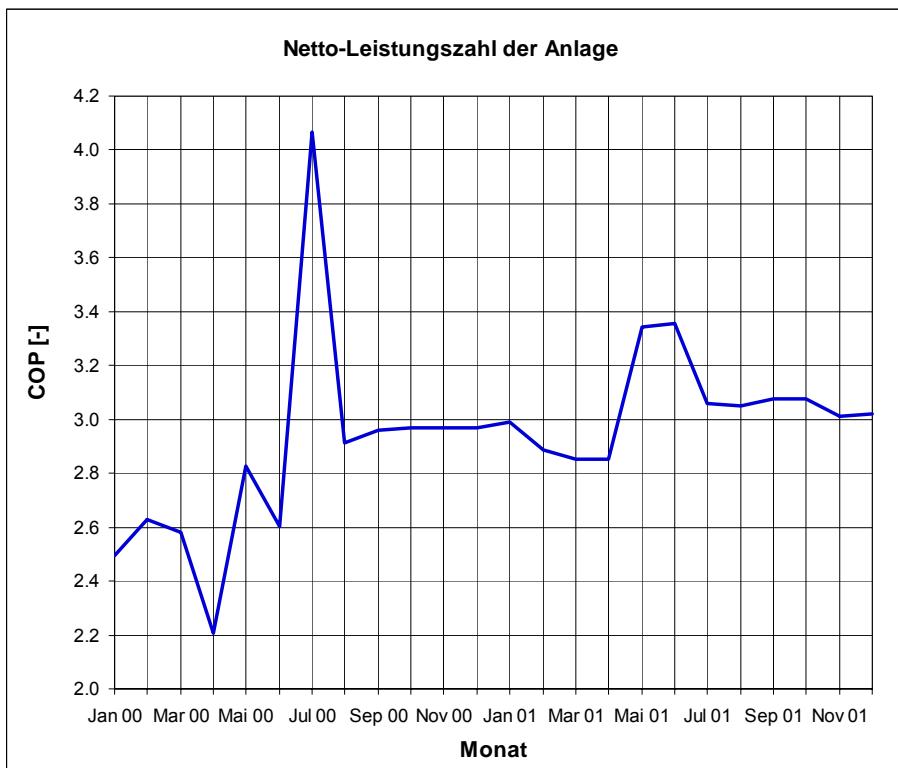


Bild 5: netto monatliche Leistungsziffer der Wärmepumpenanlage, Jahre 2000 und 2001

4.4 Verschiedenes

Ungelöste Probleme: für uns bleibt mindestens ein Problem ohne Lösung. Es betrifft die Wärmerückgewinnung: eine WP-Anlage dieser Art eignet sich besonders dafür, die Wärme aus den Duschen-, Küchen-, Filtereinigungsabwasser rückzugewinnen. Leider war es im heutigen Zustand in Sportzentrum Bachtla nicht möglich, diese zu verwirklichen, denn die Abwasserleitungen aus den verschiedenen Emissionsorten vereinigen sich an mehreren Orten in den Gebäudemauern.

Weiterverwendung der Ergebnisse: vor allem die WP-Hersteller sollten bekannt geben, dass die standardisierten WP sich sehr gut für Anwendungen bei Anlagen in den Bereichen des Gewerbes, der Dienstleistungsunternehmen und des Tourismus eignen, das heisst dass die bei Betreibern erwarteten Leistungen bezüglich Funktionssicherheit und Nutzungs-wirkungsgrad tatsächlich und auf die Dauer erreicht werden.

Bedeutung für Praxis und Wissenschaft: die Hersteller sollten mehr denn je die WP-Regelungen mit neuen Funktionen versehen, um innovative Anwendungen für die standardisierten Wärmepumpen zu ermöglichen. Hier denken wir unter anderem an die simultane Erzeugung von Kälte und Wärme, die aufgrund von verschiedenen hydraulischen Schaltungen möglich ist.

4.5 Schlussfolgerung

Insgesamt hat diese Untersuchung gezeigt, dass standardisierte Wärmepumpen selbst unter rauen Bedingungen ihren Dienst mit hoher Verlässlichkeit und Effizienz jahrelang verrichten können.