

DIS-Projekt Nr. : 44714
DIS-Vertrags Nr. : 86975
ENET-Nr. : 240027

Umgebungswärme, WKK, Kälte
Pilot- und Demonstrationsanlagen

Im Auftrag des
Bundesamtes für Energie

Zwischenbericht Januar 2004

EWS – WP des **Studienzentrums Gerzensee/BE**

ausgearbeitet durch
Kuhn Peter
Vaterlaus AG
Erlenauweg 6, 3110 Münsingen

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

Zusammenfassung

Im Studienzentrum der Schweizerischen Nationalbank in Gerzensee wurden die reparaturanfällig gewordenen Luft- Wasserwärmepumpen mit 180 kW Leistung durch zwei Grosswärmepumpen mit je 120 kW Leistung und Erdsonden als Wärmequelle ersetzt. Die Erdsondenanlage soll im Sommer zudem noch zur Kühlung des grossen Mehrzwecksaales eingesetzt werden. Der Ölheizkessel, der die gesamte Wärmeversorgung zu 100% absichert wurde ebenfalls saniert.

Da Wärmepumpenanlagen mit Erdsonden in dieser Grössenordnung selten sind, soll durch dieses Demonstrationsprojekt einer interessierten Bauherrschaft aufgezeigt werden, dass die Technologie einwandfrei funktioniert und energetisch sinnvoll ist. Weiter soll der Interessierte über die Kosten solcher Anlagen informiert werden. Diese Angaben sollen helfen, dass grosse Erdsondenanlagen vermehrt realisiert werden.

Der hier vorliegende Zwischenbericht soll zeigen, dass die Ziele erreicht werden können und eine Fortsetzung der Messungen im bisherigen Umfang sinnvoll ist. Da der Messbeginn am 01.02.2002 erfolgte sind zum Zeitpunkt des Zwischenberichtes noch nicht alle erforderlichen Daten vorhanden. Daher sind gewisse Auswertungen als Abschätzungen mit einer Genauigkeit von 15% zu verstehen.

Die Energieeffizienz der Anlage wird auf zwei verschiedenen Wegen nachgewiesen. Als erstes wird der Energieverbrauch der neuen Anlage anhand der Stromrechnungen und des Ölverbrauchs für den Zusatzheizkessel mit den Werten vor der Sanierung und mit dem Verbrauch einer konventionellen Ölheizung verglichen.

Weiter werden spezifische Anlagekenndaten errechnet und mit Projektvorgaben oder mit Herstellerangaben überprüft.

Die in Gerzensee getätigten Investitionen werden mit den notwendigen Baunebenkosten dargestellt. Zudem werden die spezifischen Anlagekosten der Erdsondenwärmepumpe in Rp./kWh errechnet. Darin sind neben den Kosten für die Energie die Kapital- sowie die Unterhalts- und Wartungskosten enthalten. Beide Werte werden auch für eine konventionelle Ölheizungsanlage errechnet.

Die Energieeinsparung gegenüber der alten Luft- Wasserwärmepumpenanlage ist eindrucksvoll. Der Gesamtenergieverbrauch für Heizung, Warmwasserbereitung und für die Lüftungsanlagen konnte um 53.8% gesenkt werden. Der Ölverbrauch reduzierte sich von 34'800 ltr auf 6'600 ltr, was einer Reduktion von 81% entspricht. Trotz der grossen Substitution von Erdöl durch die Wärmepumpe konnte auch der Stromverbrauch um 8% gesenkt werden. Die spezifischen Anlagekosten der Erdsondenwärmepumpe sind mit 18.5 Rp/kWh im Vergleich zu den 9.94 Rp/kWh der konventionellen Vergleichsanlage fast doppelt so hoch. Die hohen Investitionskosten lassen sich mit der Energieeinsparung nicht wettmachen.

Als erste der Anlagekenndaten wurde der COP- Wert der beiden Wärmepumpen überprüft. Bei einer mittleren Soletemperatur von 9.4°C über das Jahr und bei einer Kondensatoraustrittstemperatur von 50°C wurden für WP1 ein COP von 3.26 und für WP2 ein Wert von 3.57 ermittelt. Gemäss Herstellerangaben sollte bei B0W50 ein COP- Wert von 3.1 erreicht werden. Im grossen und ganzen wurden die Herstellerangaben erreicht. Auffallend sind die Unterschiede zwischen den beiden Wärmepumpen. Neben Messfehlern sind Fertigungstoleranzen von 3% der Kompressoren sowie unterschiedliche Kältemittelfüllungen die mögliche Ursache. Das Problem wird beim nächsten Servicegang vom Hersteller überprüft.

Ein Ziel der Sanierung war, möglichst viel Öl durch umweltfreundlichere Energie zu ersetzen. Daher sollt der Anteil der Wärmepumpe an der Gesamtenergieproduktion möglichst gesteigert werden. Dieses Ziel konnte mit der Steigerung des Wärmepumpen-deckungsgrades von 50.6% auf 90.6% ebenfalls erreicht werden. Ziel ist ein Deckungsgrad von 95%. Dies sollte nach der definitiven Inbetriebnahme des Leitsystems Ende Oktober 2003 und der damit verbundenen Optimierung der Regulierung möglich sein. Die Anlage funktionierte bisher weitgehend störungsfrei.

Résumée

Dans le centre d'étude de la Banque nationale Suisse à Gerzensee, l'ancienne pompe à chaleur air/eau de 180 kw puissance, a du être remplacé par deux grandes pompes à chaleur de 120 kw chacune et de sondes géothermiques comme sources de chaleur. En été cette installation à sondes géothermiques doit en outre refroidir le grand hall à usages multiples. La chaudière pétrolière, qui assume et assure l'approvisionnement de chaleur à 100%, a également du être assaini.

Des pompes à chaleur a sondes géothermiques d'une telle grandeur sont rares. Ce projet démontre envers de maître d'ouvrage intéressés, que la technologie fonctionne parfaitement et ceci d'une manière énergétiquement raisonnable. De plus, l'intéressé doit être informé concernant les frais d'une telle installation. Ces indicateurs doivent aider et animer à réaliser plus d'installations à sonde géothermiques de telle grandeur.

Ce rapport intérimaire doit montrer, que de tels buts peuvent être atteints et qu'une suite des mesures dans l'envergure précédente est raisonnable. Le soulèvement des mesurés à débuté le 01.02.2002, c'est pour cela q'au moment du rapport intérimaire, pas toutes les dates nécessaires ont pu être pris en considération. Donc il faut comprendre certaines évaluations comme estimations avec une précision de 15%.

L'efficacité énergétique de l'installation est attestée par deux différentes manières. Premièrement il faut estimer le besoin d'énergie de l'installation neuve, par reprise des notes d'électricité et du besoin de pétrole pour la chaudière additif, comparé avec les valeurs avant l'assainissement et également comparé au besoin d'un chauffage pétrolier conventionnel. De suite, on réexamines les données spécifiques calculées pour l'installation selon les normes du projet ou avec les données du fabricant.

Les investissements réalisés à Gerzensee sont représentés avec les frais pour des installations électrique et les dépenses pour les travaux d'architecte. En outre, les frais d'installation spécifiques de la pompe à chaleur à sonde géothermiques sont calculés au centime/kWh. Ces deux valeurs sont aussi calculées pour un chauffage pétrolier conventionnel.

L'économie d'énergie par rapport à l'ancienne pompe à chaleur air/eau est impressionnante. Le besoin d'énergie total pour chauffage, préparation d'eau chaude et pour les installations d'aération pouvait être abaissée de 53.8%. Le besoin de pétrole a pu être réduit de 34'800 litres à 6'600 litres, ce qui correspond à une réduction de 81%. Malgré la grande substitution du pétrole par la pompe à chaleur, le besoin d'énergie électrique pouvait également être abaissée de 8%.

Les frais spécifiques de l'annexe de la pompe à chaleur sont presque doublement si élevés avec 18.5 centime/kWh par rapport aux 9.94 centime/kWh de l'installation de comparaison conventionnelle. Les investissements élevés ne peuvent pas être compensés avec l'économie d'énergie.

La première valeur caractéristique assignée de l'installation réexaminée, a été la valeur COP des deux pompes à chaleur. Avec une température de saumure moyenne de 9.4°C sur l'année et avec une température de départ de condenseur de 50°C on détermine pour WP1 un COP de 3.26 et pour WP2 une valeur de 3.57. Selon les données du fabricant, une valeur COP de 3.1 devrait être atteinte chez B0W50. En tout, les données du fabricant ont été atteintes.

Surprenant sont les différences entre les deux pompes à chaleur. Les causes possibles sont des erreurs de mesure, de tolérances de fabrication de 3% chez les compresseurs et des remplissages de réfrigérant différents. Le problème va être réexaminé au cours de la prochaine maintenance par le fabricant.

Un objectif de l'assainissement était de remplacer autant que possible l'huile par une énergie plus écologique. C'est pourquoi on doivent si possible augmenter la capacité de la pompe à chaleur pour la production de l'énergie. Cet objectif pouvait également être atteint avec l'augmentation du degré d'efficacité des pompes à chaleur de 50.6% à 90.6%. L'objectif est un degré d'efficacité de 95%. Cela devrait être possible après la mise en œuvre définitive du système de régulation fin octobre 2003 et liée à cela le perfectionnement du réglage. L'installation a fonctionné jusqu'à présent sans difficulté considérable

Summary

In the study center of the Swiss central bank at Gerzensee (Switzerland), eight air-water heat pumps with a total heating capacity of 180 kW were replaced by two ground-coupled heat pumps of 120 kW heating capacity each. The earth probes are built in vertically and are additionally used for free cooling during summer season. For peak-load and back up, an oil-fired boiler was used which also has been replaced for higher energy efficiency.

Since heat pumps with earth probes are rare in this order of magnitude, a project was established to investigate the behavior of the new plant. The measurements showed a perfectly working plant reaching the expected energy savings.

The energy efficiency of the plant is proved by two different ways. Firstly, the energy consumption of the new heating system is evaluated on the base of the electricity bills and the oil consumption for the auxiliary boiler and is compared with the values before the conversion and also with the energy consumption of a conventional oil heating system. Secondly, certain specifications were measured and compared with layout and manufacturers data.

The investments as well as the running costs of the heating system are presented along with necessary expenses for electrical installations and building adaptations.

The energy saving improvements compared to the former air-water heat pump system are impressive. Total energy consumption for heating, domestic hot water production and for ventilation systems could be lowered by around 54%. The oil consumption is reduced from 34'800 ltr/a to 6'600 ltr/a, which corresponds to a reduction of 81%. Despite of the large substitution of oil by the heat pump the current electricity demand could be lowered by around 8%.

As the first measure, the coefficient of performance (COP) of the two heat pumps was examined. At an average earth temperature of 9.4°C over the year and with a condenser outlet temperature of 50°C, for the first heat pump a COP of 3.26 and for the second one a value of 3.57 were determined. In accordance with manufacturers data a COP of 3.1 should be achieved with B0/W50. On the whole the manufacturers data were reached.

A goal of the renovation was to reduce the air pollution by replacing oil as much as possible by more pollution free energy. This goal could be achieved by the increased heating capacity of the heat pumps. They cover now 90.6% of the annual heating demand compared to 50.6 % of the old configuration. The plant functioned trouble-free apart from a few minor exceptions.

Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung	2
Résumée	4
Summary	6
Inhaltsverzeichnis	7
1. Ausgangslage	9
1.1 Studienzentrum Gerzensee	9
1.2 Bestehende Heizungsanlage	10
1.3 Energieverbrauch der bisherigen Anlage	11
1.3.1 Stromverbrauch	11
1.3.2 Ölverbrauch	12
1.3.3 Deckungsgrad Luft- Wasserwärmepumpen	12
1.4 Sanierung der Anlage	12
1.5 Sanierungskonzept	13
1.5.1 Vorgaben der Bauherrschaft, Beurteilung der bestehenden Anlage	13
1.5.2 Sanierungskonzept	13
2. Ziel der Arbeit	16
3. Lösungsweg	18
3.1 Messdatenerhebung	18
3.2 Auswerten der Messdaten	20
3.3 Nachweis der Energieeffizienz	21
3.3.1 Übersicht anhand der Stromrechnungen und des Ölverbrauchs	21
3.3.1.1 Vergleichsgrundlage	21
3.3.1.2 Energieverbrauch nach erstem Betriebsjahr	21
3.3.1.3 Vergleich mit konventioneller Oelheizung	22
3.3.1.4 Anlagekenndaten	23
3.3.2 Kontrolle einzelner Anlageteile anhand der Messungen	24
3.3.2.1 COP der Wärmepumpen	24
3.3.2.2 Deckungsgrad der Wärmepumpen	25
3.3.2.3 Nutzungsgrad des Oelheizkessels	25
3.4 Kostenvergleich zu konventioneller Anlage	26
3.4.1 Systemgrenzen	26
3.4.2 Grössenordnung der Investitionskosten für Bauherr	26
3.4.3 Kosten einer konventionellen Vergleichsanlage	27
3.4.4 Kosten pro kWh Nutzwärme	27
3.5 Betriebliche Erfahrungen mit der Anlage	28
3.6 Planerische Aspekte	29
4. Hauptergebnisse	30
4.1 Nachweis der Energieeffizienz der Anlage	30
4.1.1 Abschätzen der Energieeinsparung anhand der Verbrauchszahlen	30

4.1.2 Kontrolle einzelner Anlageteile anhand der Messungen	33
4.1.2.1 COP der Wärmepumpen	33
4.1.2.2 Deckungsgrad der Wärmepumpen	35
4.1.2.3 Nutzungsgrad der Ölheizung	36
4.2 Kostenvergleich zu konventioneller Vergleichsanlage	36
4.2.1 Investitionskosten der Anlage in Gerzensee	37
4.2.2 Kosten einer konventionellen Vergleichsanlage	38
4.2.3 Spezifischer Energiepreis in Rp./kWh der Wärmepumpenanlage	39
4.2.4 Spezifischer Energiepreis der Vergleichsanlage	40
4.3 Betriebliche Erfahrungen nach dem 1. Betriebsjahr	41
5. Beurteilung der Ergebnisse	43
5.1 Energieeffizienz der Anlage	43
5.1.1 Entwicklung des Energieverbrauchs	43
5.1.2 Kontrolle von einzelnen Anlagekomponenten	44
5.1.2.1 COP der Wärmepumpen	44
5.1.2.2 Deckungsgrad der Wärmepumpe	45
5.2 Kostenvergleich zu konventioneller Anlage	46
6. Noch offene Probleme	48
7. Vorschlag für weiteres Vorgehen	49
8. Symboverzeichnis	50
9. Anhang	51

1. Ausgangslage

Im Studienzentrum der Schweizerischen Nationalbank in Gerzensee sollte die bestehende Wärmeerzeugung ersetzt werden. Ziel der Sanierung war bei gleichbleibender Versorgungssicherheit eine wesentliche Energieeinsparung. Zusätzlich sollte der Mehrzwecksaal im Obergeschoss des Schlossgutes im Sommer gekühlt werden.

1.1 Studienzentrum Gerzensee

Das Studienzentrum in Gerzensee wird als Tagungs- und Kurszentrum genutzt. Es ist eine Stiftung der Schweizerischen Nationalbank.

Es besteht aus total vier Gebäuden. Drei davon werden von der zu sanierenden Wärme pumpenanlage aus mit Wärme versorgt:

- Unterkunftsgebäude mit 52 Zimmern	EBF 2'150 m ²
- Stöckli mit einer Gästewohnung, Waschküche, technische Räume	EBF 250 m ²
- Schlossgut mit Tagungsräumen, Restaurant, Cafeteria	<u>EBF 2'500 m²</u>
Total	<u>EBF 4'900 m²</u>

Das Schloss mit Tagungsräumen und Verwaltung wird mit einer separaten Heizungsanlage betrieben



Bild 1: Neue Cafeteria im Schlossgut mit dem Stöckli

1.2 Bestehende Heizungsanlage

Die vorhandene Heizungsanlage besitzt eine komplexe Hydraulik. Sie besteht aus einer Hauptzentrale, zwei Unterstationen und einer Lüftungszentrale.

Hauptenergiezentrale

In der Hauptzentrale neben der Autoeinstellhalle ist die Wärmeerzeugung untergebracht. Die Energie für Heizung und Brauchwarmwasser wird mit 8 Luftwasserwärmepumpen mit je 22.5 kW Heizleistung bei A-8W45 und einem Oelheizkessel mit 360 kW Leistung erzeugt. Die Wärme wird über zwei parallel geführte Fernleitungsnetze an die Unterstationen verteilt. Eine Wärmeverteilung wird mit konstanter Temperatur betrieben. Sie dient der Warmwasserbereitung und versorgt die Luftheritzer der Lüftungsanlagen mit Wärme. Über das andere Fernleitungsnetz mit variablen Vorlauftemperaturen werden die Raumheizungsgruppen mit Energie beliefert.

Hydraulik in der Hauptzentrale

Die Hydraulik in der Hauptenergiezentrale ist in drei Bereiche aufgeteilt:

- *Fernleitungsgruppe für konstante Temperatur.* Diesem Bereich sind fest 3 Wärme-pumpen zugeteilt, die ihre Wärme an einen Pufferspeicher mit 5'000 ltr Inhalt abgeben.
- *Fernleitungsgruppe für variable Temperatur.* In diesen sind fest 5 Wärmepumpen mit einem Pufferspeicher von ebenfalls 5'000 ltr Inhalt eingebunden. Die 3 Wärme-pumpen des Bereiches für konstante Temperatur können über eine Umschalteregelung ebenfalls für den variablen Teil benutzt werden.
- *Oelheizkessel.* Dieser gibt seine Wärme an einen Speicher von 5'000 ltr Inhalt ab. Bei Bedarf wird dem Speicher Wärme entnommen und den beiden vorstehenden Fern-leitungsgruppen beigemischt.

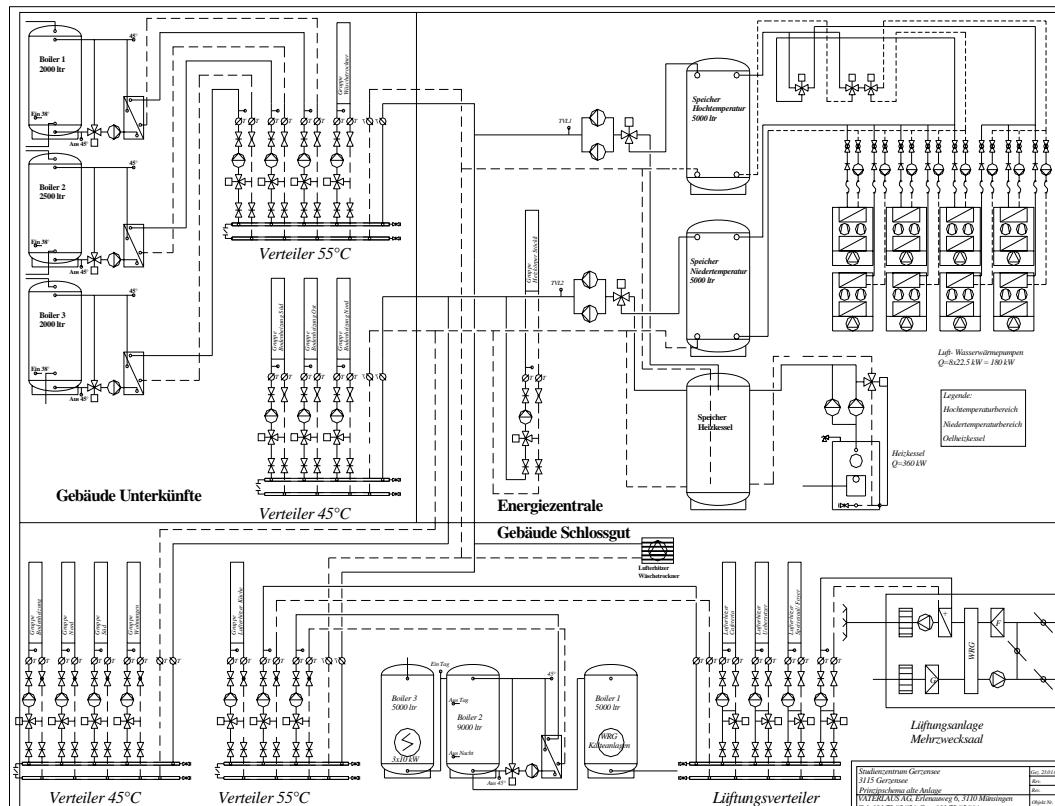


Bild 2: Prinzipschema der Anlage vor der Sanierung

Unterstation Unterkünfte

Diese Unterstation dient der Versorgung des Unterkunftsgebäudes mit den 52 Hotelzimmern mit Heizungswärme und Brauchwarmwasser. Das Unterkunftsgebäude ist in einen Nord, - Süd und Ostflügel unterteilt.

Raumheizung: Die Wärmeverteilung besteht aus einer Bodenheizung und ist für jeden der 3 Trakte mit einer separaten Heizgruppe ausgerüstet. Der Heizverteiler für die Raumheizung wird ab der Fernleitung für variable Temperaturen mit Wärme versorgt.

Warmwasserbereitung: Pro Trakt ist fest ein Warmwasserspeicher zugeordnet. Diese werden über Plattenwärmetauscher mit einem externen Ladekreislauf aufgeheizt. Die Speicher haben ein Volumen von 2'000 bis 2'500 ltr. Die Aufheizung der Boiler erfolgt ab der Fernleitungsgruppe für konstante Temperaturen.

Unterstation Schlossgut

Das Schlossgut mit den Gastronomie- und Kursräumen wird ab dieser Unterstation mit Wärme und Warmwasser versorgt.

Raumheizung: Die Wärme für die Raumheizung wird mit einer Bodenheizung und mit Niedertemperaturheizkörpern an die Räume abgegeben. Die Wärmeverteilung ist in total 4 Heizgruppen unterteilt. Der Heizungsverteiler für die Raumheizung wird ab der Fernleitungsgruppe für variable Temperaturen mit Energie beliefert.

Warmwasserbereitung: Die Brauchwassererwärmung erfolgt in drei Stufen. Das kalte Wasser wird als erstes in einem WRG- Boiler mit 5'000 ltr Inhalt auf ca. 38°C vorgewärmt. In diesem wird die Abwärme aus den Kälteanlagen der Kühlräume genutzt. Als zweite Stufe wird in einem Speicher mit 9'000 ltr Inhalt das Wasser ab der Heizungsanlage auf ca. 45°C nachgewärmt. Die Aufheizung erfolgt wie im Unterkunftsgebäude über einen externen Plattenwärmetauscher. Als letzte Stufe wird das Brauchwasser in einem Elektroboiler mit 5'000 ltr Inhalt auf 63°C aufgeheizt.

Lüftungsanlagen: In dieser Unterstation ist ebenfalls die Lüftungsanlage für die Küche untergebracht, der wie die Boilerladung ab der Fernleitung für konstante Temperaturen versorgt wird.

Lüftungszentrale Schlossgut

Diese befindet sich im Dachgeschoss des Schlossgutes. In dieser sind total 4 Lüftungsanlagen untergebracht. Die Luftheritzer werden ab dem Heizverteiler für konstante Temperaturen in der UST „Schlossgut“ aus über eine vorregulierte Gruppe mit Wärme versorgt.

1.3 Energieverbrauch der bisherigen Anlage

Der Energieverbrauch für die bestehende Anlage setzt sich aus dem Stromverbrauch für die Luft- Wasserwärmepumpen sowie aus dem Ölverbrauch für den Heizkessel zusammen. Der Strom für Pumpen, Brenner etc. in der Heizzentrale ist in nachstehenden Werten ebenfalls enthalten.

1.3.1 Stromverbrauch

Der Stromverbrauch für die Wärmepumpenanlage vor der Sanierung kann nur annäherungsweise geschätzt werden, da der Verbrauch des gesamten Studienzentrums nur über einen Stromzähler erfasst wurde. Mit der Sanierung wurde für die Heizzentrale mit den neuen Wärmepumpen ein separater Zähler installiert. Der übrige Stromverbrauch des Zentrums wird neu separat erfasst.

Um den Anteil der alten Luftwasserwärmepumpen am Stromverbrauch abschätzen zu können, wird der übrige Verbrauch vor und nach der Sanierung als etwa gleich hoch angenommen.

- Verbrauch 2000	563'000	kWh
- Verbrauch 2001	<u>593'000</u>	<u>kWh</u>
- Durchschnittlicher Verbrauch vor Sanierung	578'000	kWh
- Normalverbrauch Studienzentrum 1 – 3. Quartal 03	272'000	kWh
Schätzung Verbrauch für das 4. Quartal	<u>95'000</u>	<u>kWh</u>
- Verbrauchsschätzung für Wärmepumpe vor der Sanierung	<u>211'000</u>	<u>kWh/a</u>

1.3.2 Ölverbrauch

- Ölverbrauch pro Jahr gemäss Verbrauchsstatistik des Studienzentrums in Gerzensee	<u>34'800</u>	<u>ltr/a</u>
--	---------------	--------------

1.3.3 Deckungsgrad Luft- Wasserwärmepumpen

Der bisherige Deckungsgrad der Wärmepumpenanlage betrug mit einer angenommenen Arbeitsziffer von 1.7:

- Energieproduktion Wärmepumpe ($\varepsilon_{WP} = 1.7$)	358'700	kWh
- Energieproduktion Oelheizkessel	<u>350'800</u>	<u>kWh</u>
- Totale Energieproduktion	709'500	kWh
- Deckungsgrad Wärmepumpe	<u>S_{WP}</u>	<u>50.6 %</u>

Für die Schätzung der Arbeitsziffer der alten Wärmepumpen mit 1.7 wurde auf Daten neuer Wärmepumpen im ähnlichen Leistungsbereich zurückgegriffen. Bei B0W50 beträgt der COP-Wert 2.2 – 2.3. Für Minergie- Nachweise darf für Luft- Wasserwärmepumpen mit ganzjähriger Warmwasserbereitung eine Nutzungsziffer von 2.0 eingesetzt werden. Unter Berücksichtigung der positiven Entwicklung, die gerade Luft- Wasserwärmepumpen in den letzten Jahren gemacht haben, ist die Arbeitsziffer von 1.7 für die alten Maschinen plausibel.

1.4 Sanierung der Anlage

Die Luft- Wasserwärmepumpen wurden zunehmend reparaturanfällig und mussten zum Teil stillgelegt werden. Daher wurde eine Sanierung der Anlage beschlossen. Bei dieser Sanierung sollte der Anteil der Oelheizung wesentlich gesenkt und durch umweltfreundlichere Energieträger ersetzt werden.

Als erstes wurde ein Nahwärmeverbund mit einer Schnitzelfeuerung als Grundlastheizung und einem Oelheizkessel für die Spitzenlast geprüft. Aus diversen Gründen (mangelndes Interesse am Nahwärmeverbund, technische Probleme beim Bau des Fernleitungsnetzes, befürchtete Geruchsemissionen vom Schnitzelsilo etc.) wurde auf dieses Projekt verzichtet.

Nach längerer Ueberlegung entschied sich die Bauherrschaft für eine Wärmepumpenanlage mit Erdwärmesonden als Wärmequelle. Der bestehende Oelheizkessel sollte zur Spitzenlastabdeckung und zur Sicherstellung der Versorgung bei Wärmepumpenstörungen dienen. Folgende Gründe waren für den Entscheid massgebend:

- Die Wärmepumpe mit Erdsonden versprach grössere Energieeffizienz als die alten Luft- Wasserwärmepumpen.
- Es waren keine grösseren, baulichen Veränderungen an den Gebäuden notwendig. Dies war wichtig, weil der Tagungsbetrieb des Studienzentrums durch die Sanierung nicht beeinträchtigt werden durfte.
- Neben der Energiezentrale besass die Nationalbank ein grosses und unbebautes Grundstück, das sich hervorragend für ein Erdsondenfeld eignete.
- Die Wärmepumpenanlage sollte störungsfrei und ohne Lärm- und Geruchsemissionen funktionieren.

1.5 Sanierungskonzept

1.5.1 Vorgaben der Bauherrschaft, Beurteilung der bestehenden Anlage

Bei der Erstellung des Sanierungskonzeptes waren folgende Vorgaben der Bauherrschaft zu berücksichtigen:

- Sicherstellung der Versorgungssicherheit durch einen zweiten Wärmeerzeuger.
- Möglichst grosser Anteil der Wärmepumpen an der Energieproduktion.
- Kühlung des Mehrzwecksaales im Schlossgut.

Die Anlage im Studienzentrum wurde im Jahre 1984 sehr grosszügig geplant und dimensioniert. Davon zeugen die grossen Boilervolumen (Total 19'000 ltr im Schlossgut für den Gastronomiebetrieb sowie einige WC- Räume), die beiden parallel geführten Fernleitungsnetze sowie die feine Heizgruppenaufteilung. Die Fernleitungspumpen und die Hauptpumpen des Oelheizkessels sind ebenfalls mit einer automatisch zuschaltbaren Reservepumpe ausgerüstet.

Die Heizungsanlage funktionierte bisher mit Ausnahme der vorstehend beschriebenen Probleme mit den Luft- Wasserwärmepumpen problemlos und wurde durch den technischen Dienst des Studienzentrums optimal gewartet. Die Sanierung konzentrierte sich daher auf die Wärmeerzeugungsanlage mit einigen für eine optimale Funktion der Wärmepumpe wichtigen Anpassungen an der übrigen Anlage. Die Wärmeverteilung ab den Energiespeichern wurde bestehend belassen.

1.5.2 Sanierungskonzept

- Wärmepumpe mit Erdsonden mit einer Leistung von ca. 220 – 250 kW für Raumheizung und Warmwasserbereitung.
- Neuer Oelheizkessel mit ca. 300 kW Leistung mit folgenden Aufgaben:
 - Abdeckung der Spitzenlast
 - Sicherstellung der Wärmeversorgung bei WP- Störungen
 - Legionellenhochladung der Boiler auf 63°C
- Boilerladung mit den Wärmepumpen während der Nacht. Eine Tagesnachladung soll möglichst vermieden werden. Dazu muss in der Unterstation „Unterkunftsgebäude“ die feste Zuordnung der Boiler pro Trakt aufgehoben und durch eine Serieschaltung ersetzt werden.

- Neue DDC- Regulierung für die gesamte Anlage. Die Wärmepumpen sollen mit möglichst tiefen Vorlauftemperaturen betrieben werden können. Dazu sind die Wärmeanforderungen sämtlicher Heizgruppen sowie der Boiler erforderlich.
- Die Wärmeverteilung mit den Unterstationen funktionierte bisher zufriedenstellend und soll nicht verändert werden.
- Im grossen Mehrzwecksaal im Obergeschoss des Schlossgutes herrschen im Sommer oft unerträgliche Temperaturen von bis zu 35°C. Das Temperaturniveau im Erdsondenfeld beträgt nach der Heizsaison 0 – 10°C. Dieses grosse Kältepotsial soll zur Kühlung verwendet werden.
Dies soll ohne den Einsatz von reversierbaren Wärmepumpen/ Kältemaschinen geschehen. Dazu wird im Monoblock der Lüftungsanlage des Mehrzwecksaals eine gross dimensionierte Kühlbatterie eingebaut, die über eine separate Umwälzpumpe direkt von der Sole des Erdsondenfeldes durchströmt wird.
Die Batterie erlaubt mit einem Kältevorlauf von 16°C Ausblastemperaturen von 20°C. Mit den 1.1 kW Anschlussleistung der Umwälzpumpe wird so eine Kühlleistung von 21 kW erzielt.
Die Free- Coolingfernleitung wird so dimensioniert, dass noch weitere Kälteverbraucher angeschlossen werden könnten. Das totale Kältepotsial des Sondenfeldes wird auf ca. 90 kW geschätzt.

In Bild 2 ist die Anlage gemäss vorstehend beschriebenen Sanierungskonzept dargestellt.

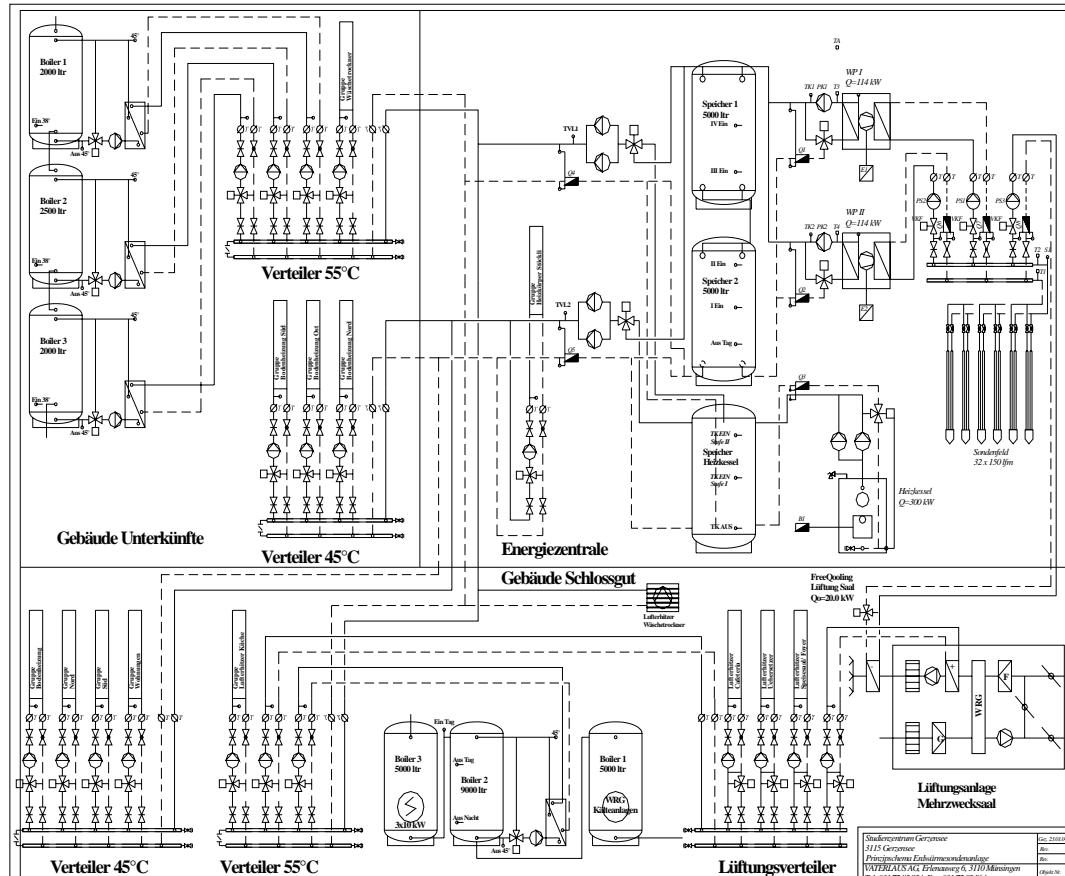


Bild 3: Prinzipschema der Anlage nach der Sanierung

In Tabelle 1 sind alle wichtigen Anlagedaten zusammengefasst.

	Bestehende Anlage	Sanierte Anlage
Gebäude		
EBF Unterkunftsgebäude	2'150 m2	2'150 m2
EBF Stöckli	250 m2	250 m2
EBF Schlossgut	2'500 m2	2'500 m2
EBF Total	4'900 m2	4'900 m2
Wärmeleistungsbedarf der Anlage	ca. 255 kW	ca. 255 kW
Wärmeerzeugung		
Wärmepumpe	Luft- Wasser	Erdwärmesonden
Leistung (A-8W45) bzw. (B0W45)	$8 \times 22.5 \text{ kW} = 180 \text{ kW}$	$2 \times 120 \text{ kW} = 240 \text{ kW}$
Leistung Zusatzheizkessel Öl	360 kW	300 kW
Totale Erzeugerleistung	540 kW	540 kW
Energieverbrauchszahlen		(hochgerechnete Werte für 1 Jahr)
Stromverbrauch für WP + Pumpen	211'000 kWh	194'400 kW
Ölverbrauch	34'800 ltr/a	6'600 ltr/a
Nutzenergieverbrauch		(Werte vom 1.2.-30.11.03)
Energieproduktion Wärmepumpe	358'700 kWh	83'042 kWh
Energieproduktion Ölheizkessel	350'800 kWh	39'630 kWh
Totaler Endenergieverbrauch	709'500 kWh	422'672 kWh
Deckungsgrad Wärmepumpe	50.6%	90.6%

Tabelle 1: Zusammenstellung der wichtigen Anlagedaten

2. Ziel der Arbeit

Warum wird das vorliegende Demonstrationsobjekt und die Kontrollmessung durchgeführt?

Erdwärmesonden als Wärmequelle für Wärmepumpen werden heute häufig angewendet. Pro Jahr werden über 500'000 m Erdsonden verteuft. Die Eigenschaften der Erdsonde ist mit mehreren Messprojekten im In- und Ausland eingehend erforscht worden und gelten als „Stand der Technik“.

Bis auf wenige Ausnahmen werden die meisten Erdsonden in einem kleinen Leistungsbereich bis ca. 40 kW eingesetzt. Eine Grosswärmepumpe mit einer thermischen Leistung von 240 kW und Erdwärmesonden als Wärmequelle wie in Gerzensee sind selten.

Ein Hauptgrund sind die hohen Kosten der Erdwärmesonden. Während ein Grundwasserraffungsbrunnen für eine Heizleistung von 250 kW nicht wesentlich mehr kostet als eine Fassung für 100 kW (sofern das Wasser vorhanden ist), kostet eine Erdsondenanlage für 250 kW ca. das 2.5-fache einer Anlage für 100 kW. Ein weiterer Grund ist der grosse Platzbedarf für eine Sondenfeld dieser Grösse. Da Erdsonden aus Sicherheitsgründen nicht unterhalb eines Gebäudes gebohrt werden dürfen, muss eine genügend grosse Grünfläche um das Objekt vorhanden sein.

Mit diesem Demonstrationsobjekt soll einer interessierten Bauherrschaft gezeigt werden, dass die Erdsondenwärmepumpe auch in dieser Grössenordnung problemlos funktioniert und viel Energie eingespart werden kann. Ziel ist, dass diese Technologie auch vermehrt in Grossobjekten eingesetzt wird.

Folgende Fragen werden geklärt:

1. Energieeinsparungspotential der Technologie

- Wie gross ist die Einsparung an Endenergie der sanierten Anlage gegenüber der bestehenden Luft- Wasserwärmepumpe?
- Wie gross wäre der Energieverbrauch einer konventionellen Vergleichsanlage. Als Vergleichsanlage dient ein ölbefeueter Heizkessel?

2. Kostenvergleich zu konventioneller Anlage

- Mit welcher Kostengrössenordnung muss ein Bauherr rechnen.
- Wie gross sind die Investitionskosten im Vergleich zur konventionellen Vergleichsanlage.
- Wie hoch sind die Kosten pro kWh produzierter Nutzwärme. Hier wird ebenfalls der Vergleich zu einer konventionellen Anlage gezogen.

3. Betriebliche Erfahrungen nach erstem Jahr

Welche Erfahrungen wurden mit der sanierten Anlage nach dem ersten Betriebsjahr gemacht bezüglich:

- Betriebsstörungen der Anlage und deren Ursachen.
- Unterhaltskosten.
- Bedienungsaufwand
- Lärmemissionen

4. Planerische Aspekte

- Wie wurde die Anlage dimensioniert.
- Vergleich der Prognose des Energieverbrauchs mit Werten nach erstem Betriebsjahr
Genauigkeit der Anlagedimensionierung.
- Erdsondenbilanz mit Wärmeentzug und Wärmeeintrag. Vergleich der Temperaturen im Erdsondenfeld mit den Prognosen von Simulationsprogrammen.
- Spezielle Erfahrungen während der Anlagesanierung.

3. Lösungsweg

In diesem Teil des Berichtes soll aufgezeigt werden, auf welche Weise die in Kapitel 2 definierten Projektziele erreicht werden sollen.

3.1 Messdatenerhebung

Der Messbeginn erfolgte wegen Projektverzögerungen erst Anfangs Februar 2003. Daher sind mehrere vorgesehene Auswertungen wegen fehlender Daten oder Stromrechnungen nicht oder nur näherungsweise möglich.

Messkonzept

Gemäss dem hydraulischen Anlageschema in Bild 3 werden folgende Energieströme und Temperaturen gemessen:

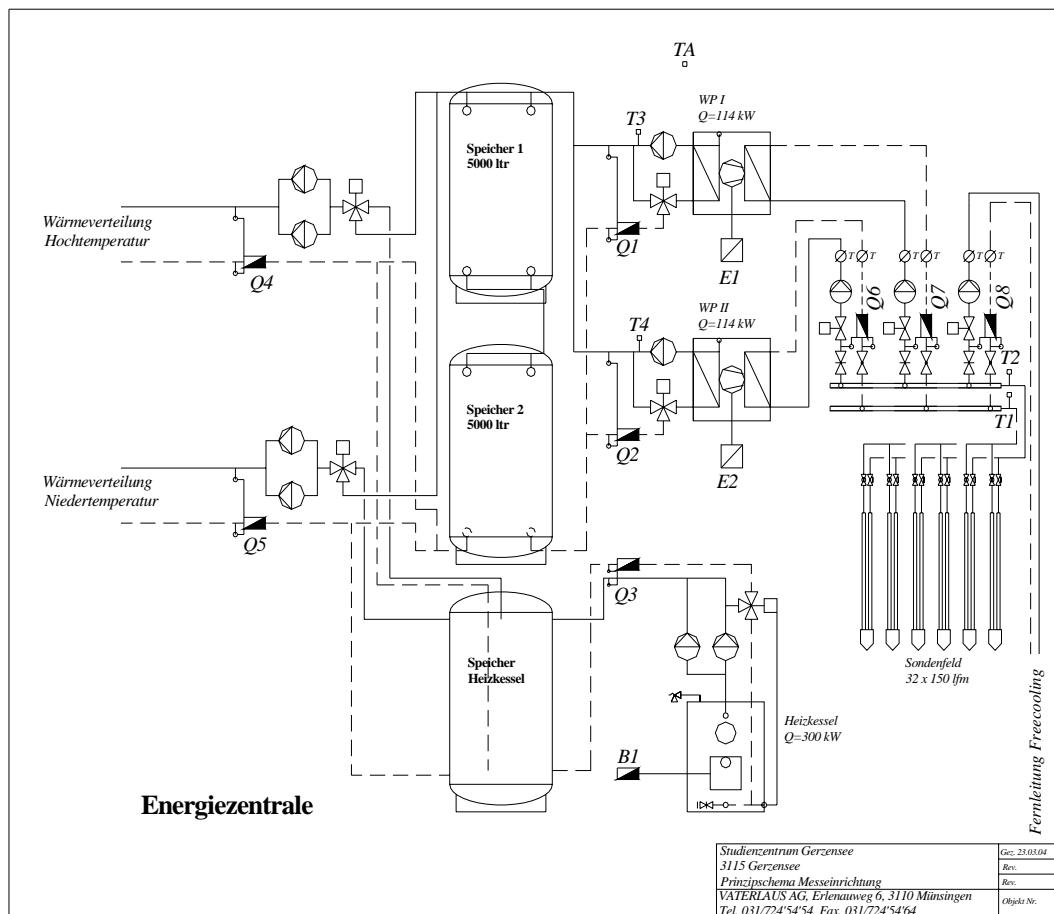


Bild 4: Messpunkte in der Energiezentrale

Zähler	Einbauort	Auswertung
Q1	Kondensatorkreis Wärmepumpe 1	Wärmeabgabe Wärmepumpe 1
Q2	Kondensatorkreis Wärmepumpe 2	Wärmeabgabe Wärmepumpe 2
Q3	Ölheizkesselkreis auf Speicher 3	Wärmeabgabe Ölheizung
Q4	Fernleitung Hochtemperatur	Wärmeverbrauch für Boiler- ladung und für Lüftungsanlagen
Q5	Fernleitung Niedertemperatur	Wärmeverbrauch Raumheizung
Q6	Verdampferkreis Wärmepumpe 2	Wärmeentzug aus Erdsonden für Wärmepumpe 2
Q7	Verdampferkreis Wärmepumpe 1	Wärmeentzug aus Erdsonden für Wärmepumpe 1
Q8	Free- Coolingkreislauf	Wärmeeintrag in Erdsonden für Kühlung Mehrzwecksaal
E1	Kraftzuleitung Wärmepumpe 1	Elektrische Leistungsaufnahme Wärmepumpe 1
E2	Kraftzuleitung Wärmepumpe 2	Elektrische Leistungsaufnahme Wärmepumpe 2
B1	Ölversorgung Brenner Heizkessel	Ölverbrauch des Heizkessels
T1	Vorlauf Erdwärmesonden (Eintritt)	VL – Temperatur Erdsonden
T2	Rücklauf Erdwärmesonden (Austritt)	RL – Temperatur Erdsonden
T3	Kondensatoraustritt Wärmepumpe 1	VL – Temperatur WP 1
T4	Kondensatoraustritt Wärmepumpe 2	VL – Temperatur WP2
T5	Aussentemperaturfühler N-Fassade Stöckli	Aussentemperatur

Zählerfabrikate

Q1 – Q8	Ultraschall-Wärmezähler Fabrikat Siemens, Typ Sonoheat 2WR5, mit Impulsausgang für Fernauslesung. Temperaturfühler paarweise geeicht.
E1 – E2	Elektrische Wandermesser Fabrikat Siemens, Typ EC 320, 3-phäsig, Bereich 50A – 1500A.
B1	Ölmengenzähler mit Impulsausgang VZO 8-RE 01 4-135 ltr/h
T1 – T4	Temperaturfühler Siemens, Typ QAE 5.A
T5	Aussentemperaturfühler Siemens, Typ QAC 31

Auslesung der Messdaten

Die Messdaten werden über das auf der Anlage installierte System Unigyr der Firma Siemens erfasst und über Schnittstelle auf Excel- Dateien ausgelesen.

Messfrequenz

Messdatenerfassung alle 5 Minuten, 24 Stunden pro Tag, 365 Tage pro Jahr.

3.2 Auswertung der Messdaten

Messdatenmenge

Die Auslesung der 16 Messwerte alle 5 Minuten führt zu einer grossen Menge von Messdaten, die auszuwerten sind. Während der vorgesehenen Messdauer von 2 Jahren werden ca. 3'400'000 Daten anfallen.

Diese Datenmenge kann vom Leitsystem problemlos bewältigt werden. Für eine sinnvolle Auswertung ist die Messdichte zu fein.

Datenauswertung

Im Sinne einer Vorauswertung und Datenkontrolle werden die Messungen mit einem speziell für die Anlage entwickelten Visual-Basic Programm auf Basis von Excel 97 wie folgt ausgewertet:

- Prozedur 1 Reduktion der Messdichte auf eine Stunde.
Bei jeder vollen Stunde werden die Messdaten auf ein Excel – Tabellenblatt übernommen.
- Prozedur 2 Auswertung pro Stunde.
Aufgrund der in Prozedur 1 übernommenen stündlichen Messdaten werden folgende Werte berechnet:
 - COP für Wärmepumpe 1
 - COP für Wärmepumpe 2
 - Deckungsgrad der Wärmepumpe
 - Verluste der Wärmeerzeugung
 - relative Sondenbelastung in W/m
 - absoluter Wärmeentzug in kWh pro m Sonde und Jahr
- Prozedur 3 Bilden von Temperaturmittelwerte
Aus den alle fünf Minuten gemessenen Temperaturwerte T1 – T5 wird der arithmetische Mittelwert sowie als Kontrolle die Standartabweichung pro Stunde berechnet.
- Prozedur 4 Auswertung pro Tag
Aufgrund der Zählerstände um 00:00:00 Uhr werden für jeden Tag folgende Werte berechnet:
 - COP für Wärmepumpe 1
 - COP für Wärmepumpe 2
 - Deckungsgrad der Wärmepumpe
 - Verluste der Wärmeerzeugung
 - relative Sondenbelastung in W/m
 - absoluter Wärmeentzug in kWh pro m Sonde und Jahr
 - Temperaturmittelwerte T1 – T5
 - Temperaturmaximal- und Minimalwerte aus den Mittelwerten pro Stunde.
- Prozedur 5 Auswertung pro Monat
Aufgrund der Zählerstände am 1. Tag des Monats um 00:00:00 Uhr und der Stände am letzten Tag des Monats um 23:00:00 Uhr werden folgende Werte berechnet:
 - COP für Wärmepumpe 1
 - COP für Wärmepumpe 2
 - Deckungsgrad der Wärmepumpe
 - Verluste der Wärmeerzeugung
 - relative Sondenbelastung in W/m
 - absoluter Wärmeentzug in kWh pro m Sonde
 - Temperaturmittelwerte T1 – T5

Messlücken

Am Leitsystem Unigyr wurden nach der Erstinbetriebnahme der Wärmepumpenanlage im August 2002 noch bis zum Oktober 2003 dauernd Modifikationen vorgenommen oder neue Anlageteile aufgeschaltet. Da die automatische Datenerfassung sehr empfindlich auf Eingriffe reagiert, kam es immer wieder zu Messunterbrüchen von mehreren Tagen. Die vom BFE geforderte Messdichte von einer Woche konnte jedoch immer gewährleistet werden.

3.3 Nachweis der Energieeffizienz

Gemäss des unter Punkt 1 in Kapitel 2 definierten Zielen soll die Energieeffizienz der Anlage nachgewiesen werden.

Der Nachweis wird auf zwei unterschiedlichen Wegen geführt:

1. Uebersicht anhand der Stromrechnungen und des Ölverbrauchs.
2. Kontrolle der Energieeffizienz einzelner Anlageteile.

3.3.1 Uebersicht anhand der Stromrechnungen und des Oelverbrauchs

Vergleich des Energieverbrauchs vor der Sanierung mit dem Verbrauch nachher anhand der Stromrechnungen und des auf der Anlage gemessenen Ölverbrauchs. Zusätzlich soll anhand einer Modellrechnung der Verbrauch einer konventionellen, ölbefeuerten Heizkesselanlage als Vergleich dienen.

3.3.1.1 Vergleichsgrundlage

Als Grundlage für den Vergleich dienen die in Kapitel 1.3 aufgeführten Verbrauchszahlen vor der Sanierung:

- Stromverbrauch	211'000 kWh/a
- Ölverbrauch (34'800 ltr Öl pro Jahr)	<u>350'800 kWh/a</u>
- Endenergieverbrauch total	<u>561'800 kWh/a</u>

Im Stromverbrauch ist die Energie für die Umwälzpumpen, den Ölheizkessel und für die anderen Verbraucher in der Heizzentrale enthalten.

3.3.1.2 Energieverbrauch nach erstem Betriebsjahr

Als Vergleichsperiode wurde der Energieverbrauch vom 01.10.2002 bis 30.09.2003 genommen. Diese Periode gilt als repräsentativ, weil:

- Für diese Periode sämtliche Stromrechnungen vorhanden sind.
- Der Ölheizkessel und der Ölzähler wurden am 24.09.2002 in Betrieb genommen. Der Zählerstand am 25.09.2003 ist der effektive Ölverbrauch nach einem Jahr.

1. Ermittlung Stromverbrauch

Stromzähler in Haupteinspeisung der Energiezentrale, Zähler Nr. 483642

- Verbraucher:
- Wärmepumpen
 - Umwälzpumpen in Zentrale
 - Ölheizkessel
 - Licht in Zentrale
 - Expansionsautomaten

2. Ermittlung Ölverbrauch

Ölmengenzähler vor dem Ölbrenner, Auslesung per Leitsystem.

- Auslesedatum: 25.09.2003
- Auslesezeit: 00:00:00
- Einheit: ltr/h

3. Vergleich neuer und alter Energieverbrauch

Verglichen wird der Gesamtenergieverbrauch der alten Anlage mit dem Verbrauch der neuen Heizungsanlage. Von Interesse sind folgende Kennwerte:

- Entwicklung des Gesamtenergieverbrauchs.
- Entwicklung des Stromverbrauchs der Heizzentrale.
- Entwicklung des Ölverbrauchs.
- Entwicklung des Deckungsgrads der Wärmepumpe.

3.3.1.3 Vergleich mit konventioneller Ölheizung

Wie viel Endenergie würde ein konventioneller, ölbefeueter Heizkessel für die Erzeugung der gleichen Nutzenergie inkl. des Stromverbrauchs für Umwälzpumpen, Ölbrenner etc. verbrauchen?

Der Endenergieverbrauch der Vergleichsanlage setzt sich aus dem Ölverbrauch sowie dem Strom für Pumpen, Brenner etc. zusammen.

$$E_{\text{Vergleichsanlage}} = E_{\text{Ölheizung}} + E_{\text{Pumpen, Brenner}} \quad [\text{Gl. 1}]$$

1. Berechnung Ölverbrauch

Der Energieverbrauch für die Ölheizung wird anhand der für Warmwasser- und Raumheizung bezogenen Nutzenergie und einem angenommenen Nutzungsgrad für eine Ölheizung berechnet.

- Nutzenergie für Warmwasser
 - Nutzenergie für Raumheizung
 - Nutzungsgrad für Ölheizung
- Anhand Energiezähler Q4
Anhand Energiezähler Q5
 $\epsilon_{\text{Ölheizung}} = 85\%$

$$E_{\text{Ölheizung}} = \frac{Q4 + Q5}{\epsilon_{\text{Ölheizung}}} \quad [\text{Gl. 2}]$$

Da die Nutzenergie erst ab 01.02.2003 per Messung erhoben werden konnte, stimmen der Bereich der Stromrechnungen nicht mit dem Bereich der gemessenen Nutzenergie überein:

- Februar 2003 – September 2003
 - Oktober 2002 – November 2002
 - Dezember 2002 und Januar 2003
- gleicher Bereich wie Rechnung
wurde durch gleiche Monate 2003
ersetzt.
Verbrauch wurde geschätzt.

Der Vergleich des Energieverbrauchs kann deshalb nur als überschlägige Rechnung mit entsprechender Genauigkeit verstanden werden. Ein genauer Vergleich ist erst ab 2. Quartal 2003

möglich.

2. Stromverbrauch für Hilfsantriebe

Der Stromverbrauch für Pumpen, Brenner etc. kann aus der Differenz des auf den Stromrechnungen der BKW ausgewiesenen Stromverbrauchs für die Heizzentrale und der Energieaufnahme für die Wärmepumpen gemäss Stromzähler E1 und E2 abgeschätzt werden. Vereinfachend wird der Stromverbrauch für die Solepumpen mit dem Mehrverbrauch für den Öl brenner gleichgesetzt.

$$E_{\text{Pumpen, Brenner}} = EH - E1 - E2 \quad [\text{Gl. 3}]$$

EH Hauptzähler der BKW Nr. 483642
 E1 Unterzähler in Kraftleitung Wärmepumpe 1
 E2 Unterzähler in Kraftleitung Wärmepumpe 2

Daten sind erst für das 2. + 3. Quartal 2003 vorhanden. Der Jahresverbrauch wird anhand der beiden Daten auf das ganze Jahr hochgerechnet.

3.3.1.4 Anlagekenndaten

Um einen aussagekräftigen Vergleich zu ermöglichen, werden folgende Anlagekenngrössen ermittelt:

- Verbraucherbezogener Jahresnutzungsgrad der Anlage
- Endenergieverbrauch pro m² EBF
- Gewichteter Endenergieverbrauch pro m² EBF

1. Jahresnutzungsgrad

Verbraucherbezogener Jahresnutzungsgrad als Quotient der an die Anlage abgegebenen Wärmeenergie zum Verbrauch an Öl – und Stromenergie.

$$\epsilon_{\text{Verbraucher}} = \frac{\text{Nutzenergieverbrauch}}{\text{Verbrauch Öl und Strom}} \quad [\text{Gl. 4}]$$

2. Endenergieverbrauch pro m² Energiebezugsfläche

Ein nach der heutigen Energiegesetzgebung gebautes Gebäude dürfte für Heizung und Warmwasserbereitung ca. 87 kWh pro m² Energiebezugsfläche und Jahr verbrauchen. (Annahme Gebäudehüllenziffer 1.8). Mit dieser Grösse soll der Energieverbrauch eingeordnet werden können.

$$E_{\text{kWh/m2a}} = \frac{E_{\text{Strom}} + E_{\text{Öl}} - E_{\text{Pumpen, Brenner}}}{\text{EBF}} \quad [\text{Gl. 5}]$$

3. Gewichteter Energieverbrauch pro 2m Energiebezugsfläche

Dieser Wert berücksichtigt die Verluste, die bei der Stromproduktion in thermischen Kraftwerken entstehen. Daher wird der Stromverbrauch doppelt gezählt. Diese Kennziffer kann mit dem Minergiegrenzwert für Heizung und Warmwasser von 42 kWh/m²a verglichen werden.

$$E_{\text{gewichtet}} = \frac{(E_{\text{Strom}} - E_{\text{Pumpen, Brenner}}) \times 2 + E_{\text{Öl}}}{EBF} \quad [\text{Gl. 6}]$$

3.3.2 Kontrolle einzelner Anlageteile anhand der Messungen

Als Ergänzung zu vorstehender Abschätzung des Energiesparpotentials der Anlage sollen nachstehend noch folgende Anlagekomponenten näher untersucht werden:

- Der COP von Wärmepumpe 1 und 2 in Relation zu den mittleren Betriebstemperaturen während der Messperiode.
- Vergleich der COP - Werte mit den Angaben des Herstellers.
- Der Anteil der Wärmepumpe an der gesamten Wärmeproduktion.
- Kontrolle des Nutzungsgrad des Ölheizkessels.

3.3.2.1 COP der Wärmepumpen

Die Arbeitszahlen der Wärmepumpen werden wie folgt berechnet:

$$\text{COP}_{\text{WP}} = \frac{\text{Nutzwärmeabgabe der Wärmepumpe}}{\text{Energieaufnahme der Wärmepumpe}} \quad [\text{Gl. 7}]$$

- Die Nutzwärmeabgabe der Wärmepumpe wird mit den Energiezählern Q1 für Wärmepumpe 1 und Q2 für Wärmepumpe 2 erfasst.
- Die Energieaufnahme der Wärmepumpen wird mit dem Stromzähler E1 für Wärmepumpe 1 und E2 für Wärmepumpe 2 erfasst.

Auswertung

Die COP- Werte werden mit dem Auswertungsprogramm pro Stunde, pro Tag und pro Monat berechnet. Dazu werden innerhalb der Auswertungsperiode die Differenz der Zählerstände Q1, Q2, E1 und E2 erfasst.

- Bei der Stundenauswertung führte die Messabstufung der Energiezähler (10KWh - Schritte) zu grossen Streuungen bei den Resultaten.
- Bei der Monatsauswertung führten Messlücken und 10 kWh – Schritte bei der Messung von Q1 und Q2 vor allem bei geringen Laufzeiten der Wärmepumpen zu unwahrscheinlichen Resultaten
- Die Auswertungen pro Tag haben die plausibelsten Ergebnisse geliefert, da sich vorstehend beschriebene Fehler am wenigsten auf das Resultat auswirken konnten.

Die COP- Werte pro Monat sowie die dazugehörenden mittleren Sole- und Kondensatoraustrittstemperaturen sind deshalb als Mittelwerte der Tageswerte berechnet und dargestellt worden. Auf die Darstellung der Stundenwerte wird verzichtet.

Darstellung

Die COP – Werte sind in Abhängigkeit der jeweiligen Kondensatoraustrittstemperatur für WP1 und WP2 berechnet und dargestellt worden.

3.3.2.2. Deckungsgrad der Wärmepumpen

Unter dem Deckungsgrad der Wärmepumpen verstehen wir den Anteil der beiden Wärmepumpen an der gesamten Wärmeproduktion der Anlage:

$$S_{WP} = \frac{\text{Anteil Wärmepumpe an Wärmeproduktion}}{\text{Gesamte Wärmeproduktion der Anlage}} = \frac{Q1 + Q2}{Q1 + Q2 + Q3} \quad [\text{Gl. 8}]$$

Dieser Wert ist von Interesse, weil eines der vom Bauherrn definierten Ziele der Anlagesanierung die Steigerung des Wärmeanteiles der Wärmepumpe war. Der bisherige Anteil der Wärmepumpe betrug 50.6%.

3.3.2.3 Nutzungsgrad des Ölheizkessels

Dieser Wert ist interessant im Hinblick auf die Berechnung des Energieverbrauches der konventionellen Vergleichsanlage. Der Nutzungsgrad berechnet sich wie folgt:

$$\epsilon_{\text{Ölheizung}} = \frac{\text{Nutzenergieabgabe der Ölheizung}}{\text{Energieinhalt des verbrannten Erdöls}} = \frac{Q3}{B1 * H_u} \quad [\text{Gl. 9}]$$

Im Gegensatz zu dem vom Kaminfeuer gemessenen Abgasverlust umfasst dieser Nutzungsgrad zusätzlich noch die Abstrahlungsverluste und die Stillstandsverluste des Heizkessels.

Die Abgasverluste betragen:

Teillast	6.4%
Vollast	8.4%

3.4 Kostenvergleich zu konventioneller Anlage

Gemäss der Zielsetzung 2 in Kapitel 2 sollen folgende Grössen ermittelt werden:

1. Grössenordnung der Investitionskosten für den Bauherr.
2. Vergleich der Investitionskosten zu einer konventionellen Vergleichsanlage.
3. Kosten pro kWh produzierte Nutzwärme der Wärmepumpenanlage.
4. Kosten pro kWh produzierte Nutzwärme der konventionellen Vergleichsanlage.

3.4.1 Systemgrenzen

Bei der Anlage in Gerzensee handelt es sich um eine Sanierung. Viele der Kosten sind anlagen spezifisch und ohne allgemeingültigen Wert. Einige bestehende Teile wiederum konnten weitergenutzt werden, die bei einer Neuanlage zusätzlich hätten aufgebaut werden müssen.

Da die durch das ausgeführte Sanierungskonzept entstandene Kostenstruktur nicht durch ungenaue Kürzungen und Schätzpreise für Zentralen etc. verfälscht werden sollen, sind folgende Systemgrenzen gesetzt worden:

1. Das System wird als Sanierung behandelt:
 - Demontagearbeiten werden einberechnet
 - Keine Kosten für Heizzentralen etc.
 - Keine Kosten für Wärmeverteilung
2. Das System wird als bivalente Anlage behandelt:
 - Die Kosten für Ölheizkesselsanierung werden einberechnet
 - Ohne Ölheizkessel müssten für die Legionellenhochladung Elektroheiz-einsätze in den Boilern installiert werden.
3. Beschränkung auf die Arbeiten in der Heizzentrale. Folgende, in Gerzensee angefallene Kosten werden nicht berücksichtigt:
 - Neues Leitsystem für die UST Unterkünfte und Schlossgut
 - Aenderungsarbeiten an der Boilerverrohrung im Unterkunftsgebäude.
 - Kosten für die Free-Coolinganlage für den Mehrzwecksaal im Schlossgut

3.4.2 Grössenordnung der Investitionskosten für Bauherr

Die Kostenaufstellungen sollen dazu dienen, einem Interessenten eine Vorstellung geben zu können, wie viel er für eine solche Anlage ausgeben muss.

Dargestellt werden alle in Gerzensee angefallenen Kosten für die HLK- Installationen sowie für die baulichen Nebenkosten wie Baumeister und Elektriker.

In den Preisen miteinberechnet sind die Kosten für die Planung der Anlage sowie für die Koordination mit den anderen am Bau beteiligten Handwerkern.

3.4.3 Kosten einer konventionellen Vergleichsanlage

Für die Kostenbestimmung der Vergleichsanlage wird angenommen, dass die alte Luft-Wasserwärmepumpe ersatzlos demontiert wird und die Anlage nur noch mit dem neuen Ölheizkessel betrieben würde.

Die Kosten für einen neuen Ölheizkessel sind in der Wärmepumpenanlage bereits gerechnet worden. Die dort gerechneten 300 kW Heizkesselleistung reichen für die gesamte Anlage aus. Zusätzlich ist jedoch noch mit folgenden Kosten zu rechnen:

- Erweiterung des Lagervolumens für das Erdöl. Der Ölverbrauch für die Vergleichsanlage beträgt 78'500 ltr. Daher wird zum bestehenden Öltank von 19'200 ltr ein Zusatztank mit 65'000 ltr Inhalt gerechnet. Dieser würde an der Stelle der alten Luft/ Wasserwärmepumpen eingebaut und platzgeschweisst. Der Aufstellungsort des neuen Tankes müsste als Öltankraum ausgebildet werden.
- Demontage der nicht mehr benötigten Speicher für die Wärmepumpen.
- Umbau der konventionellen Steuerung auf ein Leitsystem.

3.4.4 Kosten pro kWh Nutzwärme

Wie viel kostet ein kWh Nutzwärme mit der neu installierten Wärmepumpenanlage oder mit der konventionellen Ölheizung? Der spezifische Energiepreis wird anhand folgender Gleichung berechnet:

$$\text{Kosten pro kWh Nutzwärme} = \frac{\text{Betriebskosten der Anlage pro Jahr}}{\text{Bezogene Nutzenergie pro Jahr}} \quad [\text{Gl. 10}]$$

1. Betriebskosten der Anlage pro Jahr

In den Betriebskosten pro Jahr sind folgende Aufwendungen enthalten:

1.1 Energiekosten

- Stromkosten pro Jahr gemäss Rechnungen der BKW Energie AG für das erste Betriebsjahr vom 4. Quartal 2002 bis zum 3. Quartal 2003. Der Zuschlag für den Bezug von Ökostrom wurde nicht berücksichtigt.
- Kosten für die Ölheizung gemäss Ölzähler B1 für den gleichen Zeitraum. Als Energiepreis wurden Fr. 50.— pro 100 ltr gerechnet.

1.2 Kapitalkosten

Die Kapitalkosten sind in Abhängigkeit der Lebensdauer der einzelnen Anlageteile mit einem Zinssatz von 5% anhand der Annuitätenrechnung ermittelt worden.

Angenommene Lebensdauer der Anlageteile:

- Erdwärmesonden inkl. Feldverrohrung	30 Jahre	Annuität 6.51%
- Wärmepumpe	15 Jahre	Annuität 9.63%
- Hydraulische Verrohrungen	15 Jahre	Annuität 9.63%
- Ölheizkesselsanierung	15 Jahre	Annuität 9.63%

1.3 Unterhaltskosten, Servicekosten, Bedienaufwand für die Anlage

- Wartungsabonnement für Wärmepumpe und Ölbrenner
- Kaminfegerkosten, Abgasmessungen
- Bedienaufwand für die Anlage.
- Allgemeiner Wartungsaufwand. Als Richtgrösse wurde 1% der Anlagekosten angenommen.

2. Nutzenergie pro Jahr

Die Berechnung der Nutzenergie konnte gemäss Beschrieb in Kapitel 3.3 „Nachweis der Energieeffizienz“ nur näherungsweise berechnet werden. Daher kann der spezifische Energiepreis ebenfalls nur abgeschätzt werden.

3.5 Betriebliche Erfahrungen mit der Anlage

Gemäss der Zielsetzung in Punkt 3, Kapitel 2 soll über die Betriebserfahrungen mit der Anlage berichtet werden.

Die Anlage und vor allem die Regulierung wurde bis Oktober 03 laufend ausgebaut. Dies war häufig Ursache von Störungen. Nachstehend sind die Ausbauschritte nach der Erstinbetriebnahme der Wärmepumpe im August 2002 dargestellt:

- | | |
|----------------------------|--|
| - Juni 03 bis Oktober 03 | Erweiterung der Wärmeverteilung in der Cafeteria: Neuer Zwischentrakt im Untergeschoss mit einer Bodenheizung. |
| - Juli 03 bis August 03 | Montage der Free- Coolinganlage für den Mehrzwecksaal im Schlossgut. Inbetriebnahme der Anlage Ende August 03. Die Anlage konnte Ende August mit den letzten Hitzetagen des Rekordsommers 2003 mit positivem Resultat getestet werden. |
| - August 03 bis Oktober 03 | Ausrüsten sämtlicher Lüftungsanlagen mit dem Leitsystem Unigyr. Herstellen der regeltechnischen Verbindungen mit der Energiezentrale. |
| - 22. Oktober 03 | Definitive Inbetriebnahme des Leitsystems. Kontrolle aller Einstellwerte, Wärmeanforderungen, Heizkurven, Regelverbindungen zur Zentrale. |

Für den Zwischenbericht wird daher nur eine erste grobe Uebersicht über die wichtigsten Störungen und deren Ursachen erstellt. Eine umfassendere Auswertung bezüglich Unterhaltskosten, Bedienungsaufwand, Lärmemissionen etc. wird auf den Schlussbericht im Frühjahr 2005 verschoben.

3.6 Planerische Aspekte

In diesem Kapitel soll auf planerische Aspekte in Zusammenhang mit Grosswärmepumpen- anlagen mit Erdwärmesonden eingegangen werden.

1. Es soll kurz dargestellt werden, wie die Anlage in Gerzensee dimensioniert wurde und auf was beim Auslegen des Erdsondenfeldes geachtet wurde. Der prognostizierte Energie- verbrauch soll mit den effektiven Werten nach dem ersten Jahr verglichen werden.
2. Erstellen einer Erdsondenbilanz mit Wärmeentzug im Winter und Wärmeeintrag im Sommer durch die Free- Coolinganlage des Mehrzwecksaals.
3. Kontrolle folgender für die Dimensionierung der Anlage wichtigen Werte:
 - Relativer Wärmeentzugs- oder Wärmeeintragsleistung in W/m Sonde.
 - Absolute Wärmebelastung der Erdsonden in kWh pro m und Jahr. Stimmen die Werte mit den Annahmen überein?
4. Das Temperaturniveau der Erdsondenanlage soll untersucht werden. Wie wirkt sich die Regeneration der Sonden im Sommer durch den Wärmeeintrag auf die Temperaturen aus. Da im Sommer 2003 kein nennenswerter Wärmeeintrag stattfand kann der Unterschied zum Sommer 2004 mit Wärmeeintrag untersucht werden.
5. Die gemessenen Daten sollen mit dem Programm-Modul EWS der Huber Energietechnik in Zürich verglichen werden. Mit diesem Programm lassen sich das Verhalten einer Erdsondenanlage über mehrere Jahre vorherbestimmen. Die für die Simulation notwendigen Stoffdaten des Erdreichs in Gerzensee wurden während der Bohrarbeiten bestimmt.
6. Als letztes sollen spezielle, auf der Anlage aufgetretene Probleme bei der Ausführung der Anlage dargestellt werden.

Für eine abschliessende Auswertung sind die bisherigen Messungen zu kurz. Vor allem die erst nach dem Sommer erfolgte Inbetriebnahme der Free- Coolinganlage verunmöglicht die gewünschte Sondenbilanzierung. Dieser Teil der Auswertung wird daher auf den Schlussbericht verschoben.

4. Hauptergebnisse

In diesem Teil des Zwischenberichtes sollen die wichtigsten Ergebnisse der Auswertung der Messperiode Februar 2003 bis November 2003 dargestellt werden. Basis sind die in Kapitel 2 definierten Ziele des Demonstrationsobjektes.

4.1 Nachweis der Energieeffizienz der Anlage

Gemäss Beschrieb in Kapitel 3.3 erfolgt der Nachweis der Energieeffizienz auf zwei unterschiedlichen Wegen:

- Die Energieverbrauchszahlen für Heizung und Warmwasser nach dem ersten Betriebsjahr werden mit den Werten der alten Anlage und denen einer konventionellen Ölheizung verglichen.
- Kontrolle folgender Anlageteile anhand der Messungen:
 1. COP- Werte der beiden Wärmepumpen
 2. Deckungsgrad der Wärmepumpe
 3. Nutzungsgrad der Ölheizung

4.1.1 Abschätzen der Energieeinsparung anhand der Verbrauchszahlen

Die Energieeffizienz der Anlage lässt sich in einer ersten Ueberschlagsrechnung mit dem Energieverbrauch nach dem ersten Betriebsjahr kontrollieren. In nachstehender Tabelle sind die Energieverbrauchszahlen der alten Anlage mit denen der neuen Erdsondenwärmepumpe und der konventionellen Vergleichsanlage gegenübergestellt.

Vergleichsperiode

01.10.02 bis 30.09.03

Tabelle 2: Abschätzen der Energieeinsparung

	Bestehende Anlage	Erdsonden-wärmepumpe	Vergleichs-Anlage	
Energieverbrauch der Anlage				
Nutzenergie Hz/BW	667000 kWh	667000 kWh	667000 kWh	1)
Ölverbrauch	34800 ltr/a	6600 ltr/a	77800 ltr/a	2)
Energieinput Ölheizung	350800 kWh	66500 kWh	784200 kWh	3)
Stromverbrauch	211000 kWh	192400 kWh	26300 kWh	4)
Endenergieverbrauch total	561800 kWh	258900 kWh	810500 kWh	
Vergleich Endenergieverbrauch	100 %	46.1 %	144.3 %	
Anlagennutzungsgrad	1.19	2.58	0.82	5)
Energiekennzahlen				
Endenergieverbrauch total	561800 kWh	258900 kWh	810500 kWh	
Endenergieverbrauch Pumpen	26300 kWh	26300 kWh	26300 kWh	
Endenergieverbrauch Hz/BW	535500 kWh	232600 kWh	784200 kWh	6)
Energiebezugsfläche	4900 m ²	4900 m ²	4900 m ²	
Endenergieverbrauch pro m ²	109 kWh/m ² a	47 kWh/m ² a	160 kWh/m ² a	
Gewichtete Kennzahl	147 kWh/m ² a	81 kWh/m ² a	160 kWh/m ² a	7)

Bemerkungen zu Tabelle 1

1) Nutzenergie für Warmwasser und Heizung

Die Nutzenergie für die Warmwasserbereitung und die Heizungsanlage wird mit den beiden Energiezählern Q4 und Q5 auf der Anlage gemessen. Bis dato sind die Werte von Februar 2002 bis November 2003 vorhanden und ausgewertet. Dieser Messbereich deckt sich nicht mit dem Energieverbrauch anhand der Stromrechnungen und dem Ölzähler B1, die von Oktober 2002 bis September 2003 vorhanden sind.

Die Nutzenergie wird näherungsweise wie folgt ermittelt:

- Die Monate Februar 2003 bis September 2003 geben die richtigen Resultate.
- Die Monate Oktober 2003 und November 2003 werden analog für das Jahr 2002 eingesetzt.
- Für die Monate Dezember 2002 und Januar 2003 werden geschätzte Werte eingesetzt.

Monat	Zähler Q4	Zähler Q5	Total
Februar 03	19380 kWh	71110 kWh	90'490 kWh
März 03	14770 kWh	48861 kWh	63631 kWh
April 03	14880 kWh	39440 kWh	54320 kWh
Mai 03	13290 kWh	21480 kWh	34770 kWh
Juni 03	5430 kWh	0 kWh	5430 kWh
Juli 03	6400 kWh	5110 kWh	11510 kWh
August 03	5070 kWh	1260 kWh	6330 kWh
September 03	10480 kWh	20520 kWh	31000 kWh
Oktober 03	15210 kWh	51830 kWh	67040 kWh
November 03	11550 kWh	60920 kWh	72470 kWh
Dezember	Annahme		110000 kWh
Januar	Annahme		<u>120000 kWh</u>
Totaler Verbrauch			666991 kWh
Gerundeter Wert			<u>667000 kWh</u>

2) Ölverbrauch der Anlage

2.1 Ölverbrauch gemäss der Verbrauchsstatistik des Studienzentrums.

2.2 Ölverbrauch für die neue Anlage gemäss Ölzähler B1 vor dem Ölbrenner mit folgenden Zählerständen:

Stand Zähler B1 am 25.09.02	0.0 ltr
Stand Zähler B1 am 01.02.03 (Beginn Messungen)	3'308.9 ltr
Stand Zähler B1 am 25.09.03	6'526.0 ltr
Ölverbrauch nach ersten Betriebsjahr	6'526.0 ltr
Rundung	<u>6'600.0 ltr</u>

2.3 Ölverbrauch der konventionellen Vergleichsanlage:

$$B_a = \frac{667000 \text{ kWh/a}}{0.85 * 10.08 \text{ kWh/ltr}} = 77'848 \text{ ltr/a} \quad [\text{Gl. 11}]$$

Rundung 77'800 ltr/a

3) *Zähler Q3*

Energiemenge, die von der Ölheizung an die Anlage abgegeben wurde, inkl. der Verluste des Ölheizkessels.

4) *Stromverbrauch der Anlage*

4.1 Stromverbrauch der alten Luft- Wasserwärmepumpe inkl. Hilfsenergie der Heizzentrale gemäss Herleitung in Kapitel 3.3.1.

4.2 Stromverbrauch der neuen Wärmepumpenanlage gemäss nachstehend aufgeführten Rechnungen der BKW Energie AG. In diesem Verbrauch ist ebenfalls der Strom für die Hilfsantriebe in der Heizzentrale eingerechnet.

Rechnungen	Hochtarif	Niedertarif	Verbrauch Total
4. Quartal 2002	40020 kWh	17490 kWh	57510 kWh
1. Quartal 2003	62799 kWh	24687 kWh	87486 kWh
2. Quartal 2003	17958 kWh	12918 kWh	30876 kWh
3. Quartal 2003	<u>6249 kWh</u>	<u>10275 kWh</u>	<u>16524 kWh</u>
Total	127026 kWh	65370 kWh	192396 kWh
Rundung			<u>192400 kWh</u>
Anteil	66.02%	33.98%	100%

4.3 Damit der Vergleich aussagekräftig ist, muss bei der konventionellen Vergleichsanlage der Strom für die Hilfsantriebe in der Heizzentrale zum Energieverbrauch hinzugezählt werden.

Die Abschätzung des Pumpen- und Brennerstroms erfolgt gemäss dem Beschrieb in Kapitel 3.3.1 wie folgt:

$$E_{\text{Pumpen, Brenner}} = EH - E1 - E2 \quad [\text{Gl. 3}]$$

EH Hauptzähler BKW. Verbrauch gemäss vorstehender Aufstellung.

E1 Unterzähler für Wärmepumpe 1

E2 Unterzähler für Wärmepumpe 2

Die notwendigen Messdaten sind nur für das 2. + 3. Quartal 2003 vorhanden.

Periode	EH	E1	E2	$E_{\text{Pumpen,Brenner}}$
2. Quartal 2003	30876 kWh	12221 kWh	11090 kWh	7565 kWh
3. Quartal 2003	16524 kWh	3888 kWh	7065 kWh	5571 kWh
Total Pumpenstrom 2. + 3. Quartal 2003			13'136 kWh	

Mittlerer Stromverbrauch für Pumpen pro Monat	2189 kWh
Hochgerechneter Jahresverbrauch	26268 kWh
Rundung	<u>26300 kWh</u>

5) Anlagenutzungsgrad

Berechnung gemäss Beschrieb in Kapitel 3.3.1:

$$\epsilon_{\text{Verbraucher}} = \frac{\text{An Anlage abgegebenen Nutzenergie}}{\text{Endenergieverbrauch Oel und Strom}} \quad [\text{Gl. 4}]$$

6) Energiegesetzgebung

Energiekennzahl gemäss Angaben in Kapitel 3.3.1. Grenzwert für Neubauten 87 kWh/m²a.

7) Minergiestandard

Minergiekennzahl gewichtet (Stromverbrauch doppelt) gemäss Berechnung in Kapitel 3.3.1. Grenzwert 42 kWh/m²a.

4.1.2 Kontrolle einzelner Anlageteile anhand der Messungen

4.1.2.1. COP der Wärmepumpen

Der COP- Wert der Wärmepumpen wird aus dem Verhältnis der gewonnenen Nutzwärme zur zugeführten Elektrizität definiert:

$$\text{COP}_{\text{WP}} = \frac{\text{Nutzwärmeabgabe der Wärmepumpe}}{\text{Stromaufnahme der Wärmepumpe}} \quad [\text{Gl. 7}]$$

Der COP- Wert wird für beide Wärmepumpen separat ermittelt:

$$\text{COP}_{\text{WP1}} = \frac{\text{Q1}}{\text{E1}} \quad \text{COP}_{\text{WP1}} = \frac{\text{Q2}}{\text{E2}}$$

COP- Werte pro Monat

Tabelle 3: COP- Werte pro Monat (Monatsmittel)

Monat	T1M (°C)	T3M (°C)	COP1 (-)	T4M (°C)	COP2 (-)
Februar 03	6.9	51.8	3.23	51.2	3.51
März 03	8.1	50.2	3.17	49.6	3.50
April 03	8.7	48.9	3.43	48.8	3.47
Mai 03	9.5	49.9	3.44	53.6	3.36
Juni 03	11.0	1)	1)	60.7	3.09
Juli 03	11.0	55.1	2.99	59.5	3.23
August 03	11.4	49.2	3.05	61.6	3.13
September 03	10.8	47.5	3.40	53.9	3.43
Okttober 03	9.1	49.5	3.18	49.0	3.67
November 03	8.0	48.0	3.13	47.9	3.62

Legende:

T1M	Mittlere Sondenvorlauftemperatur WP1 und WP2 pro Monat
T3M	Mittlere Kondensatoraustrittstemperatur WP1 pro Monat
T4M	Mittlere Kondensatoraustrittstemperatur WP2 pro Monat
COP1	COP-Wert für Wärmepumpe 1 als Mittelwerte der Tagesauswertung
COP2	COP-Wert für Wärmepumpe 2 als Mittelwerte der Tagesauswertung

Bemerkungen zu vorstehender Tabelle:

- 1) Die Wärmepumpe 1 war im Juni kaum in Betrieb. (Wärmeproduktion total nur 200 kWh.)

COP- Werte pro Tag

Nachstehend sind die COP- Werte für die Wärmepumpe 1 und 2 in Abhängigkeit der Kondensatoraustrittstemperaturen dargestellt. Die mittlere Soleeintrittstemperatur betrug während der Auswertungsperiode 9.4°C mit einem Minimalwert von 6.9°C und einem Maximalwert von 11.3°C.

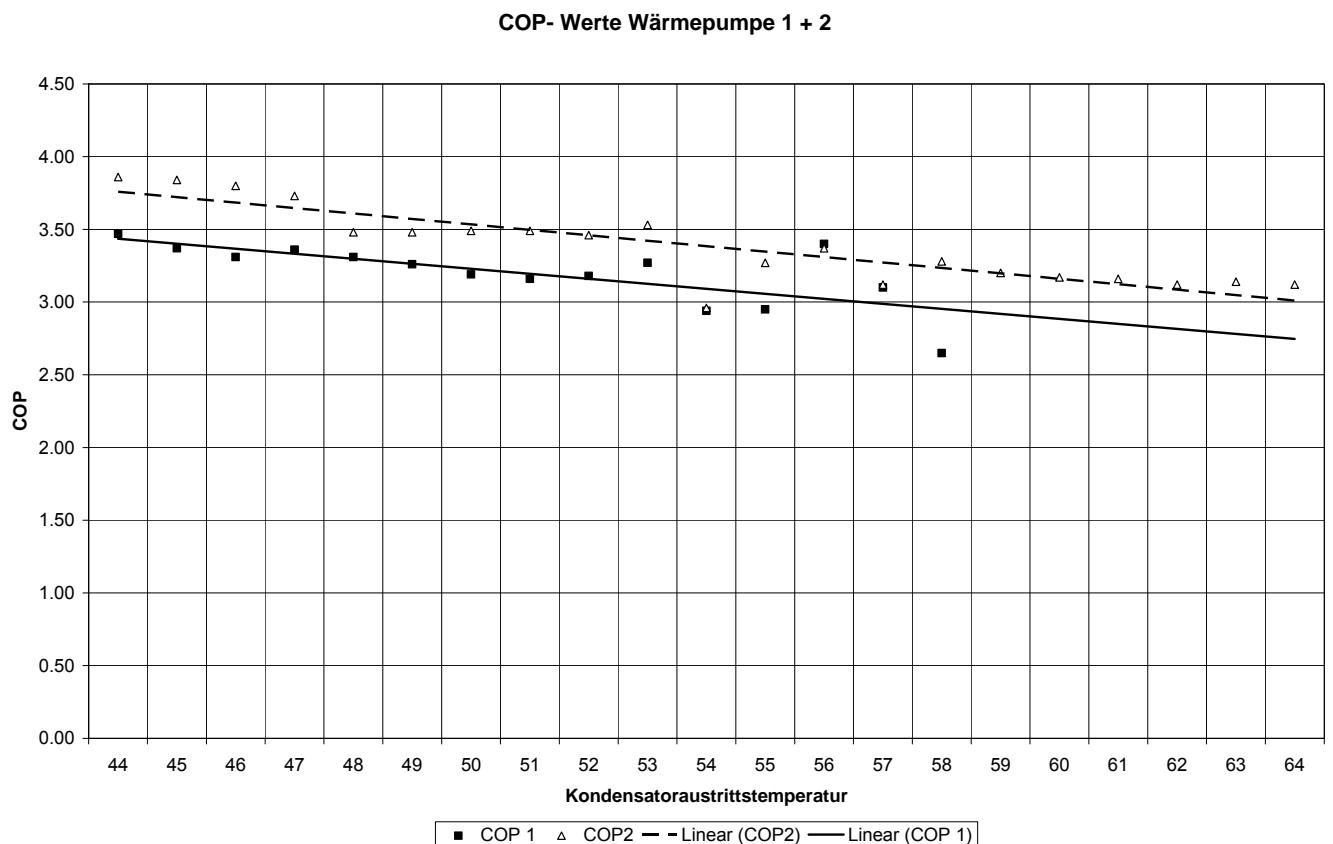


Bild 5. COP- Werte pro Tag

Vergleich mit Herstellerangaben

Herstellerangaben:

Betriebstemperatur	B0W35	COP	4.1
Betriebstemperatur	B0W50	COP	3.1

Gemessene Werte:

Betriebstemperatur	B9W45	COP WP1	3.43
Betriebstemperatur	B9W50	COP WP2	3.76
Betriebstemperatur	B9W50	COP WP1	3.26
		COP WP2	3.57

4.1.2.2. Deckungsgrad der Wärmepumpen

Ein Ziel der Anlagesanierung war die Erhöhung des Anteils der Wärmepumpen an der produzierten Wärmeenergie der Anlage.

Gemäss Beschrieb in Kapitel 3 definiert sich der Deckungsgrad der Wärmepumpe folgendermassen:

$$S_{WP} = \frac{Q1 + Q2}{Q1 + Q2 + Q3} \quad [Gl. 8]$$

wobei: Q1 Wärmeproduktion Wärmepumpe 1
 Q2 Wärmeproduktion Wärmepumpe 2
 Q3 Wärmeproduktion Ölheizkessel

1. Deckungsgrad pro Monat

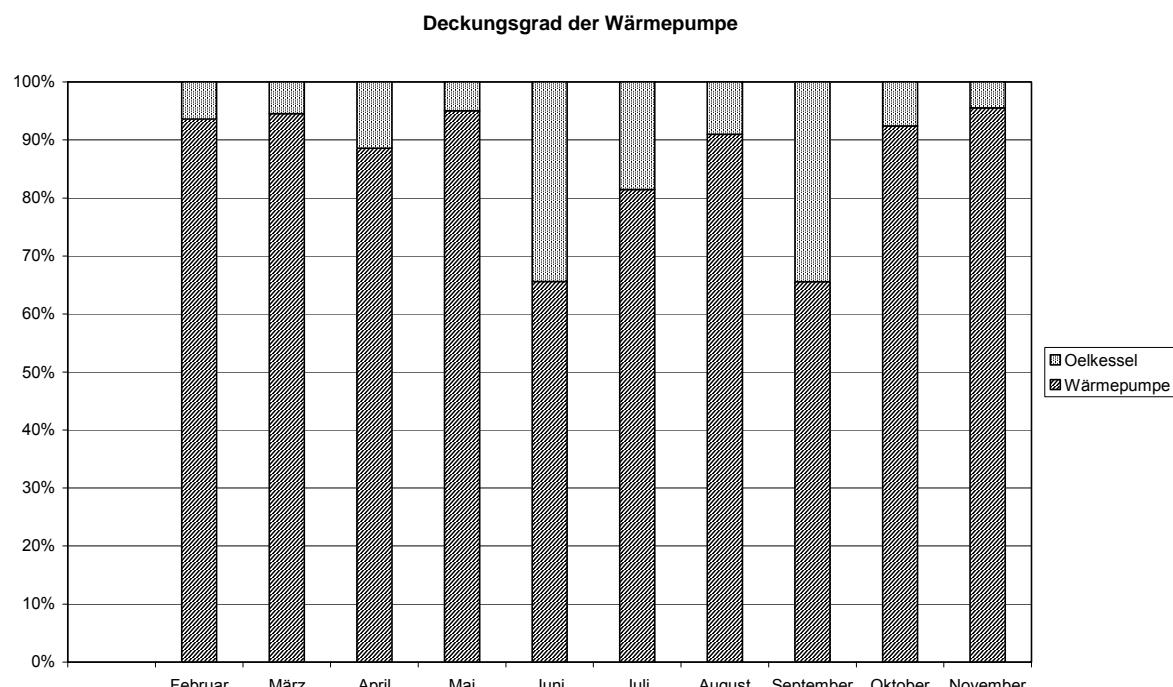


Bild 6: Deckungsgrad der Wärmepumpen

In Bild 5 ist der Deckungsgrad der Wärmepumpe von Februar 03 bis November 03 dargestellt. Auffallend ist der relativ tiefe Deckungsgrad im Juni und September. Dies hängt mit der Erweiterung der DDC-Regulierung im Sommer 03 zusammen. Dadurch wurden zeitweise die optimierten Sollwerte für die Boilerladung auf die Defaultwerte zurückgestellt, was dazu führte, dass die Verzögerungszeit des Ölheizkessels zu kurz und dieser dadurch unnötig in Betrieb genommen wurde.

2. Deckungsgrad Februar bis November

Innerhalb der bisher ausgewerteten Messperiode vom 1.2.03 bis 30.11.03 ergibt sich folgender Deckungsgrad:

Energieproduktion der Wärmepumpen	383'042 kWh	90.62%
Energieproduktion der Ölheizung	39'630 kWh	9.38%

	422'672 kWh	100%
		<u>90.62%</u>

4.1.2.3 Nutzungsgrad der Ölheizung

Der Jahresnutzungsgrad der Ölheizung ist gemäss Beschrieb in Kapitel 3 wie folgt definiert:

$$\epsilon_{\text{Ölheizung}} = \frac{Q3}{B1 * H_u} \quad [\text{Gl. 9}]$$

Auswertungsperiode	01.02.03 – 30.11.03
Q3 Energiezähler im Heizkesselkreislauf	39'630 kWh
B1 Durchflusszähler vor Ölbrenner	4'726.1 ltr
H _u Heizwert Öl	10.08 kWh/ltr

Nutzungsgrad der Ölheizung 01.02.03 – 30.11.03 **83.2%**

Dieser Wert dient der Berechnung des Energieverbrauchs der konventionellen Vergleichsanlage.

4.2 Kostenvergleich zu konventioneller Vergleichsanlage

Wie in Kapitel 3.4 beschrieben werden die finanziellen Aspekte der Wärmepumpenanlage dargestellt:

- Anhand der in Gerzensee getätigten Investitionen soll eine Größenordnung für die Kosten einer solchen Grosswärmepumpe gezeigt werden.
- Als Vergleich dazu werden die Kosten einer konventionellen Sanierung der Anlage aufgelistet.
- Für beide Anlagetypen werden die spezifischen Kosten pro kWh Nutzenergie errechnet.

4.2.1 Investitionskosten der Anlage in Gerzensee

Für nachstehend aufgeführte Kosten gelten die im Kapitel 3.4.1 aufgeführten Systemgrenzen. Die Kosten gelten für eine Anlagesanierung und haben keine direkte Gültigkeit für Neuanlagen.

Kostenaufstellung der Sanierung in Gerzensee

Preise rein netto inkl. 7.6% MWSt.

Die Anlage wurde durch den ausführenden Installationsbetrieb projektiert und geplant. Daher sind sämtliche Ingenieurkosten in nachfolgenden Preisen einberechnet.

Tabelle 4: Investitionskosten der WP-Anlage in Gerzensee (Ingenieurkosten eingerechnet)

BKP	Position		
Pos. 1	HLK – Installationen		
	Vorbereitungsarbeiten		
240.1	Ausserbetriebnahme, Absaugen Kältemittel	5'300.—	
240.2	Demontage Luft- Wasserwärmepumpe	15'100.—	20'400.—
	Erdsondenanlage		
241.1	4'800 lfm Erdsonden	333'500.—	
241.2	Sondenverteiler, erdverlegte Anschlussleitungen	65'500.—	
241.3	Hydraulische Verrohrung der Sondenanlage in der Heizzentrale, Glykolfüllung	98'400.—	497'400.—
	Wärmepumpen + Hydraulik		
242.1	2 Wärmepumpen à 114 kW (B0W50)	192'000.—	
242.2	Kondensatorkreislauf auf bestehende Speicher	60'400.—	252'400.—
	DDC- Regelung Zentrale		
242.5	Leitsystem für Energiezentrale	56'600.—	56'600.—
	Ersatz Ölheizkessel		
240.3	Demontage des alten Heizkessels	2'400.—	
241.4	Anpassungen an der Kaminanlage	7'600.—	
242.3	Neuer Heizkessel mit 300 kW Leistung	27'500.—	
242.4	Anschluss an bestehende Heizungsanlage	6'100.—	43'600.—
	Total HLK Installationen		870'400.—
Pos. 2	Bauseitige Nebenarbeiten		
	Elektrische Verdrahtungsarbeiten		69'500.—
	Bohrschlammentsorgung Erdsonden		35'600.—
	Baumeisterarbeiten Zentrale und Sondenfeld		56'900.—
	Total Nebenkosten		162'000.—
	Total Kosten Wärmepumpensanierung		1'032'400.—

4.2.2 Kosten einer konventionellen Vergleichsanlage

Gemäss Beschrieb in Pos. 5.4.3 wird für die Berechnung der Vergleichsanlage folgende Annahme getroffen:

- Ersatzlose Demontage der alten Luft- Wasserwärmepumpe.
- Wegen des grösseren Ölverbrauchs muss ein neuer Öltank installiert werden. Neuer Tankraum anstelle der alten Luft- Wasserwärmepumpen.
- Neuer Heizkessel mit 300 kW Heizleistung.
- Anpassen der Regulierung und der Schaltschränke in der Heizzentrale.

Tabelle 5: Investitionskosten der konventionellen Vergleichsanlage

BKP	Position		
Pos. 1	HLK – Installationen		
	Vorbereitungsarbeiten		
240.1	Ausserbetriebnahme, Absaugen Kältemittel	5'300.—	
240.2	Demontage Luft- Wasserwärmepumpe	15'100.—	
240.3	Erweiterte Demontage (2 Speicher 5'000 ltr, Verrohrung auf Speicher)	4'600.—	25'000.—
	Erweiterung der Ölversorgung		
241.1	Neuer, platzgeschweisster Tank mit ca. 65 m3 Inhalt an der Stelle der alten Wärmepumpen	38'000.—	
241.2	Füll- und Entlüftungsleitungen auf Tank	2'000.—	
241.3	Ölleitungen auf Brenner mit Umstellbatterie	3'000.—	43'000.—
	Neuer Ölheizkessel		
240.4	Demontage des alten Heizkessels	2'400.—	
241.4	Anpassungen an der Kaminanlage	7'600.—	
242.1	Neuer Heizkessel mit 320 kW Leistung	27'500.—	
242.2	Anschluss an bestehende Heizungsanlage	6'100.—	43'600.—
	Anpassen der Regulierung		
242.3	Neues Leitsystem für die Zentrale für: - Speicherbewirtschaftung ab Ölheizkessel - Neue Regulierung für Fernleitung HT + NT - Regulierung Stöckli - Neue Schaltschränke	29'500.—	29'500.—
	Total HLK Installationen		141'100.—
Pos. 2	Bauseitige Nebenarbeiten		
	Elektrische Verdrahtungsarbeiten		7'600.—
	Baumeisterarbeiten für Öltankraum		20'000.—
	Total Nebenarbeiten		27'600.—
	Total Kosten Vergleichsanlage		168'700.—

4.2.3 Spezifischer Energiepreis in Fr. /kWh der Wärmepumpenanlage

Die Grundlagen für die Berechnung sind in Kapitel 3.4.4 aufgeführt.

Für die Berechnung des spezifischen Wärmepreises ist der in Kapitel 4.1.1 hochgerechnete Nutzenergieverbrauch von 667'000 kWh zu Grunde gelegt. Daher gelten die gleichen Vorbehalte bezüglich Genauigkeit wie bei der Abschätzung der Energieeinsparung.

Tabelle 6: spezifischer Energiepreis der Wärmepumpenanlage

Pos.	Beschrieb			
Pos. 1	Brennstoffkosten			
1.1	Stromkosten gemäss Rechnungen BKW			
	4. Quartal 2002		7'300.—	
	1. Quartal 2003		11'200.—	
	2. Quartal 2003		2'900.—	
	3. Quartal 2003		1'400.—	22'800.—
1.2	Ölkosten, Verbrauch 6'600 ltr/a	50.—		3'300.—
	Total Brennstoffkosten			26'100.—
Pos. 2	Kapitalkosten	Annuität	Investitions-Kosten	Kapitalkosten
2.1	Vorbereitungsarbeiten (15 J)	9.63%	20'400.—	1'965.—
	Erdsondenfeld (30J)	6.51%	399'000.—	25'975.—
	Hydraulik Sondenseite in Zentrale (15J)	9.63%	98'400.—	9'476.—
	Wärmepumpe inkl. Hydraulik (15J)	9.63%	252'400.—	24'306.—
	Regulierung Zentrale (15J)	9.63%	56'600.—	5'450.—
	Ölheizkessel (15J)	9.63%	43'600.—	4'198.—
2.2	Elektrische Verdrahtungen (15J)	9.63%	69'500.—	6'693.—
	Schlammulden (30J)	6.51%	35'600.—	2'318.—
	Baumeisterarbeiten (30J)	6.51%	56'900.—	3'704.—
	Total Kapitalkosten		1'032'400.—	84'085.—
	(Zinssatz 5%)			
Pos. 3	Betriebs- und Unterhaltskosten			
	Anlagebedienung (ca. 1h pro Woche)			4'700.—
	Wartungsabonnement Wärmepumpe			3'000.—
	Wartungsabonnement Ölheizkessel			1'000.—
	Abonnement Stromzähler			100.—
	Kaminfeger, Feuerungskontrolle			800.—
	Öltankrevision (1 Tank)			100.—
	Sonstiger Unterhalt (1% der Zentralen-installation von 352'600.—)			3'500.—
	Total Unterhaltskosten			13'200.—

Pos. 4	Spezifischer Energiepreis			
4.1	Brennstoffkosten			26'100.—
	Kapitalkosten			84'100.—
	Unterhaltskosten			13'200.—
	Total Jahreskosten der Anlage			123'400.—
4.2	Nutzwärmeproduktion der Anlage		kWh	667'000
4.3	Spezifischer Energiepreis		Rp./kWh	18.5

4.2.4 Spezifischer Energiepreis der Vergleichsanlage

Als Vergleich zu vorstehend berechnetem Energiepreis der Wärmepumpeanlage wird der Energiepreis der konventionellen Vergleichsanlage berechnet.

Tabelle 7: spezifischer Energiepreis der konventionellen Vergleichsanlage

Pos.	Beschrieb			
Pos. 1	Brennstoffkosten			
1.1	Ölkosten, Verbrauch 77'800 ltr/a	50.—		38'900.—
1.2	Strom für Hilfsantriebe 26300 kWh	0.2		5'300.—
	Total Brennstoffkosten			44'200.—
Pos. 2	Kapitalkosten	Annuität	Investitions-Kosten	Kapitalkosten
2.1	Vorbereitungsarbeiten (15 J)	9.63%	25'000.—	2'408.—
	Neuer Öltank (30J)	6.51%	40'000.—	2'604.—
	Ölheizkessel + Ölversorgung (15J)	9.63%	46'600.—	4'488.—
	Regulierung Zentrale (15J)	9.63%	29'500.—	2'840.—
2.2	Elektrische Verdrahtungen (15J)	9.63%	7'600.—	732.—
	Baumeisterarbeiten (30J)	6.51%	20'000.—	1'302.—
	Total Kapitalkosten		168'700.—	14'374.—
	(Zinssatz 5%)			
Pos. 3	Betriebs- und Unterhaltskosten			
	Anlagebedienung (ca. 1h pro Woche)			4'700.—
	Wartungsabonnement Ölbrenner			1'000.—
	Kaminfegerkosten, Feuerungskontrolle			800.—
	Tankrevision (2 Tanks)			400.—
	Sonstiger unterhalt (1% der Zentralen-installation von 76'100.—)			800.—
	Total Unterhaltskosten			7'700.—

Pos. 4	Spezifischer Energiepreis			
4.1	Brennstoffkosten			44'200.—
	Kapitalkosten			14'400.—
	Unterhaltskosten			7'700.—
	Total Jahreskosten der Anlage		Fr.	66'300.—
4.2	Nutzwärmeleistung der Anlage		kWh	667'000
4.3	Spezifischer Energiepreis		Rp./kWh	9.94

4.3 Betriebliche Erfahrungen nach dem 1. Betriebsjahr

Die gesamte Anlage funktionierte von Anfang an gut und hatte wenig Betriebsstörungen. Ein Grund dafür ist, dass solche Grosswärmepumpen inkl. Regulierung und Hydraulik bereits mehrfach ausgeführt wurden und als erprobte Technik gelten.

Trotzdem traten während des ersten Betriebsjahres kleinere Probleme auf, die mit Anpassungen bei der Regulierung und bei der Wärmepumpe behoben werden konnten. Nachstehend soll in einer kurzen Übersicht auf die Störungen eingegangen werden:

1. Bei Wärmepumpe 1 trat nach ca. einem halben Jahr eine Öldruckstörung auf. Ursache der Störung war ein Öltransport von einem Verdichter zum anderen über den parallel geschalteten Kältekreis über Kondensator und Verdampfer. Das Problem konnte mit der Montage einer Ausgleichsleitung zwischen den Pumpensümpfen der Kompressoren behoben werden.
2. Hochdruckstörungen der Wärmepumpe 1. Diese wurden durch Regelprobleme bei der Freigabe der Kondensatorpumpen verursacht und konnten durch Anpassen der Regulierung behoben werden.
3. Ein Problem stellte die Trägheit der Anlage vor allem bei der Boilerladung während der Nacht dar. Trotz Konstantaustrittsregelung beim Kondensator, mit der nach kurzer Zeit Vorlauftemperaturen bis 66°C erreicht werden konnten, dauerte es 50 Minuten, bis in der Unterstation „Unterkünfte“ genügende Temperatur für die Boilerladung erreicht werden konnte. Noch extremer war die Situation in der Unterstation „Schlossgut“ mit dem riesigen 9'000 ltr Boiler. Obwohl die Temperaturfühler der Boilerladung so gesetzt waren, dass nur die oberen 4'500 ltr aufgeheizt werden sollten, dauerte die Boilerladung zu lange. Dies führte dazu, dass der Ölheizkessel häufig unnötig in Betrieb genommen wurde, was der hohe Anteil von 35% im Sommer bezeugt. Durch Verstellen der Verzögerungszeiten des Ölheizkessels sowie durch das Anpassen der Solltemperaturen in den Boilern konnte das Problem in den Unterkünften behoben werden. Im Schlossgut wurde die Ladung des Boilers durch die Wärmepumpe ausser Betrieb genommen. Das Wasser wird dort wie vor der Sanierung durch die WRG Anlage auf 40°C und nachher durch den Elektroboiler auf 63°C aufgeheizt.
4. Die etappenweise Erweiterung des Leitsystems während des ersten Jahres führte dazu, dass die angepassten Regelparameter wieder auf die Grundeinstellung zurückgesetzt wurden. Im Oktober 2003 wurden nach der Inbetriebnahme der letzten DDC- Regulierung in der Lüftungszentrale sämtliche Parameter überprüft und die letzten Regelverbindungen zur Zentrale hergestellt.

Viele Fehlfunktionen wurden dank der intensiven Betreuung der Anlage durch den technischen Dienst in Gerzensee entdeckt. Auch durch die Messungen in diesem Projekt konnten einige Verbesserungsmöglichkeiten erkannt und in die Wege geleitet werden.

Es ist daher unumgänglich, dass Anlagen in dieser Grösse in der ersten Zeit intensiv beobachtet und betreut werden.

5. Beurteilung der Ergebnisse

In diesem Teil des Zwischenberichts werden die Ergebnisse zusammengefasst und beurteilt.

5.1 Energieeffizienz der Anlage

5.1.1 Entwicklung des Energieverbrauchs

In einem ersten Schritt ist geprüft worden, wie sich der Gesamtenergieverbrauch anhand der Stromrechnungen und des Ölverbrauchs für den Heizkessel entwickelt hat.

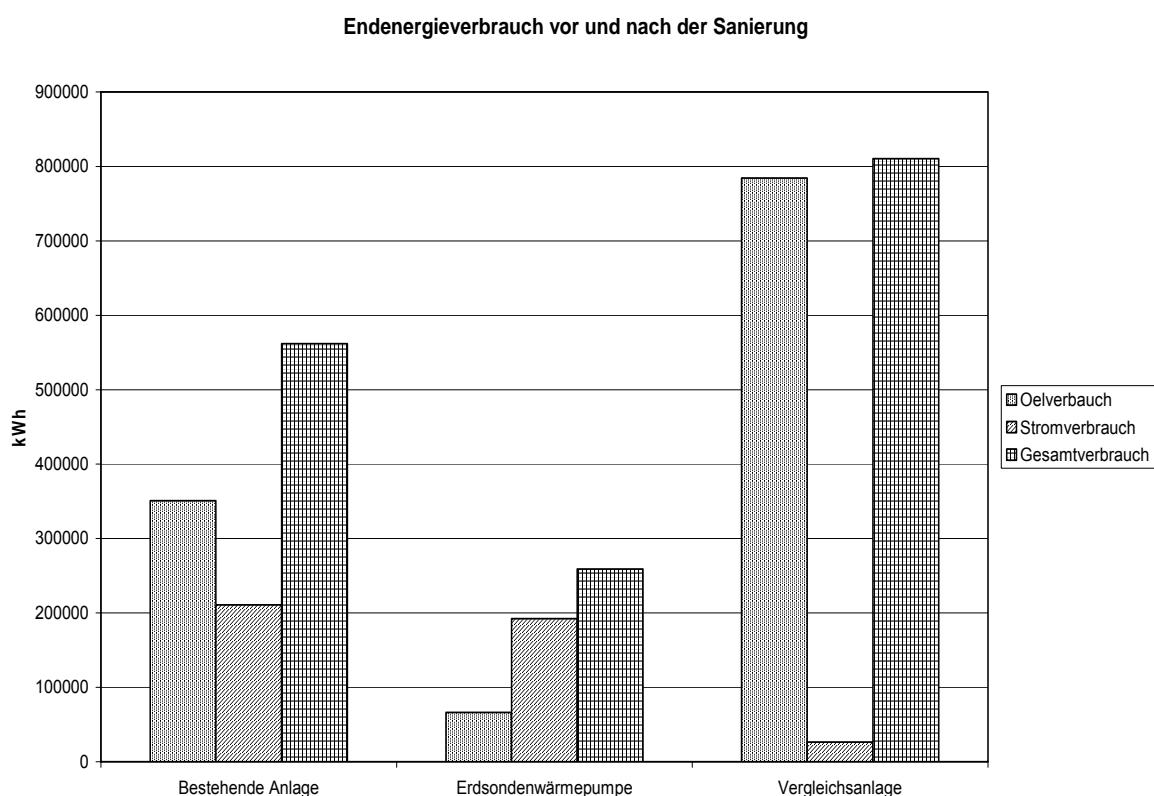


Bild 7: Entwicklung des Endenergieverbrauchs

Obwohl die Resultate zum Teil noch auf Hochrechnungen beruhen, ist die mit der Erdsondenwärmepumpe erzielte Energieeinsparung eindrucksvoll. Gegenüber der alten Luft-Wasserwärmepumpe ist eine Energieeinsparung von 53.8% erzielt worden.

- Der Ölverbrauch konnte um 81% reduziert werden.
- Der Stromverbrauch konnte trotz der grossen Substitution von Ölenergie durch die Erdsondenwärmepumpe ebenfalls um ca. 8% gesenkt werden.
- Gegenüber der konventionellen Vergleichsanlage wird nur 31.8% Endenergie verbraucht.
- Der verbraucherbezogene Nutzungsgrad der Anlage ist mit 2.58 ebenfalls deutlich höher als der der alten Anlage (1.19) oder der einer konventionellen Vergleichsanlage (0.82). In diesen Zahlen ist der Strom für Pumpen, Brenner sowie für die anderen Verbraucher in der Heizzentrale ebenfalls enthalten.

5.1.2 Kontrolle von einzelnen Anlagekomponenten

5.1.2.1 COP der Wärmepumpen

Die COP- Werte anhand der Tagauswertungen sind auf Seite 34 in Abhängigkeit der Kondensatoraustrittstemperatur für Wärmepumpe 1 und 2 dargestellt worden. Die mittleren COP- Werte pro Monat sind nachstehend ebenfalls in Abhängigkeit der mittleren Vorlauftemperaturen pro Monat dargestellt. Die mittlere Soletemperatur während der Messperiode betrug 9.4°C.

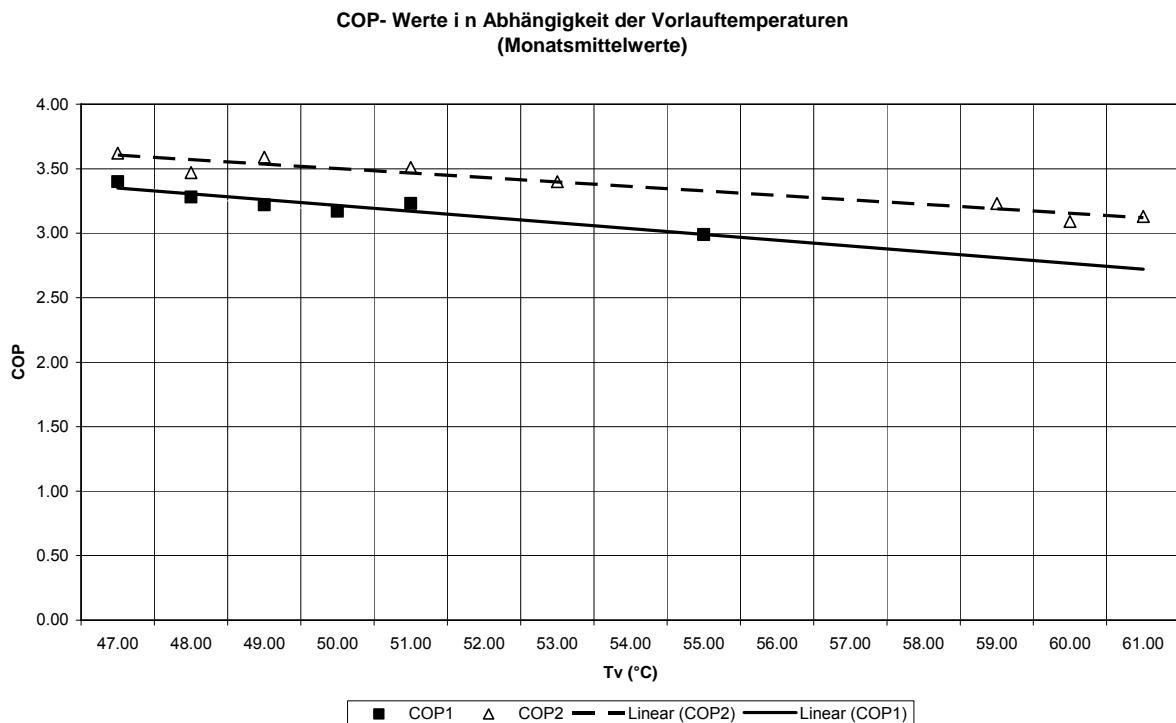


Bild 8: Monatsmittel der COP- Werte

Die COP- Werte pro Monat ergeben in etwa das gleiche Bild wie die auf Seite 34 dargestellten Tageswerte. Mit steigender Kondensatoraustrittstemperatur nehmen die COP- Werte beider Wärmepumpen ab. Auffallend ist, dass die Werte von Wärmepumpe 1 ca. 10% tiefer sind als diejenigen von Wärmepumpe 2. Gemäss Hersteller sind folgende Ursachen möglich:

- Unterschiedliche Verdichterleistungen bis 3% infolge Fertigungstoleranzen.
- Messtoleranzen bei der Datenaufnahme.
- Unterschiedliche Kältemittelfüllungen.

Die Wärmepumpe 1 wird beim nächsten Servicegang kontrolliert.

Die Wärmepumpen erbringen in etwa die vom Hersteller angegebenen Werte.

Herstellerangabe bei B0W50	COP = 3.10
Wärmepumpe 1 bei B9W50	COP = 3.20
Wärmepumpe 2 bei B9W50	COP = 3.50

Auffallend ist, dass die Wärmepumpe die meiste Zeit über auf einem hohen Temperaturniveau betrieben wurden. Die mittleren Monatstemperaturen des Vorlaufs betrugen auch in der Übergangszeit 47°C. Während des Sommers erreichte die für die Warmwasserbereitung eingesetzte Wärmepumpe 2 sogar Mittelwerte über 60°C.

Mit der definitiven Inbetriebnahme des Leitsystems im Oktober 2003 wurde versucht, die Heizkurven bei den Heizkörpergruppen nach unten zu korrigieren. Weiter wurden die Temperaturanforderungen der Lüftungsgruppen neu an die Zentrale übermittelt. Die tiefsten Tagesmittelwerte Ende Oktober und im November betragen trotzdem immer noch 42°C.

Ein Grund für die hohen Temperaturen liegt in der Grösse und der damit verbundenen Trägheit der Anlage. Fordert eine Heizgruppe eine Vorlauftemperatur von 35°C muss die Wärmepumpe wegen der erforderlichen Temperaturüberlagerung von 5K bereits mit Vorlauftemperaturen von 40°C betrieben werden. Noch extremer ist die Lage während der Boilerladung in der Nacht. Die mittleren Betriebstemperaturen im Sommer liegen bei 60°C.

5.1.2.2. Deckungsgrad der Wärmepumpen

Neben der Energieeinsparung konnte auch das zweite Sanierungsziel, die Erhöhung des Anteils der Wärmepumpe an der Wärmeproduktion erreicht werden.

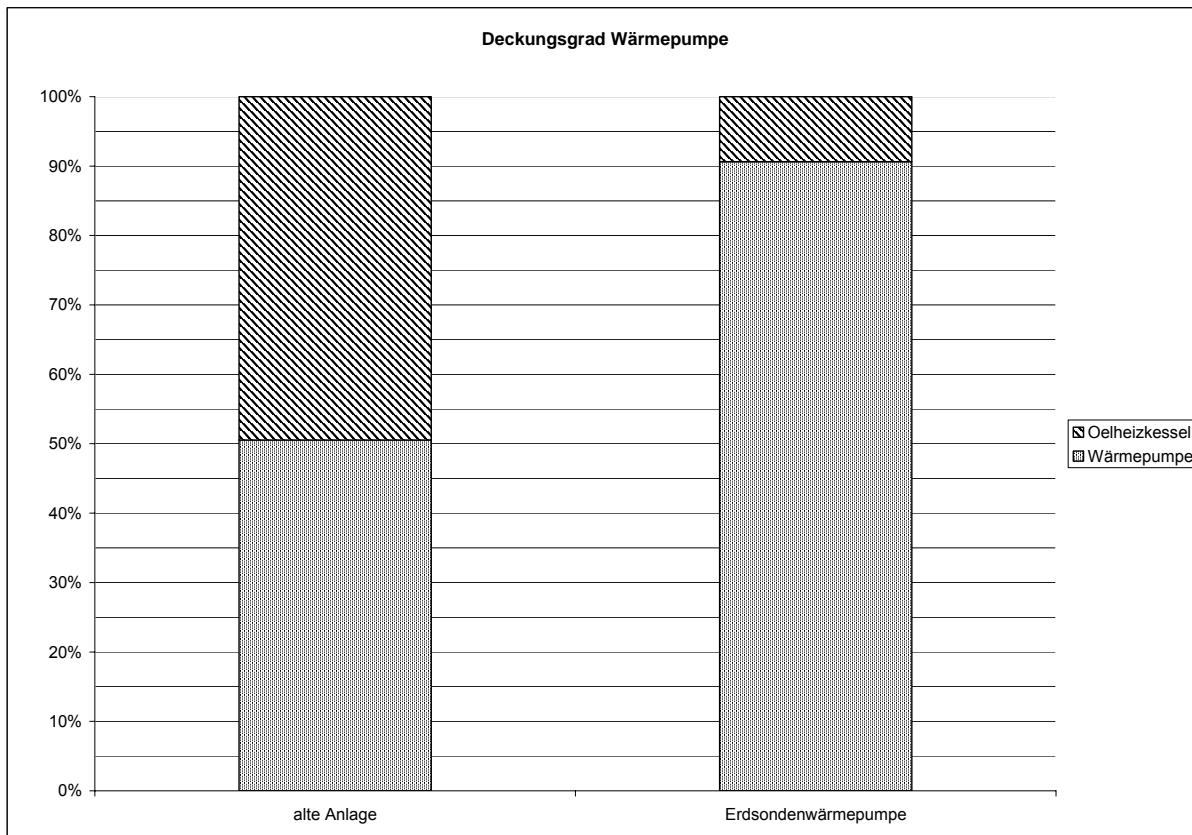


Bild 9: Entwicklung Deckungsgrad der Wärmepumpenanlage

Der Deckungsgrad konnte von den 50.6% der alten Anlage auf 90.6% gesteigert werden. Dabei muss noch berücksichtigt werden, dass wegen den vorgängig erwähnten Problemen mit Regelparametern der Ölheizkessel mehr als notwendig in Betrieb war.

Der Betrieb während des ersten Jahres hat gezeigt, dass die Wärmepumpenanlage gross genug dimensioniert ist, um auch bei tiefen Außentemperaturen den Wärmebedarf für Heizung und Warmwasser zu decken. Der Ölheizkessel wird daher nur noch für die Legionellen-hochladung der Boiler genutzt. Daher sollte bei optimalem Betrieb ein Deckungsgrad von 95% möglich sein.

5.2 Kostenvergleich zu konventioneller Anlage

In diesem Abschnitt wird dargelegt, welche Kosten entstanden wären, wenn die Anlage in Gerzensee nicht mit einer Erdsondenwärmepumpe sondern nur mit einem konventionellen Ölheizkessel saniert worden wäre. Die detaillierten Kosten sind unter Kapitel 4.2 aufgeführt.

Tabelle 8: Kostenvergleich Wärmepumpenanlage - Ölheizung

Kostenvergleich zu konventioneller Heizungsanlage		Erdsonden-wärmepumpe	Ölheizung
1. Investitionskosten			
Demontagen		20'400.—	25'000.—
Erdsondenanlage		497'400.—	
Wärmepumpe und Hydraulik		252'400.—	
DDC- Regulierung in Heizzentrale		56'600.—	29'500.—
Ersatz des Ölheizkessels		43'600.—	43'600.—
Erweiterung der Ölversorgung			43'000.—
Total HLK- Investitionen		870'400.—	141'100.—
Elektrische Verdrahtungsarbeiten		69'500.—	7'600.—
Baumeisterarbeiten		56'900.—	20'000.—
Schlammulden		35'600.—	
Total Investitionskosten		1'032'400.—	168'700.—
Vergleich		100%	16.3%
2. Betriebskosten			
Brennstoffkosten	Strom	22'800.—	5'300.—
	Erdöl	3'300.—	38'900.—
Kapitalkosten		84'100.—	14'400.—
Betriebs- und Unterhaltskosten		13'200.—	7'700.—
Total Jahreskosten		123'400.—	66'300.—
3. Spezifischer Energiepreis			
Total Jahreskosten der Anlage		123'400.—	66'300.—
Nutzwärmeproduktion		667'000 kWh	667'000 kWh
Spezifischer Energiepreis		18.5 Rp/kWh	9.94 Rp/kWh
Vergleich		100%	53.7%

Die Investitionskosten für die Erdsondenwärmepumpe sind etwa 6 mal höher als die einer Ölheizungsanlage. Die Betriebskosten und somit der spezifische Energiepreis sind immer noch doppelt so hoch wie die einer Ölheizung.

Folgende Faktoren sind für das Resultat ausschlaggebend:

- In Gerzensee wurde aus Gründen der Betriebssicherheit ein zweiter Wärmeerzeuger installiert. Dies hat Zusatzinvestitionen von Fr. 52'700.— verursacht. Mit einem Verzicht auf den Ölheizkessel hätte das Problem der Legionellenhochladung mit dezentralen Elektroheizeinsätzen gelöst werden müssen, was wiederum zu Mehrkosten geführt hätte.

- Der grösste Einzelposten bei den Investitionen sind die Erdwärmesonden. Die Kosten für die Wärmegewinnung erhöhen sich in etwa proportional zur Heizleistung. Dies ist sicher einer der Gründe, warum sich Wärmepumpenanlagen mit Erdwärmesonden mit gröserer Leistung bisher auf dem Markt nicht durchsetzen konnten.

Um auf einen ausgeglichenen spezifischen Energiepreis zu kommen, müsste sich der Heizölpreis auf ca. Fr. 130.— pro 100 ltr Heizöl verteuern. Die Auswirkungen einer solchen Verteuerung auf den Strompreis sind dabei noch nicht berücksichtigt worden.

6. Noch offene Probleme

Welche der unter Punkt 2 aufgeführten Ziele sind noch nicht oder nur ungenügend behandelt worden?

Ziel 1: Einsparungspotential der Technologie

In einer ersten Näherung konnte das Einsparungspotential der Anlage gegenüber der alten Luft- Wasserwärmepumpe und im Vergleich zu einer konventionellen Ölheizung abgeschätzt werden. Die Genauigkeit liegt bei etwa $\pm 15\%$.

Der Nutzenergieverbrauch für die Monate Dezember 03 und Januar 04 musste geschätzt werden. Zudem stimmen die Stromverbrauchszahlen der BKW für das erste Jahr nicht mit der Messperiode für die Nutzenergie überein.

Eine genauere Bilanzierung der Energieeinsparung ist erst ab Juli 2004 möglich.

Die vorstehenden Berechnungen sollten daher zu diesem Zeitpunkt oder im Schlussbericht noch einmal überprüft werden.

Ziel 2: Kostenvergleich mit konventioneller Anlage

Die unter Ziel 1 gemachten Vorbehalte bezüglich Genauigkeit gelten auch für die errechneten spezifischen Energiekosten.

Um den Vergleich für die Erdwärmesonde etwas freundlicher aussehen zu lassen, sollte die Kühlung des Mehrzweckraumes im Schlossgut miteinbezogen werden. Die Kühlung des Saales mit einer Kälteanlage mit Direktverdampfer im Monoblock sollte als konventionelle Vergleichsanlage dienen.

Für diese Berechnungen ist aber unbedingt der Kälteenergiebedarf der Anlage erforderlich, so dass eine sinnvolle Auswertung erst nächsten Winter möglich ist.

Ziel 3: Betriebliche Erfahrungen

Die unter Punkt 3 definierten Erfahrungen bezüglich Unterhaltskosten, Bedienungsaufwand und Lärmemissionen müssen im Schlussbericht noch ausgewertet werden. Die Betriebsstörungen bis Ende 2004 werden ebenfalls registriert und ausgewertet.

Ziel 4: Planerische Aspekte

Die unter Punkt 4 aufgeführten Projektziele sollten aus folgenden Gründen erst im Schlussbericht behandelt werden:

- Der Vergleich des Energieverbrauchs mit der während der Planung erstellten Prognose ist erst ab Juli 2004 möglich.
- Die Inbetriebnahme der Free- Coolinganlage im Sommer 2003 erfolgte zu spät, um die Auswirkungen des Wärmeeintrags in das Sondenfeld aufzeigen zu können.
- Die Temperaturrentwicklung im Erdsondenfeld soll nach dem ersten Sommer mit Wärmeeintragung mit den Ergebnissen von Simulationsprogrammen verglichen werden

7. Vorschlag für weiteres Vorgehen

Wie bereits mehrfach in diesem Bericht erwähnt wurde, sind die im Vertrag vereinbarten Termine für den Zwischen- und Schlussbericht durch die entstandenen Verzögerungen beim Messbeginn nicht mehr aktuell. Wir schlagen daher folgendes weiteres Vorgehen vor:

1. Fortsetzen der Messungen auf der Anlage wie bisher.
2. Vorauswertung nach jedem Monat gemäss bisherigem Umfang. Prüfen der Ergebnisse auf Plausibilität.
3. Verschiebung des Termins für den Schlussbericht auf Ende Juli 2005.
4. Messperiode, die für den Schlussbericht ausgewertet werden sollte:

- Messbeginn	01.02.2003
- Erste voll verwertbare Abrechnungsperiode der BKW	2. Quartal 2003
- Sinnvolle Auswertungsperiode:	
Beginn 1. Jahr	2. Quartal 2003
Ende 1. Jahr	1. Quartal 2004
Beginn 2. Jahr	2. Quartal 2004
Ende 1. Jahr	1. Quartal 2005
- Ende der Messungen	31. März 2005
- Rechnungsstellung der BKW für 1. Quartal 2005	Ende April 2005
- Zeitbedarf für Auswertungen, Schlussbericht	3 Monate
- Termin für Schlussbericht	Ende Juli 2005

8. Symbolverzeichnis

EBF	Energiebezugsfläche	m^2
Q1	Energieabgabe Kondensator Wärmepumpe 1	kWh
Q2	Energieabgabe Kondensator Wärmepumpe 2	kWh
Q3	Energieabgabe Ölheizkessel	kWh
Q4	Nutzenergie für Warmwasser und Lüftungsanlagen	kWh
Q5	Nutzenergie für Raumheizung	kWh
Q6	Wärmeaufnahme Wärmepumpe 2 von Erdsonden	kWh
Q7	Wärmeaufnahme Wärmepumpe 1 von Erdsonden	kWh
Q8	Wärmeeintrag in Erdsonden durch Free- Coolinganlage	kWh
E1	Elektrische Energie für Wärmepumpe 1	kWh
E2	Elektrische Energie für Wärmepumpe 2	kWh
B1	Ölverbrauch Heizkessel	ltr
T1	Temperatur am Eintritt vom Erdsondenfeld	$^{\circ}\text{C}$
T1M	Monatsmittelwert von T1	$^{\circ}\text{C}$
T2	Temperatur am Austritt zum Erdsondenfeld	$^{\circ}\text{C}$
T3	Temperatur am Kondensatoraustritt Wärmepumpe 1	$^{\circ}\text{C}$
T3M	Monatsmittelwert von T3	$^{\circ}\text{C}$
T4	Temperatur am Kondensatoraustritt Wärmepumpe 2	$^{\circ}\text{C}$
T4M	Monatsmittelwert von T4	$^{\circ}\text{C}$
T5	Aussentemperatur	$^{\circ}\text{C}$
E _{Vergleichsanlage}	Energieverbrauch der konventionellen Vergleichsanlage	kWh
E _{Ölheizung}	Energieabgabe Ölheizkessel der Vergleichsanlage	kWh
E _{Pumpen,Brenner}	Energieverbrauch für Pumpen, Ölbrenner etc. in Heizzentrale	kWh
E _{Ölheizung}	Jahresnutzungsgrad des Ölheizkessels	-
EH	Stromzähler Econom I der BKW in Haupteinspeisung Zentrale	kWh
$\varepsilon_{\text{Verbraucher}}$	Verbraucherbezogener Jahresnutzungsgrad der Anlage	-
E _{kWh/m2a}	Energiekennzahl: spezifischer Verbrauch pro m^2 EBF	$\text{kWh}/\text{m}^2\text{a}$
E _{Strom}	Stromverbrauch der Heizzentrale	kWh
E _{Öl}	Energieverbrauch durch Ölheizkessel	kWh
E _{gewichtet}	Gewichtete Energiekennzahl	$\text{kWh}/\text{m}^2\text{a}$
COP _{WP}	Leistungszahl der Wärmepumpe	-
S _{WP}	Deckungsgrad der Wärmepumpe	-
H _u	Unterer Heizwert von Erdöl EL	kWh/ltr
B _a	Ölverbrauch der konventionellen Vergleichsanlage	ltr/a

9. Anhang

1. Prinzipschema der bestehenden Anlage
2. Prinzipschema der neuen Erdwärmesondenanlage

Die Vorauswertungen sowie die Messprotokolle können auf Wunsch auf Exel- Dateien eingesehen werden.

