

Schlussbericht Juli 2003

Kirche Môtier Sanierung der Raumheizung

ausgearbeitet durch
Vincenzo Grizzetti
Energie Wasser Bern
Monbijoustrasse 11, 3001 Bern

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

Zusammenfassung

Die unter Denkmalschutz stehende Kirche in Môtier im Kanton Freiburg wurde mit einer elektrischen Direktheizung beheizt. Die rund 50-jährige Heizung war sanierungsbedürftig, Ersatzteile konnten nicht mehr beschafft werden. Die Stromkosten waren enorm hoch.

Eine Erneuerung der Heizung wurde unumgänglich. Die elektrische Direktheizung wurde durch eine Erdsonden-Wärmepumpe ersetzt, das Heizsystem mittels Warmluft musste beibehalten werden.

Die Kirche wird an den Werktagen auf 14°C und am Sonntag auf 20°C aufgeheizt.

Ein Jahr nach der Sanierung konnten wir feststellen, dass mit der neuen Wärmepumpenheizung über 70 % weniger Strom verbraucht wurden. Die Betriebskosten wurden ebenfalls rund 70 % kleiner.

Résumé

L'église de Moutier, dans le canton de Fribourg, est classée monument historique et avait jusqu'alors un chauffage électrique direct. Après 50 ans de mise en service, cette installation devait être rénovée. Puisqu'il n'existe plus de pièces de rechange et qu'en outre les coûts d'électricité étaient toujours très élevés, il devenait opportun de remplacer cet ancien chauffage.

Une sonde géothermique pompe à chaleur remplace désormais le chauffage électrique direct tout en gardant l'ancien système de chauffage d'air chaud.

Pendant la semaine l'église est chauffée à une température de 14° degrés et le dimanche à 20° degrés.

Une année après la rénovation nous pouvons constater qu'avec le nouveau système de pompes à chaleur, la consommation d'électricité et les coûts d'exploitation ont diminué chacun de 70%.

Summary

The historical, church in Môtier, district Freiburg, Switzerland, is under monumental protection. In 2002 the church received a new electrical direct heating System. The existing, fifty years old heating system had to be replaced due to the fact, that no spare parts where available anymore.

The new direct heating system contains a warm-air sytem, supplied by a ground source heat-pump.

On Sundays the inside church temperature is 20 0C and for the rest of the week 14 0C.

After a one years operation period the power savings with the heat pump are more than 70% which means, the operation cots are also more than 70 % lower.

Inhaltsverzeichnis

1. Alte Heizungsanlage	Seite	5
2. Planung der neuen Heizungsanlage	Seite	6
3. Detailplanung	Seite	6
4. Ausführung der neuen Wärmepumpenheizung	Seite	7
5. Energieverbrauch, Energiekosten	Seite	8
6. Technische Merkmale der Kirchenheizung	Seite	9
7. Jahresarbeitszahl der Anlage	Seite	12
8. Beurteilung der Sanierung nach einem Jahr	Seite	13
9. Zusammenstellung der Resultate	Seite	14
10. Unterhalt der Anlage	Seite	14

Abb.1: Die Kirche von Môtier am Murtensee



1. Alte Heizungsanlage

Die alte Kirchenheizung bestand aus einem elektrischen 80 kW Direktheizgerät, welches in einen Umluftkanal eingebaut war. Die Raumluft der Kirche wurde im Kirchenschiff in der Nähe der Kanzel angesaugt, durch zwei im Boden eingelassene Kanäle in den Heizungsraum geleitet, durch den Luftheritzer geführt und mittels Ventilator wieder in die Kirche eingeblasen.

Es war kein Luftfilter vorhanden. Die Steuerung funktionierte mit einem Stufenschalter für den Luftheritzer. Der Sollwertgeber war im Heizungsraum montiert, der Raumfühler an der Außenwand bei der Kanzel. Der Ventilator konnte nicht variiert werden. Der gemessene maximale Stromkonsum an einem Tag belief sich auf 840 kWh!

Alte Anlage



Abb. 2: Steuertableau, Ventilator (Pulliabdeckung aus Karton) und Zuluftkanäle

2. Planung der neuen Heizungsanlage

Energie Wasser Bern wurde an der Wärmepumpen Expo 2000 in Bern angefragt, ob eine Beheizung der Kirche mit einer Wärmepumpe möglich sei.

Eine Besichtigung vor Ort zeigte uns die enorm schwierigen Verhältnisse auf. Am Objekt durfte nichts verändert werden. Die Kirche steht unter Denkmalschutz. Die Kirche ist mit einer Bruchstein-, Backsteinmauer gebaut und nicht isoliert. Die Decke der Kirche ist mit Holztäfer verkleidet und nicht isoliert. Der Heizungsraum weist eine Bodenfläche von ca. 8 m² auf. Das kleine enge Sondenfeld oberhalb der Kirche kann nur über eine meterhohe Mauer erreicht werden.

Eine erste Grobanalyse zeigte, dass mit einer raumsparenden Aufstellung alle nötigen Apparate im Heizraum untergebracht werden könnten. Die Decke der Kirche müsste unbedingt isoliert werden. Eine erste Kostenschätzung für die komplette Sanierung der Heizung beläuft sich auf rund Fr. 135'000.-- .

Bereits im Dezember 2000 wurde die Decke der Kirche mit einer Isolation versehen. Der K-Wert beträgt nun 0.25 W/m²K.

3. Detailplanung

Die Berechnung der Wärmeleistung unter Berücksichtigung der neuen Isolation der Kirchendecke ergibt einen Wärmeleistungsbedarf von 35,5 kW bei Ta - 7°C

Mit diesen Angaben konnte die Leistung (Grösse!) der Wärmepumpe sowie des Monoblocks bestimmt werden.

Die engen Platzverhältnisse zwangen uns bereits bei der Planung die Apparate zu wählen, welche die kleinsten Abmessungen aufwiesen. Der Monoblock mit dem Ventilator, Wärmetauscher, Luftfilter wurde im ehemaligen Zuluftkanal untergebracht und musste auf eine Eisenkonstruktion über den Bodenkanälen gestellt werden. Die Wärmepumpe musste an die Innenwand (15 cm Backstein) zur Kirche aufgestellt werden. Dies bedeutete, dass die Schallisolation der Wärmepumpen besonders wichtig war.

Das Sondenfeld mit den drei 175 m tiefen Erdsonden konnte nur mit einer Bohrmaschine erreicht werden, welche auf einer Selbstfahrlaffette mit Raupenantrieb montiert war.

Die voraussichtlichen Kosten für die Heizungsanlage betragen:

Offerte Fa. Steinmann, Kirchlindach	
Sole-Wärmepumpe 10.3 / 40.1 kW	Fr. 20'300.—
WP-Regelung	Fr. 610.—
Inbetriebnahme	Fr. 400.—
Wärmegewinnung Sonden 3 x 175 m	Fr. 39'440.—
Erdsondenanschluss	Fr. 9'375.—
Offerte Sulzer Infra, Bern	
Neuer Monoblock inkl. Wärmetauscher und Filter	Fr. 27'500.—
Alte Anlage demontieren	Fr. -.—
Rechnung Guillood-Collaud SA, Lugnorre	
Isolation Kirchendecke	Fr. 17'650.—
Anpassung Elektroinstallation	Fr. 4'250.—
Maurerarbeiten / Durchbrüche	Fr. 2'990.—
Unvorhergesehenes	Fr. 4'500.—
Honorare Ing. / Bauführung	Fr. 7'500.—
Kostenvoranschlag für der Sanierung	Fr. 134'515.— (inkl. MWSt)

Im August 2001 bewilligt das BFE Subventionen für das vorgelegte Projekt. Der Kirchgemeinderat beschloss anfangs November die Anlage nach unserem Projekt auszuführen. Der Kirchgemeinderat bat uns, die Arbeiten nicht vor Weihnachten auszuführen, weil in dieser Zeit die Kirche intensiv genutzt wird. Da die Subventionen zeitgebunden waren, mussten die Arbeiten im ersten Quartal 2002 ausgeführt werden.

4. Ausführung der neuen Wärmepumpenheizung

Die verschiedenen Komponenten wurden im November bestellt, der genaue Liefertermin vorgemerkt. Die Handwerker wurden orientiert, wann sie die vorgesehenen Arbeiten auszuführen hätten.

Das Arbeitsprogramm war strikte einzuhalten. Die Lieferungen der einzelnen Komponenten mussten in der richtigen Reihenfolge erfolgen.

Die Kirche wurde auch während dem Umbau genutzt. Es wurde eine provisorische Direktheizung mit Bauheizlüftern installiert. Die alte Heizungsanlage wurde am 23. 02. 2002 demontiert. Die Demontage wurde von den Kirchgemeindemitgliedern ausgeführt.

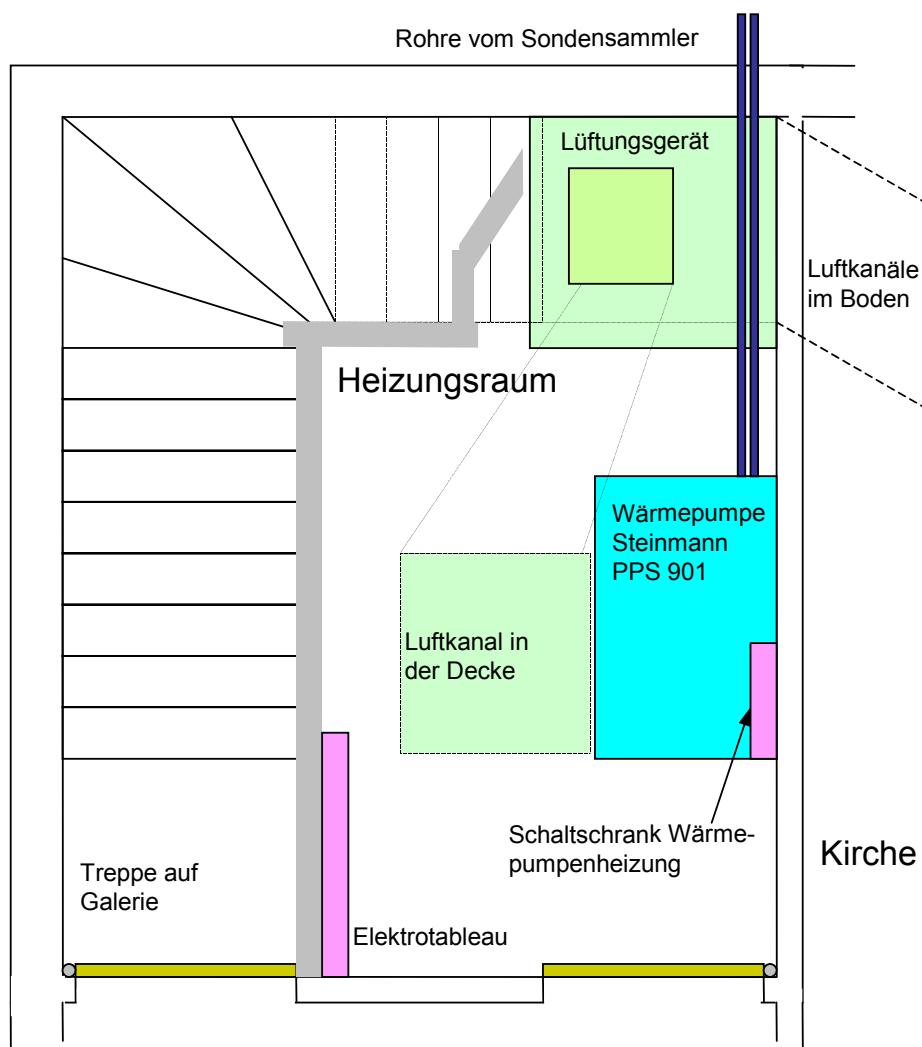
Der Arbeitsplan wurde von den Handwerkern genau eingehalten. Die Lieferungen erfolgten alle pünktlich und in der richtigen Reihenfolge. Nach 13 Tagen konnte die neue Heizung in Betrieb genommen werden.

Die Eckdaten der neuen Anlage:

Wärmeleistungsbedarf der Kirche (Ta -7°C)	35.5 kW
Beheiztes Volumen	2'140 m ³
Wärmepumpen Steinmann PPS 901 Leistung	5.2 kW / 18.2 kW (S 0)
Monoblock Ventilator 2-stufig	2.2 / 0.9 kW
Monoblock Wärmetauscher	40 kW
Sondenpumpe	0.9 kW

Die Kosten der fertigen Anlage nach Abrechnung aller Lieferanten, Handwerker und Planer betrugen Fr. 131'320.-- inkl. MWSt.

Abb. 3: Grundriss Heizungsraum



5. Energieverbrauch, Energiekosten

Der Stromkonsum der alten Direktheizung betrug nach der Sanierung der Kirchendecke im Jahr 2001 55'814 kWh

Der Stromkonsum mit der neuen Heizungsanlage betrug vom 1. April 2002– 31. März 2003 (1 Jahr) 17'490 kWh

Heizgradtag bereinigt

Direktheizung im Jahr 2001 (3207 Hgt auf 3300 Hgt) 57'433 kWh

Neuen Heizungsanlage 1.4.2002-31.3.2003 (3450 auf 3300 Hgt.) 16'730 kWh

Die Einsparung bei der Energie beträgt 70.9 % oder 40'703 kWh

Die Stromkosten mit der alten Heizung (57'433 kWh)	inkl. MWSt
Hochtarifanteil (41.8 %) 24'007 kWh	Fr. 5'682.95
Niedertarifanteil (58.2 %) 33'426 kWh	Fr. 3'956.25
Total 57'433 kWh	Fr. 9'639.20

Die Stromkosten mit der neuen Heizung (16'730 kWh)	
Hochtarifanteil (44.7 %) 7'478 kWh	Fr. 1'770.25
Niedertarifanteil (55.3 %) 9'252 kWh	Fr. 1'095.05
Total 16'730 kWh	Fr. 2'865.30

Die Einsparung bei den Heizkosten beträgt 70.3 % oder Fr. 6'773.90

Die Grundgebühren sind gleich geblieben.

6. Technische Merkmale der Kirchenheizung

Die Kirche wird normalerweise am Sonntag genutzt. Für andere Anlässe muss die Kirche vom Sigrist entsprechend der Nutzung vorbereitet werden. Die Kirche wird während der Woche auf 14°C temperiert und vom Samstag mittag bis Sonntag mittag auf 20.5°C geheizt. Für Anlässe wird die Heizung manuell auf 20.5°C umgeschaltet.

Die Wärmegewinnungsanlage (drei Sonden von je 175 m Bohrtiefe) ist optimal ausgelegt und hat den ganzen Winter durchschnittliche Temperaturen von über 5°C erreicht. Die Sonden werden bis zur Hälfte im Grundwasser des Sees liegen.

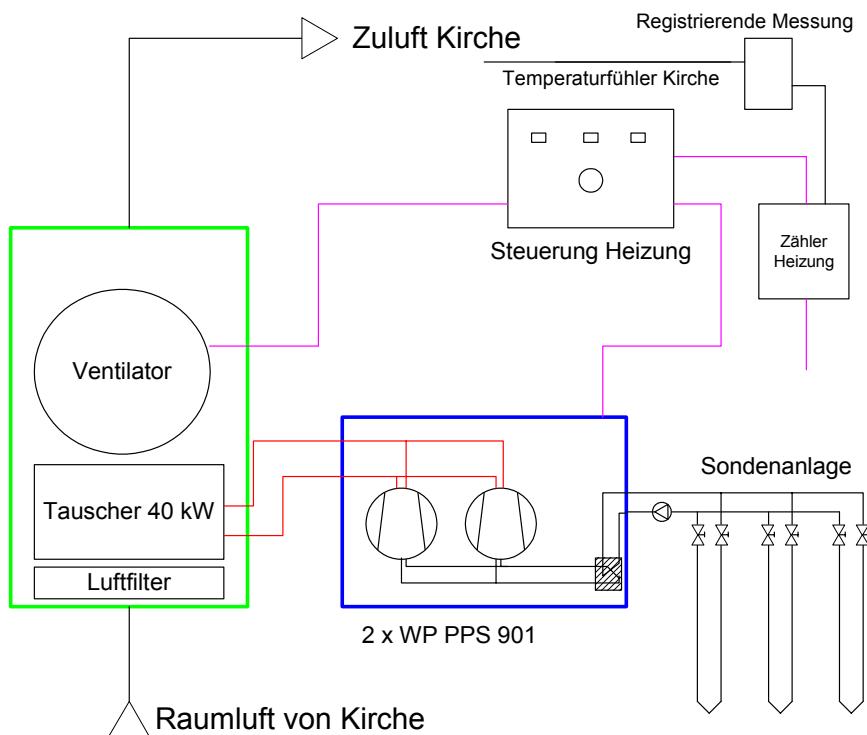


Abb. 4: Anlageschema

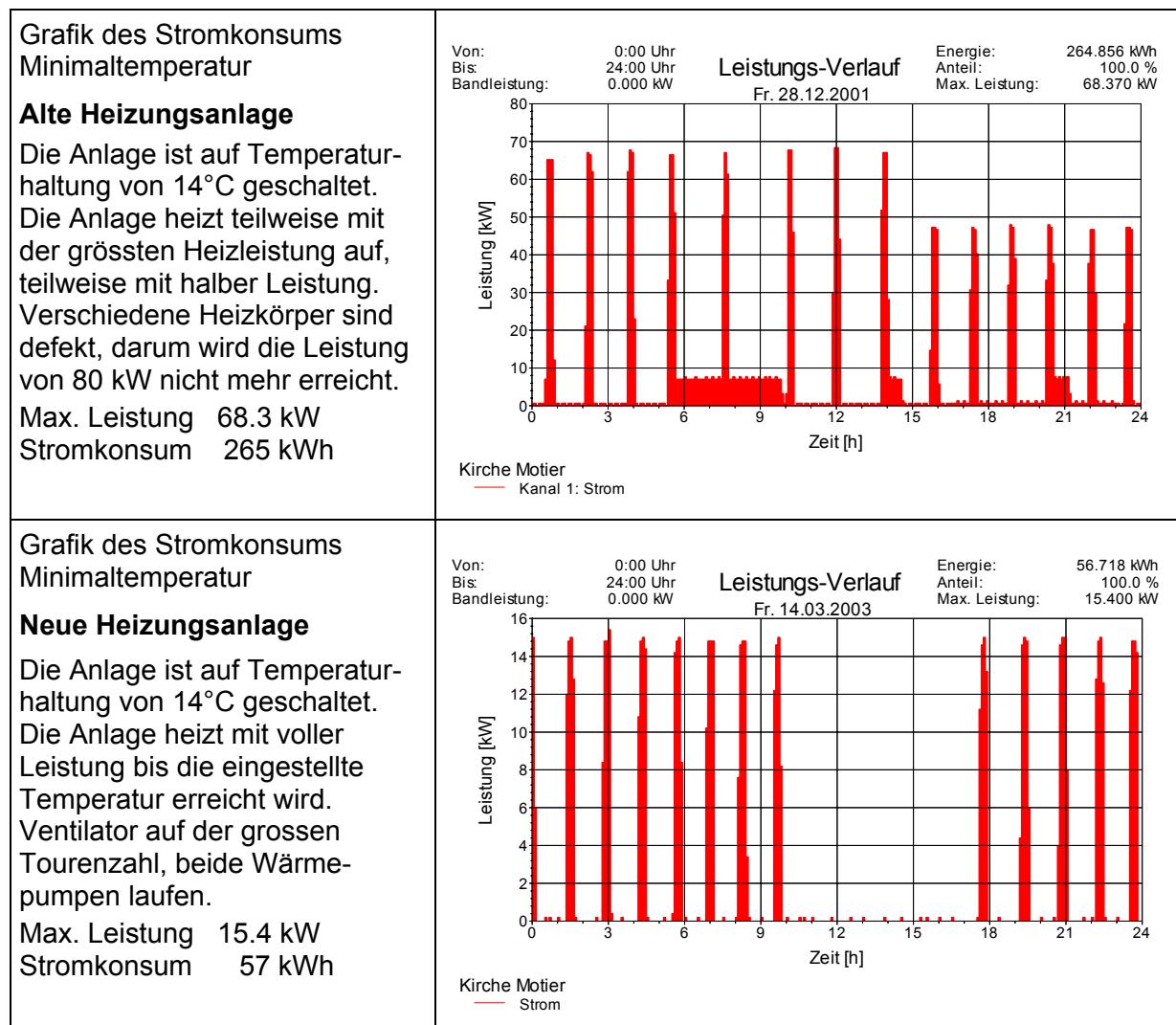
Funktion der Steuerung

Für die abgesenkten Raumtemperatur wurde in der Kirche ein Thermostat montiert und auf 14°C einjustiert. Fällt die Temperatur unter die 14°C schaltet die Heizung zwingend ein (Minimaltemperatur wegen der Orgel). Ein Zweikreis-Proportionalregler überwacht die Normaltemperatur von 20.5°C. Der Raumfühler ist in der Kirche bei der Kanzel montiert. Die Umschaltung von Minimaltemperatur auf Normaltemperatur wird mit einer Schaltuhr gesteuert (Wahlschalter auf Stellung "Automat"). Die Solltemperatur ist vom Samstagmittag bis Sonntagmittag auf 20.5 °C eingestellt, sonst die Minimaltemperatur von 14°C . Die Freiburgischen Elektrizitätswerke haben vom Samstagmittag bis Montag Morgen über das ganze Wochenende den Niedertarif.

Die Aufheizung von Minimal- auf Normaltemperatur erfolgt mit der Stufe 2 des Ventilators und beiden Wärmepumpen. 1°C unter Solltemperatur schaltet die Steuerung den Ventilator auf Stufe1 und nur noch eine Wärmepumpe läuft bis die Solltemperatur erreicht wird. Für ausserordentliche Anlässe während der Woche, kann der Wahlschalter von der Stellung „Automat“ auf die „Stufe 1“ oder „Stufe 2“ manuell geschaltet werden. Je nach Schalterstellung heizt die Anlage mit halber oder ganzer Leistung auf die eingestellte Normaltemperatur von 20.5°C auf.

Pro Stunde schalten die Wärmepumpen im Maximum drei Mal ein. Die minimale Laufzeit beträgt 15 Minuten. Für die registrierende Messung wurde ein Stromzähler, welcher nur den Konsum der Heizungsanlage registriert, montiert. An diesem Zähler befestigten wir den Tastkopf des Stromtachos, welcher den Stromkonsum, die elektrische Leistung und die Temperatur der Kirche aufzeichnete. Die beiden Wärmepumpe haben je einen Betriebsstunden-Zähler eingebaut.

Abb. 5: Vergleich alte und neue Heizungsanlage bei gleichen klimatischen Bedingungen
Beispiel: 28. 12. 2001 / 14. 03. 2003 Temperatur ~ 5.0°C

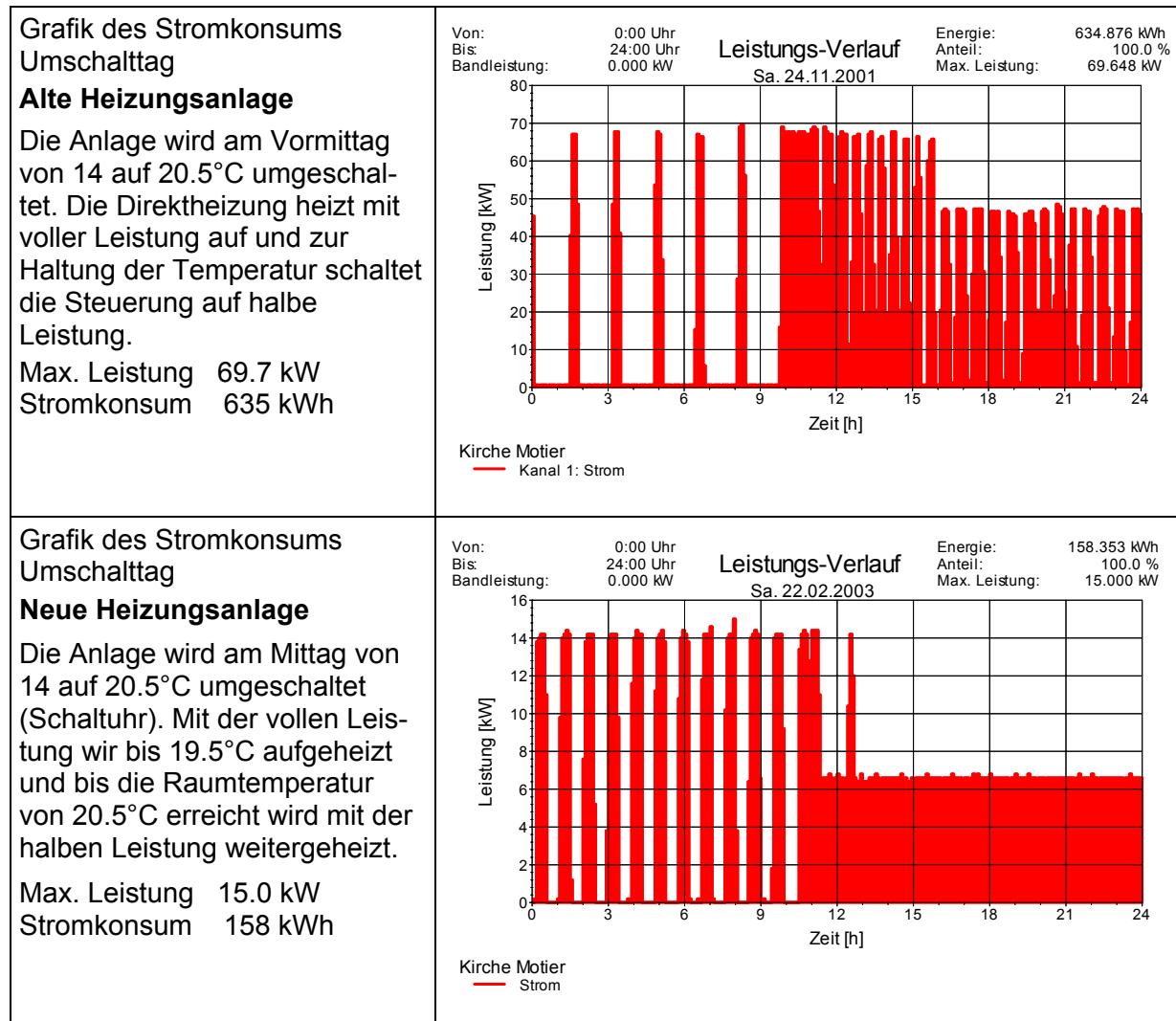


Die Temperaturen des Kältemittel (R-407c) vor dem Tauscher:

Betrieb eine Wärmepumpe	48°C / 29°C	Soletemperatur 7°C / 4°C
Betrieb beide Wärmepumpen	57°C / 34°C	Soletemperatur 6°C / 2°C

Der Stromkonsum (01. 01. 2001 – 31.12. 2001) von der alten Direktheizung kann als Heizenergiebedarf der Kirche angenommen werden (55'814 kWh bei 3207 Hgt). Es gab keine Verluste der Heizungsanlage (alle beheizten Teile im Innern der Kirche und genutzt).

Abb. 6: Vergleich alte und neue Heizungsanlage bei gleichen klimatischen Bedingungen
Beispiel: 24. 11. 2001 / 22. 02. 2003 Temperatur ~ 2.5°C



7. Jahresarbeitszahl der Anlage

Leistungszahl der Wärmepumpen bezogen auf eine Wärmepumpe Steinmann PPS 901 nach Angaben des Lieferanten

Leistungsaufnahme	4.5 kW	Abgabe	20.2 kW = 4.5 (S 5)
Leistungsaufnahme	5.2 kW	Abgabe	18.2 kW = 3.5 (S 0)

Leistungszahl der Wärmepumpe für das erste Betriebsjahr (1. 4. 2002 – 31. 3. 2003)

Betriebsstunden WP 1	1'118.8 Std.
Betriebsstunden WP 2	1'198.0 Std.
Total	2'316.8 Std.

Stromkonsum aufgeschlüsselt nach den einzelnen Verbrauchern der Wärmepumpenheizung

Stromkonsum der Wärmepumpenkompressoren	13'549 kWh
Ventilator grosse Stufe (811 Std. x 2.2 kW)	1'785 kWh
Ventilator kleine Stufe (695 Std. x 0.9 kW)	626 kWh
Solepumpe (1'506 Std. x 0.9 kW)	1'355 kWh
Steuerung	175 kWh
Total der ganzen Heizungsanlage (3450Hgt)	17'490 kWh

Stromkonsum der alten Heizung bei 3207 Hgt	55'814 kWh
Abzüglich Stromkonsum Ventilator	2'064 kWh
Total Abgabe Heizenergie (bei 3207 Hgt)	53'750 kWh
Abgegebene Heizenergie bei 3450 Hgt (53'750 kWh / 3207 Hgt x 3450 Hgt)	57'822 kWh

Leistungszahl: Abgegebene Heizwärme / Verbrauchte Strommenge Wärmepumpen
57'822 kWh (3450Hgt) / 13'549 kWh

Die Leistungszahl der Wärmepumpe im Jahresdurchschnitt beträgt 4.27

Jahresarbeitszahl im ersten Betriebsjahr

Abgegeben Heizenergie 57'822 kWh / Aufgenommene elektrische Energie 17'490 kWh

Die Jahresarbeitszahl im ersten Betriebsjahr beträgt 3.31

Energiekosten pro kWh bezogen auf das erste Betriebsjahr

Energiekosten / Abgegebene Heizwärme Fr. 2'865.30 / 57'822 kWh = **4.95 Rp / kWh**
inkl. MWSt.

8. Beurteilung der Sanierung nach einem Jahr

Die Sole-Wärmepumpenanlage hat sich bewährt. Der Umbau in sehr kurzer Zeit war ein Vorteil. Jeder Lieferant und Handwerker musste die Termine peinlich genau einhalten. Die Arbeiten wurden sauber und schnell erledigt. Die Anlage ist zweckmäßig aufgebaut (Servicefreundlich) und einfach zu bedienen. Die ganze Anlage wird über einen einzigen Wahlschalter bedient.

Der Wärmetauscher direkt als Kondensator der Wärmepumpe zu betreiben, hat sich bewährt. Es entstehen keine Verluste beim Wärmetauscher, Speicher, Leitungen und es muss keine Umwälzpumpe betrieben werden.

Nachteilig erwies sich, dass der Heizungsraum nicht abgeschlossen wurde. Verschiedentlich wurden unsachgemäße Manipulationen an den Steuerapparaten vorgenommen (Revisions schalter ausgeschaltet). Die Sondenpumpe sollte bei grösseren Anlagen zweistufig sein.

Abb. 7: Die doppelte Schallisolation der Wärmepumpen.



9. Zusammenstellung aller Daten der Anlage

Kirche Môtier, Sanierung der Heizung	
Beheizte Fläche	302m ²
Beheiztes Raumvolumen	2'140 m ³
Wärmeleistungsbedarf der Kirche bei Ta -7°C	35.5 kW
Alte Anlage (Direktheizung)	
Luftherziter	80 kW
Umluftventilator (Annahme: ca. 1.2 kW / 4'500 m ²)	Kein Leistungsschild mehr
Neue Anlage (Sole-Wärmepumpen)	
Sole-Wärmepumpen Steinmann PPS 901 (2x)	5.2 kW / 18.2 kW (S 0)
Monoblock mit zweistufigem Ventilator	2.2 / 0.9 kW
Luftdurchsatz Monoblock	8'000 / 5'200 m ³
Wärmetauscher im Monoblock	40 kW
Sondenpumpe	0.9 kW
Alle folgenden Werte bei 3300 Heizgradtagen	
Stromkonsum alte Heizungsanlage (Direktheizung)	57'433 kWh
Stromkonsum neue Heizungsanlage mit Sole-Wärmepumpen	16'730 kWh
Stromeinsparung mit der neuen Heizungsanlage	40'703 kWh
Stromkosten mit alter Anlage	Fr. 9'639.20
Stromkosten mit neuer Heizungsanlage	Fr. 2'865.30
Heizkosteneinsparung mit der neuen Heizungsanlage	Fr. 6'773.90
Leistungsziffer der Wärmepumpe im ersten Betriebsjahr	4.27
Jahresarbeitszahl der neuen Heizungsanlage	3.31
Kosten pro kWh Heizenergie	4.95 Rp. / kWh
Kosten der neuen Heizungsanlage	Fr. 131'320.00

Alle Angaben inkl. MWSt.

10. Unterhalt der Anlage

An der Anlage muss nur der Monoblock gewartet werden. Im Herbst muss die Spannung des Keilriehmens überprüft und der Luftfilter gereinigt werden. An den Wärmepumpen muss keine Wartung gemacht werden.

Von der Steuerung werden die Verschmutzung des Luftfilters und der Keilriemen des Ventilators überwacht.