

1994 724.397.23.60 D

Materialien zu RAVEL

Dimensionierung,  
Sanierung und Be-  
trieb von Elektro-  
heizungen in  
Kirchen



Ressort 23: Geräte

Bundesamt für Konjunkturfragen

Materialien zu RAVEL

# **Dimensionierung, Sanierung und Be- trieb von Elektro- heizungen in Kirchen**

Erwin Hungerbühler



Herausgeber: Bundesamt für Konjunkturfragen  
(Bf K)  
Belpstrasse 53  
3003 Bern  
Tel.: 031/322 21 39  
Fax: 031/371 82 89

Geschäftsstelle: RAVEL  
c/o Amstein+Walthert AG  
Leutschenbachstrasse 45  
8050 Zürich  
Tel.: 01/305 91 11  
Fax: 01/305 92 14

Ressortleiter: Ruedi Spalinger  
INFEL Lagerstrasse 1  
8021 Zürich  
Tel.: 01/291 01 02  
Fax: 01/291 09 03

Autor: Erwin Hungerbühler  
Ingenieurbüro für Energietechnik  
Himmelrichstrasse 23  
9552 Bronschhofen  
Tel.: 073/22 20 01  
Fax: 073/22 20 01

Fachliche  
Unterstützung: Georg Furler  
Weissenbrunnenstrasse 41  
8903 Birmensdorf

Andreas Zwingli  
Pfadacher 7  
8623 Wetzikon

Diese Studie gehört zu einer Reihe von Untersuchungen, welche zu Handen des Impulsprogrammes RAVEL von Dritten erarbeitet wurde. Das Bundesamt für Konjunkturfragen und die von ihm eingesetzte Programmleitung geben die vorliegende Studie zur Veröffentlichung frei. Die inhaltliche Verantwortung liegt bei den Autoren und der zuständigen Ressortleitung.

Copyright Bundesamt für Konjunkturfragen  
3003 Bern, August 1994

Auszugsweiser Nachdruck unter Quellenangabe erlaubt. Zu beziehen bei der Eidg. Drucksachen- und Materialzentrale, Bern (Best. Nr. 724.397.23.60 D)

<b>Inhalt</b>	<b>Seite</b>
<b>I Zusammenfassung / Résumé</b>	5/6
<b>II Einleitung</b>	7
<b>1. Vorgehen bei einer Heizungs- oder Gebäudesanierung</b>	11
1.1 Ablaufschema	11
1.2 Beweggründe für Sanierung	12
1.3 Grobanalyse	13
1.4 Feinanalyse mit Schwerpunkt Heizung	16
1.5 Planung und Realisierung der Verbesserungen	19
1.6 Inbetriebnahme, Erfolgskontrolle	19
<b>2. Übersicht Elektroheizsysteme</b>	21
2.1 Übersicht Wärmeabgabe	21
2.2 Übersicht Steuerung und Regelung	30
<b>3. Anforderungen an das Raumklima</b>	39
3.1 Raumklima und Bauphysik	39
3.2 Raumklima und Orgel	45
3.3 Randbedingungen aus denkmalpflegerischer Sicht	56
<b>4. Heizbetrieb in Kirchen</b>	57
4.1 Grundsätzliches zum Heizbetrieb	57
4.2 Behaglichkeit	58
4.3 Grundtemperatur	60
4.4 Aufheizphase	66
4.5 Heizen während der Belegung	67
4.6 Temperaturverlauf nach der Belegung	68
<b>5. Einflüsse auf den Heizenergieverbrauch</b>	69
5.1 Gebäude- und anlagebedingte Einflüsse	69
5.2 Betriebliche Einflüsse auf den Heizenergieverbrauch	70
<b>6. Berechnungen</b>	73
6.1 Energiekennzahl nach der SIA-Empfehlung 180/4	73
6.2 Energiebedarf nach der SIA-Empfehlung 380/1	78
6.3 Matrix Elektroverbrauch	82
6.4 Wärmeleistungsbedarf von Gebäuden nach der SIA-Empfehlung 384/2	83
6.5 Weitere Methoden für die Berechnung des Wärmeleistungsbedarfs	86

	Seite
<b>7. Planung der Heizung</b>	89
7.1 Planung des Wärmeabgabesystems	89
7.2 Bestimmung der Wärmeleistung	91
7.3 Anordnung der Heizkörper und der Heizflächen	92
7.4 Planung der Steuerung und Regelung	94
7.5 Platzierung der Raumtemperaturregler und Temperaturfühler	95
<b>8. Montage und Installation der Heizung</b>	97
8.1 Montage der Heizkörper und Fussbodenheizung	97
8.2 Montage der Raumtemperaturregler und Temperaturfühler	97
8.3 Elektroinstallation	97
<b>9. Abschluss der Arbeiten</b>	99
9.1 Inbetriebnahme und Abnahme der Heizung	99
9.2 Bedienungsanleitung und Anlagedokumentation	100
<b>10. Betrieb und Wartung der Heizung</b>	101
10.1 Betrieb der Heizung	101
10.2 Wartung der Heizung	105
<b>11. Erfolgskontrolle</b>	107
11.1 Energiebuchhaltung	107
<b>Anhang</b>	
<b>A 1 - A 6 Fallbeispiele</b>	
A 1 Evangelische Kirche Amriswil / TG	109
A 2 Evangelische Kirche Arbon / TG	113
A 3 Evangelische Kirche Glarus	117
A 4 Katholische Kirche Goldingen / SG (detailliertere Darstellung)	121
A 5 Katholische Kirche Steinebrunn /TG	137
A 6 Evangelische Kirche Wil / SG	141
<b>A 7 Begriffserklärungen, Definitionen, Tabellen, Literaturverzeichnis</b>	145
<b>A 8 Arbeitsblätter</b>	153

# I Zusammenfassung

Kirchen und andere nur selten belegte öffentliche Gebäude stellen an die Planung und den Betrieb des Heizsystems besondere Anforderungen. Der Unterschied, beispielsweise zu Wohnbauten, liegt vor allem in der sporadischen Nutzung, den Gebäudeabmessungen, der häufig ungewohnten Heizungsinstallation, aber auch an den sehr unterschiedlichen und teilweise widersprüchlichen Anforderungen an das Raumklima.

Viele Kirchen werden elektrisch geheizt. Andere, energetisch günstigere Heizsysteme sind aus installations- und bautechnischen Gründen in den meisten Fällen kaum oder gar nicht möglich. Der Jahresverbrauch der elektrisch beheizten Kirchen in der Schweiz beträgt etwa 100'000 MWh. Die steigenden Energiekosten (Elektrizität) erhöhen die Bereitschaft, Energiesparmassnahmen zu prüfen.

Vermerkt wurde von kirchlichen und öffentlichen Institutionen in den letzten Jahren auch der sorgfältige Umgang mit den Energievorräten und die Schonung der Umwelt als Auftrag erkannt.

Ein rationeller Einsatz der in diesen Gebäuden besonders häufig verwendeten hochwertigen elektrischen Energie drängt sich auch aus energiepolitischen Gründen auf.

Zentrale Fragen sind:

- \* Wie lässt sich durch einen exakten, auf den Bedarf abgestimmten Betrieb der Verbrauch spürbar vermindern?
- \* Wo lohnt es sich, kleinere Änderungen an bestehenden Anlagen vorzunehmen?
- \* Wie sehen diese Verbesserungen konkret aus?
- \* Wie lässt sich bei Teil- und Totalsanierungen garantieren, dass die neue Anlage die Elektrizität bestmöglichst nutzt?

Auf diese und viele weitere Fragen geht die vorliegende Ravel-Untersuchung «Dimensionierung, Sanierung und Betrieb von Elektroheizungen in Kirchen» ein (sie wird im folgenden als «Handbuch» bezeichnet).

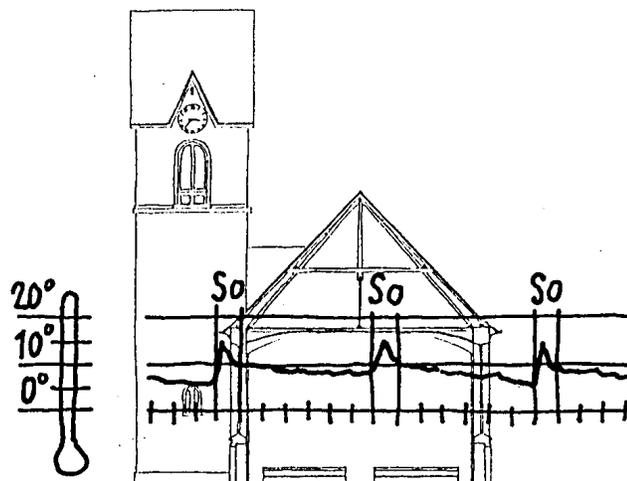
Im ersten Kapitel wird der Ablauf bei der Sanierung einer elektrischen Kirchenheizung dargelegt. In den weiteren Kapiteln wird ein Überblick über die gebräuchlichen Wärmeabgabesysteme, Regel- und Steuergeräte gegeben. Überlegungen betreffend den Anforderungen an das Raumklima, Einflüsse auf den Energieverbrauch und die Diskussion von Berechnungsverfahren bilden den Einstieg für die Planung. Das Handbuch wird durch Hinweise auf die Planung, Installation, Inbetriebnahme, Betrieb und Wartung der Heizungsanlage abgerundet.

Im zweiten Teil des Handbuches werden sechs Kirchen mit unterschiedlichen Heizsystemen und unterschiedlichen betrieblichen Randbedingungen untersucht. Es werden Massnahmen für die Einsparung von elektrischer Energie vorgeschlagen und erste Erfolgskontrollen dargestellt. Die untersuchten Objekte wurden während einer ganzen Heizsaison, einzelne sogar während einem ganzen Jahr messtechnisch erfasst. Die Auswertung der Daten zeigt, dass bei einzelnen Kirchen Einsparungen von über 40 % erzielbar sind.

Fig. 1

Das Handbuch richtet sich an alle bei einer Sanierung einer elektrischen Kirchenheizung beteiligten Personen, wie Elektroplaner, Installateure, Architekten, Kirchenverwaltungen (bzw. deren Rats- und Kommissionsmitglieder) und das Bedienungspersonal.

Das Handbuch gibt den heutigen Stand des Wissens wieder und beruht auf praktischer Erfahrung, die an vielen Objekten gewonnen werden konnte. Trotzdem kann es keinen Anspruch auf Vollständigkeit erheben, da nicht alle Themen abschliessend behandelt werden konnten. Für einige Bereiche sind noch zu wenig theoretische Grundlagen und praktische Erfahrungen vorhanden.



# I Résumé

La planification et l'exploitation des systèmes de chauffage des églises et de certains bâtiments publics peu occupés présentent des exigences particulières. Une multitude de raisons en sont à l'origine: le mode spécial d'utilisation, les dimensions du bâtiment, l'installation inhabituelle, les exigences très spécifiques et partiellement contradictoires pour le climat intérieur.

De nombreuses églises sont chauffées à l'électricité. Pour des raisons techniques et architecturales, il n'est guère possible d'installer d'autres systèmes de chauffage. La consommation annuelle des églises chauffées à l'électricité en Suisse se monte à environ 100'000 MWh. Actuellement, l'augmentation des coûts de l'électricité favorise l'intérêt pour les économies d'énergie.

Depuis ces dernières années, les églises et les institutions publiques se préoccupent également des réserves énergétiques et de la protection de l'environnement. L'utilisation rationnelle d'une énergie d'aussi haute valeur que l'électricité devient également prioritaire pour des raisons de politique énergétique.

Les principales questions sont:

- \* Comment peut-on diminuer sensiblement la consommation en adaptant exactement l'exploitation aux besoins?
- \* Où est-il rentable d'entreprendre de petites modifications sur des installations existantes?
- \* Quel est le résultat pratique de ces améliorations?
- \* Quelles sont les garanties que les nouvelles installations utilisent mieux l'électricité après une rénovation partielle ou totale?

Cette étude "Dimensionnement, assainissement et exploitation des chauffages électriques dans les églises" répond à ces interrogations ainsi qu'à plusieurs autres questions.

Le premier chapitre traite de l'assainissement des chauffages électriques dans les églises. Les chapitres suivants donnent un aperçu des systèmes habituels de distribution de chaleur, ainsi que des appareils de régulation et de commande. Des réflexions sur les exigences au sujet du climat intérieur, leur influence sur la consommation d'énergie, ainsi qu'une discussion sur les procédés de calcul conduisent à une démarche de planification. La première partie de ce manuel donne des indications pour la planification, l'installation, la mise en service, l'exploitation et l'entretien.

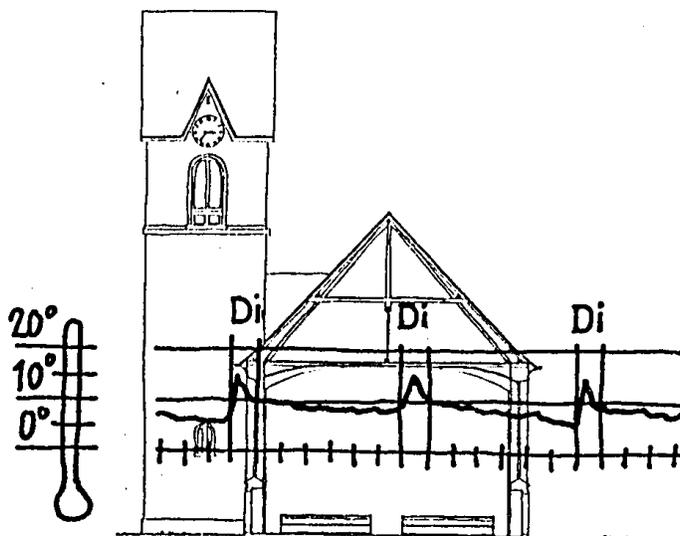
La seconde partie présente l'examen de six églises ayant chacune un système de chauffage différent et d'autres conditions d'exploitation. Des mesures d'économie d'énergie électrique sont proposées, ainsi qu'un premier contrôle d'efficacité. Ces églises ont subi un contrôle instrumenté pendant toute une saison de chauffage, certaines mêmes pendant une année.

Le dépouillement des résultats montre qu'une économie de plus de 40% a été réalisée dans certains cas.

Fig. 1

Ce manuel s'adresse à toutes les personnes, planificateurs d'installations électriques, installateurs, architectes, administrateurs, respectivement membres de conseils de paroisse et de commissions, ainsi qu'au personnel d'exploitation.

Cet ouvrage donne l'état actuel des connaissances. Il apporte l'expérience pratique qui peut profiter à d'autres cas. Il ne prétend cependant pas être exhaustif, car tous les thèmes n'ont pas pu être traités de manière approfondie. Dans certains domaines, il y a encore trop peu de bases théoriques et d'expériences pratiques à disposition.



## II Einleitung

### Stellenwert der Elektroheizung in Kirchen

Es wird angenommen, dass in der Schweiz rund 3000 bis 4000 Kirchen beheizt werden. Über die Art der verwendeten Energie liegen keine genauen Angaben vor. Nach Schätzungen kann davon ausgegangen werden, dass 50 bis 60 % dieser Kirchen elektrisch beheizt sind und durchschnittlich je etwa 50'000 kWh Strom pro Jahr verbrauchen. Der gesamte jährliche Stromverbrauch liegt in der Grössenordnung von 100'000 MWh mit Kosten von rund 12 Mio. Franken.

Die VSE-Statistik Stand 1. Januar 1993 gibt den jährlichen Elektrizitätsverbrauch von 228'000 Raumheizungsanlagen mit 2'893'000 MWh an (ohne Wärmepumpen, Direktbezüger und Kleingeräte). Rund 3,5 % des Energieverbrauches entfallen nach obiger Schätzung auf elektrisch beheizte Kirchen.

86.8 % Wohnen      9.8 % Verwaltung/  
Dienstleistung      3.5 % Kirchen

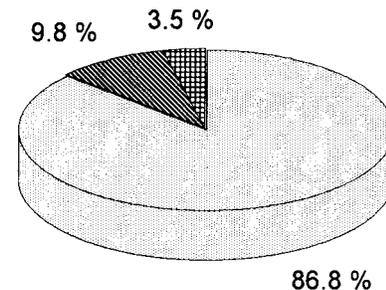


Fig. 2 Elektrische Energie für Raumheizungen nach Verbraucherguppen (Schweiz)

Es fällt auf, dass der durchschnittliche Stromverbrauch einer Kirche zirka 5 elektrisch beheizten Wohneinheiten gleichkommt.

Kirchen sind also - im Vergleich zu den Haushalten - grosse Strombezüger, die es bei der Umsetzung von Stromsparmassnahmen zu berücksichtigen gilt.

Bevor der Entscheid zu Gunsten einer Elektroheizung gefällt wird, sollten Variantenstudien für die Heizung durchgeführt werden. Dabei sind verschiedene Heizsysteme inkl. den entsprechenden Regeleinrichtungen miteinander zu vergleichen. Die Wahl des Systems ist aufgrund der baulichen Voraussetzungen, der Verfügbarkeit der Energieträger, den raumklimatischen Anforderungen, Wertungenökologischer und energetischer Art sowie der Kosten vorzunehmen.

Variantenvergleiche können beispielsweise nach der SIA-Empfehlung 380/1 «Energie im Hochbau» (Anhang E) durchgeführt werden.

Fig. 3 Vereinfachte Darstellung eines Variantenvergleichs für eine neue Heizungsanlage

Wenn immer möglich, sollte erneuerbare Energie bei Variantenstudien mit einbezogen werden.

### Themenübersicht und Zielpublikum

Mit dieser Studie wird der Versuch gewagt, den ganzen Themenbereich «Elektroheizungen in Kirchen» zu behandeln. Im Vordergrund stehen das Vorgehen bei einer Heizungssanierung, die Komponenten der Kirchenheizungen, Überlegungen bezüglich dem geeigneten Heizbetrieb, Berechnung, Planung und Installation der Heizungsanlage sowie Betrieb und Wartung.

Nicht abschliessend - obwohl von grosser Bedeutung - können bauphysikalische Fragen, Zusammenhänge mit der Orgel und denkmalpflegerische Anforderungen diskutiert werden.

Da heute aus energiepolitischen Gründen kaum mehr neue elektrische Widerstandsheizungen für Kirchen bewilligt werden, konzentriert sich die Arbeit auf die Verbesserung von bestehenden Anlagen. Dies hat wesentlich zur Themenauswahl beigetragen.

Für die klassische Wirtschaftlichkeitsberechnung wird auf die Dokumentation «Methoden der Wirtschaftlichkeitsanalyse von Energiesystemen» [1]

Heizsystem	Umweltbelastung <sup>1)</sup>	Betrieb	Investitionsbedarf	Jahreskosten <sup>2)</sup>
Elektrobankheizung	+/-	++	+++	+/-
Öl-Zentralheizung	--	+	--	+/-
Gas-Zentralheizung	-	+	-	+/-
Holzsplit-Zentralheizung	+++	+/-	---	-

+ = Vorteil / - = Nachteil

1) Bezogen auf schweizerische Elektrizitätserzeugung

2) Energie, Kapitalkosten, Wartungs- und Unterhaltskosten

unter den "Materialien zu RAVEL" verwiesen. Im folgenden wird deshalb nicht mehr speziell auf die Wirtschaftlichkeit von einzelnen Massnahmen eingegangen.

Im vorliegenden Handbuch wird einfachheitshalber nur von Kirchen gesprochen, gemeint sind natürlich auch andere, nur selten belegte Gebäude wie Kirchgemeindehäuser, Pfarreizentren usw.

Das Handbuch ist ausschliesslich auf Elektroheizungen in Kirchen ausgerichtet (Direkt- und Speicherheizungen). Einzelne Überlegungen sind aber auch im Zusammenhang mit anderen Heizsystemen anwendbar.

Je nach Religion sind unterschiedliches Benutzerverhalten und andere Belegungshäufigkeiten anzutreffen. Im folgenden wird aber nicht zwischen den einzelnen bei uns vertretenen Konfessionen und Religionen differenziert. Das gemeinsame Ziel soll in der Erhaltung der Umwelt und des Kulturgutes liegen.

## Energetische Aspekte

Fig. 4

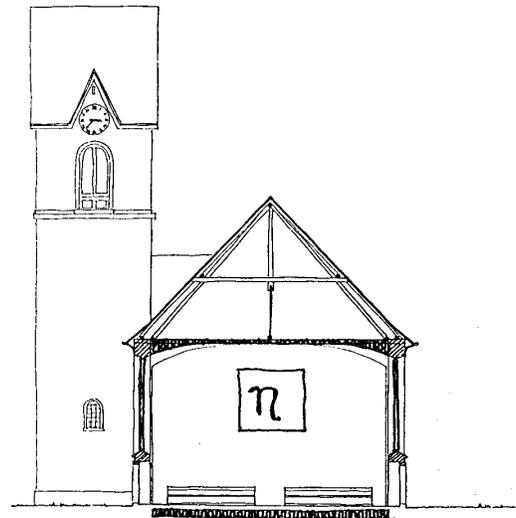
Jede Energienutzung beeinflusst die Umwelt. Um diesen Einfluss durch die Raumheizung minimal zu halten, stehen folgende Möglichkeiten zur Verfügung:

Energieverluste reduzieren / Bedarf senken:

Bauliche Verbesserungen (Wärmedämmung), Verluste bei der Heizung und bedarfsgerechten Betrieb gesamthaft überprüfen.

- \* Notwendigen Endenergieeinsatz optimieren: Hohe Nutzungsgrade, geeignete Systemwahl.
- \* Erneuerbare Energien nutzen: Sonne, Holz, Umweltwärme.

Da die vorliegende Studie vorwiegend von bestehenden Elektro-Widerstandsheizungen ausgeht, werden die drei Schwerpunkte in unterschiedlicher Tiefe behandelt. Analysen und Massnahmen sind aber trotzdem aus der Perspektive der Gesamtbetrachtung zu beurteilen.



### Energieverluste reduzieren / Bedarf senken

Im Gegensatz zu Wohnbauten wird die nachträgliche Wärmedämmung bei bestehenden sakralen Bauten eher selten eingebaut. Hauptsächlicher Grund ist die nur zeitweise Belegung der Räume. Bei bestehenden Kirchen wird man sich im Sanierungsfall deshalb meistens auf die Wärmedämmung des Bodens, der Fenster und der Decke beschränken.

Innere und äussere Zusatzdämmungen auf den Aussenwänden sind bei den historischen Kirchenbauten unerwünscht, weil diese die prägnante Oberfläche zu sehr verändern.

Es ist angebracht, bei aus Energiespargründen vorgesehenen Zusatzdämmungen abzuklären, ob diese sinnvoll sind (Kosten- / Nutzenrechnung aufgrund von Energie- und Ökobilanz).

Durch einen bedarfsgerechten Heizbetrieb wird der Heizenergiebedarf massgeblich beeinflusst. Das Kosten-Nutzenverhältnis ist vielversprechend und sollte bei bestehenden Bauten mit hoher Priorität angegangen werden.

### Notwendigen Endenergieeinsatz optimieren

Der Energiebedarf zur Erzielung eines bestimmten Raumklimas wird durch den anlagespezifischen Nutzungsgrad des Heizsystems beeinflusst. Nutzungsgrad-Optimierungen lassen sich im Vergleich zu Sanierungen an der Gebäudehülle oft mit geringerem finanziellen Aufwand und auch kurzfristig realisieren. Der Nutzungsgrad wird vorallem durch die Erzeugungs-, / Verteil- und Speicherverluste bestimmt.

Bei den üblichen Elektro-Sitzbankheizungen in Kirchen entstehen aber praktisch keine Verluste durch die Bereitstellung der Wärme, da die Wärmeerzeuger im beheizten Raum installiert sind. Bei Bodenheizung mit Speicherwirkung hingegen kann von einem Speicherverlust ausgegangen werden, der

bei nichtunterkellerten Räumen jedoch grösstenteils wieder in den beheizten Raum fliesst.

Heizwärme die zu früh vor der Kirchennutzung bereitgestellt wird, oder erst danach abgegeben wird (Bodenheizung) ist nutzlos und als Verlust zu betrachten. Ausgenommen ist diejenige Wärme, welche für die Aufrechterhaltung der minimal erforderlichen Raumlufttemperatur notwendig ist.

Ein grosses Sparpotential liegt daher bei der bedarfsgerechten Heizungsregelung. Hierfür muss jedoch eine Regelungseinrichtung mit grossem Bedienungskomfort bereitgestellt werden. Ebenso wichtig wie die technischen Installationen ist die ausführliche Bedienungsanweisung und Unterstützung des Personals. Nur so können Sparerfolge erzielt werden.

### \* Erneuerbare Energien nutzen

Bei bestehenden Kirchen ist dem Einsatz von erneuerbarer Energie Grenzen gesetzt. Wenn bereits eine Warmwasserheizung vorhanden ist, oder z.B. bei einer Renovation eingebaut werden kann, stehen folgende Varianten offen:

- Holzheizung, Spalten- oder Schnitzelheizung; noch besser wäre ein Engagement, wenn die Beteiligung an einer mit Holz betriebenen Nahwärmeversorgung angeboten wird.
- Nutzung der Umweltwärme mit einer ElektroWärmepumpe; bevorzugt sollte die Umweltwärme nicht der Luft (niedriger Nutzungsgrad an kalten Tagen), sondern dem Boden (Erdsonden) oder einem Gewässer (z.B. See) entnommen werden.
- Kann an ein Fernwärmenetz angeschlossen werden, das z.B. Abwärme aus einer Kerichtverbrennung nutzt, ist dies ebenfalls dem Verbrennen von fossilen Energieträgern vorzuziehen.

Für die Planung von Wärmepumpenanlagen wird auf die RAVEL-Dokumentation « Planung, Bau und Betrieb von Elektro-Wärmepumpen-Anlagen » hingewiesen [2].

Bei neuen Kirchenbauten sollte der passiven Sonnenenergienutzung grosse Beachtung geschenkt werden. Durch die üblicherweise relativ tiefen mittleren Raumlufttemperaturen kann, bei geeigneter Anordnung, Grösse und Konstruktion der Fenster der Wärmebedarf wesentlich gesenkt werden.

Wenn man die gemessenen Raumlufttemperaturen von nichtbeheizten Kirchen studiert oder Energiebilanzen berechnet, fällt auf, dass die Sonne auch bei älteren Kirchen einen wesentlichen Beitrag an den Heizenergiebedarf beisteuert.

### Projektziele, Gliederung der Dokumentation

Fig. 5

Das Hauptziel ist - unter Beachtung des Komfortanspruches und Erhaltung der Bausubstanz und Inneneinrichtungen - die Kirchen mit möglichst wenig Energie zu heizen.

Um dies zu erreichen, wird ein Vorgehen vorgeschlagen, wie das vorliegende Handbuch gliedert ist:

#### \* Kapitel 1

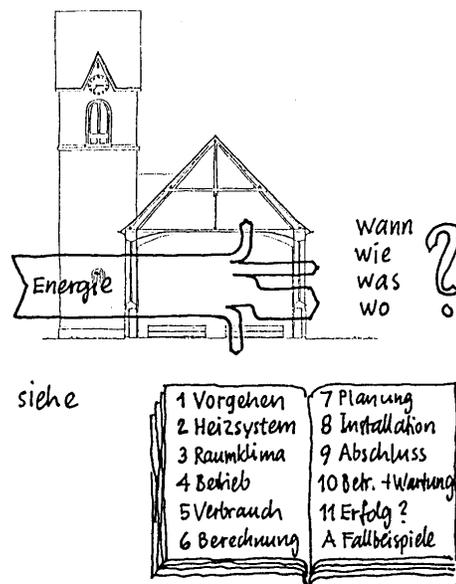
Vermittelt die Übersicht für den folgerichtigen Ablauf einer Heizungs-Erneuerung oder -Sanierung: Mit dem beschriebenen Vorgehen sollen Systembeurteilungen möglich sein und individuell angepasste Vorschläge für Verbesserungen und Erneuerungen ausgearbeitet werden können.

#### \* Kapitel 2

Zusammenstellung der für elektrische Kirchenheizungen heute am häufigsten eingesetzten Komponenten.

#### \* Kapitel 3, 4 und 5

Anforderungen an das Raumklima, bedarfsgerechter Heizbetrieb und die Einflüsse auf eine rationelle Energienutzung.



**\* Kapitel 6**

Rechenmethoden für die Energiekennzahl, den Energiebedarf und für den Wärmeleistungsbedarf.

**\* Kapitel 7 bis 1 1**

Stellungnahmen zu Fragen und Problemen bei der Planung, Montage und Installation als auch bei Inbetriebnahme, Betrieb und Wartung.

**Anhang 1 bis 6: Fallbeispiele**

Zusammenstellung von Erkenntnissen und Erfahrungen von sechs Objekten, welche als Fallbeispiele im Rahmen dieser Studie bearbeitet wurden.

Aus praktischen Gründen erfolgte die Auswahl der Fallbeispiele nach ihrer geographischen Lage (kurze Distanzen zum Projektausführenden) und der Bereitschaft zur Mitarbeit der Kirchenverwaltungen.

Konfession und Energieverbrauch waren keine Kriterien zur Objektauswahl und sind zufällig.

Kosten und Termine bestimmten die Anzahl der Objekte. Deshalb konnte auch keine ideale Kombination zwischen der regionalen Verteilung der Objekte, den installierten Heizsystemen und den betrieblichen Randbedingungen erreicht werden.

In den einzelnen Fallbeispielen wird auf unterschiedliche Schwerpunkte (Vertiefungsthemen) eingegangen. Dies sind:

**- Evangelische Kirche Amriswil / TG**

- Grobanalyse Heizsystem
- Erfolgskontrolle nach Gesamtsanierung

**- Evangelische Kirche Arbon / TG**

- Grobanalyse Heizsystem
- Betriebliche Sofortmassnahmen

**- Evangelische Kirche Glarus**

- Grobanalyse Heizsystem
- Betriebliche Sofortmassnahmen

**- Katholische Kirche Goldingen / SG**

- Feinanalyse Heizsystem
- Betriebliche und installationstechnische Sofortmassnahmen
- Energiebilanz
- Energiekennzahl
- Matrix Elektroverbrauch

**- Katholische Kirche Steinebrunn / TG**

- Grobanalyse Heizsystem
- Bevorstehende Innensanierung Kirche und Kapelle: Planung eines neues Regelsystems, z.T. neue Heizkörper, neue Bodenheizung.

**- Evangelische Kirche Wil / SG - Grobanalyse Heizsystem**

- Optimierung des bestehenden Heizsystems

**Anhang 7**

Begriffserklärungen, Definitionen, Tabellen, Literaturverzeichnis

**Anhang 8**

Leere Arbeitsblätter für:

- Grobanalyse
- Energiekennzahl
- Raumklima und Orgel
- Energiebuchhaltung

# 1. Vorgehen bei einer Heizungs- oder Gebäudesanierung

## 1.1 Ablaufschema

Der Bearbeitungsablauf bei der Sanierung einer elektrischen Kirchenheizung ist im nachfolgenden Ablaufschema dargestellt. Durch die Aufteilung in einzelne Phasen soll die systematische Bearbeitung einer Heizungssanierung von den ersten Kontakten mit der Bauherrschaft bis zur langfristigen Energiebuchhaltung erleichtert werden.

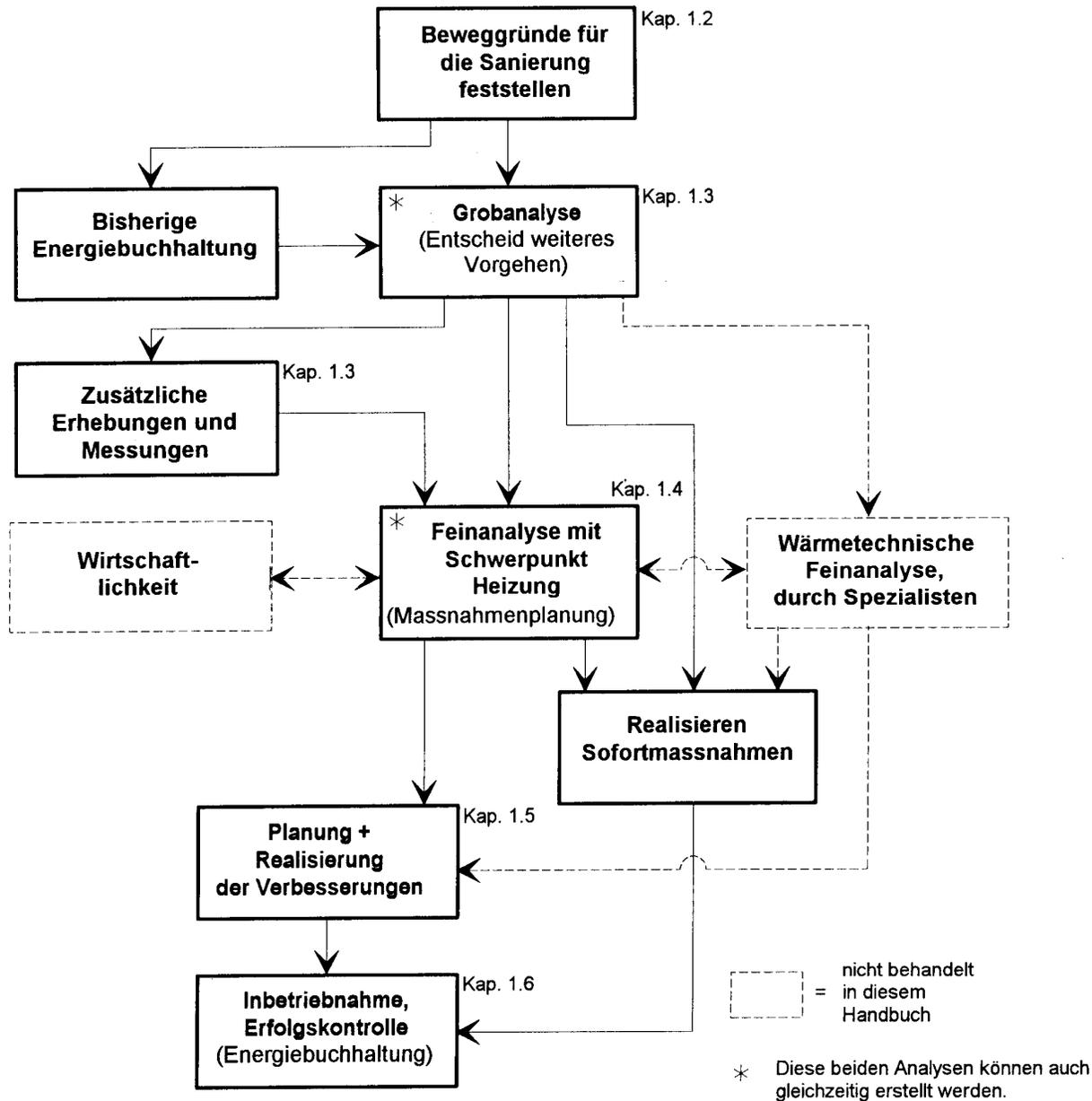


Fig. 6 Bearbeitungsablauf für die Sanierung einer elektrischen Kirchenheizung

Es ist in jeder Phase notwendig, das System «Gebäude-Elektroheizung-Benutzer» als ganzes zu betrachten. Dieses Schema kann in angepasster Form auch bei Neubauten, bei Heizsystemen mit anderen Energieträgern oder anderen selten belegten Gebäuden angewendet werden.

## 1.2 Beweggründe für Sanierung

Wenn in einer Kirche eine Elektroheizung saniert wird, kann dies je nach Alter und Nutzung des Objektes oder auch je nach Informationsstand der Verantwortungsträger verschiedene Gründe haben.

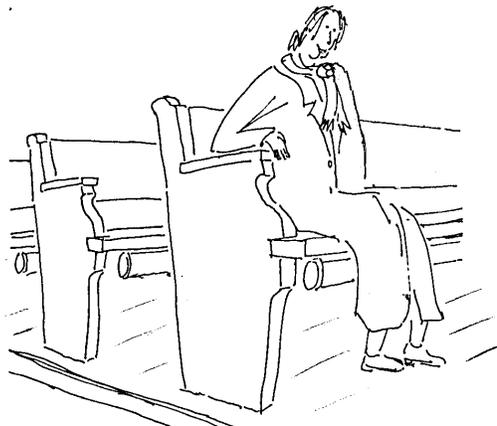


Fig. 7

### \* **Energiekosten**

Die steigenden Energiekosten sind häufig Auslöser für Heizungssanierungen. Bei dem meistens um Jahrzehnte zurückliegenden Entscheid für eine Elektroheizung waren die Strompreise bedeutend unter 10 Rappen pro Kilowattstunde (Rp./kWh). Heute liegen die mittleren Tarife im Bereich von 10 bis 15 Rappen, und es ist mit weiteren, im Vergleich zu anderen Energieträgern, überdurchschnittlichen Preiserhöhungen zu rechnen.

In der für die Elektroheizung relevanten Winterperiode wird mit den saisonalen Tarifen - insbesondere beim Niedertarif - die grösste Kostensteigerung zu erwarten sein.

### \* **Mängel an der Heizungsanlage**

Einzelne Bauteile, z.B. Schaltschütze, Regelorgane oder Heizkörper, haben ihre Lebensdauer erreicht, Ersatzteile sind nicht mehr erhältlich.

Ungenügender Bedienungskomfort und unbefriedigende Regelungen sind oft auch Gründe für Sanierungen.

Schäden und Abnutzung an Gebäude und Inneneinrichtungen

Bauphysikalische Mängel, aufsteigende Feuchtigkeit in der Gebäudehülle, oder feuchte und verschmutzte Wände und Decken können eine Gesamtsanierung auslösen. Die Orgel, wertvolle Gemälde und Inneneinrichtungen aus Holz sind bei Sanierungen von besonderer Bedeutung.

Die Bauschäden sind eng verknüpft mit der Bauphysik, dem Heizsystem und der Heizgewohnheit.

### \* **Veränderte Benutzeransprüche**

Die Ansprüche an das Raumklima können sich im Verlauf der Zeit ändern, Kirchen werden heute oft anders benutzt als früher, z.B. weniger oft, dafür vermehrt für kulturelle Anlässe.

### \* **Energieberatung**

Beim geplanten Ersatz von Heizungen, Regelungen oder bei der Sanierung von einzelnen Bauteilen, ist es sinnvoll einen Energieberater zu konsultieren, der die Auswirkungen im Gesamtzusammenhang beurteilen kann.

Bei Gesamtsanierungen und Umbauten empfiehlt es sich, vor den Projektierung sarbeiten eine wärmetechnische Feinanalyse durch ausgewiesene Fachleute erstellen zu lassen.

## 1.3 Grobanalyse

Die Grobanalyse ist die Erstbegutachtung des energetischen Zustandes eines Gebäudes.

Steht eine Heizungs- oder Gebäudesanierung bevor, so ist sie der erste Schritt, um die Sanierung systematisch und langfristig zu planen.

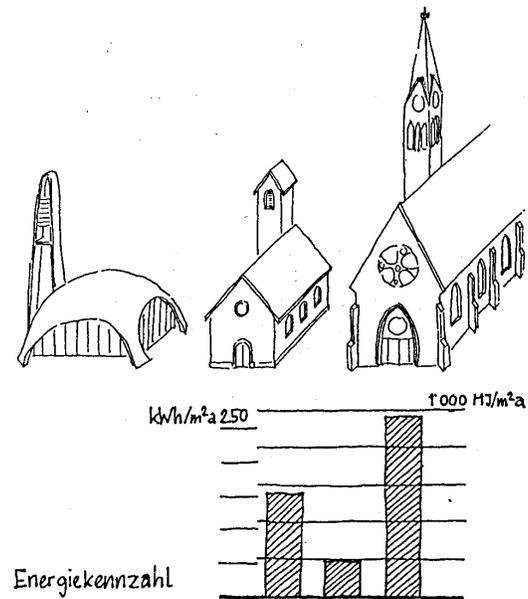
Reihenuntersuchungen wie die Studie «Energie in kirchlichen Gebäuden sinnvoll nutzen», die E. Baumann im Auftrag des Kirchenrates der evang.ref. Kirche des Kantons St.Gallen erstellte [3], helfen die Dringlichkeit anstehender Sanierungsmassnahmen zu erkennen.

Fig. 8

Für eine Grobanalyse ist in der Regel eine Objektbesichtigung erforderlich.

Als Hilfe wird das Arbeitsblatt «Grobanalyse elektrische Kirchenheizung» zur Verfügung gestellt. Dieses ist im Anhang A 8.1 als leeres Formular bzw. bei den Fallbeispielen im Anhang zu finden.

Im Folgenden wird die Erstellung einer Grobanalyse in der Form einer Wegleitung beschrieben.



### Unterlagen für Grobanalyse

Von der Bauherrschaft sind folgende Angaben zur Verfügung zu stellen:

- Grundrisspläne, Schnitte (sofern vorhanden), oder Katasterplan, Angaben bezüglich der bisherigen Nutzung und dem Heizbetrieb.
- Elektrizitätsverbrauch bzw. Energiebuchhaltung der letzten 3 bis 5 Jahre; wenn separate Zähler vorhanden sind, getrennt für Wärme und Licht (auch Verbrauch von Öl, Gas, Fernwärme, sofern mitverwendet).

### Inhalt Grobanalyse Gebäude

Im Normalfall wird man sich auf die folgenden Angaben beschränken:

#### \* Allgemeine Angaben

Angaben über den Auftraggeber, die Kontaktpersonen und das Objekt.

#### \* Technische Angaben

Raumhöhe der Kirche, installierte Heizleistung (aus Plänen oder Messung), Angaben über Wärmeabgabe und Regelung.

#### \* Jährlicher Energieverbrauch

Der jährliche Verbrauch und die Kosten aller Energieträger (Elektrizität, Öl, Gas) ist (evtl. über mehrere Jahre gemittelt) zu erheben. Zu den Kosten gehören auch Zählermieten und der Grundpreis pro Monat beziehungsweise die Kosten für die bezogene Leistung (siehe auch Seite 74 «Jährlicher Endenergieverbrauch»).

#### \* Berechnete Werte

Folgende Werte sind zu berechnen:

- Spezifische installierte Leistung  $P_s$

Die spezifische installierte Heizleistung  $P_s$  ist die auf die beheizte Bruttogeschossfläche BGF bezogene Heizleistung  $\dot{Q}_n$ :

$$P_s = \frac{\dot{Q}_n}{\text{beh. BGF}} \quad [\text{W/m}^2]$$

Dadurch kann die Dimensionierung der installierten Wärmeleistung grob beurteilt werden (siehe auch Kapitel 7.2).

- Energiebezugsfläche EBF

gemäss Kapitel 6.1

- Energiekennzahl

Die Berechnung der Energiekennzahl wird nach den Ausführungen in Kapitel 6.1 durchgeführt. Bei Grobanalysen sind die dort beschriebenen Korrekturen für die Energiebezugsfläche nicht erforderlich.

Bei elektrisch beheizten Kirchen wird einfachheitshalber (auch bei Feinanalysen) nur die Energiekennzahl Elektro berechnet, welche den Anteil für die Wärmeerzeugung und den allgemeinen Strombedarf enthält.

Die Analyse des Energieverbrauches ist die wesentliche Grundlage für alle Diagnosen und Massnahmen bei Heizanlagen.

Das theoretische Sparpotential soll aufgrund der berechneten Energiekennzahl soweit möglich abgeschätzt werden (Vergleich mit ähnlichen Objekten oder statistischen Werten).

Während im Wohnungsbau flächendeckende statistische Energiekennzahlen der Schweiz vorliegen, ist dies bei Kirchen nur bedingt der Fall.

Die unten aufgeführten Energiekennzahlen von Kirchen sind die ausführlichsten in der Schweiz veröffentlichten Angaben.

Bei der Verwendung der Energiekennzahlen aus dem nachfolgenden Diagramm gilt es zu beachten, dass es sich hier ausschliesslich um evangelische Kirchen handelt, welche im Vergleich zu beispielsweise katholischen Kirchen allgemein weniger häufig belegt sind.

Interessant ist auch die Tatsache, dass die Streuung der Energiekennzahlen ähnlich wie im Wohnbereich bei etwa 1 zu 6 (kleinste zu grösste) liegt. Aufgrund der zum Teil sehr unterschiedlichen Nutzungen würden eher grössere Streuungen erwartet.

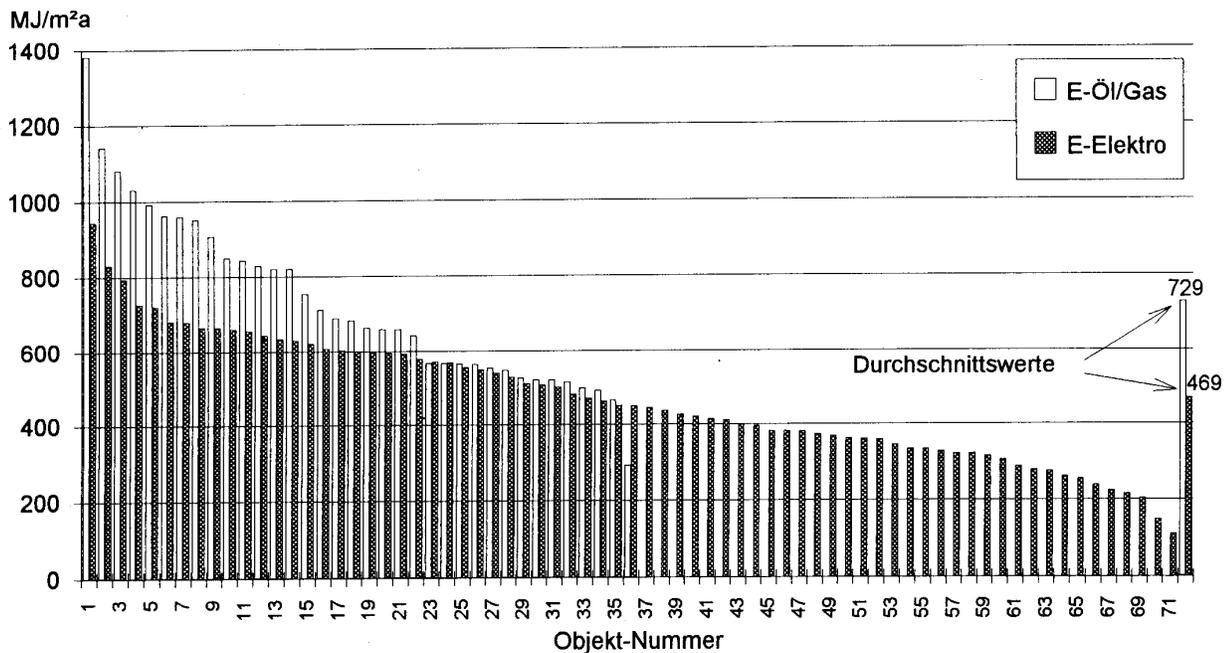


Fig. 9 Energiekennzahlen (Heizen, Beleuchtung usw.) evangelischer Kirchen der Kantone AI, AR, GL, SG; (36 mit fossilem Brennstoff und 71 mit Elektroheizung), ohne Berücksichtigung von Raumhöhen und Nutzungen, [3]

### \* **Bisheriger Heizbetrieb**

Es sind die Raumtemperaturen im unbelegten als auch im belegten Zustand sowie die Anzahl der wöchentlichen bzw. vereinzelt Belegungen zu ermitteln.

### \* **Weitere Elektrizitätsverbraucher**

Dazu zählen beispielsweise Dachrinnen- und Ablaufrohrheizungen, Heizungen in Turmuhren, Aussenbeleuchtungen und dgl.

### \* **Bisherige Schwierigkeiten**

Soweit bekannt sollen hier Schwierigkeiten im Zusammenhang mit der Bedienung, dem Raumklima und dem Komfort, aber auch solche technischer oder baulicher Art zusammengetragen werden. Diese Angaben dienen vor allem für die Festlegung von Sofortmassnahmen und des weiteren Vorgehens.

### \* **Ausgeführte / geplante Sanierungen**

Hier sollen die in den letzten Jahren ausgeführten bzw. die bereits geplanten Sanierungen aufgelistet werden. Die Sofortmassnahmen und das weitere Vorgehen sind davon abhängig.

### \* **Sofortmassnahmen**

Sofortmassnahmen (= Massnahmen ohne oder nur mit geringen Kosten) sind aufzuzeigen, z.B. andere Raumlufttemperaturen als bisher, bedarfsgerechter Heizbetrieb (siehe Kap. 4) usw.

### \* **Weiteres Vorgehen**

Empfehlung für **Feinanalyse Heizung**: Bestehen Aussichten auf ein grosses Energiesparpotential oder liegen komplizierte Verhältnisse vor, so ist eine Feinanalyse über das Heizsystem zu empfehlen. In vielen Fällen kann diese auch gleichzeitig mit der Grobanalyse erstellt werden.

Im nächsten Kapitel wird auf die Feinanalyse mit Schwerpunkt Heizung vertieft eingegangen.

**Zusätzliche Erhebungen und Messungen**: Bei komplexen Verhältnissen, bei Unstimmigkeiten oder grossen Abweichungen vom erwarteten Energieverbrauch ist oft ein Zwischenschritt für Messungen und mit detaillierten Erhebungen notwendig.

Folgende Möglichkeiten sind in Erwägung zu ziehen:

- Befristet zusätzliche Elektrozähler montieren
- Kurzfristig gezielte tägliche und wöchentliche Ablesungen durchführen
- Raumlufttemperatur und Feuchtigkeit der Raumluft registrieren.

Empfehlung für **wärmetechnische Feinanalyse**: Speziell wenn eine vollständige Gebäudesanierung bevorsteht, ist die Ausarbeitung einer wärmetechnischen Feinanalyse zu empfehlen. Je nach Objekt sollen darin unter anderem bauphysikalische und denkmalpflegerische Fragen beantwortet werden, eine Energiebilanz mit effektiven Daten (siehe Kapitel 6.2) und ein Massnahmenkatalog enthalten sein.

Wärmetechnische Feinanalysen basieren bevorzugt auf dem Handbuch «Planung und Projektierung wärmetechnischer Gebäudesanierungen» [4].

Im Anhang A4 ist als Beispiel eine Energiebilanz mit effektiven Daten zu finden.

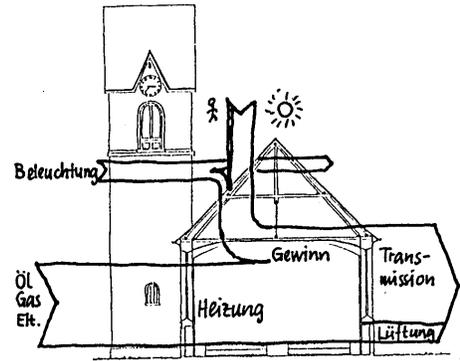
Die wärmetechnische Feinanalyse wird in diesem Handbuch nicht mehr weiter behandelt.

## 1.4 Feinanalyse mit Schwerpunkt Heizung

Mit der Feinanalyse wird einerseits das Heizsystem und der Heizbetrieb detailliert untersucht und andererseits Sanierungsmassnahmen, Vorschläge und Angaben über den zukünftigen Betrieb zusammengestellt. Sie dient vor allem als Grundlage für die Massnahmenplanung.

Fig.10 AnalyseEnergiefluss:wann,wo,wieviel?

Im folgenden wird analog wie bei der Grobanalyse der Arbeitsablauf in der Form einer Wegleitung beschrieben.



### Unterlagen für Feinanalyse

Für eine Feinanalyse werden zusätzlich zur Grobanalyse folgende Angaben benötigt:

- Prinzipschema, Elektroschemata und Installationspläne der Heizung, Bedienungsanleitung des Heizsystems und der einzelnen Komponenten.
- Bereits früher erstellte Berichte und Studien, Resultate von Messungen usw.
- Energie-Lieferbedingungen: Aktuelle Energie- und Leistungstarife, Hoch- und Niedertarifzeiten, Ladezeiten für Speicherheizungen, Sperrzeiten, eventuell in Aussicht gestellte Tarifänderungen, allgemeine Anschlussbedingungen (z.B. max. Leistung pro Heizstufe) usw.
- Baupläne und Baubeschrieb von geplanten und realisierten Sanierungen, insbesondere über Böden, Wände, Fenster und Decken.
- Zukünftige Umbauabsichten, Nutzungen und Komfortansprüche.

### Inhalt Feinanalyse mit Schwerpunkt Heizung

Vor einer Sanierung ist die detaillierte Untersuchung des bestehenden Heizsystems von grosser Bedeutung. Zur Beschaffung von Betriebsdaten sollten mit Vorteil Messungen und Versuche am vorhandenen System vorgenommen werden. Nur so können bisherige Probleme erkannt und die Konsequenzen in die neue Planung einbezogen werden. Es muss unter allen Umständen vermieden werden, dass alte Probleme übernommen bzw. neue zusätzlich geschaffen werden.

Die nachfolgend aufgeführten Themen sind angepasst an das Objekt bzw. die vorgesehene Sanierung zu bearbeiten.

Dafür wurden für die einzelnen Themen Arbeitsblätter entworfen. Eine Feinanalyse mit Schwerpunkt Heizsystem ist im Anhang A 4 eingereiht.

### Übersicht Feinanalyse Heizung

Zusammenstellung der wichtigsten Daten:

- **Gebäude:**
  - Mittlere Raumhöhe
  - Energiebezugsfläche (siehe Kapitel 6.1)
- **Heizung und Energie:**
  - Installierte Heizleistungen
  - Spezifische installierte Leistungen (gemäss Kapitel 1.3)
  - Jährlicher Energieverbrauch (HGT-normiert und effektiv)
  - Verfeinerte Energiekennzahl Wärme gemäss Kapitel 6.1 (unter Berücksichtigung der Korrekturfaktoren für die Energiebezugsfläche)
  - Beurteilung des Energieverbrauchs
- **Empfehlungen für das Raumklima:**
  - Angaben über Raumtemperatur- und Raumluftfeuchte (siehe letzter Punkt von Kapitel 1.4 "Zukünftiger Heizbetrieb").

**\* Allgemeine Daten und Angaben**

Die wichtigsten Daten über das Gebäude und das Heizsystem, ausgeführte Umbauten und geplante Bauvorhaben sowie Angaben über die Orgel, die Energielieferbedingungen und die Elektrizitätsmessung dienen als Grundlage bei der Bearbeitung.

**\* Grundlagen und Adressen**

Die für die Feinanalyse verwendeten Unterlagen und Informationsquellen werden zusammengestellt. Es hat sich gezeigt, dass diese Aufstellung von der Planung bis zur Inbetriebnahme von praktischem Nutzen ist.

**Funktionsweise der bisherigen Heizung**

Die bisherigen Steuerungs- und Regelungsmöglichkeiten sind auf möglichst einfache Art aber so detailliert als möglich zu beschreiben. Da aus Erfahrung die Angaben dafür bei der Mehrzahl der Anlagen fehlen, ist für die Funktionsanalyse unter Umständen mit einem nicht zu unterschätzenden zeitlichen Aufwand zu rechnen.

Oft sind nur allgemeine Gerätebeschreibungen vorhanden, welche nicht auf die Gegebenheiten des Objektes angepasst wurden. In diesen Fällen muss die genaue Funktion des Heizsystems aus dem Elektroschema und anhand von Versuchen hergeleitet werden.

Die aktuellen EW-Kommandos und deren Auswirkungen auf das Heizsystem sind speziell zu beachten. Es muss damit gerechnet werden, dass die Energielieferbedingungen seit der Inbetriebnahme des Heizsystems geändert haben.

**a) Steuerung**

Standort / Bezeichnung des Steuerelementes	Steuerelement		Funktion / Bemerkungen
	Art	Stellungen	
...	...	...	...

**b) Regelung**

Raum	Gerät / Typ	Einstellbereich / Schalterstellungen	Einstellung im bish. Betrieb	Beschreibung / Erreichbarkeit / Bemerkungen
...	...	...	...	...

**\* Installierte Heizleistung**

Art, Montage, Spannung und Leistung der Heizkörper sind pro Heizgruppe und Raum zusammenzustellen. Diese Angaben dienen als Grundlage für die Ausarbeitung einer optimierten Bedienung des Systems und auch für die Planung von Massnahmen.

Als Kontrolle ist die nominale Heizleistung aus der Berechnung mit einer effektiven Leistungsmessung zu vergleichen. Allenfalls festgestellte Unterschiede sind bei defekten Heizkörpern, defekten

Sicherungen oder bei der Heizungssteuerung zu suchen.

Weitere Hinweise dazu: Wärmeabgabe Kap. 2.1, Messung der installierten Heizleistung Kap 9.1.

**\* Bisheriger Betrieb der Heizung**

Die wöchentlichen bzw. die vereinzelt Belegungen sind mit Angabe der Belegungsdauer und der Raumtemperatur pro Raum zusammenzustellen.

Mit einer dritten Tabelle ist festzuhalten, wie das Heizsystem bisher bedient wurde (eingeschaltete Heizgruppen, Bedienung der Regelung usw.).

Veränderungen während der letzten Jahre im Zusammenhang mit den Belegungen und der Bedienung der Heizung sollten hier notiert werden.

**a) Wöchentliche Belegungen**

Wochentag	Belegungsart	Dauer [von ... bis]	Raumtemp. [ca. °C]	Bemerkungen
...	...	...	...	...

**b) Vereinzelt Belegungen**

Raum / Belegungsart	Anzahl / Jahr	Dauer [h]	Raumtemp. [ca. °C]	Bemerkungen
...	...	...	...	...

**c) Bisherige Bedienung**

Warum wurde geheizt	Heizperiode	Eingeschaltete Heizgruppen (von .. bis) / Bemerkungen
...	...	...

**\* Schwierigkeiten des bisherigen Heizbetriebs**

Die bisherigen Schwierigkeiten im Zusammenhang mit der Steuerung/Regelung, der Wärmeabgabe, dem Komfort bzw. der Behaglichkeit - und der Orgel - sind sorgfältig zu erfassen. Diese sind bei der Planung von Massnahmen von besonderer Bedeutung. Aufgrund von Benutzerbefragungen lassen sich oft auch Faktoren und Hinweise für Störungen finden.

Raum / Thema	Beschreibung des Problems / Verbesserungswünsche	Massn. Nr.
...	...	...

**\* Weitere Elektrizitätsverbraucher**

Tabelle für das Erfassen des "weiteren Elektroverbrauchs" (Nominalleistung oder effektive Leistung aufgrund von Messungen Betriebsstunden):

Bezeichnung der Anlage	Leistung	Betriebszeiten / installiert seit / Mangel / Bemerkungen	Massn. Nr.
...	...	...	...

Damit kann abgeschätzt werden, welche Verbraucher ausser der Heizung noch den Energieverbrauch massgeblich beeinflussen.

**\* Ist-Zustand Anlagen und Einrichtungen**

Mit dieser Tabelle wird der Zustand von Anlagen und Einrichtungen (Wärmeabgabe, Steuerung / Regelung, Elektroinstallation, Orgel, kunsthistorische Gegenstände sowie die Dokumentation des Heizsystems so gut als möglich erfasst.

Nr.	Anlage / Einrichtung	Beschrieb	Beurteilung / sichtbare Mängel / Bemerkungen	Massn. Nr.
...	...	...	...	...

**\* Ist-Zustand Gebäudehülle (nur innen)**

Grobbeurteilung aus energetischer Sicht, soweit möglich:

(ohne Anspruch auf Vollständigkeit, ersetzt nicht allfällig notwendige fachspezifische Abklärungen)

Bauteil	Beschrieb	Beurteilung / sichtbare Mängel / Bemerkungen	Massn. Nr.
...	...	...	...

Zustand (sichtbare Schäden und Mängel, eventuell k-Wert) von Böden Wänden, Fenstern, Türen, Decken und Dächern, grobe Beurteilung bezüglich Wärmedämmung und Luftdichtigkeit, Hinweise auf Verbesserungsmöglichkeiten.

Das Festhalten des Istzustandes kann evtl. später, nachdem Änderungen am Heizbetrieb oder Heizsystem vorgenommen wurden, für Vergleichsbetrachtungen von Bedeutung sein.

Die fachspezifische und detaillierte Begutachtung der Gebäudehülle muss gegebenenfalls mit einer zusätzlichen wärmetechnischen Feinanalyse erbracht werden.

**\* Massnahmenkatalog**

Die vorgeschlagenen Verbesserungen werden bevorzugt in die folgenden Massnahmenpakete gegliedert:

Massn. Nr.	Beschreibung der Massnahmen	Bemerkungen / Auswirkung
...	...	...

- Sofortmassnahmen, die nichts oder wenig kosten.

- Mittelfristige Massnahmen, für diejenigen Verbesserungen, die unabhängig von grösseren baulichen oder heizungstechnischen Sanierungen realisiert werden können.
- Langfristige Massnahmen, das sind Verbesserungen, die zusammen mit anderen Sanierungsmassnahmen vorgenommen werden sollen, z.B. mit einer Heizsystem-Sanierung, einer Heizungserneuerung oder einer Gesamtanierung.

Als Entscheidungsgrundlage für die Weiterbearbeitung sind zu den einzelnen Massnahmen die geschätzten Kosten und Energieeinsparungen anzugeben.

**\* Zukünftiger Heizbetrieb**

Soweit möglich soll das zukünftige Raumklima in Zusammenarbeit mit dem Eigentümer, dem Bedienungspersonal und den direkt Beteiligten sowie Fachleuten festgelegt werden.

Thema bezüglich der Heizung	Raumklima-Zustand				Informationsquelle, Bemerkungen
	unbelegt		aufheizen, belegt		
	Temp. [°C]	rel. F. [%]	Temp. [°C]	rel. F. [%]	
...	...	...	...	...	...

Aus praktischen Gründen wird empfohlen in gebäude- und anlagebedingte bzw. betriebliche Randbedingungen aufzuteilen (Weiteres dazu siehe Kapitel 3, 4 und 5).

## 1.5 Planung und Realisierung der Verbesserungen

Der Erfolg einer Sanierung hängt von der Sorgfalt aller Beteiligten ab. Ebenso wichtig wie gesparte Energie, ist die Vermeidung von späteren Schäden am Gebäude und an der Inneneinrichtung.

In Kapitel 2 und 6 bis 8 wird speziell auf diese Themen eingegangen.

## 1.6 Inbetriebnahme, Erfolgskontrolle

Eine seriöse Inbetriebnahme mit einem Test sämtlicher Funktionen ist von grosser Wichtigkeit.

Ebenso wichtig ist eine allgemeinverständliche Dokumentation und die Instruktion des Bedienungspersonals.

Erfolgskontrollen sollten nicht nur während und kurz nach der Sanierung, sondern als laufende Verbrauchskontrolle (Energiebuchhaltung) geführt werden.

Weitere Informationen sind in Kapitel 9 und 11 zu finden.

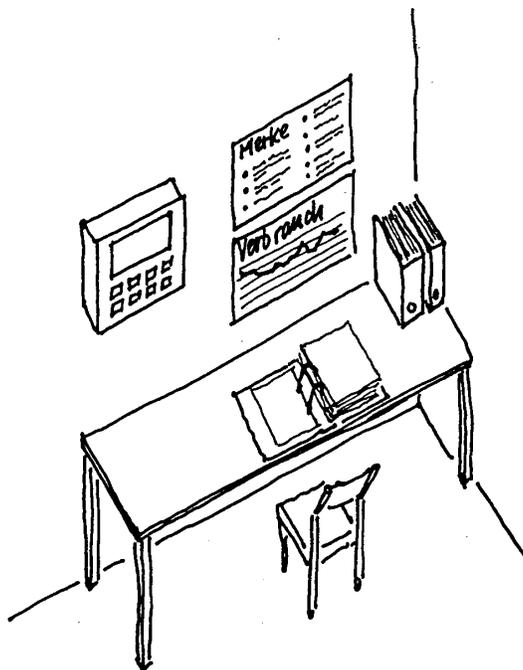


Fig. 1 1

Die Kontrolle des Energieverbrauchs dient:

- dem Auftraggeber als Grundlage für weitere Massnahmen,
- dem Ansporn für ein energiebewussteres Verhalten des Bedienungspersonals,
- den beteiligten Fachleuten als feed-back.

## 2. Übersicht Elektroheizsysteme

### 2.1 Übersicht Wärmeabgabe

In Kirchen werden verschiedene Wärmeabgabesysteme eingesetzt. In vielen Fällen sind Kombinationen der einzelnen Systeme anzutreffen. Zum Teil kommen die gleichen Geräte wie im Wohnungs- und Verwaltungsbau, aber auch Spezialkonstruktionen, zum Einsatz.

Im Folgenden wird versucht, die Merkmale der einzelnen Systeme vereinfacht und speziell bezüglich der Anwendung in Kirchen darzustellen. Dazu zählen auch Informationen die in den Geräteunterlagen oft fehlen.

#### Direktheizgeräte

Bei dieser Gerätekategorie wird die in den Heizwicklungen erzeugte Wärme direkt, d.h. ohne zeitliche Verzögerung, an die Umgebung abgegeben.

Vorteile:

- Schnelle thermische Reaktion
- Preisgünstige Geräte
- Einfache Installation
- Relativ einfache Regelung
- keine Speicherverluste

Nachteil: -Billiger Nachtstrom kann nicht genutzt werden (dieses Argument zählt in Zukunft jedoch immer weniger)

#### Rohrheizkörper

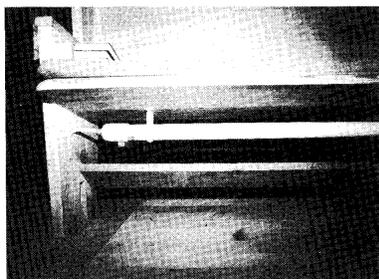
Rohrheizkörper mit einphasiger Heizwicklung stehen vorallem in drei Ausführungsvarianten im Einsatz:

##### - Leichtmetall-Rohrheizkörper

Diese Heizkörper bestehen aus geschlossenen emaillierten Aluminiumrohren mit innenliegenden Heizwicklungen. Die Rohre weisen einen Durchmesser von ca. 50 mm auf und sind für die Montage als Einzel- oder Doppelrohr geeignet. Die Heizwicklung kann für verschiedene Netzspannungen ausgelegt werden.

Die Wärmeabgabe basiert auf dem Niedertemperatur-Strahlungsprinzip (ca. 70 % Strahlung bzw. 30 % Konvektion). Bei der Anordnung unter den Sitzbänken wird ein räumlich wirkendes Strahlungsfeld erzeugt, welches auf den Boden, die umliegenden Bänke und Wände als auch auf den Besucher wirkt.

Fig. 12 Leichtmetall-Rohrheizkörper



Heizkörper für die Sitzbankmontage werden als Einfachrohr mit bis zu 200 W/m (Watt/Meter), als Doppelrohr mit bis 400 W/m angeboten.

Es können aber auch zwei Heizwicklungen in einem Rohr eingebaut werden. Damit ist die Wärmeabgabe mit entsprechendem schaltungstechnischem Aufwand einstellbar (z.B. 1/4, 1/2, voll).

Anwendungen: - Sitzbankheizung  
- Stufenheizung (z.B. auf Emporen mit freier Bestuhlung)  
- Orgelheizung

Vorteile:

- Es sind Heizkörper in beliebiger Länge von ca. 0,3 bis 6 m erhältlich, bei Sitzbankheizungen können die Rohre durch Mitteldoggen geführt werden.
- Einfache Montage
- Nur ein elektr. Anschluss pro Sitzbank
- Schnelle thermische Reaktion
- Behagliches Niedertemperatur-Strahlungsfeld

Nachteile: - Knackgeräusche bei Erwärmung und Abkühlung

### **- Eisen-Rohrheizkörper**

Ein Rohr von ca. 120 mm Durchmesser und die innenliegende Heizwicklung bilden die Hauptbestandteile. Diese Heizkörper sind als Einzelrohr nur für die Montage auf dem Fussboden geeignet. Die Wärmeabgabe basiert ebenfalls auf dem Niedertemperatur-Strahlungsprinzip. Da Eisen-Rohrheizkörper üblicherweise unter den Fusschemeln montiert sind, ist das räumlich wirkende Strahlungsfeld schlechter als mit einem Heizrohr auf der Unterseite der Sitzbank. Vereinzelt wurden anstelle der Eisenrohre auch Gussrohre eingesetzt.

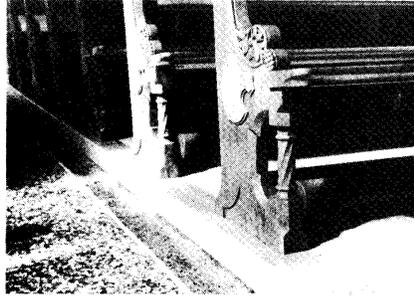


Fig. 13 Eisen-Rohrheizkörper

Eisen- und Guss-Rohrheizkörper werden heute nicht mehr hergestellt.

Anwendungen: - Fusschemelheizung im Bereich der Bänke,  
- Orgelheizung

Vorteile: - Individuelle Heizkörperlängen möglich

Nachteile: - Hohe Herstellkosten,  
- Langsamere Reaktion als Leichtmetall-Rohrheizkörper  
- Schlechteres Strahlungsfeld als Leichtmetall-Rohrheizkörper, Behindern die Fussbodenreinigung  
- Heizkörper mit Kanthal-Wicklungen entwickeln bei voller Leistung ein störendes Brummen (mit Chrom-Nickel-Wicklung tritt dieses Problem nicht auf).

### **- Rippenrohr-Heizkörper**

Die Heizwicklung ist in einem Chrom-Nickel-Stahlrohr von ca. 25 mm Durchmesser eingebaut. Zur Verbesserung der Wärmeabgabe - speziell des Konvektionsanteils - sind auf dem Rohr spiralförmige Rippen angebracht. Der Rippenrohrheizkörper ist wegen seiner ästhetisch weniger ansprechenden Form eher für die Montage ausserhalb dem Sichtbereich geeignet. Er kann auch in feuchter und korrosionsgefährdeter Umgebung eingesetzt werden. Es sind auch sogenannte Rippenöfen mit kompakten Stahlgussgehäusen auf dem Markt.

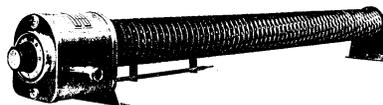


Fig. 14 Rippenrohrheizkörper

Es sind maximale Leistungen von rund 1000 W pro Meter Heizkörper möglich.

Rippenrohrheizkörper sind auch mit eingebautem Temperaturregler erhältlich.

Anwendungen: - Orgelheizung  
- Fensterbankheizung mit versenkter Montage  
- Heizung in Toiletten

Vorteile: - In variablen Längen und verschiedenen Spannungen erhältlich  
- Spritzwassergeschützt

Nachteile: - Anfällig auf Verschmutzung  
- Aufwendige Reinigung

## \* Heizstäbe

Hier ist die Heizwicklung in einem flachgepressten hermetisch abgeschlossenen Chrom-Nickel-Stahlrohr eingebaut. Der flache Querschnitt des Heizstabs erlaubt ein Biegen mit relativ engen Radien. Es können u-förmige als auch schlangenförmige Heizstäbe hergestellt werden.

Die Heizstäbe sind auf Befestigungsstützen aus Metall montiert. Durch zusätzlich angebrachte Luftleitbleche kann der Luftstrom bei Bedarf geführt werden.

Heizstäbe sind mit Leistungen bis zu 350 W pro Meter Heizstab und für verschiedene Spannungen erhältlich.

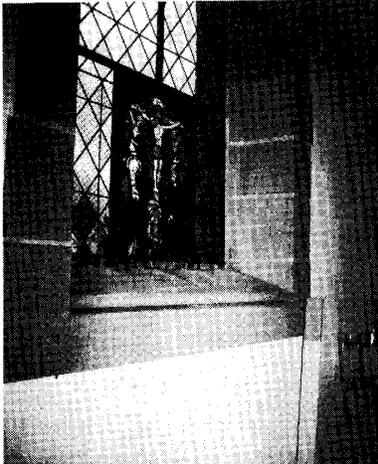


Fig. 15 Fensterbankheizung

- Anwendungen:
- Fensterbankheizung (versenkt oder mit Abdeckung auf Fensterbank montiert)
  - Fussbodenkonvektoren (versenkte Heizkörper mit Abdeckgitter)
- Vorteile:
- In variabler Länge und Heizstabanordnung erhältlich (beispielsweise kann bei doppelter Führung des Heizstabes die Leistung verdoppelt werden)
  - Spritzwassergeschützt
- Nachteile:
- Je nach Ausführung des Heizkörpers bzw. der Abdeckung starke Knackgeräusche bei Erwärmung und Abkühlung.

## \* Infrarot-Heizkörper

Die Infrarot-Heizkörper beruhen auf dem Strahlungsprinzip. Eine einphasige Heizwendel aus einer hochschmelzenden Metall-Legierung ist in einem temperaturbeständigen Quarzrohr eingebaut.

Die vom Quarzrohr erzeugte Infrarot-Strahlung wirkt auf die Gegenstände und Personen in der unmittelbaren Umgebung. Ein Teil der Strahlung wird dort reflektiert, ein grösserer Teil absorbiert und in Wärme umgesetzt. Die Erwärmung der Umgebungsluft findet vorallem indirekt über die angestrahlten Objekte statt.

Die Infrarotheizung eignet sich als Prinzip relativ gut für kurzfristig benützte Räume. Die Strahlung wirkt rasch nach der Inbetriebnahme des Heizkörpers, jedoch nur dort wo sie hingelangt. Die Anordnung der Heizkörper ist demzufolge sehr wichtig.

Wegen der hohen Temperatur des Quarzstabes kann es zu Komfortproblemen kommen, wenn die Heizkörper mit voller Leistung in der unmittelbaren Nähe von Personen betrieben werden. Gegenstände aus Holz und anderen Materialien sind ebenfalls gefährdet, wenn sie im unmittelbaren Strahlungsfeld des Heizkörpers liegen.

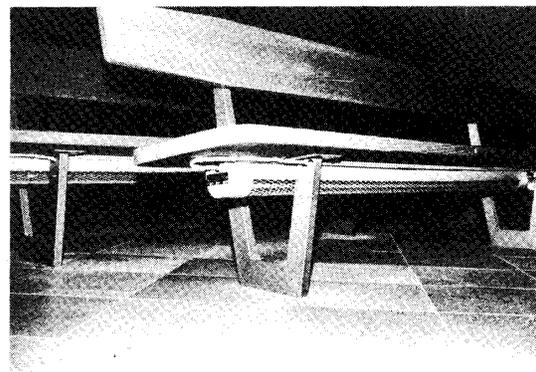
Aus diesem Grund sollte die Wärmeabgabe von Infrarot-Heizkörpern geregelt werden können

Fig. 16 Infrarot-Bankstrahler

Es sind Heizkörper mit Längen von ca. 0,5 bis 2 m erhältlich. Bei Infrarot-Bankheizkörpern beträgt die obere Leistungsgrenze 400 Watt pro Meter.

Bei Stufenheizungen auf Emporen sind die maximalen Leistungswerte pro Meter, je nach Montageart, eingeschränkt.

Die Betriebsspannung liegt vorwiegend bei 230 Volt.



Ähnlich wie bei Rohrheizkörpern können auch bei Infrarot zwei Heizelemente für die Heizstufeneinstellung eingebaut werden.

Anwendungen: - Sitzbankheizung  
- Stufenheizung (z.B. auf Emporen mit freier Bestuhlung)  
- Strahler für gezielte Aufenthaltsbereiche (Altar, Sakristeien, Orgelspieltisch)

Vorteile: - Äusserst schnelle Reaktion  
- Bei geeigneter Regelung geringer Energieverbrauch

Nachteile: - Komfortprobleme, wenn ohne Leistungsregelung eingesetzt, da hohe Strahlungstemperaturen  
- Verschmutzung durch Staubverbrennung (nicht nachgewiesen !)

### \* **Niedertemperatur-Wandheizkörper**

hnlich dem Rohrheizkörper werden eine oder mehrere Heizwicklungen in einem Rohr untergebracht. Mehrere Rohre neben- bzw. übereinander angeordnet bilden den Wandheizkörper. Es finden runde, ovale als auch rechteckige Rohre Verwendung. Diese Heizkörper sind nach dem Niedertemperatur-Strahlungsprinzip aufgebaut und werden mit rund 200 bis 250 Watt pro Meter Heizrohr angeboten.

Fig. 17 Niedertemperatur-Wandheizkörper

Es kommen Niedertemperatur-Wandheizkörper mit bis zu 10 Rohren zum Einsatz. Die maximalen Rohrlängen betragen über 5 Meter.

Die einzelnen Heizgeräte können dabei Leistungen von über 10 kW aufweisen. Pro Quadratmeter werden etwa 2 kW abgegeben

Die Heizwicklungen sind üblicherweise auf einoder mehrphasige Anschlussspannungen von 230 oder 400 Volt ausgelegt.



Es werden auch Niedertemperatur Direktheizgeräte in kompakter Flachbauweise als sogenannte Strahlungswände hergestellt.

Die Temperaturregulierung im Gerät ist wegen der direkten Abstrahlung des Heizkörpers kritisch. In der Praxis werden daher aussen an den Geräten montierte Regler eingesetzt.

Anwendungen: - Ausserhalb dem Sitzbankbereich (z.B.im Chor, auf Emporen, im Bereich der Eingänge, in Nebenräumen)

Vorteile: - Grosser Anteil angenehmer Strahlungswärme- Anpassungsfähige Abmessungen mit freier Farbwahl  
- Geschlossene Geräte, einfache Reinigung

Nachteile: - Höhere Anschaffungskosten als bei Wandkonvektoren (meist Einzelanfertigungen)  
- Grösserer konvektiver Anteil als allgemein angenommen (Verschmutzung).

### \* **Wandkonvektoren**

Mit Hilfe eines Wärmeverteilsystems mit Rippen oder eines Heizgitters wird die elektrisch erzeugte Wärme im Inneren des Heizkörpers verteilt. Kalte Luft tritt unten ins Gerät ein. Beim Vorbeistreichen am Wärmeverteilsystem wird der Luftstrom erwärmt und bewegt sich dadurch nach oben. Der Austritt der erwärmten Luft erfolgt durch obenliegende Öffnungen.

Die Wärmeabgabe erfolgt meist zu über 70 % durch Konvektion, der Rest durch Strahlung.

Durch die Konvektion ergibt sich auch im beheizten Raum eine kontinuierliche, im Vergleich bei Strahlungsheizkörpern erhöhte Luftbewegung.

Wandkonvektoren werden in Leistungen ab einigen hundert Watt bis etwas über 2 kW hergestellt. Die Geräte sind vorwiegend auf 230 V Netzspannung ausgelegt.

Konvektorleisten mit Bauhöhen von rund 20 Zentimetern sind speziell für die Montage entlang von Wänden geeignet.

Früher wurden auch grössere Konvektoren (z.T. als mobile Geräte) für die Beheizung oder nur Temperierung ganzer Kirchen eingesetzt.

Zur Unterstützung der Luftzirkulation werden heute auch kleine Querstromgebläse eingebaut.

Die heute erhältlichen Konvektoren sind grösstenteils mit einer Temperaturregulierung ausgerüstet. Dabei finden sowohl mechanische Thermostate als auch elektronische Regler Anwendung.

Fig. 18 Wandkonvektor

Anwendungen- - Eingänge, Nebenräume (für Kirchen sind Konvektoren wegen des hohen Konvektionsanteils eher ungeeignet)

Vorteile: - Geringe Abmessungen, Flachbauweise  
- Geringe Anschaffungskosten

Nachteile: - Grosser konvektiver Anteil (Umwälzung der Raumluft, Verschmutzung)  
- Je nach Oberflächentemperatur des Heizelementes Staubverbrennung (Verschmutzung).

Fig. 19 Standkonvektor

### \* Mobile Heizgeräte

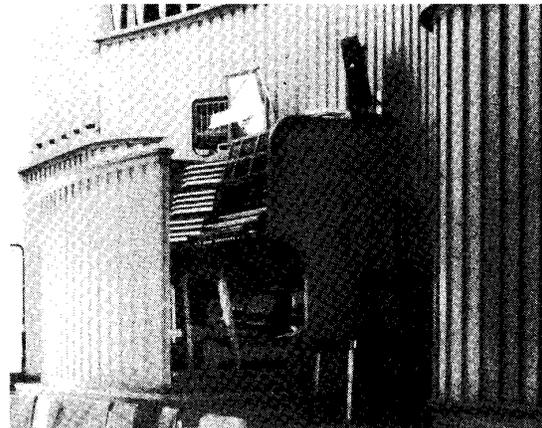
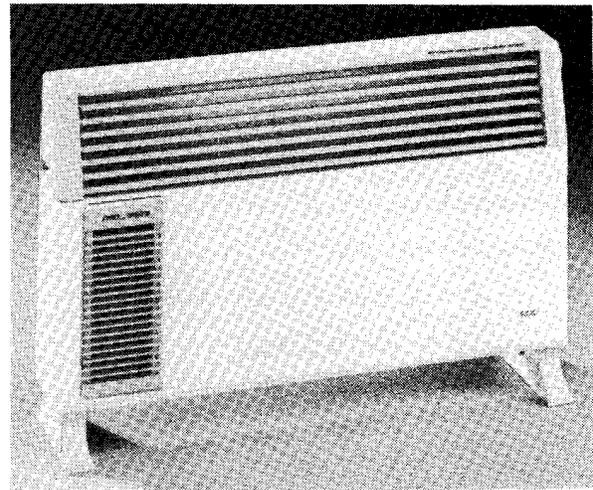
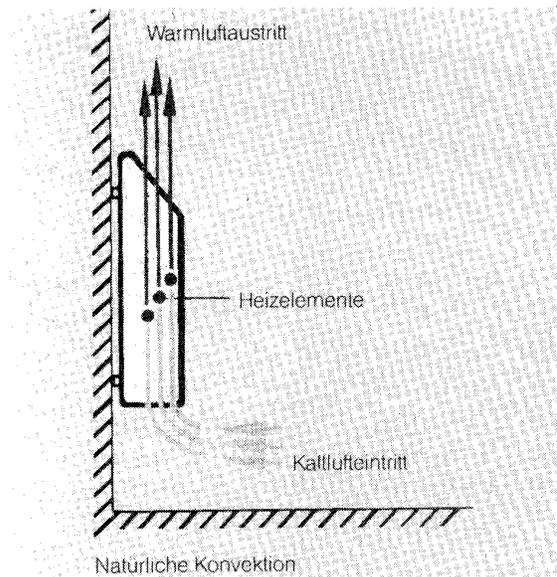
Als mobile Heizgeräte werden Konvektoren oder Infrarot-Strahler eingesetzt. Je nach Anwendungsfall ist das eine oder andere Wärmeabgabesystem von Vorteil. Wenn ein einzelner Raum vorübergehend mit einem mobilen Heizgerät temperiert oder beheizt werden sollte, wird eher ein Konvektor (mit oder ohne) Gebläse eingesetzt.

Anders verhält es sich, wenn beispielsweise in einer sonst nicht geheizten Kirche im Bereich des Orgelspieltisches eine Heizung verlangt wird. Mit einem Konvektor würde vorwiegend die kalte Raumluft bewegt - speziell mit einem Gebläse und unbedeutend aufgeheizt. Ein- evtl. beidseitig angeordnete Infrarotstrahler sind nicht die ideale Lösung, vermögen aber am ehesten eine minimale Wärmeverteilung zu erzeugen (siehe auch Kapitel 7 «Planung der Heizung»).

Fig. 20 Infrarotstrahler im Bereich Orgelspieltisch

Heizbefeuchter sind Geräte zur kombinierten Raumluftwärmerung und -befeuchtung. Solche Geräte dürfen nur nach ausreichender Abklärung verwendet werden.

Als örtlich begrenzte Wärmequelle im Fussbodenbereich können bewegliche Heizteppiche eingesetzt werden.



## Speicherheizgeräte

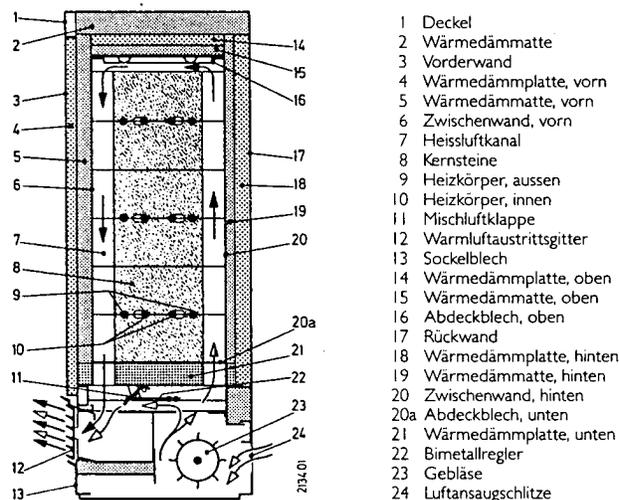
Wärmespeicher werden vorallem dazu eingesetzt, um den "billigen" Nachtstrom tagsüber für Heizzwecke nutzen zu können.

Man unterscheidet zwischen Zentralspeicher und Einzelspeicher.

Zentralspeicher beheizen mehrere Räume über eine Warmwasserheizung. Da diese für Kirchenheizungen aus den verschiedensten Gründen (Wärmeverteilung, Platzbedarf, grosser kurzzeitig benötigter Wärmebedarf) ungeeignet sind, werden sie hier nicht weiter behandelt.

Fig. 21 Querschnitt eines Speicherheizgerätes

Der wichtigste Teil eines Speicherheizgerätes ist der üblicherweise aus Magnesitsteinen bestehende Wärmespeicher. Heizelemente im Speicherkern heizen diesen mit Nachtstrom bei Volladung auf über 600 °C auf.



Eine hochwertige Wärmedämmung hält die Wärme im Speicherkern zurück und sorgt für niedrige Temperaturen an den Geräteaussenseiten. Bedingt durch die hohe Temperaturdifferenz wird aber trotzdem eine bestimmte Wärmemenge über die Gehäuseoberfläche an den Raum abgegeben.

Bei Wärmebedarf wird durch ein Gebläse kalte Raumluft unten am Gerät angesaugt. Sie wird über automatische Beimischklappen durch den Speicherkern geführt und erwärmt durch Luftaustrittslamellen auf der Gerätefrontseite wieder an den Raum abgegeben.

Die Betriebsweise von Speicherheizgeräten hängt wesentlich von der verwendeten Aufladesteuerung (meistens extern vom Heizgerät) ab.

Im Heizgerät sorgt eine thermomechanische Regelung für die von der Aufladesteuerung vorgegebene Aufladung. Es haben sich Kapillarsysteme, welche mit speziellen Flüssigkeiten gefüllt sind, durchgesetzt. Dieses regelt die Aufladung in Abhängigkeit des Steuersignals der Aufladesteuerung, der Kerntemperatur des Speichers und der Einstellung des Ladereglers am Speicherheizgerät.

Das Steuersignal für die heute üblichen Speicherheizgeräte und die Aufladesteuerung ist genormt (DIN 44574).

Fig. 22 Speicherheizgerät

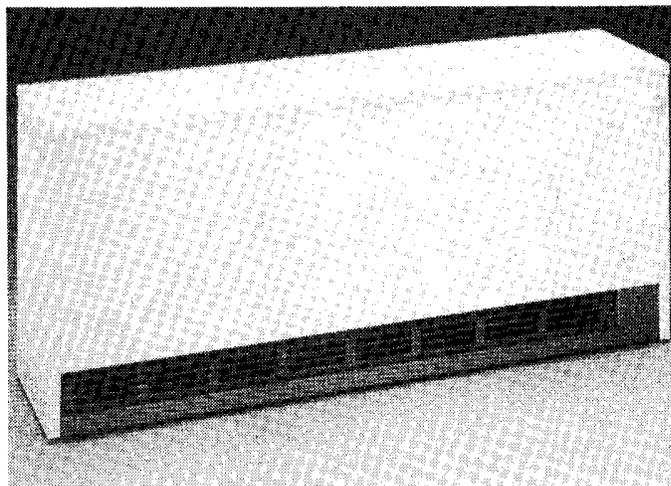
In den meisten Speicherheizgeräten ist als Ergänzung eine Zusatzheizung von 1 bis 2 kW Leistung eingebaut. Diese arbeitet als Direktheizung und kann sowohl ergänzend zur Speicherwärme wie auch als alleinige Wärmequelle betrieben werden, z.B. in der Übergangszeit.

Bei Speicherheizgeräten wird zwischen dynamischen Speichern (mit Gebläse wie vorgängig beschrieben), statischen Speichern (Wärmeabgabe über die Geräteoberfläche) und Mischspeichern (Kombination dieser beiden Systeme) unterschieden.

Die dynamischen Speicherheizgeräte entladen sich auch bei ausgeschaltetem Gebläse allmählich. Beispielsweise werden nach einer Volladung innerhalb von 24 Stunden rund 25 bis 30 % der gespeicherten Wärme unkontrolliert abgegeben.

Es sind auch Speicherheizgeräte mit Latentspeichern (Schmelzwärmenutzung) für die Kurzzeitspeicherung im Handel. Da diese Geräte speziell für den Wohnungsbau optimiert sind, eignen sie sich weniger für nur zeitweise beheizte Räume.

Die Nennaufladungen der erhältlichen Speicherheizgeräte liegen zwischen rund 10 und über 60 kWh. Die Anschlussleistung ist dabei so ausgelegt, dass der Wärmespeicher in ca. 8 Stunden (Niedertarifzeit) voll aufgeladen werden kann. Es sind



also Anschlussleistungen von rund 1,2 bis 8 kW üblich.

Kleine Speicherheizgeräte können mit 1 x 230 Volt, grössere nur mit 3 x 400 Volt betrieben werden

Anwendungen: - Häufig in Nebenräumen zu Kirchen - Evtl. als Ergänzung zu Sitzbankheizungen auch in Kirchen

Vorteile: - Ausnützung des billigen Nachtstroms

Nachteile: - Im Vergleich zu Direktheizkörper grosser Platzbedarf, schwer  
- Aufwendige Regelung (speziell, wenn nicht täglich aufgeladen wird)  
- Verschmutzung des Gebläses und der Umgebung des Heizgerätes  
- Höhere Anschaffungskosten als Direktheizgeräte.

## Fussbodenheizungen

Die Fussbodenheizung ist eine der ältesten Heizungsarten für Kirchen. Während früher heisse Verbrennungsgase, Warmluft und später Warmwasser eingesetzt wurden, findet seit den dreissiger Jahren auch die elektrisch betriebene Fussbodenheizung Anwendung.

Elektrische Fussbodenheizungen werden in Kirchen vereinzelt als einziges Wärmeabgabesystem, sehr oft aber als Ergänzung zur Sitzbankheizung eingesetzt.

Das thermische Verhalten einer Fussbodenheizung hängt wesentlich vom Bodenaufbau ab. Aus diesem Grund wird im folgenden zwischen den unmittelbar unter dem Bodenbelag verlegten Heizmatten mit Direktheizcharakter und den unter bzw. im Unterlagsboden verlegten Heizmatten oder Heizfolien mit Speicherwirkung unterschieden.

### \* Fussbodenheizung mit Direktheizcharakter

(oft als Wärme- / Thermoboden oder FussbodenDirektheizung bezeichnet)

Der Heizleiter mit einem Durchmesser von rund 2 Millimetern besteht aus einem innenliegenden Heizdraht, einer Isolierung (meist Teflon) und einem mechanischen Schutz aus Kupfergeflecht. Dieser ist in ein Kunststoffgitter oder Textilgewebe eingewickelt.

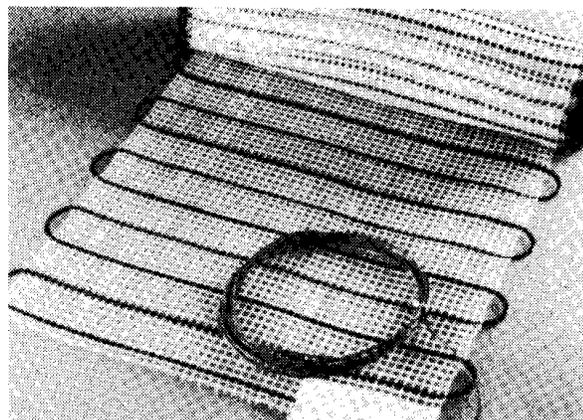
Fig. 23 Kabelheizmatte

Es werden Heizmatten mit Leistungen von 50 bis 200 W/M<sup>2</sup> angeboten. Bei Bodenbelägen aus Teppich, PVC oder Parkett muss die maximal zulässige Leistung pro Quadratmeter berücksichtigt werden.

Die Anlieferung erfolgt in Rollen mit Breiten zwischen 30 bis 80 cm (produkteabhängig).

Heizmatten werden nur für 230 Volt Betriebsspannung hergestellt.

Die Übertemperatur des Heizleiters liegt je nach Leistung pro Meter bei 20 bis 30 K. Für den elektrischen Anschluss sind die Kabelenden von einigen Metern Länge nicht aus Widerstandsdraht hergestellt. Diese erwärmen sich demzufolge auch nicht und werden im Fachgebrauch als "Kalte Enden" bezeichnet.



Heizmatten mit Direktheizcharakter können als Vollheizung oder als Zusatzheizung eingesetzt werden. Sie eignen sich für die Verlegung in Neubauten, aber auch besonders gut bei Sanierungen mit reduzierter Fussbodenhöhe, da eine Verlegung direkt unter dem Bodenbelag (ca. 3 mm Einbauhöhe) möglich ist. Ein zusätzlicher mechanischer Schutz ist nicht notwendig.

Das Kunststoffgitter wird mit einem Fließkleber fest mit dem darunterliegenden Estrich verbunden.

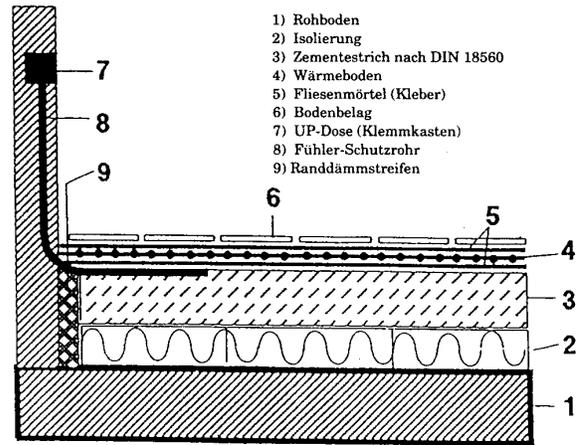
Fussboden-Direktheizungen können mit normalen Raumtemperaturregler betrieben werden. Zusätzlich sind jedoch Bodentemperaturbegrenzer oder elektronische Regler mit Fernfühler in der Heizleiterebene zu empfehlen. Dadurch können Überhitzungen oder Wärmestaus vermieden werden.

Fig. 24 Fussbodenaufbau mit Direktheizcharakter

Anwendungen: - Ganze Kirchen mit Steinböden, evtl. nur Chorbereich mit freier Bestuhlung  
- Kapellen

Vorteile: - Freie Raumgestaltung  
- Einfache Verlegung  
- Gleichmässige Wärmeverteilung  
- Behagliche Bodentemperatur bei eher tieferen Raumlufttemperaturen als bei Bankheizungen

Nachteile: - Thermisch träger als Sitzbankheizungen, jedoch dynamischer als Bodenheizungen mit Speicherwirkung (da die Wärmedämmung unter dem Unterlagsboden liegt, hat auch dieser Bodenaufbau bei Steinböden eine nicht zu unterschätzende Speicherwirkung).  
- Aufwendige Regelung (speziell, wenn nicht täglich aufgeladen wird)  
- Aus energetischen Überlegungen nur bei wärmegeämmten Bodenkonstruktionen zulässig (k-Wert 0,3 W/m<sup>2</sup> K).  
- Bei Reparaturen aufwendig.



### \* Fussbodenheizung mit Speicherwirkung

Die hierzu verwendeten Heizmatten sind im Aufbau und der Anwendung denjenigen mit Direktheizcharakter sehr ähnlich.

Die Heizkabel sind ausser auf den vorgefertigten Matten auch auf Ringen zum Abrollen erhältlich.

Als weitere Möglichkeit für die Wärmeerzeugung werden auch Heizfolien eingesetzt. Diese bestehen aus einer leitenden Kunststoffdispersion als Widerstandsmaterial, einem Glasgewebe als Träger, Kupferbändern für die Stromzuführung und einer beidseitig aufgetragenen Kunststoffolie als elektrische Isolation.

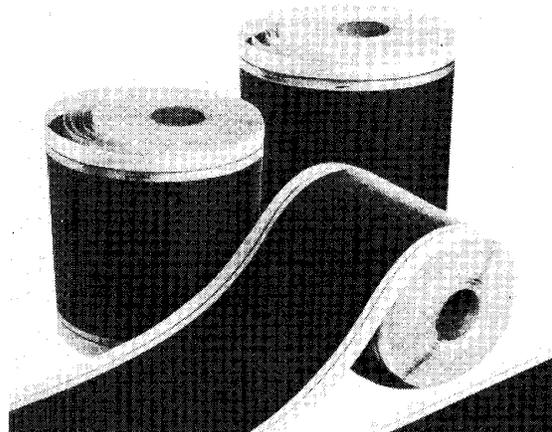


Fig. 25 Heizfolien

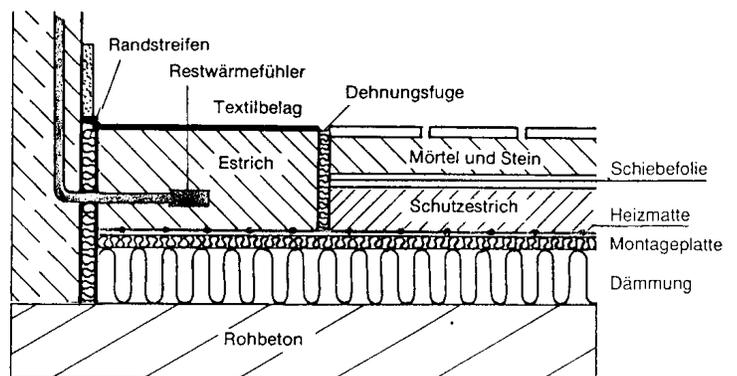
Die Wärmeleistung der Heizmatten und Folien liegt im Bereich von rund 70 bis 250 W/M<sup>2</sup>. Die Anlieferung erfolgt ebenfalls in Rollen mit unterschiedlichen Breiten.

Als Betriebsspannung ist 230 oder 400 Volt üblich.

Vereinzelt werden auch Heizkabel für Niederspannung (z.B. 36 oder 48 Volt) eingesetzt. Die Spannung muss in diesem Fall über leistungsstarke Transformatoren angepasst werden. Ohne grossen Mehraufwand kann über den Transformator mit Wicklungsumschaltungen die Leistung variiert werden.

Fig. 26 Fussbodenaufbau mit Speicherwirkung

Die Speicherwirkung wird nicht durch das Heizelement, sondern durch den Fussbodenaufbau und die Lage der Heizfläche im Bodenquerschnitt bestimmt.



Bei dieser Art Fussbodenheizung muss eine Einbautiefe von mindestens 10 cm eingeplant werden.

Ein wichtiger, je nach Heizbetrieb unverzichtbarer Bestandteil einer Fussboden-Speicherheizung ist eine elektronische Aufladeregulierung, welche den Ladevorgang (Erwärmung des Fussbodens) in Abhängigkeit des Wärmebedarf steuert.

Zur Begrenzung der Bodentemperatur und Verhinderung von Schäden am Fussboden wird bei den meisten Produkten der Einbau von Sicherheitsthermostaten vorgeschrieben. Dabei handelt es sich um Kapilarfühler, welche im Unterlagsboden über der Heizfläche eingelegt werden.

Anwendungen: - wie Heizmatten mit Direktheizcharakter

Vorteile: - wie Heizmatten mit Direktheizcharakter

Nachteile:

- Thermisch bedeutend träger als Sitzbankheizungen und auch träger als Fussbodenheizungen mit Direktheizcharakter
- Aufwendige Regelung (ähnlich wie bei Speicherheizgeräten)
- Aus energetischen Überlegungen nur bei sehr gut wärmegeädämmtem Fussboden zulässig (k-Wert 0,3 W/M<sup>2</sup>K).
- Sehr hohe Kosten (für den gesamten Bodenaufbau)
- Bei Reparaturen aufwendig.

### \* Luftheizungen

Früher wurden auch Luftheizungen mit elektrischer Wärmeerzeugung gebaut. Wegen den Nachteilen der Luftheizungen (Verschmutzung des beheizten Raumes, Geräusche bei Betrieb usw.) und oft auch wegen der schlechten Planung und Ausführung haben sich diese Systeme in den meisten Fällen eher nicht bewährt.

Viele Luftheizungen mit elektrischer Wärmeerzeugung wurden in den vergangenen Jahren durch andere Heizsysteme ersetzt.

## 2.2 Übersicht Steuerung und Regelung

### Grundsätzliches

Um der häufigen Verwechslung und falschen Anwendung der Begriffe "Steuerung" und "Regelung" vorzubeugen, seien diese als erstes kurz erklärt.

#### Steuerung

Das charakteristische Kennzeichen einer Steuerung ist der offene, in einer Richtung verlaufende Wirkungsablauf. Die Eingangsgrößen beeinflussen die Ausgangsgrößen aufgrund der Gesetzmässigkeiten der Steuereinrichtung. Das besondere Merkmal einer Steuerung ist, dass - im Gegensatz zur Regelung - keine Rückführung der Ausgangsgröße auf den Eingang vorhanden ist.

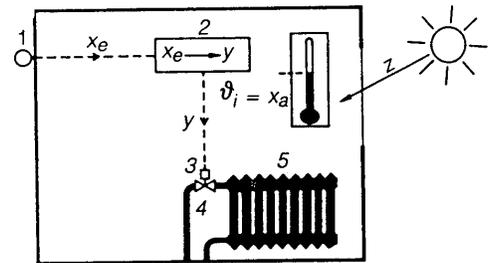


Fig. 27 Beispiel einer automatischen Steuerung

Ein Witterungsfühler (1) nimmt die Aussentemperatur als Eingangsgröße wahr. Das Steuergerät (2) steuert aufgrund der eingebauten Gesetzmässigkeit über den Stellantrieb (3) das Ventil (4). Die Wärmeabgabe des Heizkörpers (5) verändert zusammen mit der Sonne als Störgröße die Raumlufttemperatur.

#### Regelung

Eine Regelung liegt vor, wenn der Wirkungsablauf geschlossen ist. Der gewünschte Wert (Sollwert) wird dauernd mit dem tatsächlichen (Istwert) verglichen. Aufgrund der Abweichung der beiden Werte beeinflusst der Regler den Istwert. Hier findet also eine Rückführung der Ausgangsgröße auf den Eingang statt.

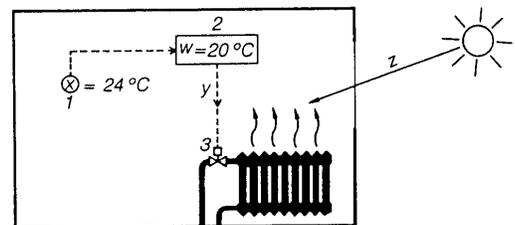


Fig. 28 Beispiel einer automatischen Regelung

Der Raumfühler (1) meldet die Raumlufttemperatur dem Regler (2). Wenn die Raumlufttemperatur kleiner als der am Regler eingestellte Sollwert ist, wird das Ventil (3) mehr geöffnet, im umgekehrten Fall mehr geschlossen. Die Wärmeabgabe des Heizkörpers verändert zusammen mit der Sonne als Störgröße die Raumlufttemperatur. Damit ist der Regelkreis geschlossen.

#### Regler Arten

In elektrisch beheizten Kirchen kommen vorwiegend Zweipunktregler und vereinzelt Proportionalregler zum Einsatz:

##### - Zweipunktregler

Zweipunktregler sind sogenannte un stetige Regler und haben nur zwei Zustände, z.B. Ein/Aus, 0/ 100 %.

Beispiel: Raumthermostaten, welche die Heizung ein- und ausschalten.

##### - Proportionalregler

Proportionalregler können den Ausgang stufenlos verstellen.

Beispiel: Raumthermostaten, welche eine Direktheizung oder ein Gebläse stufenlos regeln.

Um ein schnelleres Regelverhalten und höhere Genauigkeit zu erreichen, werden auch Proportional-Integral-Regler (PI-Regler) eingesetzt.

## Randbedingungen an Steuerung und Regelung

Die Steuerung und Regelung hat in elektrisch beheizten Kirchen den verschiedensten Randbedingungen gerecht zu werden. Die wichtigsten sind:

- das Wärmeabgabesystem
- die Art der Bauhülle
- die Lieferbedingungen der Elektrizität
- die Komfortansprüche an das Raumklima
- die benutzer- und bedienerseitige Flexibilität.
- Aufgaben an Steuerung und Regelung

Die daraus resultierenden Aufgaben an die Steuerung und Regelung sind ebenso vielfältig. Diese lassen sich grundsätzlich wie folgt aufteilen:

- Raumtemperaturregelung (während bzw. ausserhalb den Belegungen)
- Aufladesteuerung für Speicheröfen und Bodenheizungen
- Entladeregulung bei Speicheröfen für die bedarfsgerechte Wärmeabgabe an den Raum
- Zeitliche Steuerung eines Heizvorganges (Aufheizen, Belegung).

Für eine optimierte Anlage sind noch weitere Details von besonderer Bedeutung:

- Aufheizgeschwindigkeit (Temperaturanstieg pro Stunde)
- Unterschiedliches Verhalten der verschieden eingesetzten Wärmeabgabesysteme (z.B. Sitzbankheizungen, Fussbodenheizungen)
- Vermeidung von Zugerscheinungen: gezielte Ansteuerung einzelner Heizgruppen (Fenster, Empore, usw.)
- Komfortverbesserungen: Differenzierte Wärmeabgabe während dem Aufheizen bzw. den Belegungen
- Verhalten des Gebäudes bei sporadischer Belegung.

## Steuer- und Regelelemente

Bei Elektroheizungen, und ganz speziell bei elektrisch beheizten Kirchen, weichen - im Gegensatz zu öl- und gasbeheizten Gebäuden - die einzelnen regelungstechnischen Installationen stark voneinander ab. Die Vielfalt der verwendeten Steuer- und Regelelemente ist sehr gross.

Während bei Öl- und Gasheizungen für praktisch jede Anwendung spezifisch konstruierte Komponenten und Geräte zur Verfügung stehen, kommen bei Elektroheizungen oft Produkte aus verwandten Anwendungsgebieten oder dem üblichen Elektrohandel zum Einsatz.

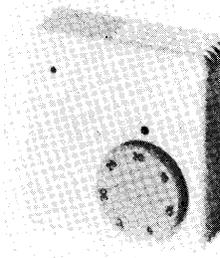
Im Folgenden werden einige, bei elektrisch beheizten Kirchen oft eingesetzte, Steuer- und Regelelemente beschrieben. Die Aufstellung erhebt keinen Anspruch auf Vollständigkeit.

### \* Bimetall-Temperaturregler

Temperaturregler auf Bimetallbasis sind bei Elektroheizungen wohl die am häufigsten eingesetzten Regelelemente.

Fig. 29 Raumtemperaturregler

Thermobimetall besteht im allgemeinen aus zwei etwa gleich dicken, fest miteinander verbundenen Schichten aus Metallen oder Legierungen mit unterschiedlichen Wärmeausdehnungen. Bei Temperaturänderungen durch Strahlung, Leitung und Konvektion krümmt sich das Plättchen. Diese Bewegung wird auf einen Magnet-Sprungkontakt übertragen.



Um Bimetall-Temperaturregler richtig einsetzen zu können sind einige Details, sowie die in den Reglern eingebauten Zusatzfunktionen, von Bedeutung:

#### - Kontaktart

Öffner: Öffnet bei steigender, schliesst bei sinkender Temperatur (für Heizen)

Schliesser: Schliesst bei steigender, öffnet bei sinkender Temperatur (für Kühlen)

### - Schalttemperaturdifferenz

Die Schalttemperaturdifferenz des Reglers ist die Temperaturdifferenz zwischen dem Ein- bzw. Ausschalten. Sie wird auch Schalthysterese genannt und hängt vom einzelnen Gerät ab. Ohne thermische Rückführung haben Thermostate Schalthysteresen von bis zu 5 K (thermische Rückführung siehe weiter unten).

Es gibt auch die Schalttemperaturdifferenz des Raumes. Diese hängt von der ganzen Regelstrecke ab, d.h. vom Heizsystem, vom Raum, vom Montageort der Messeinrichtung und natürlich vom Regler.

### - Automatischer Folgekontakt

Sinkt die Temperatur unter den eingestellten Wert, so schliesst der Kontakt. Sinkt die Temperatur durch irgendwelche Einflüsse um weitere ca. 3 K, so schliesst der Folgekontakt. Damit kann z.B. die 2. Heizstufe eingeschaltet werden.

### - Thermische Rückführung (RF)

Um die Schalthysterese (Schalttemperaturdifferenz) der ganzen Regelstrecke sowie das Oberschwingen der Raumtemperatur beim Wärmenachschub zu begrenzen, wird ein kleiner thermischer Heizwiderstand in unmittelbarer Nähe des Bimetalls angebracht. Sobald der Raumtemperaturregler Wärme verlangt, wird dieser Widerstand an Spannung gelegt und täuscht dem Bimetall eine etwas höhere Temperatur vor.

Bei älteren Geräten wird durch die Eigenerwärmung eine ähnliche Wirkung wie mit einem Heizwiderstand erzeugt.

### - Temperatur Absenkung (TA)

Für die Temperaturabsenkung wird ähnlich wie bei der thermischen Rückführung, ein kleiner Heizwiderstand, jedoch mit grösserer Leistung, eingeschaltet. Dieser Heizwiderstand wird durch einen Handschalter oder eine Schaltuhr aktiviert.

Dadurch wird dem Bimetall eine um 5 oder 10 K (geräteabhängig) höhere Temperatur vorgetäuscht. Der Schalterpunkt des Reglers und demzufolge die Raumtemperatur liegt um diese Temperaturdifferenz tiefer.

### - Bereichs-Einengung

Gegen den Eingriff durch unbefugte Personen kann der gewünschte Einstellbereich oder die feste Einstellung in manchen Geräten mechanisch fixiert werden.

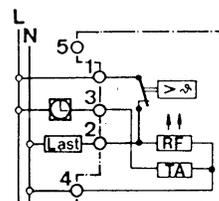
## Ausführungsvarianten der Regler

Bimetall-Temperaturregler werden in den verschiedensten Ausführungsvarianten und Kombinationen der vielen Zusatzfunktionen angeboten.

Beispiel:

Fig. 30 Schaltbild eines Reglers mit thermischer Rückführung und Temperaturabsenkung

Funktion: Bei Unterschreitung der eingestellten Temperatur # schliesst der Schaltkontakt. Dadurch wird die Last (Raumheizung) eingeschaltet. Gleichzeitig wird die thermische Rückführung (RF) aktiviert. Die externe Schaltuhr gibt die Temperaturabsenkung (TA) von beispielsweise 10 K frei.



- Anwendungen:
- Zweipunkt Raumtemperaturregelung bei Direktheizsystemen (bedingte Anwendung bei Bodenheizungen)
  - Zweistufenregler (Folgekontakt) für Direktheizgeräte mit zwei Heizstufen oder für die Entladung von Speicherheizgeräten mit zweistufigen Gebläsen und Zusatzheizungen
  - Temperaturregelung in Konvektoren und Rippenrohrheizkörpern

- Vorteile:
- Kompakt, robust, betriebssicher
  - Kleine Schalttemperaturdifferenz von ca. 0,5 ... 1,0 K (wenn Temperaturrückführung vorhanden)
  - Relativ genaue Temperaturerfassung
  - Mit vielen Zusatzfunktionen erhältlich
  - Preiswert

- Nachteile:
- Grosse Schalttemperaturdifferenz von bis zu 5 K (ohne Temperaturrückführung)
  - Beim Aufheizen träge Reaktion (hängt stark von der Montage ab).

## \* Elektronische Temperaturregler

Der eigentliche Regler besteht aus einem elektronischen Verstärker, welcher die Isttemperatur mit dem Sollwert vergleicht und in Abhängigkeit der Differenz den Ausgang steuert.

Die Temperaturmessung erfolgt über einen elektrischen Widerstand im Reglergehäuse oder einen separat montierten Fernfühler.

Als Widerstandselemente kommen Heissleiter (NTC = negativer Temperaturkoeffizient - sinkender Widerstandswert bei steigender Temperatur) als auch Kaltleiter (PTC = positiver Temperaturkoeffizient - steigender Widerstandswert bei steigender Temperatur) zur Anwendung. Die normalerweise verwendeten Widerstandswerte liegen im Bereich von rund 100 Ohm bis 10 Kiloohm.

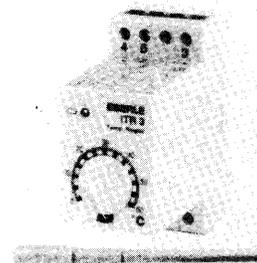


Fig. 31 Elektronischer Temperaturregler mit Fernfühler

### Ausführungsvarianten der Regler

Die Ausgangsschaltungen der Regler sind sehr verschieden, beispielsweise Leistungsrelais, Phasenanschnittsteuerungen (Leistungsregelungen).

Elektronische Regler sind für den Schalttafelbau sowie in Gehäusen für die Raummontage erhältlich.

Analog wie beim Bimetall-Temperaturregler sind auch beim elektronischen Regler Temperaturabsenkungen möglich.

Einzelne Modelle erlauben durch Umschaltung die Einstellung mehrerer Sollwerte (Mehrfachtemperaturregler).

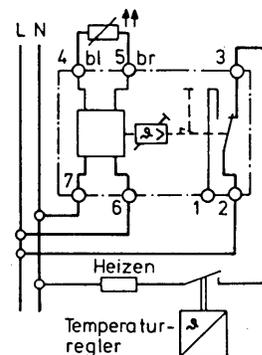


Fig. 32 Schaltbild eines elektronischen Reglers

Anwendungen: - Zweipunkt Temperaturregler mit Fernfühler, z.B. für Bodenheizungen

- Proportionalregler für Direktheizgeräte (maximal einige kW)
- Mehrfachtemperaturregler mit Fernfühler, z.B. Tag-, Nacht- oder Frostschutzbetrieb.
- Stufenlose Drehzahlregler für Gebläsemotoren in Speicherheizgeräten
- Temperaturregelung in Konvektoren

Vorteile: - Kleine, bei einzelnen Modellen einstellbare Schalttemperaturdifferenz (0,5 bis einige K)  
- Genaue Temperaturmessung

Nachteile: - Höhere Anschaffungskosten als Bimetall-Temperaturregler

## \* Schaltuhren

Schaltuhren finden für die verschiedensten Zwecke Anwendung, beispielsweise für die Heizungs freigabe bei Belegungen, bzw. für die Aktivierung des abgesenkten Betriebes.

Bei Schaltuhren sind für den Einsatz im Zusammenhang mit Elektroheizungen folgende Daten und Eigenschaften von Interesse:

- Bedienerfreundlichkeit
- Uhrwerk (mechanisch / elektromechanisch elektronisch)
- Genauigkeit (Synchronantrieb / Quarz)
- Programmumlauf (Tages-, / Wochen- oder Jahresprogramm)
- Anzahl Kanäle (Anzahl Schaltkontakte)
- Handschalter (Überbrückung des Schaltkontaktes)
- Betriebszustandsanzeige (Ein / Aus)
- Anzahl Speicherplätze (bei elektronischen Uhren)
- Kürzester Schaltabstand (bei mechanischen Uhren)
- Sommer- Winterzeitumschaltung (manuell automatisch)
- Gangreserve (Anzahl Stunden / Tage; Batterie oder Kondensator)
- Batterie- / Akkulebensdauer
- Ladezustandsanzeige von Batterie / Akku
- Beleuchtete Anzeige

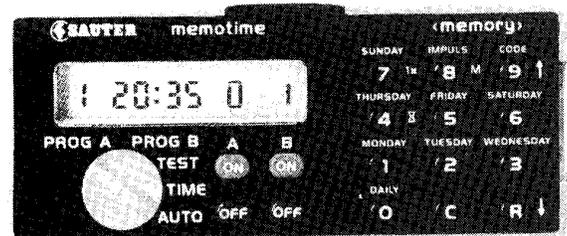


Fig. 33 Schaltuhr mit folgenden technischen Daten: 2 Schaltkanäle, 58 Speicheradressen, beleuchtete LCD-Anzeige, Gangreserve durch Kondensator, Vollautomatische Sommer-/Winterzeitumschaltung

Bei der Auswahl von Schaltuhren ist besonders auf die Bedienerfreundlichkeit zu achten.

## \* Zeitverzögerungsglieder

Für folgende Aufgaben finden bei Elektroheizungen Zeitverzögerungen Anwendung:

### - Gestaffelte Betätigung von Schaltschützen

Damit das Versorgungsnetz nicht mit allzugrossen Einschaltströmen belastet wird, dürfen nur begrenzte Leistungen auf einmal geschaltet werden. Dieser Wert wird durch den Stromlieferanten festgelegt und liegt normalerweise bei rund 10 kW. Grössere Leistungen müssen in einzelnen Stufen mit bestimmten minimalen Zeitabständen geschaltet werden.

Es finden Anwendung:

Mechanische Nockenschaltwerke, einzelverzögerte Relais (R-C-Glieder, Thermistoren), ansprechverzögerte Zeitrelais.

### - Betriebsdauer-Begrenzungen

Für einzeln geschaltete Heizgrupperl, wie Orgelsitzbankheizung, Raumheizungen in Nebenräumen usw., besteht die Gefahr, dass diese nicht rechtzeitig wieder ausgeschaltet werden. Mit einer Begrenzung der Betriebsdauer kann unnötiger Stromverbrauch vermieden werden.

Es werden eingesetzt:

Abfallverzögerte Zeitrelais, Zeitschalter mit Federantrieb.

## \* Aufladesteuerungen für Speicherheizgeräte und Bodenheizungen

Der Aufladesteuerung, welche den Wärmeinhalt bzw. die Temperatur des Speichers vorgibt, kommt spezielle Bedeutung zu. Am besten haben sich automatische Regelgeräte bewährt.

Diese Geräte haben die Aufgabe, den Speicher in der Niedertarifzeit optimal und nach den Vorschriften des Energie-lieferanten aufzuladen. Aufgrund der Aussentemperatur und der noch vorhandenen Restwärme im Speicher wird der Ladebeginn und der Sollwert der Endladung bestimmt.

Die Vielfalt der heutigen, vorwiegend mit Mikroprozessoren ausgerüsteten Aufladesteuerungen ist gross. So sind die verschiedensten Zentral- und Gruppensteuergeräte lieferbar, beispielsweise mit getrennten Kennlinien für den Lade- und den Direkt-Heizbetrieb, für die getrennte Einstellung von mehreren Zonen, für Speicherheizgeräte, Elektro—Zentral- speicher, Bodenheizungen usw.

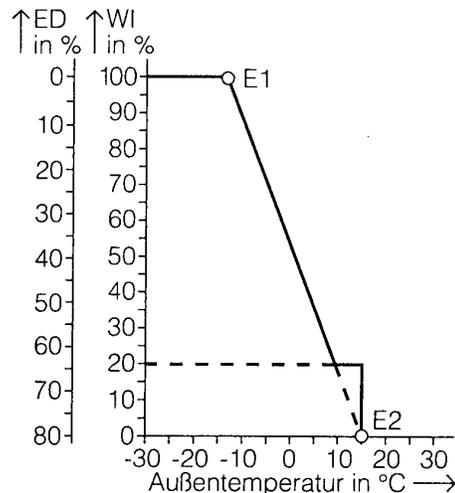
Die einwandfreie Funktion der Geräte wird wesentlich durch die Grundeinstellungen (Parameter) beeinflusst. Die meisten Steuerungen verwenden ähnliche Parameter. Die wichtigsten sind:

### - Ladebeginn und Volladung

Als Ladebeginn wird diejenige Aussentemperatur bezeichnet, unterhalb welcher die Aufladung des Speichers verlangt wird. Mit der Volladung wird bestimmt, bei welcher Aussentemperatur der Speicher voll (maximal) aufgeladen sein soll

Fig. 34 Aussentemperaturabhängige Aufladesteuerung:  
Ladebeginn bei 15 °C (E2), Volladung bei -12 °C (E1)

In Figur 34 ist zusätzlich die Einschaltdauer (ED) des Steuersignals für die Speicherheizgeräte eingetragen. Das Steuersignal (220 V, 50 Hz) wird impulsartig ein- und ausgeschaltet: 80 % ED = 0 % Ladegrad; 0 % ED = 100 % Ladegrad.



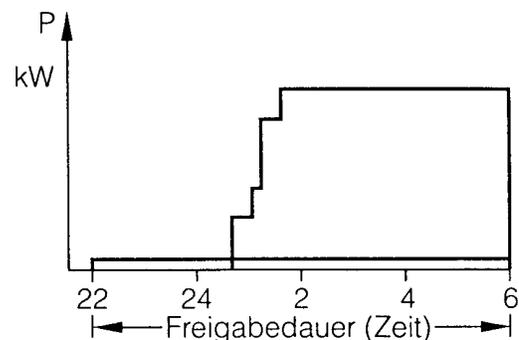
### - Lastcharakteristik

Es wird vorwiegend nachts, bei Niedertarif zur sogenannten Schwachlastzeit aufgeladen.

Bei den Geräten wird zwischen Vorwärts-, Spreiz- und Rückwärtssteuerung unterschieden. In der Schweiz ist vorallem die Rückwärtssteuerung bekannt.

Fig. 35 Beispiel für eine Rückwärtssteuerung

Erklärung der Rückwärtssteuerung: Die Freigabe für die Ladung erfolgt um 22 Uhr über die Rundsteuerung des Elektrizitätsversorgungs-Unternehmens. Die Aufladesteuerung berechnet aus der Aussentemperatur und der Restwärme im Speicher den spätest möglichen Einschaltzeitpunkt, damit der Speicher am folgenden Morgen um 6 Uhr den gewünschten Ladegrad aufweist.



Rückwärtssteuerungen sind energetisch sinnvoller als Vorwärtssteuerungen (ab 22 Uhr Aufladung), weil nachts die Speicher weniger aufgeladen sind und demzufolge auch weniger Wärme vorzeitig abgegeben wird.

### - Tagnachladung

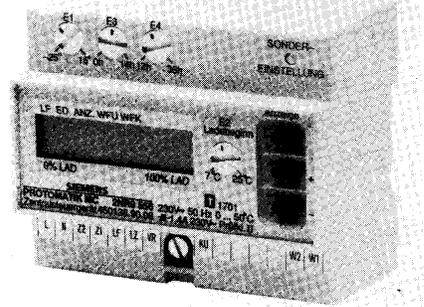
Da die Tagnachladungen in der Regel während der Hochtarifzeit erfolgen, werden diese aus wirtschaftlichen Überlegungen wenn irgendwie möglich nicht benützt. Andererseits sind Tagnachladungen unter bestimmten Voraussetzungen vorgeschrieben und auch aus energetischen Überlegungen sinnvoll.

Die Tagnachladung kann mit speziellen Parametern eingestellt werden, z.B. Ladeintensität, zeitliches Verhalten zur Nachtladung usw..

Fig. 36 Aufladesteuerung für Speicherheizgeräte

Da bei Fussbodenheizungen - im Vergleich zu Speicherheizgeräten - die Schnittstellen für die Erfassung der Restwärme und für die Ansteuerung der Aufladung anders sind, werden für diesen Zweck spezielle Aufladeautomaten angeboten. Die Anforderungen an diese Geräte unterscheiden sich grundsätzlich nicht und werden aus diesem Grund nicht mehr speziell behandelt.

Einige Aufladesteuerungen sind selbstoptimierend, d.h. sie passen sich bei der Inbetriebnahme automatisch an die Heizgeräte und das Gebäude an.



### \* Programmierbare Heizungsregler

Durch die Programmierung lassen sich solche Regler an die unterschiedlichsten Gebäude und Heizsysteme anpassen.

Der im folgenden beschriebene Regler wurde speziell für nur zeitweise belegte Kirchen entwickelt.

Die regelmässigen Belegungen werden bis zur nächsten Änderung festgehalten. Weitere Nutzungen können bis zu einem Monat im voraus eingetippt werden. Die Solltemperaturen können für den belegten als auch den unbelegten Zustand gewählt werden.

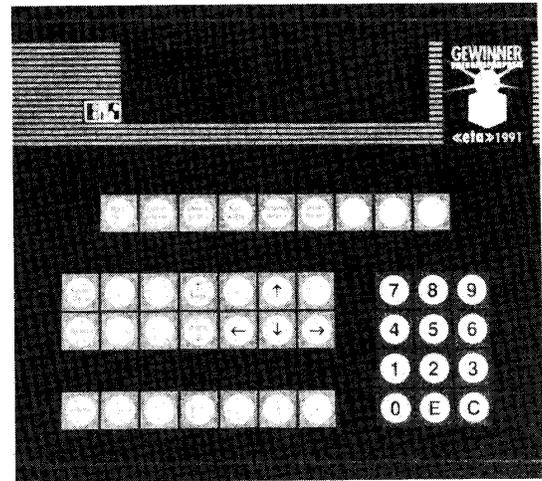
Das Gerät berechnet, aufgrund der Innen- und Aussentemperatur, für jede Belegung den optimalen Heizbeginn automatisch.

Das Programm wird individuell aus einzelnen Reglern zusammengestellt und konfiguriert.

Durch spezielle Programmteile wird die Anpassung an die örtliche Elektrizitätsversorgung gewährleistet (Hoch-/ Niedertarifzeiten, Sperrzeiten, Leistungstarife usw.).

Der Ausgang des Reglers ist für die verschiedensten Heizsysteme (Direkt- und Speicherheizungen) konzipiert.

Für die Leistungsregelung kann das Gerät an Heizstufen-Umschaltungen, Stern-Dreieck-Umschaltungen, Regeltransformatoren, als auch Halbleiterrelais für Impulspaket-Steuerungen angepasst werden.



F

Fig. 37 Bedienungsgerät zum programmierbaren Heizungsregler

Weitere Funktionen sind (Optionen):

- Kontrollierter Aufheizvorgang (Limitierung des maximalen Temperaturanstiegs pro Stunde)
- Aussentemperaturabhängige Regelung der Grundtemperatur ausserhalb den Belegungen:  
=> indirekte Stabilisierung der Raumlufffeuchte
- Aussentemperaturabhängige Veränderung der Solltemperatur für die Belegungsdauer:  
=> Anpassung an die unterschiedliche thermische Behaglichkeit).

### \* Selbstadaptierende Heizungsregler

Selbstadaptierende Regler werden mit bestimmten Grundeinstellungen in Betrieb genommen. Durch regelmässig wiederkehrende Vorgänge passt sich der Regler automatisch dem Gebäude an und optimiert dabei den Heizbetrieb.

Für selten beheizte Kirchen und speziell für Elektroheizungen sind diese Regler nicht geeignet.

## \* Starkstromseitige Steuerung der Wärmeleistung

Die Wärmeabgabe kann durch die starkstromseitige Schaltung gesteuert und geregelt werden. Es kommen verschiedene Möglichkeiten zur Anwendung.

### - Umschaltung der Heizwicklungen

Bei Sitzbankheizungen werden häufig Heizkörper mit zwei Heizwicklungen eingesetzt. Dadurch lässt sich die Wärmeabgabe in Stufen einstellen. Die Heizstufen werden durch den Widerstandswert der beiden Heizwicklungen bestimmt.

Fig. 38 Leistungssteuerung durch Wicklungsumschaltung

Die elektrische Umschaltung der Heizwicklungen wird in der Praxis mit mechanischen Drehschaltern realisiert. Das dabei verwendete Schaltschema wird als «Schema 54» bezeichnet.

Für die automatische Stufenschaltung mit Schützen ist diese Schaltung nicht geeignet, da der schaltungstechnische Aufwand relativ gross ist.

Es werden auch Heizkörper mit unterschiedlichen Wicklungen eingesetzt. Dabei hat sich das Widerstandsverhältnis der beiden Heizwicklungen von 1 : 2 bewährt. Die beiden Wicklungen können je einzeln oder beide parallel betrieben werden. Damit lässt sich die Heizleistung von 1/3 über 2/3 auf voll umschalten.

Der schaltungstechnische Aufwand für diese Variante ist geringer als bei der vorgängig beschriebenen Lösung.

### - Stern-Dreieck-Umschaltungen

Mit drei gleichen Wicklungen - ähnlich wie bei Motoren - kann die Leistung umgeschaltet werden. Dafür ist ein Drehstromnetz mit den drei Phasen R-S-T notwendig.

Fig. 39 Leistungssteuerung durch Stern-Dreieck-Umschaltung

Bei den Sitzbankheizungen werden jeweils drei gleiche Heizkörper für die Umschaltung benützt.

Mit der Stern-Dreieck-Umschaltung können nur zwei Leistungsstufen erreicht werden:

Stern => 1/3    Dreieck => 1 (voll)

Die Stern-Dreieck-Umschaltung kann manuell mittels Schaltern oder im automatischen Betrieb mittels Schaltschützen realisiert werden.

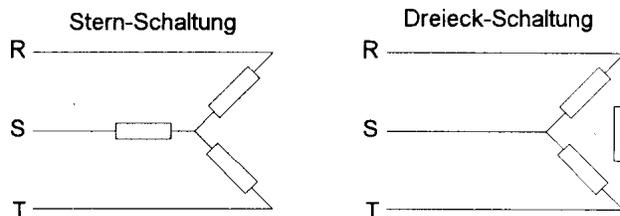
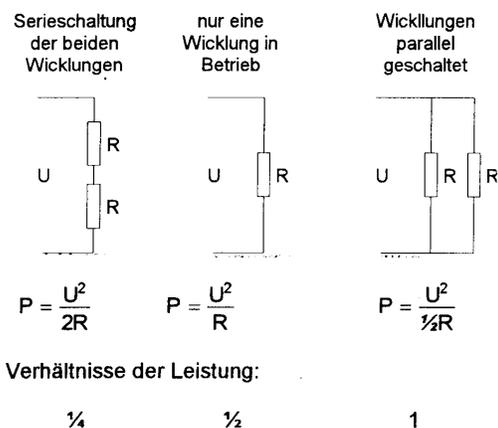
Der Nachteil dieser Schaltung liegt im grossen Leistungsunterschied der beiden Stufen.

Die Leistung  $P$  berechnet sich nach folgender allgemein gültiger Formel:

$$P = \frac{U^2}{R}$$

wobei  $U$  die Betriebsspannung und  $R$  der ohmsche Widerstand der Heizwicklung ist.

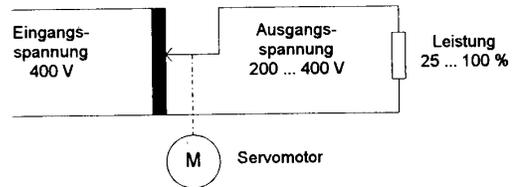
Mit beispielsweise zwei gleichen Wicklungen in einem Heizkörper lassen sich folgende Heizstufen realisieren:



## - Steil-Transformatoren

Über einen Servomotor wird der Stell-Transformator mechanisch verstellt. Dadurch ändert sich die Ausgangsspannung des Transformators und somit auch die abgegebene Leistung.

Fig. 40 Leistungssteuerung mit Stell-Transformator



Die Leistung kann stufenlos dem Bedarf entsprechend geregelt werden

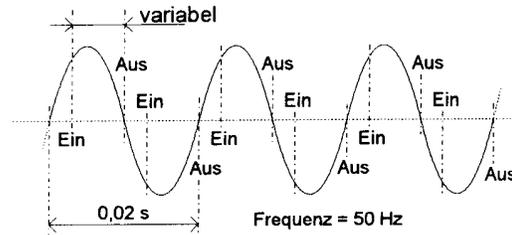
Stelltransformatoren werden auch für drei Phasen mit gemeinsamem Antrieb gebaut.

Bei Leistungs-Unterschreitungen von rund 30 % können die Transformatoren zu störendem Brummen neigen. Der Nachteil der Stell-Transformatoren liegt im hohen Preis und den grossen Abmessungen.

## - Phasenanschnitt-Steuerungen

Bei Phasenanschnitt-Steuerungen wird der Einschaltzeitpunkt innerhalb der Sinus-Halbperiode variiert. Die Ausschaltung erfolgt immer im Spannungsnulldurchgang. Damit kann die Leistung praktisch zwischen 0 und 100 % stufenlos geregelt werden.

Fig. 41 Phasenanschnitt-Steuerung



Da 100 mal pro Sekunde ein- und ausgeschaltet werden muss, kommen nur elektronische Schalter (Thyristoren) in Frage.

Durch das häufige Schalten entstehen enorme Störungen, welche nur mit grossem Aufwand wieder eliminiert werden können.

In Kirchen - mit der grossflächigen Verkabelung über den ganzen Gebäudegrundriss - können die Störungen unliebsame Einflüsse auf die Beschallungseinrichtung, die Schwerhörigen-Anlage und die Fernsteuerung des Elektrizitätsversorgungsunternehmens haben.

Es sind komplette Geräte mit Steuerelektronik und Leistungsstufen auf dem Markt.

## - Impulspaketsteuerung

Da Elektroheizungen thermisch relativ träge sind, kann die Leistung auch durch zyklisches Ein- und Ausschalten der Betriebsspannung geregelt werden.

Um die Störungen minimal zu halten, wird immer im Nulldurchgang der Spannung geschaltet (sog. Nullspannungsschalter). Hier handelt es sich ebenfalls um elektronische Schalter. Die hierfür verwendeten Schalter werden als elektronische Lastrelais, Halbleiterrelais usw. bezeichnet. Es sind auch komplette Geräte mit Sollwertgebern und Leistungsstellern erhältlich.

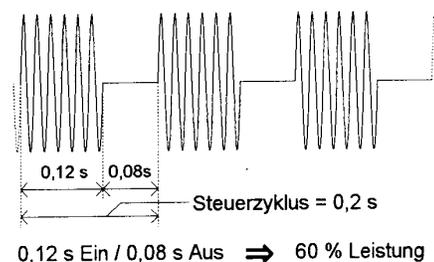


Fig. 42 Impulspaket-Steuerung

Der Steuerzyklus ist geräteabhängig und liegt meistens zwischen einigen hundert Millisekunden und mehreren Sekunden.

Bei der Anwendung der Impulspaketsteuerung sind die örtlich gültigen Vorschriften einzuhalten.

### 3. Anforderungen an das Raurnklima

#### 3.1 Raumklima und Bauphysik

##### Grundbegriffe [5]

Mit dem Heizen der Kirchen wird nicht nur die Raumlufttemperatur erhöht, das Heizen beeinflusst auch die Wärme- und Feuchtigkeitsverhältnisse von Gebäudehülle und Ausstattung. Heizen und Bauphysikfragen stehen daher in engem Zusammenhang.

##### \* Wärme

Der Wärmetransport erfolgt in der Luft mittels Strahlung und Konvektion. Für den Wärmeaustausch zwischen Räumen und Aussen sind Transmission und Luftwechsel massgebend.

##### - Strahlung

Die Strahlung ist ein berührungsloser Wärmeaustausch mittels elektromagnetischer Wellen zwischen Oberflächen unterschiedlicher Temperatur. Massgebend für die Energieübertragung durch Strahlung sind Temperaturdifferenz, Beschaffenheit und geometrische Lage der Oberflächen.

##### - Konvektion

Unter Konvektion oder Strömung wird der Transport von Wärme durch Verfrachtung des Wärmeträgers Luft verstanden. Die freie Konvektion entsteht aufgrund von Temperaturunterschieden (unterschiedliche Dichte der Luft, z.B. durch die Heizung verursacht). Die Luftströmung wird dabei beeinflusst von der Raumhöhe und der Temperaturdifferenz zwischen Luft und Bauteiloberflächen.

Die Energieübertragung durch Konvektion wird durch die Faktoren Raumgeometrie (Lage des Bauteils bzw. Form wie offene Flächen, Ecken und dgl.), Temperaturdifferenz (zwischen Luft und Bauteil), Rauigkeit der Oberfläche und Strömungsart bestimmt. Dieser Vorgang ist sehr kompliziert und spielt sich in einer kleinen Grenzschicht an der Bauteiloberfläche ab.

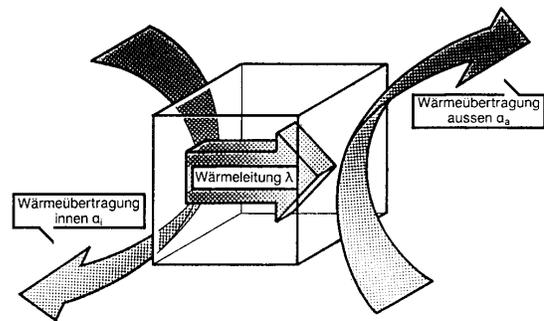
Für die unterschiedlichen Schadensbilder sind diese Grenzschichtvorgänge massgeblich verantwortlich.

Neben der freien Konvektion kommt auch die erzwungene Konvektion vor. Diese wird von Ventilatoren oder Wind (Druckunterschied) erzeugt.

##### - Transmission und Oberflächentemperatur

Die Transmissionsverluste werden durch den kWert des Bauteils charakterisiert (Begriffserklärung k-Wert siehe Anhang A 7).

Fig. 43 Wärmeübertragung «x» und Wärmeleitung (X) bestimmen den k-Wert



Für die Berechnung der k-Werte wird auf die Publikation «k-Wert-Berechnung und Bauteilekatalog» des BEW verwiesen [6].

Die raumseitigen Oberflächentemperaturen der Gebäudehülle sind wiederum von den Transmissionsverlusten abhängig. Sie sind - neben der Art der Wärmeübertragung von der Luft an die Bauteile weitere wichtige Faktoren für Schäden an den Bauteiloberflächen.

##### - Luftwechsel [7]

Der Luftaustausch Aussen - Kirchenraum - Aussen wird in seiner Menge als Aussen-Luftwechsel n [h<sup>-1</sup>] definiert. Die Zahl sagt aus, wie oft sich das Raumluftvolumen pro Stunde erneuert.

Der Aussen-Luftwechsel setzt sich aus dem natürlichen Luftaustausch (Fugenverluste bei den Bauteilen) und das Lüften über Türen und Fenster zusammen.

	Temperatur Differenz Innen - Aussen [K]	Windgeschwindigkeit aussen [m/s]	Natürlicher Luftwechsel n [h <sup>-1</sup> ]
Maximum	+17	4,0	0,11
Minimum	-3	0,2	0,015
Durchschnitt	ca. +8	ca. 1,0	ca. 0,04

Fig.44 NatürlicherAussenluftwechsel[h<sup>-1</sup>] evangelische Kirche Ebnat SG, 1 1. bis 15. Jan. 1993 [8]

Die natürlichen Luftwechsel in gemauerten Kirchen mit dichten Fenstern liegen also unter 0,1, das heisst, es dauert über 10 Stunden, bis die Luft in der Kirche einmal erneuert wird.

Der Luftwechsel hat einen grossen Einfluss auf die Raumlufffeuchte. Auch der Heizenergieverbrauch wird vom Luftwechsel beeinflusst, weil die zugeführte Aussenluft wieder erwärmt werden muss (Luftwechsel siehe auch Kap. 6.2 «Energiebedarf» und 6.4 «Wärmeleistungsbedarf»).

## \* Feuchte

### - Feuchtigkeit in der Luft

Die Feuchtigkeit ist in der Luft gasförmig vorhanden. Die Wassermoleküle üben wie jedes Gas einen Gasdruck aus, den Wasserdampfdruck. Unterschiedliche Feuchtigkeitsmengen bewirken einen unterschiedlichen Gasdruck. Der Ausgleich dieses Druckunterschiedes erfolgt mittels Diffusion (molekularer Ausgleichsprozess). Zusätzlich wird die Feuchtigkeit auch durch Konvektion der Luft transportiert.

Das Verhältnis zwischen der effektiv vorliegenden Wasserdampfmenge zur maximal möglichen Wasserdampfmenge wird als "relative Feuchtigkeit" (% r.F.) bezeichnet.

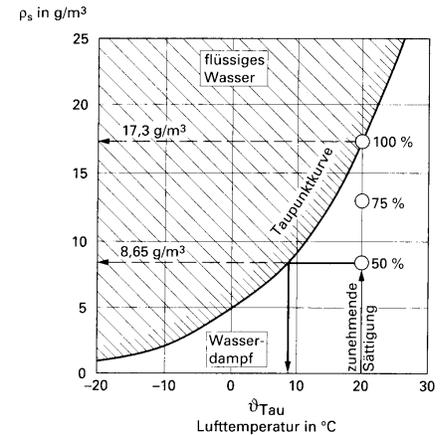


Fig. 45 Wieviel Wasser die Luft in Gasform aufnehmen kann, hängt von der Temperatur ab [9]

Siehe auch h-x-Diagramm für feuchte Luft im Anhang A 7.

### - Die Taupunkttemperatur

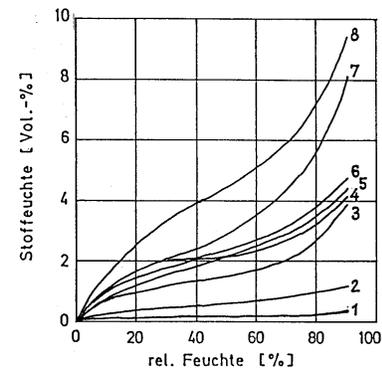
Die Grenztemperatur, bei der feuchte Luft mit Wasserdampf gesättigt ist und bei der sich Wasser auszuscheiden beginnt, wird als Taupunkttemperatur bezeichnet.

An raumseitigen Oberflächen kann somit Kondenswasser anfallen, wenn die Oberflächentemperatur tiefer liegt als die Taupunkttemperatur der Luft (siehe Taupunktkurve in Fig. 45).

### - Baustofffeuchtigkeit

Die Baustofffeuchtigkeit kommt gasförmig, flüssig oder fest als Eis in den Kapillaren und Poren vor. Ausser Stahl und Glas sind praktisch alle in historischen Bauten verwendeten Baustoffe hygroscopisch, das heisst wasseranziehend. Dadurch können beachtliche Mengen Wassermengen in dampfförmigem Zustand aufgenommen und wieder abgegeben werden.

Diese Vorgänge werden Sorption genannt und spielen zusammen mit dem Heizen eine wichtige Rolle bezüglich Raumklima und Bauschadenfreiheit.



1 Backstein ungelocht 1720 kg/m<sup>3</sup>; 2 Wüstenzeller Sandstein 2300 kg/m<sup>3</sup>; 3 Gasbeton 500 kg/m<sup>3</sup>; 4 Gips; 5 Kalksandstein 1740 kg/m<sup>3</sup>; 6 Baumberger Sandstein 2000 kg/m<sup>3</sup>; 7 Verputz; 8 Holz (Fichte) 430 kg/m<sup>3</sup>

Fig. 46 Sorptionsfeuchte verschiedener Baustoffe in Abhängigkeit von der relativen Luftfeuchte [10, erweitert]

Bemerkenswert im vorgängigen Diagramm ist die hohe Feuchteaufnahme von Holz.

## Bauschäden

Schäden an der Gebäudehülle können den nachfolgenden fünf Schadensbildern zugeordnet werden. Über die Zusammenhänge mit der Kirchenheizung herrscht in Fachkreisen noch nicht in allen Bereichen Einigkeit.

### \* Ästhetische Schäden

Verschmutzungen durch Staub und Russablagerungen gehören zu den ästhetischen Schäden. Eine gleichmässige, leichte Verschmutzung nach jahre- bzw. jahrzehntelanger Benutzung ist nicht zu umgehen. Als Schaden oder Mangel werden ungleichmässige, sich stark abzeichnende lokale Verschmutzungen empfunden.

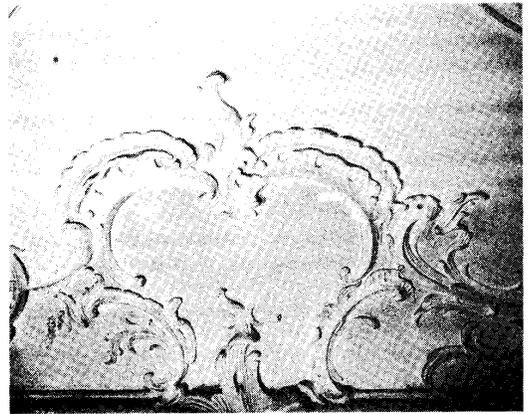


Fig. 47 Ästhetische Schäden an einer Gipsdecke ohne Wärmedämmung

Die Ursache für diese lokalen Verschmutzungen liegt vorwiegend bei den wärmetechnischen Eigenschaften der Gebäudehülle. Kältere und damit auch feuchtere Zonen "ziehen den Schmutz an", wobei für dieses Phänomen kleinste Temperaturunterschiede im 1 / 10-Grad-Bereich genügen können.

Die Art der Heizung hat einen entscheidenden Einfluss auf das Ausmass dieser Schäden. Je grösser die Konvektion, desto mehr Staub und Russ wird mit der Luft transportiert. In Kirchen stammt der Staub von der Nutzung und der Russ vom Abbrennen der Kerzen aber auch von der Staubverbrennung an Hochtemperaturheizkörpern und Lampen.

### \* Hygienische Schäden

Zu den hygienischen Schäden zählen Algen- und Pilzkulturen. Voraussetzung für diese Schäden ist immer eine längerfristig vorliegende hohe Feuchtigkeit (ab etwa 70 % r.F.) an der betroffenen Bauteiloberfläche.

Meist tritt ein Algen- oder Pilzbefall im Zusammenhang mit Wasserbelastungen von aussen auf (aufsteigende Feuchte infolge Grundwasser oder Bergdruck).

Aufsteigende Feuchte kann vermutet werden, wenn in einer Kirche die absolute Feuchte dauernd (vornehmlich am Ende einer Heizperiode) höher ist als aussen.

### \* Tauwasserschäden

Wenn die Raumluft an kalten Bauteilpartien bis unter den Taupunkt abgekühlt wird, kann sich die Feuchtigkeit aus der Luft als Tauwasser niederschlagen. Dies ist häufig an Fenstern (Einfachverglasung oder durchgehende Metallstege bei Mehrfachverglasungen) zu beobachten, da diese meist den grössten k-Wert und damit die tiefsten Oberflächentemperaturen aufweisen. Bei den angrenzenden Holz- oder Putzpartien treten dann Tauwasserschäden auf.

Aber auch an massiven Aussenwänden kann Oberflächenkondensat auftreten, wenn z.B. Fensterheizungen das Fenster soweit aufwärmen, dass es nicht mehr die kälteste Oberfläche im Raum aufweist.

Die längerandauernde Ansammlung von Tauwasser kann zu Fäulnis, Korrosion oder im Extremfall zu Frostschäden führen.

### \* Frostschäden

Wenn die Poren von Baustoffen in der Gebäudehülle mit Wasser gefüllt sind, sich also im überhygroskopischen Bereich befinden, können Frostschäden entstehen.

Die mit der Eisbildung verbundene Volumenvergrösserung zerstört die Materialstruktur. Naheliegenderweise kommt dieser Fall in der Regel nur in unbeheizten Bauten vor.

### \* Salzschäden [11]

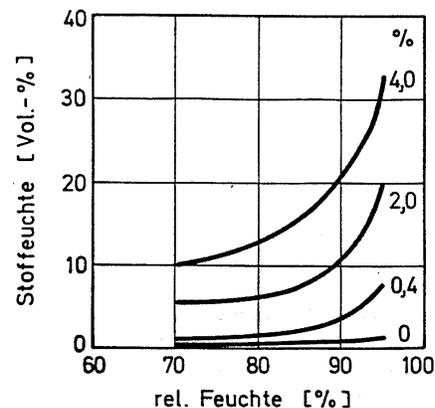
Das Grundwasser im Boden ist ein Reservoir aus verdünnten Lösungen. Dieses Grundwasser steigt zusammen mit Niederschlagsfeuchte in der Mauer kapillar hoch und nimmt dabei die gelösten Salzionen mit.

Durch hygroskopische Wasseraufnahme und -abgabe kristallisieren Salze bei sich ändernder Luftfeuchte periodisch. Die Salzschäden im feuchten Mauerwerk entstehen durch Volumenvergrösserung, wenn Salze kristallisieren oder mit Wasser reagieren (Hydratation).

Die verschiedenen, in den feuchten Mauern vorhandenen Salze reagieren jeweils anders, doch treten Salzkristallisationen häufig dann auf, wenn die relative Feuchte im Raum längerfristig unter

55... 60 % sinkt. Dies tritt öfters und über eine längere Periode in Kirchen auf, wenn diese dauernd beheizt werden. Salzausblühungen können in geringerem Ausmass auch im Sommer, während längeren Trockenperioden, auftreten.

Fig. 48 Sorptionsfeuchte von Ziegel bei verschiedenen Salzgehalten in Masse-% in Abhängigkeit der relativen Luftfeuchte [10]

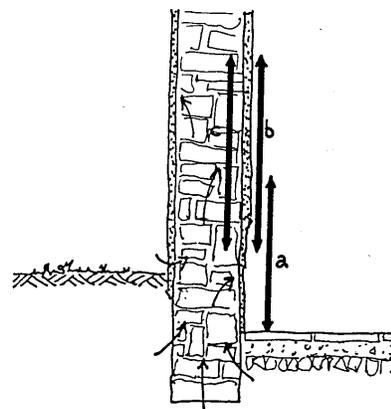


Die sichtbaren Auswirkungen der Salzsäden sind Ausblühungen und Materialgefügezerstörungen.

Einflussfaktoren sind: Grundwasserstand, Heizungsbetrieb, Luft- und Materialfeuchtigkeit.

Fig. 49 Modell der Salzanreicherung im Grundfeuchteaufstieg in einer Kirchenmauer

Es gilt zu beachten, dass kristalline Salze auf Wandoberflächen durch Tauwasser relativ rasch aufgelöst werden und dadurch Schäden entstehen können. Andererseits werden die Kristallisationszyklen der Salze im Mauerwerk durch die Trägheit der Mauern stark gedämpft, d.h. sie entwickeln sich erst innerhalb von Tagen oder Wochen.



a) Karbonate und Sulfate; b) Nitrate; c) Chloride

## Die unbeheizte Kirche

Alte unbeheizte Kirchen mit gut erhaltenen Wandmalereien zeigen, dass zur Erhaltung der Bausubstanz ein Heizen nicht erforderlich ist. Das Heizen dient also allein dem Komfort der Kirchenbesucher.

Der Feuchteintrag durch die winterliche Nutzung ist meist unproblematisch, dies im Gegensatz zur Nutzung ausserhalb der Heizperiode, speziell im Frühjahr.

Im Frühjahr kann das Lüften zu Tauwasserbildung führen (Lüften siehe Kapitel 1 0. 1).

## Die beheizte Kirche [12]

Mit dem nachträglichen Einbau einer Kirchenheizung soll dem Besucher ein besserer Komfort ermöglicht werden. Seiten wird dabei beachtet, dass dadurch das Raumklima der Kirche stark verändert wird.

### \* Raumlufttemperatur und Feuchte

Mit dem Heizen wird der Feuchtehaushalt der Kirche stark beeinflusst. Langezeit wurde befürchtet, dass dabei die Feuchtigkeit stark abnimmt (-5% r.F. bei 1 K Temperaturerhöhung) und Schäden verursacht, doch wird die Raumluftfeuchte entscheidend durch weitere Faktoren beeinflusst.

Durch das Erwärmen der Raumluft beim Heizen sinkt deren relative Feuchte. Dadurch wird ein Desorptionsprozess, eine Feuchteabgabe aus den Raumumschliessungsflächen an die Luft, eingeleitet. Dies hat zur Folge, dass die absolute Luftfeuchte der Raumluft langsamer abnimmt als erwartet. Die Sorptionsfähigkeit der Gebäudehülle und der Ausstattung üben also eine feuchtepuffemde Wirkung aus.

Umgekehrt wie beim Aufheizen, jedoch langsamer, spielt der Vorgang bei der Luftabkühlung.

Ein wesentlicher Einfluss des Beheizens, der aus der Betrachtung der relativen Luftfeuchte allein nicht zu erkennen ist, geht aus der Sicht der Taupunkttemperatur hervor.

In unbeheizten Räumen folgt die Taupunkttemperatur der Raumluft mit einer gewissen Dämpfung der Taupunkttemperatur der Aussenluft.

In der beheizten Kirche ist demgegenüber die Taupunkttemperatur in der Heizperiode infolge von Verdunstungs- und Sorptionsvorgängen innen deutlich höher als aussen. Das heisst, die Kondensationsgefahr bei kalten, nicht wärmegeprägten Bauteilen der Gebäudehülle nimmt zu.

Taupunktunterschreitungen sind grundsätzlich kritische Zustände und sollten vermieden werden. In Kirchen lassen sie sich aber oft aufgrund von verschiedenen Randbedingungen nicht ganz vermeiden. In solchen Fällen sollte dieser Zustand mit einem angepassten Heizbetrieb auf eine möglichst kurze Zeitdauer limitiert werden.

Fig. 50 Aufheiz- und Abkühlvorgang in der Evang. Kirche Glarus

Die in Figur 50 wiedergegebenen Messungen bestätigen, dass beim Aufheizen zusätzliche Feuchte im Spiel ist. Denn nach rein theoretischen Berechnungen hätte die Feuchte beim Aufheizen auf 25 % r.F. absinken müssen. Tatsächlich ist sie aber nur auf 38,5 % r.F. gefallen, d.h. dass rund 35 Liter Wasser an die Raumluft abgegeben wurden.

Ein grosser Luftwechsel kann, bei konstantem Heizen auch auf niedrigem Niveau, ein starkes Absinken der Luftfeuchte mit Schadensfolge bewirken. Fenster und Türen müssen daher bei beheizten Kirchen, nicht nur aus energetischen Gründen, dicht sein. Da Bleiverglasungen z.T. einen grossen Luftdurchlass bewirken, sind äussere Zusatzverglasungen auch wegen der Luftdichtigkeit angebracht.

Besteht die Gefahr, dass Salze an der Oberfläche der Baukonstruktion kristallisieren und damit Bauschäden verursachen, darf durch das Heizen die relative Feuchte nicht unter 55 bis 60 % absinken (das Heizen mit Messprogramm begleiten).

### \* Heizbetrieb

Aufgrund von Untersuchungen an unbeheizten Kirchen in Deutschland kann geschlossen werden, dass auch beheizte Kirchen zwischen den Belegungen grundsätzlich nicht beheizt werden müssen.

Die Wahl einer Grundtemperatur wird daher vorallem von energetischen und regelungstechnischen Gründen (Aufheizzeit) geleitet sein. Aus energetischen Gründen sollte eine Kirche aber nur geheizt werden, wenn der Kirchenraum belegt ist intermittierend Heizen.

Das zentrale und wichtigste Problem beim Aufheizen ist die Reaktion der verschieden an Gebäude und Inneneinrichtung verwendeten Materialien auf häufige Temperaturwechsel und die Aufheizgeschwindigkeit. In diesem Zusammenhang ist vorallem die relative Luftfeuchte von Bedeutung. Als Reaktion wiederum ändert der Feuchtegehalt der an die Luft angrenzenden Materialien.

Zwei Auswirkungen sind bei Änderungen der Stofffeuchte speziell zu beachten:

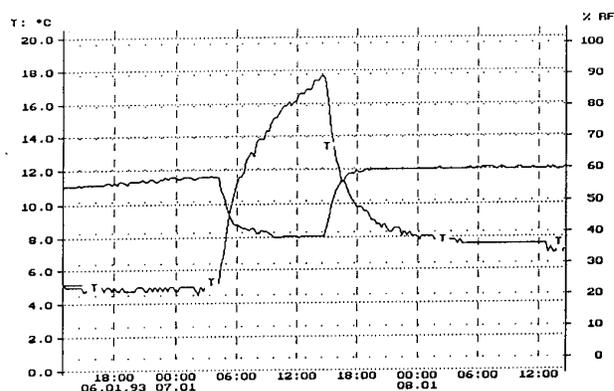
- Materialabhängige Dimensionsveränderungen (Quellen, Schwinden, Werfen), bei organischen Materialien (z.B. Holz) ist die Ausdehnung in den drei Raumebenen unterschiedlich.
- Durch ein Dampfdruckgefälle zwischen Objekt und Umgebung werden Wasserdampf-Diffusionsvorgänge hervorgerufen, die Materialbewegungen an den Grenzflächen verursachen. Dadurch können durch Stauchung der Zellwände irreversible Schwind und Rissbildungen an der Zellstruktur auftreten (z.B. bei Holz, Leinwandgemälden, Malschichten, usw.).

Es wird vermutet, das häufiges und rasches Aufheizen eine beschleunigter Alterung mit sich bringt. In der Literatur wird daher empfohlen mit 1,5 bis max. 2 Kelvin pro Stunde aufzuheizen.

Auch dünne Malschichten an Bauteiloberflächen sind bei raschen Änderungen des Raumklimas erhöhter mechanischer Belastung ausgesetzt.

Durch die direkte Sonnenbestrahlung können einzelne Flächen ebenfalls - ähnlich oder sogar noch extremer wie beim Aufheizen - unerwünschte Temperaturänderungen erfahren. Dabei muss innerhalb Bruchteilen einer Stunde mit Schwankungen der Oberflächentemperaturen von über 5 Kelvin gerechnet werden.

Eventuelle Taupunktunterschreitungen, speziell beim Lüften im Frühjahr, sind wie bei der unbeheizten Kirche zu beachten (Lüften siehe 10.1).



## \* Befeuchtung

Eine zusätzliche Luftbefeuchtung muss als gravierender Eingriff ins Raumklima - viel gefährlicher als das Heizen - eingestuft werden. Schwere Feuchteschäden an Baukonstruktion, Fenstern und Inneneinrichtung können die Folge sein. Das zyklische Aufheizen, Austrocknen, und anschliessende Nachbefeuchten hat sich in vielen Fällen als Teufelskreis herausgestellt.

Die Luftbefeuchtung wurde in der Vergangenheit oft als Folge eines nicht dem Gebäude angepassten Heizbetriebes angewendet. Speziell bei elektrischen Kirchenheizungen ist es nicht vertretbar, dass Kirchen so stark beheizt werden, dass im nachhinein eine Befeuchtung notwendig wird.

Befeuchtungen sollten deshalb mit grösster Zurückhaltung nach Rücksprache mit Experten und nur unter genauer Beobachtung der Auswirkungen angewendet werden.

In der Nähe der Befeuchtungsgeräte kann es als Folge der Regelhysterese (Differenz zwischen Ein- und Ausschaltzeitpunkt) zu unerwünschten Feuchte- und Temperaturänderungen kommen.

Wenn bereits Tauwasser- oder Frostschäden vorhanden sind, oder die Gefahr dazu besteht (z.B. Einfachverglasung), muss jede Befeuchtung in einer Kirche vehement abgelehnt werden.

Kirchen sind nicht mit klimatisierten Museen zu verwechseln, wo relative Raumluftfeuchten von 60 % als optimal gelten.

## 3.2 Raumklima und Orgel

### Grundsätzliches

Mozart schrieb in einem Brief an seinen Vater: «Die Orgel ist doch in meinen Augen und Ohren der König aller Instrumente». Auch technisch gesehen wird die Orgel als «Königin der Instrumente» bezeichnet. Sie ist auch das vielseitigste Instrument, das ein Spieler beherrschen kann.

Es wäre unvollständig ja sogar fahrlässig, sich mit Kirchenheizungen auseinanderzusetzen ohne speziell auf die Orgel - einem der wichtigsten Ausstattungsgegenstände der Kirchen und gleichzeitig auch klimatisch empfindlichen Instrument - einzugehen.

Das vorliegende Kapitel hat drei Ziele.

Erstens soll es eine kurze Erklärung der Orgel sein. Dabei kann nur das Allerwichtigste erwähnt werden, welches für das Verständnis der Funktionsweise einer Orgel und der Zusammenhänge mit dem Raumklima notwendig ist.

### Einführung in die Orgel

Im folgenden werden nur die einzelnen Bestandteile einer Orgel und deren Funktion, nicht aber der Aufbau (Disposition), die klanglichen Eigenschaften und kulturgeschichtliche Belange beschrieben. Dabei stehen der Mechanismus und die verwendeten Materialien im Vordergrund.

### Pfeifen

Es wird grundsätzlich zwischen zwei Arten von Orgelpfeifen unterschieden:

#### \* Lippenpfeifen

Als Zweites wird das Raumklima bezüglich der Erhaltung einer Orgel diskutiert. Dieses Thema kann nicht abschliessend behandelt werden, da die Materie zu komplex und zu vielseitig ist. Es wird vielmehr versucht - wie bei der Bauphysik - aufzuzeigen, wann fachtechnische Beratung angezeigt ist. Der dritte Teil beschreibt die betrieblichen und musikalischen Anforderungen an das Raumklima aus der Sicht des Orgelspiels.

Dieses Kapitel darf nur als Andeutung in die Orgelpraxis mit ihren vielen Einzeldisziplinen verstanden werden.

Als Literatur dienen die Bücher «Die Orgel» von Friedrich Jakob [13], «Einführung in den Orgelbau» von Wolfgang Adeling [14] und «Die akustischen Grundlagen der Orgel» von Werner Lottermoser [15].

Die meisten Pfeifen in einer Orgel, manchmal sogar alle, sind Lippenpfeifen, deren Ton wie bei einer Flöte durch die im Innern der Pfeife schwingende Luftsäule erzeugt wird.

Wird die Pfeife vom Fussloch her angeblasen, so strömt der Wind durch den Pfeifenfuss zur Kernspalte heraus, trifft auf die Oberlippe und gerät dort in eine wirbelnde, nach innen und aussen wechselnde Pendelschwingung. Dadurch wird die durch den darüberliegenden Pfeifenkörper umgrenzte Luftsäule in Vibration versetzt.

Die Schnelligkeit dieser Schwingung (Tonhöhe oder Frequenz genannt) hängt vorwiegend von der Länge der Luftsäule ab. Ein Pfeifenkörper halber Länge erzeugt zum Beispiel die doppelte Schwingungszahl und klingt deshalb eine Oktave höher.

Vereinfacht dargestellt gelten folgende Abhängigkeiten:

Pfeifenlänge	=>	Tonhöhe
Lippenbreite	=>	Schallintensität
Durchmesser, Form, Material	=>	Klangfarbe

In Wirklichkeit sind die Verhältnisse viel komplizierter, da sich nicht nur die einzelnen Faktoren gegenseitig in unterschiedlichem Masse beeinflussen,

(auch Labialpfeifen genannt: von. lat. labium = Lippen)

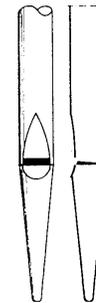


Fig. 51  
Lippenpfeife  
(Ansicht und Schnitt)

sondern auch noch andere Grössen - wie beispielsweise der Winddruck und die Raumlufttemperatur eine Rolle spielen. Es finden die unterschiedlichsten Pfeifenformen Anwendung: offen, abgedeckt, zugespitzt, konisch, trichterförmig usw.

### \* Zungenpfeifen

Die Zungenpfeifen sind grundsätzlich anders gebaut und gehorchen auch anderen Gesetzen als die Lippenpfeifen.

(auch Lingualpfeifen genannt: von. lat. lingua = Zunge)

Die Zunge ist ein leicht aufgebogenes, federndes Metallblatt (ähnlich wie bei der Mundharmonika), welches im Ruhezustand mit dem unteren Ende von der Auflage (Kehle) absteht. Diese Kehle wird von einem unten geschlossenen, oben und seitlich offenen Rörchen gebildet. Die Metallzunge liegt auf der seitlichen Öffnung und ist am oberen Ende mit einem Keil fest auf die Kehle aufgepflockt. Die ganze Einrichtung ist im «Stiefel» genannten Pfeifenfuss eingebaut.

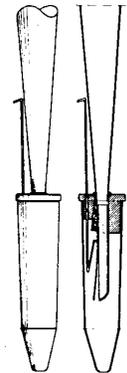


Fig. 52  
Zungenpfeife  
(Ansicht und Schnitt)

Strömt Wind in den Stiefel, entweicht er durch die schmale Öffnung zwischen dem Zungenblatt und der Kehle. Der Sog zieht das Zungenblatt auf die Kehlenöffnung. Infolge ihrer Federwirkung und einer Ober- bzw. Unterdruck-Wechselwirkung schwingt die Zunge wieder zurück und der Vorgang wiederholt sich. Die Luft fließt durch den Aufsatz (Schallbecher genannt) ab.

Die Frequenz der entstandenen Schwingung hängt nur von der Länge des schwingenden Schenkels der Zunge ab. Der Schallbecher hat keinen Einfluss auf die Tonhöhe. Er wirkt als Resonanzverstärker und prägt mit seinen Dimensionen die Klangfarbe der Zungenpfeife.

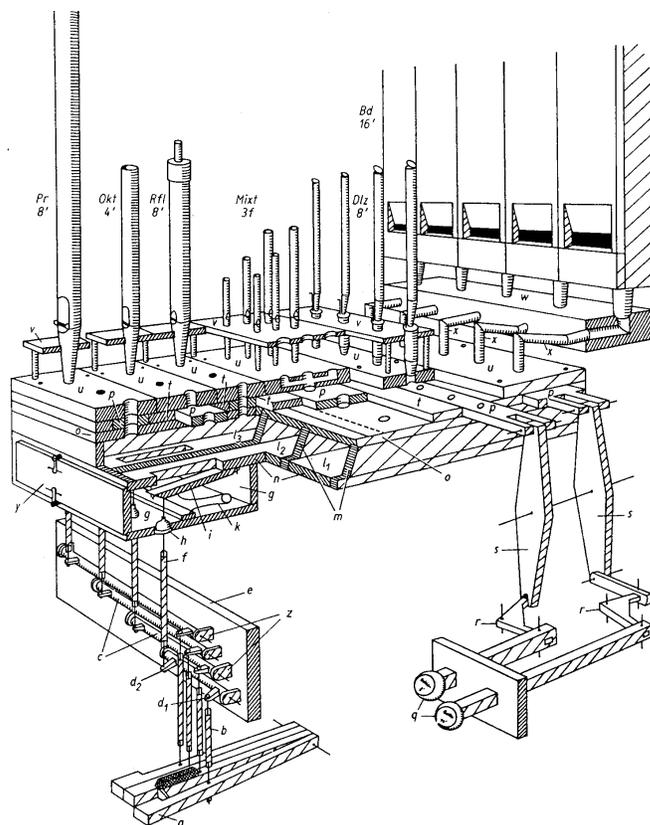
Gestimmt wird die "Pfeife" durch die Stimmkrücke, einen gebogenen Draht, der den oberen Teil der Zunge an die Kehle presst.

### \* Material für Orgelpfeifen

Die Pfeifen werden aus Zinn (teuer), Kupfer (seiten), Zink, Zinn-Bleilegierungen oder Holz hergestellt.

# Windverteilungssystem und Schaltvorrichtungen

## Übersicht



a Taste; b Abstrakte; c Wellen; d Wellenärmchen; e Wellenbrett; f Abstrakte; g Ventilkasten oder Windkammer; h Pulpete; i Tonventil; k Ventulfeder; l Tonkzelle; m Kzellschiede; n Kzellsenspunde; o Fundamentalbrett; p Schleifen; q Registerzüge; r Winkel; s Wippen; t Dämme; u Pfeifenstöcke; v Pfeifenrastbretter; w Pfeifenbank; x Kondukten; y Windkammerspund; z Wellenhalter.

Fig. 53 Schleiflade mit mechanischer Traktur

Der vom Gebläse erzeugte und durch die Windkanäle kommende Wind passiert, ehe er in die Pfeifen strömen kann, erst breite hölzerne Kästen (Windladen), auf denen die Pfeifen stehen. Die Verbindung von den Tasten und Registerzügen zu den in der Windlade befindlichen Ventilen nennt man Traktur.

Während Gebläse, Windlade, Traktur und Tasten unabdingbar zu einer Orgel gehören, trifft dies für andere Einzelteile wie Pedale, Registratur usw. nicht zu.

Im folgenden werden einfachheitshalber nur die Einzelteile der Orgel beschrieben. Es gilt zu berücksichtigen, dass in der Praxis die Verhältnisse viel komplizierter sind, da die verschiedensten Windladensysteme mit den unterschiedlichsten Trakturen und Spielhilfen vorkommen.

## Windverteilungssystem

Die wichtigsten Einzelteile des Windverteilungssystems sind Windlade und die Windkanäle.

### \* Windlade

Die Windlade gilt als eigentliches Herzstück einer Orgel.

Auf der Windlade steht das Pfeifenwerk. Zu ihr führen die Windkanäle des Gebläses und die Bewegungsimpulse von den Klaviaturen. Innerhalb der Windlade vollziehen sich die Umschaltungs- und Verteilungsvorgänge:

- Windzufuhr zu den Pfeifen auf Tastendruck öffnen bzw. schliessen (Tonventil)
- Pfeifenreihen (Register) mittels der Registerzüge und Registerventil ein- und ausschalten.

Die Windladenkonstruktion steht in engem Zusammenhang mit der angewendeten Traktionsart.

Je nach Staffelung der Ton- bzw. Registerventile werden die Windladen eingeteilt.

#### - **Tonkzellenwindladen** (siehe auch Übersicht Figur 53)

Der Wind geht vom Tonventil über das Registerventil zur Pfeife (gemeinsame Windzufuhr für alle Pfeifen einer Taste).  
Häufige Probleme: Windverlust

#### - **Registerkzellenwindladen**

Der Wind geht vom Registerventil über das Tonventil zur Pfeife (gemeinsame Windzufuhr für alle Pfeifen eines Registers).

Nachteil: Alle Ventile werden immer bewegt => Abnutzung, Gewicht

Die Windladen können auch nach Art der verwendeten Ventile bezeichnet werden:

#### - **Schleiflade** (siehe auch Übersicht Figur 53)

Sie arbeitet mit gelochten Schleifen, welche mittels Verschieben (Schleifen) den Wind zu den Pfeifen öffnen oder unterbrechen. Je nach Staffelung der Ventile (siehe oben) wird von Registerschleifen bzw. Tonschleifen gesprochen.

Durch die Rückbesinnung auf die Grundlagen des barocken Orgelbaus und die dadurch ausgelöste Orgelreform, findet in der Orgel des 20. Jahrhunderts die Schleiflade mit mechanischer Traktur wieder vermehrt Anwendung. Sie ist heute die verbreitetste Windlade.

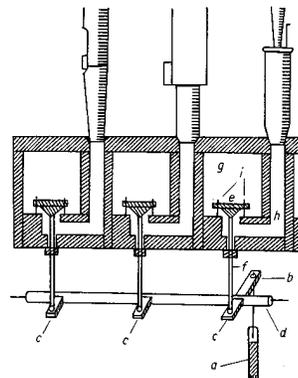
Obwohl sich die Schleiflade im allgemeinen gut bewährt, hat sie auch Nachteile. Bei grosser Hitze und/oder Trockenheit schwindet die Schleife, wodurch Wind "verschleicht" und der Druck abfällt. Bei grosser Feuchtigkeit dagegen kann es vorkommen, dass die Leisten aufquellen und sich dadurch kaum oder gar nicht mehr bewegen lassen. Bei Störungen fällt ein ganzes Werk aus.

#### - **Kegellade**

Im wesentlichen handelt es sich um ein kegelförmiges Ventil, das den Weg für den Wind des Registers (Registerkzelle) zu den Pfeifen freigibt.

Fig. 54 Kegellade mit mechanischer Traktur

Die Kegellade hat in der Mitte des 19. Jahrhunderts die Schleiflade weitgehend verdrängt. Heute wird sie nur noch für Restaurierungen gebaut.



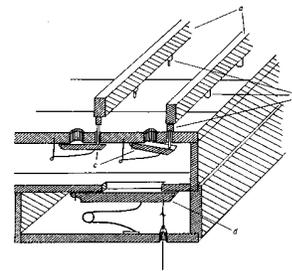
a Abstrakte; b Wellenarm; c Wellenarm; d Welle; e Kegellade; f Stoher mit Konterventil; g Registerkzelle; h Windführungen; i Führungsstübe

## - Springlade

Eine andere - seltenere - Form der Tonkzellenlade ist die Springlade. Anstelle der Schleifen werden hier mit Registerleisten der Wind zu den einzelnen Pfeifen geöffnet.

Fig. 55 Springlade

Die Springlade ist kompliziert im Bau, dafür aber betriebssicherer als die Schleiflade und ökonomischer als die Registerkzellenlade.



a Registerleisten; b Stecher; c Springventile; d Tonventile

## \* Windkanäle

Die Windkanäle sind meist hölzerne dicke Kanäle, welche den Wind vom Gebläse und der Balganlage zu den einzelnen Windladen einer Orgel führen.

## \* Materialien für das Windverteilungssystem

Während im Mittelalter Windladen auch aus Metall hergestellt wurden, kommt heute ausschliesslich Holz zur Anwendung. Dies ist mehrheitlich Eichenoder Fichtenholz oder abgesperrte Platten, welches mechanisch verbunden und verleimt wird.

Für die Schleifen der Windlade werden vorwiegend dünne schmale Leisten aus Holz oder Kunststoff eingesetzt. Die Pulpeten der mechanischen Windlade sind vorwiegend aus Leder und werden auf das Beutelbrett geleimt. Heute werden anstelle der Pulpeten mehrheitlich Bleischeiben verwendet.

Die Windkanäle zwischen dem Gebläse und der Windlade werden ausschliesslich aus Holz hergestellt.

## Schaltvorrichtungen

### \* Klaviaturen

Mit jeder einzelnen Taste auf der Klaviatur (lat. clavis = Schlüssel) des Spieltisches wird ein bestimmter Teil der Windlade geöffnet (aufgeschlossen), damit der gewünscht Ton erklingen kann.

Die Klaviaturen werden in Manuale (für die Hände) und Pedale (für die Füße) unterteilt.

Meistens hat eine Orgel zwei Manuale. Es kommen aber auch mehr (bis zu sieben), oder gelegentlich nur ein Manual vor.

Im allgemeinen gehört zu jeder Klaviatur ein Windladensystem (auch Orgelwerk genannt). Ein Orgelwerk kann aber auch aus baulichen und architektonischen Gründen in mehrere Windladen aufgeteilt werden.

### \* Registratur

Eine Pfeifenreihe über den ganzen Tonbereich, die aus Pfeifen meist gleicher Bauart besteht und im allgemeinen auch die gleiche Klangfarbe und Klangstärke besitzt, nennt man Register.

Die Registratur ist die Einschaltvorrichtung für die einzelnen Register

Auf dem unterschiedlichen Klang der einzelnen Register beruht der Farbenreichtum einer Orgel. Jede Orgel besitzt deshalb mehrere Register, die wahlweise ein- oder ausgeschaltet werden können.

### \* Trakturarten

Das ganze Verbindungssystem zwischen dem Spieltisch und dem Windladensystem wird Traktur genannt (lat. organa tractare = Orgel behandeln, d.h. spielen).

Es wird zwischen Spieltraktur (Tasten - Tonventilsteuerung) und Registertraktur (Registerzüge Registersteuerung) unterschieden.

Die beiden Endelemente der Traktur sind in gewissem Sinn stets mechanisch. Die Traktur kennt heute drei Formen, die rein oder gemischt vorkommen. Fast jede Trakturart kann mit jedem Windladensystem verbunden werden. Es haben sich aber nicht alle Kombinationen bewährt.

**- Mechanische Traktur**  
(siehe auch Übersicht Figur 53)

Die Übertragung arbeitet nach den mechanischen Hebelgesetzen und kennt die Elemente Taste, Wellenbrett und Ventil mit den notwendigen Verbindungsstücken Winkel, Wippen und Abstrakten. Mit dem Wellenbrett - dem bei antiken Orgeln noch fehlenden Zwischenglied im Orgelmechanismus werden breite Orgelwerke an die räumlich begrenzte Klaviatur in der Vorderfront zusammengefasst. Die mechanische Traktur wird heute vor allem bei kleineren, aber auch bei grösseren Orgeln wieder häufig eingesetzt, weil sie feinfühliges Orgelspiel zulässt.

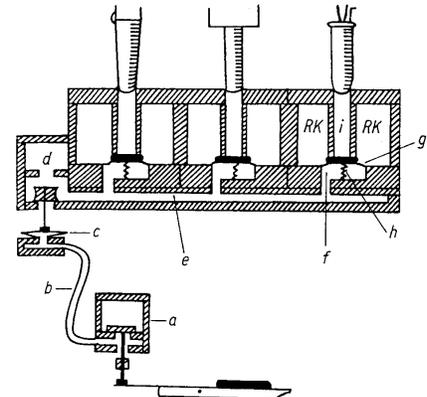
**- Pneumatische Traktur**

Zur Verringerung des Kraftaufwandes beim Orgelspiel, wurde die Spieltraktur zunächst durch eine Balgkonstruktion (pneumatischer Hebel) unterstützt. Gegen Ende des 19. Jahrhunderts schliesslich setzte sich ein vollständiges pneumatisches System durch, das die Spielbewegungen mittels Druckluft (manchmal auch als Saugluft) durch dünne Bleirohre über komplizierte Art und Weise auf die Ventile in der Windlade übertrug.

Fig. 56 Pneumatisch gesteuerte Membranlade

Seit dem Ende der dreissiger Jahre wird dieses System nicht mehr gebaut.

Der wesentlichste Nachteil dieses Systems ist die Verzögerung zwischen dem Niederdrücken der Tasten und dem effektiven Toneinsatz, welcher je nach Länge der Druckluftleitungen zudem noch innerhalb des gleichen Instrumentes schwankt.



a Tastenventil; b Bleirohr; c Lederbälgen;  
d Relaiskanal; e Ventilkammer; f Ventilkammer;  
g Membrane; h Membranfeder; i Zufuhrrohr

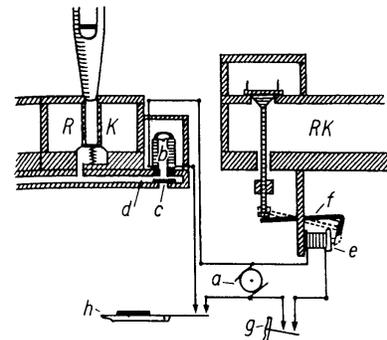
**- Elektrische Traktur**

Die elektrische Traktur verwendet für die Übertragung elektrischen Strom. Die Taste wird zum elektrischen Schalter und Magnetspulen wirken auf die Tonventile. Die Distanz Taste-Pfeifenventil spielt keine Rolle mehr.

Fig. 57 Membranlade mit elektrischer Traktur

Das Spielverhalten über eine elektrische Traktur ist - wie auch bei der pneumatischen - nicht mehr so dynamisch wie auf einem rein mechanischen System.

Die elektrische Traktur wird heute als Spieltraktur selten, jedoch bei grösseren Orgeln für die Registratur oft eingesetzt.



a Stromversorgung; b Hufeisenmagnet; c Eisenplatte;  
d Ventilkammer; e Kippmagnet; f Eisenhebel;  
g Registertaste; h Manualtaste; RK Registerkammer

**\* Materialien für die Schaltvorrichtungen**

Der Tastenmechanismus besteht aus einer hölzernen Wippe oder einem Hebel. Die Tasten selbst werden mit Knochen oder Hartholz belegt.

Für die mechanische Traktur werden meist 8 bis 10 mm schmale dünne Holzleisten, Winkel, Wippen und Drähte eingesetzt. Die eher selten verwendeten dünnen Stahlseile oder Stangendrähte aus Aluminium haben sich nicht bewährt. Holz hat sich durchgesetzt, weil es wenig Masse besitzt und die Längenausdehnung weitgehend unempfindlich gegen Temperaturschwankungen ist.

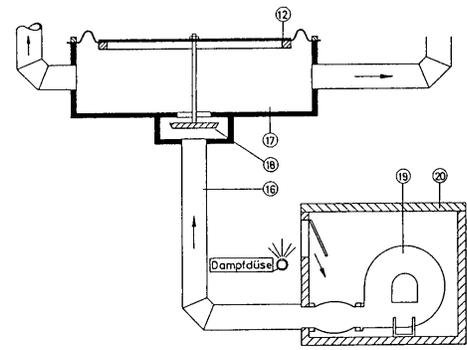
## Schwellkasten

Die Pfeifen eines Werkes, evtl. nur eines Registers, stehen in einem geschlossenen Holzkasten mit beweglichen Jalousien an der Frontseite. Durch die Betätigung der Jalousien kann die Lautstärke und der Orgelklang dynamisch gestaltet werden.

## Gebläse und Magazinbalg

Fig. 58 Prinzipschema Windanlage

Die Windanlage hat die Aufgabe, die Pfeifen mit genügend und gleichmässigem Wind zu versorgen. Der Winddruck im Pfeifenfuss ist von grosser Bedeutung für den Orgelklang.



12 Balgplatte; 16 Windkanal; 17 Magazinbalg;  
18 Drosselventil; 19 Gebläse; 20 Motorkasten

Früher wurden Schöpfbälge für die Winderzeugung und Magazinbälge für die Regulierung der Windstärke eingesetzt.

Der Schöpfvorgang wird heute meist durch ein elektrisch angetriebenes Schleudergebläse ersetzt.

Bei neuen Orgeln hat in der Regel jede Windlade ihren eigenen Balg mit eigenem Winddruck. Ein Hauptmagazinbalg speist die einzelnen Windladenbälge.

In kleinen Orgeln wird oft auf Ausgleichsbälge verzichtet, weil der Wind durch den Magazinbalg geregelt wird. Früher wurden die Windanlagen wegen der Lärmentwicklung und aus Platzgründen oft in Turmkammern oder auf Dachböden eingerichtet.

Die heute hierzu verwendeten Motoren und Gebläse sind sehr leistungsfähig, geräuscharm und verhältnismässig klein. Sie werden meist im Fuss der Orgel eingebaut. Dort sind im Normalfall auch die Magazinbälge montiert. Sie bewirken allerdings unruhige Windverhältnisse.

Die Leistung des Orgelgebläses bei einer grossen Orgel beträgt bis zu 3'500 m<sup>3</sup>/h bei einem Druck von 60 bis 1 00 mm WS (Millimeter Wassersäule).

## Spielhilfen

Die Anwendung der pneumatischen Steuerung für die Registerzüge eröffnete das Feld für vielerlei sogenannte Spielhilfen. Gegen das Ende des 19. Jahrhunderts gerieten die Orgelbauer in einen wahren Erfindungstaumel.

### \* Kopplungen

Die Koppelung ermöglicht, die Register eines Werkes auf einer anderen als der jenem Werk zugeordneten Klaviatur zu spielen.

### \* Freie Kombinationen

Da bei grossen Orgeln das Umregistrieren während des Spiels zu lange dauern würde, hat man sogenannte freie (programmierbare) Kombinationen eingebaut, welche per Knopfdruck aktiviert werden können.

Während anfangs mechanische, später pneumatische und elektromechanische vorherrschten, kommen heute vorwiegend elektronische Orgelsetzer zum Einsatz.

## Gehäuse und Prospekt

Das Gehäuse bildet einen Resonanzraum für die in ihm stehenden Orgelpfeifen. Es zählt vielfach aber auch zu den künstlerischen Ausstattungsgegenständen der Kirche.

Das ringsum geschlossene Gehäuse aus Massivholz wird heute wieder angestrebt.

Unter Prospekt oder Schauseite versteht man die dem Betrachter zugewandte Vorderfront des Instrumentes mit der vorderen Pfeifenreihe.

# Raurnklima und Erhaltung der Orgel

## Einleitende Bemerkungen

Bei den Anforderungen an das Raumklima ist konsequent zwischen den technischen Anforderungen des Orgelbaus (Erhaltung der Orgel) und den betrieblichen Anforderungen für das Orgelspiel zu unterscheiden.

Aus diesem Grund erfolgt auch die thematische Bearbeitung in zwei getrennten Abschnitten (laufender und folgender Abschnitt).

Die zum Teil unterschiedlichen Raumklimabedürfnisse des Orgelbaus - im Vergleich zum Orgelspiel - sind vermutlich der Hauptgrund für die widersprüchlichen Aussagen betreffend dem tollerierbaren Raumklima für die Orgel.

Oft spielen Kommunikationsprobleme zwischen den Beteiligten (Orgelbau, Organist/In, Mesmer/In) als auch lückenhafte Überlieferungen bezüglich dem Heizbetrieb eine Rolle. Schriftliche objektbezogene Anweisungen für den Heizbetrieb sind leider die grosse Ausnahme

In der Praxis lässt sich des öfteren feststellen, dass "für die Orgel" ein Raumklima aufrechterhalten wird ohne die genauen Hintergründe zu kennen. Leider hat sich schon all zu oft herausgestellt, dass der über Jahre praktizierte komfortable Heizbetrieb eher "gegen die Orgel" war. Auch die seit Jahrzehnten @herrschende Energieschwemme ist für viele Schäden an historischen Orgeln verantwortlich.

## Raumlufttemperatur

ber die Zusammenhänge zwischen der Raumlufttemperatur und irreversiblen Schäden an den im Orgelbau hauptsächlich verwendeten Materialien liegen wenig spezifische Angaben vor.

Es kann jedoch davon ausgegangen werden, dass für die längerfristige Erhaltung einer Orgel tiefe Raumlufttemperaturen eher von untergeordneter Bedeutung sind. Dies kann sicher dadurch bestätigt werden, dass viele Orgeln in unbeheizten Kirchen in erstaunlich gutem Zustand Jahrhunderte überstanden haben.

Es ist aber bekannt, dass extreme Temperaturen gewisse Materialien schädigen können.

Inwieweit schnelle Temperaturänderungen für Schäden an Orgeln verantwortlich sind, konnte nicht stichhaltig in Erfahrung gebracht werden.

Es darf angenommen werden, dass beim intermittierenden Heizbetrieb Temperaturerhöhungen in der Grössenordnung von 10 Kelvin während einigen Stunden pro Woche nicht die Ursache für Orgelschäden sind.

Die temperaturabhängige Masshaltigkeit von Holz ist im Vergleich zu anderen Baumaterialien sehr gut. Bei einigen anderen im Orgelbau verwendeten Materialien sind Veränderungen bei extremen Raumlufttemperaturen bekannt. Dies sind:

- Metalle:
  - Trakturen: Durch die Wärmeausdehnung können zeitweise Störungen auftreten, die jedoch nicht zu Schäden führen (siehe Raumklima und Orgelspiel).
  - Orgelpfeifen: Bei altem verunreinigten Material kann bei tiefen Temperaturen (ab ca. 0 °C) Zinnpest auftreten.
- Leder: Die Ledertaschen bei pneumatischen Orgeln können bei tiefen Temperaturen steif werden, bzw. bei Wärme zu Versprödung neigen.
- Leim: Die Temperatur- / Feuchteschwankungen der Raumluft wirken unterschiedlich auf Holz bzw. Leim ein. Dadurch können Spannungsrisse entstehen und Leim kann sich vom Holz ablösen.

## Feuchtigkeit der Raumluft

Die Feuchtigkeit in der Raumluft wirkt direkt auf die Feuchtigkeit der verwendeten Materialien (siehe auch Kapitel 3.1 "Bauphysik"). Holz reagiert besonders stark bei der Aufnahme und Abgabe von Feuchte. Der Feuchtetransport läuft zeitlich verzögert ab, d.h. kurzfristige Extremwerte von einigen Stunden sind nicht kritisch. Da Holz im Orgelbau das am häufigsten verwendete Material ist, verdient es besondere Beachtung.

Verhalten der einzelnen Materialien:

- Holz:
  - Allgemein: Ausdehnung bei Feuchteaufnahme (Sprengung), Abschwindung bei Feuchteabgabe (Rissbildung), bei Feuchtigkeit und Wärme anfällig auf Wurmbefall (speziell bei Splintholz), Schädlingsbefall und Schimmelpilz bei hoher Materialfeuchtigkeit.
  - Windladen: Gefahr von Rissbildung bei tiefer, Wurmbefall bei hoher Luftfeuchtigkeit
  - Trakturen: Diese können sich bei Schwankungen der Materialfeuchte verregulieren, bei Kegelladen besteht die

Gefahr der Verschiebung der Kegelstifte gegenüber den Windladen  
- Windkanäle: kaum Probleme  
- Orgelgehäuse: Bei tiefer relativer Luftfeuchte besteht bei alten massiven Gehäusen die Gefahr von Rissbildungen.

- Metalle: Orgelpfeifen: Oxydation bei extremer Raumluftfeuchte und Raumluftverschmutzungen (ästhetisches Problem)
- Leder: Erhöhte Strapazierung bei Raumklimänderungen, siehe auch Raumlufttemperatur
- Leim: siehe Raumlufttemperatur

## Generelle Empfehlung

Es ist ausserordentlich schwierig, eine generelle Empfehlung für das zweckmässige Raumklima zur Erhaltung der Orgel abzugeben. Der Grund liegt in den sehr verschiedenen Orgelsystemen und den von Objekt zu Objekt oft unterschiedlichen Einflüssen auf das Raumklima.

In der Praxis ist jedoch der Bedarf nach diesen Angaben sehr gross.

Die Orgelbaufirmen verlangen im Normalfall über ihre Garantiebestimmungen Raumluftfeuchten im Bereich von 45 ... 80 % r.F. Dabei handelt es sich um Tagesmittelwerte. Vereinzelt kurzfristige Oberoder Unterschreitungen von 10 % während einigen Stunden werden meistens stillschweigend akzeptiert.

Zusätzlich empfehlen Orgelbauer:

- Das Raumklima möglichst konstant zu halten (Temperatur und Feuchte)
  - Raumlufttemperaturen bei Nichtbenützung 8 ... 10 °C
  - Raumlufttemperaturen bei Belegungen maximal 18 °C
  - Langsames Aufheizen und Abkühlen 1,5 ... 2,0 K / h
- 1) In den meisten Fällen sind tiefere Temperaturen zulässig, wenn die verlangte Raumluftfeuchte nicht überschritten wird. Minustemperaturen sind jedoch generell zu vermeiden.

Bei Fragen bezüglich der Erhaltung der Orgel sind die Orgelbaufirma oder die für den Service beauftragte Firma zu konsultieren.

Für die Ausarbeitung eines geeigneten Heizkonzeptes ist als Arbeitshilfe das Blatt «Raumklima und Orgel» geschaffen worden (siehe Anhang A 8.3). Dort sind die wichtigsten Fragen aufgeführt, die im Zusammenhang mit dem Raumklima und der Erhaltung diskutiert werden sollten.

Dabei wird nochmals in Erinnerung gerufen, dass es hier um das Raumklima für die Erhaltung der Orgel und nicht um die idealen Bedingungen für das Orgelspiel geht.

## Der heutige Orgelbau

Seit den 70er-Jahren sind einige Orgelbauer dazu übergegangen, heikle Orgelteile wie Windladen, Trakturteile und Spunddeckel bei Holzpfeifen aus schichtverleimtem Holz (abgesperrtes Plattenholz) herzustellen, da Heizschäden an den Orgeln massiv zunehmen.

Im Orgelbau hat sich heute die Anwendung von Massivholz - analog wie im Instrumentenbau wieder vermehrt durchgesetzt. Dies nicht zuletzt aufgrund von technischen Neuerungen, die auf die Verarbeitung von Massivholz zugeschnitten sind. Diese Entwicklung scheint begrüssenswerter zu sein, als aus Sicherheitsgründen Sperrhölzer zu verwenden.

Andererseits haben die meisten Orgelbauer aus verständlichen Gründen auch grosse Bedenken Massivholz zu verwenden, da sie die meist unter Garantie laufenden Schäden, die später sehr schwer eindeutig der Heizung zuzuschreiben sind, fürchten. In diesem Zusammenhang wünschen sich die Orgelbauer oft einen "Fahrtenschreiber", welcher den Verantwortlichen den Heizbetrieb schwarz auf weiss vor Augen führt.

Es kann festgestellt werden, dass viele Verbesserungen im Orgelbau auf die negativen Einflüsse durch die Heizungen zurückzuführen sind. Da jede Orgel ein Prototyp ist, sind die technischen Neuerungen meist fortschreitend.

# Raumklima und Betrieb der Orgel

Es ist die kunstvolle Aufgabe des Organisten, die Orgel so zu bedienen d.h. den Orgelklang so durchzubilden, dass dadurch den Zuhörern und Zuhörerinnen der Aufbau und die Gestaltung jeder Orgelkomposition verständlich gemacht wird. Dies stellt hohe Anforderungen, weil der Klang einer Orgel ausser der Bedienung über die Klaviatur von einer Vielzahl von zusätzlichen Einflüssen abhängig ist. Dazu zählt beispielsweise auch das Raumklima.

## Verstimmung der Orgelpfeifen

Bei Lippenpfeifen ist die Lufttemperatur in der Pfeife von besonderer Bedeutung, denn die Tonhöhe (Frequenz) ergibt sich aus dem Quotienten der Schallgeschwindigkeit durch die Wellenlänge. Die Wellenlänge wird durch die praktisch temperaturunabhängige Pfeifenlänge bestimmt.

Die Schallgeschwindigkeit hingegen hängt im besonderen Masse von der Temperatur ab:

0 °C	331,8 m/s
10 °C	337,8 m/s
20 °C	343,8 m/s

Deswegen ändert sich beispielsweise die Frequenz der Pfeife a1:

Fig.59 Temperaturabhängigkeit der Pfeife a1 [15]

Wenn bei einer Temperatur von 15 °C der Kammerton a1 auf 440 Hz gestimmt wird, sind folgende Frequenzen zu erwarten:

10 °C	436,1 Hz
12 °C	437,7 Hz
14 °C	439,2 Hz
15 °C	440,0 Hz
16 °C	440,8 Hz
18 °C	442,3 Hz
20 °C	443,9 Hz

Alle Lippenpfeifen einer Orgel klingen also mit steigender Raumlufttemperatur höher als bei niedrigen Temperaturen. Zungenpfeifen reagieren im Vergleich zu den Lippenpfeifen nur gering auf Temperaturänderungen. Da der Kirchenraum nur zu "Betriebszwecken" geheizt wird, stellt sich für den Organisten das Problem, an einem meist verstimmten Instrument üben zu müssen. Das nicht "stubengemässe" Raumklima lädt zudem nicht gerade zum Oben ein.

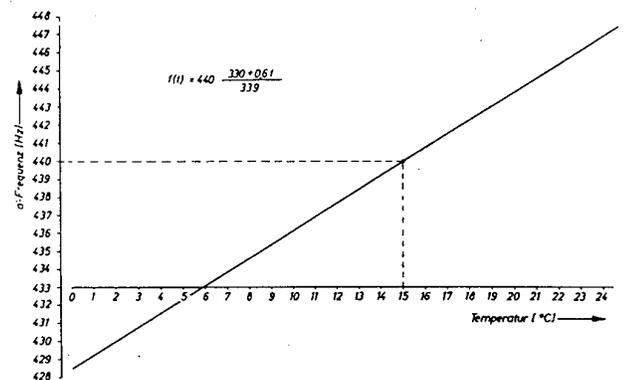
## Stimmung der Orgel

In der Fachliteratur werden für die Stimmung von Orgeln verschiedene Raumlufttemperaturen angegeben. Für Kirchen werden Temperaturen von 15 bis 18 °C, für Konzertsäle solche von bis zu 20 °C genannt.

In der derzeitigen Tendenz, die Temperaturen für Kirchenräume im Vergleich zu den 60iger Jahren während den Belegungen eher herabzusetzen, wäre für die Orgelstimmung angezeigt, den Kammerton a1 auf 15 °C festzulegen. Es ist anzunehmen, dass dieses psychologische Moment die Bestrebungen zahlreicher Fachleute, die Energie rationeller zu nutzen, mitunterstützt. Den Orgelbauern ist daher zu empfehlen, als Berechnungsgrundlage von 15 °C auszugehen. Es macht sicher keinen Sinn, die Orgel bei 18 °C zu stimmen, wenn die Kirche während den Betriebszeiten der Orgel auf 15 °C geheizt wird. Durch unterschiedliche Betriebstemperaturen wird die Stimmung der Orgel negativ beeinflusst. Es ist anzustreben die Raumlufttemperaturen im Winter während dem Betrieb der Orgel nicht allzu stark schwanken zu lassen. Eine Begleiterscheinung zu den Temperaturschwankungen sind Nachstimmungen der Orgel.

Da die Zungenpfeifen in der Minderzahl sind, werden sie jeweils nachgestimmt. Zungenpfeifen lassen sich relativ einfach durch Nachziehen der Stimmkrücke stimmen. Vorallem das Nachstimmen von Labialpfeifen ist wegen der Schläge auf die Pfeifenkörper möglichst seitlich vorzunehmen. Schäden wie eingeschlagene Pfeifen, aufgerissene Stimmrollen oder Schäden an Stimmkrücke oder Nuss können die Folgen sein.

Für jede Orgel sollte man sich fragen, wie oft und wann gestimmt werden soll. Dies richtet sich nach der Beheizung, dem speziellen Raumklima und der Orgel. So sollten Heizungsfachleute und Orgelbauer gemeinsam darauf hinarbeiten, dass die Orgeln möglichst wenig gestimmt werden müssen.



## Konzeptionelle Einflüsse

Beleuchtung und Beheizung im Bereich der Orgel geben immer wieder Anlass zu Diskussionen. Benutzerwünsche und Fragen nach der Ästhetik gehen oftmals weit auseinander. Es ist aber falsch, bei der Planung einer Orgel auf die ausgiebige Besprechung dieser Frage zwischen allen Beteiligten zu verzichten, in der guten Absicht, unschöne Schalter und Installationen zu vermeiden. Nach wenigen Jahren kann jeweils festgestellt werden, dass viel hässlichere, oft auch brandgefährliche Installationen angebracht wurden. Der Vorwurf, eine unästhetische Installation realisiert zu haben trifft auch diejenigen, die sie verhindern wollten.

Beleuchtungen können aber auch unerwünschte Wärmequellen sein. Daher ist das Anbringen von Lampen an den Orgeln ohne Absprache mit dem Orgelbauer zu unterlassen. Gerissene Massivholzteile, Windladenkörper oder Verstimmungen sind oft die Quittung für derartiges Vorgehen.

## Betriebliche Einflüsse

Orgeln, deren Werke auf verschiedener Raumhöhe aufgestellt sind, bieten Probleme beim Aufheizen. Obwohl in Kirchen während dem Aufheizen die Luft mit beachtlicher Geschwindigkeit zirkuliert, kann sich die Luft in den heute meist geschlossenen Orgelgehäusen nicht gleichmässig aufwärmen. Da der Organist bzw. die Organistin ohnehin vorzeitig an der Orgel ist, hilft es meist, wenn die Gehäusetüren der Orgel bis zu Beginn des Gottesdienstes geöffnet werden. Somit wird die Zirkulation ermöglicht und die Tonhöhendifferenzen können gemildert werden.

Zahlreiche Orgeln sind mit "Schwellkästen" ausgerüstet. Obwohl allgemein bekannt ist, dass zur besseren Luftzirkulation die Jalousien offen stehen müssen, findet man sie oft geschlossen.

In einzelnen Fällen kann eine Befeuchtung zur Betriebssicherheit der Orgel beitragen. Dies heisst aber nicht, dass beispielsweise alle pneumatischen Orgeln befeuchtet werden müssen (siehe auch Kap. 3.1 "Bauphysik"). Bevor kostspielige Befeuchtungsanlagen installiert werden, muss deren Notwendigkeit durch Fachleute eindeutig ausgewiesen sein. Vorgängig sind unbedingt langfristige Klimamessungen in der Orgel durchzuführen.

Bisher nie beheizte Kirchen mit alten Orgelwerken, sollten auch in Zukunft unbeheizt bleiben, da der Eingriff in das Klimasystem des Kirchenraumes gravierende Folgen für die Orgel haben kann.

Es ist zu hoffen, dass durch Einschränkungen im Heizbetrieb und den Neuerungen im Massivholzbau in Zukunft mehr Beachtung geschenkt wird als dies bisher der Fall war. Den Organistinnen und Organisten wird geraten, diese Bestrebungen durch mehr Verständnis gegenüber tieferen Raumlufttemperaturen zu unterstützen.

Es empfiehlt sich unbedingt über Massnahmen mit dem Orgelbauer Rücksprache zu nehmen, bevor sie ausgeführt werden.

## Wünsche an den Orgelbau

Bisher war es aus verständlichen Gründen oft notwendig und üblich, dass der Heizbetrieb in Kirchen mit mehr oder weniger grossem Aufwand der Orgelangepasst wurde.

Beim Bau oder Renovationen von Orgeln besteht nun der Wunsch, dass im Orgelbau vermehrt auch auf Wünsche der Heizungsfachleute Rücksicht genommen wird. Einige, meist auch im Interesse des Orgelbaus liegende, altbekannte Wünsche sind:

- Wenn bei älteren Instrumenten die Windversorgung im Dachboden oder Keller untergebracht ist, sollte bei Renovationen versucht werden, diese in den Orgelraum zu verlegen, damit die Pfeifen ihren Umgebungs"wind" erhalten. Solche Anpassungen sind meistens sehr wirkungsvoll und auch finanziell vertretbar. Bei Problemsituationen, wo Orgeln oder Teilwerke davon in kaltes Mauerwerk eingebaut sind, sollte bei der ersten sich bietenden Möglichkeit in Zusammenarbeit mit den betroffenen Fachleuten eine vertretbare Lösung gesucht werden. Die Orgel sollte möglichst frei stehen, damit sich beim Aufheizen das ganze Instrument möglichst gleichmässig erwärmt. Die freie Anordnung begünstigt auch die musikalischen Eigenschaften des Instrumentes. Die Aufstellung der Orgel in kleinen Nischen, mit begrenzenden Wänden, ist deshalb ungeeignet.
- Durch Luft Eintrittsöffnungen am Orgelgehäuse (vorallem auch unten) sollte beim Aufheizen die wärmere Luft eindringen und die ganze Orgel gleichmässig aufwärmen können. Bei geschlossenen Orgelgehäusen ist darauf zu achten, dass im Betrieb bei Problemsituationen die Luftzirkulation vorübergehend über gut zu öffnende Türen ermöglicht werden kann.
- Bei Neubauten sollte darauf geachtet werden, dass die Einzelwerke auf gleichem Niveau stehen.

### 3.3 Randbedingungen aus denkmalpflegerischer Sicht

Ein Grossteil der Kirchen sind historische Gebäude und unterstehen der Denkmalpflege. Die Neuinstallation, Sanierung und der Betrieb der Kirchenheizung muss daher auf die Besonderheit dieser Räume Rücksicht nehmen. Dabei geraten die menschlichen Ansprüche vielfach in Konflikt mit der Erhaltung von Kulturgut. Es geht aber nicht an, dass die Kirchenheizung allein aus technischer Sicht betrachtet und optimiert wird, als ob Lagerhallen, Verwaltungs- und Wohngebäude keine anderen Unterschiede zeigten als ihre k-Werte.

Die Aussagen in Kapitel 3.1 im Abschnitt "Die beheizte Kirche", gilt verstärkt, wenn historische Altarbilder, Chorstühle, Gemälde, Orgeln und dgl. im Kirchenraum untergebracht sind oder die Kirche mit Wand- oder Deckenmalereien geschmückt ist.

Die fragwürdigsten Eingriffe aus denkmalpflegerischer Sicht sind der Einbau von Wärmedämmungen als Gesamtisolation (Wärmedämmputze, Innenisolationen, Bodenheizungen). Damit werden immer Originalzustände zerstört.

Es ist sinnvoll einen ausgewiesenen Experten beizuziehen, der Schäden analysiert und Hinweise auf das weitere Vorgehen geben kann, wenn:

- der Einbau einer Heizung geplant ist,
- in der beheizten Kirche Veränderungen an den Raumumschliessungsflächen, an Holzwerk oder Bildern festgestellt werden,
- eine Sanierung geplant ist.

Nur so kann unser Kulturgut vor raschem Verfall bewahrt werden, der letztlich durch falsch verstandene Ansprüche auf mehr Komfort verursacht würde.

Häufig wird der in historischen Kirchen eingebauten Heizung die Schuld für Bauschäden gegeben. Nicht zu verleugnen ist, dass öfters Wandmalereien - die in der vorher unbeheizten Kirche Jahrhunderte überlebten - nach Inbetriebnahme einer Heizung rasch grössere Schäden aufzeigten. In diesen Fällen ist daher dem Heizbetrieb besondere Beachtung zu schenken.

Die Gebäudehülle und die Ausstattung haben, wegen ihrer Sorptionsfähigkeit, eine feuchtepuffernde Wirkung. Bei extrem rascher und forcierter Wärmeabgabe (Luftheizung, Hochtemperatur-Bankheizung) kann die Sorptionsfähigkeit jedoch, im Gegensatz zum langsamen Aufheizen, nicht zum Tragen kommen. Es scheint erwiesen zu sein, dass Holzwerk durch häufiges, rasches Erwärmen jedesmal Substanzverluste erleidet, die nicht reversibel sind.

#### Hinweise und Tips

- Die Aufheizphasen in Kirchen mit Kulturgütern sollte einige Zeit durch Messprogramme begleitet werden, die den Verlauf von Temperatur und relativer Feuchte aufzeigen.
- Die Aufheizgeschwindigkeit (Temperaturerhöhung pro Stunde [K/h]) ist dann so festzulegen, dass die relative Luftfeuchte nicht längerfristig unter 55 bis 60 % sinkt, aber auch an kalten Stellen der Gebäudehülle nicht längerfristig über 70 % relative Feuchte ansteigt.
- In beheizten Kirchen sollten keine kostbaren Bilder an kalten Aussenwänden aufgehängt werden.

## 4. Heizbetrieb in Kirchen

### 4.1 Grundsätzliches zum Heizbetrieb

In den letzten Jahren und Jahrzehnten wurde von den verschiedensten Fachleuten aus den Bereichen Architektur, Bauphysik, Orgelbau, Denkmalpflege und den kirchlichen Verwaltungen viel über das "richtige" bzw. "falsche" Heizen der Kirchen geschrieben.

Auffallend dabei ist, dass die Aussagen oft sehr unterschiedlich, ja sogar widersprüchlich ausgefallen sind.

Die widersprüchlichen Meinungen sind vermutlich grösstenteils durch die verschiedenen fachlichen Interessen und Zielsetzungen entstanden. Zudem hat sich in den letzten Jahren, aufgrund von vermehrten Schäden, der Kenntnisstand über beheizte Kirchen vergrössert und gewandelt.

Annahmen sind oft nur durch statistisch oder empirisch gewonnene Ergebnisse begründet. Viele Zusammenhänge sind auch heute noch nicht endgültig bekannt. Oft weicht die Theorie von der Praxis ab.

Dieses Kapitel wurde - um klar Position zu beziehen - mit dem Ziel der rationellen Energieanwendung bearbeitet. Die Erhaltung der Gebäudesubstanz und der Ausstattung müssen, von wenigen Ausnahmen abgesehen, jedoch die höchste Priorität haben.

Es hat sich in der Vergangenheit gezeigt, dass bei alten Gebäuden für die Erhaltung der Bausubstanz und der Inneneinrichtung generell keine Heizung erforderlich ist, massvolles Heizen aber auch nicht zu Schäden führen muss. Beispiele dafür sind historische Kirchen, die ohne Heizung viele Jahrhunderte erstaunlich gut überstanden haben aber auch solche mit langjährigem erfolgreichem Heizbetrieb.

Der Betrieb einer Heizung muss immer als Eingriff in den Feuchtehaushalt eines Gebäudes betrachtet werden (siehe auch Kapitel 3.1). Obwohl jedes Beheizen und Temperieren die relative Luftfeuchte auf die Dauer reduziert (und den Taupunkt erhöht), darf jedoch der Heizung nicht von vornherein die alleinige Schuld für Schäden im Zusammenhang mit tiefer Luftfeuchte zugewiesen werden. Richtig eingesetzt, kann eine Heizung auch Schäden verhindern und zur Substanzerhaltung beitragen.

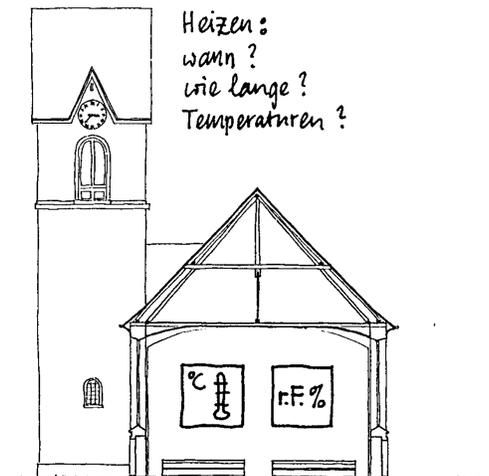
Die Festlegung des geeigneten Heizbetriebes ist immer ein Kompromiss zwischen den Komfortansprüchen der Benutzer, der Schadenfreiheit von Gebäude und Einrichtung bzw. dem Energieverbrauch. Die engen und vielfältigen Beziehungen zwischen Material, Konstruktion, Lage des Gebäudes und seiner Nutzung müssen den im jeweiligen Einzelfall gegebenen individuellen Verhältnissen angepasst werden.

Im Zusammenhang mit dem Raumklima spielt das Lüften - speziell im Sommer - eine wichtige Rolle (siehe Kapitel 1 0.1 «Betrieb»).

Fig. 60

Bei der Beheizung grosser Räume - und speziell bei Kirchen - unterscheidet sich die Problematik vom Üblichen:

- Das Raumklima ist nicht für den dauernden, sondern nur für den vorübergehenden Aufenthalt von Menschen festzulegen. Zusätzlich muss mit anderer Kleidung als im Wohnbereich gerechnet werden.
- Es gibt keinen normgerechten Heizbetrieb mit vorgeschriebenen Temperaturen (vgl. Wohnungsbau 20 °C).
- Zum Zeitpunkt der Erstellung der älteren Kirchen konnten grosse Räume nicht beheizt werden. Diese wurden demzufolge ohne Wärmedämmung erstellt.
- Kirchen wurden dann später mehrheitlich nicht im heutigen Sinne beheizt, sondern lediglich temperiert.



- Kirchen weisen oft ein nur für sie geltendes Raumklima auf, welches durch eine Vielzahl von Einflüssen entstanden ist.
- Das Kleinklima um das Gebäude, Aufbau und Material von Fussboden und Mauerwerk beeinflussen den Feuchtehaushalt im Gebäude wesentlich.
- Neuere Kirchen weisen entscheidend andere Konstruktionen auf als ältere (es sind Kirchen mit guter Wärmedämmung bekannt, jedoch auch viele neuere Objekte sind thermisch ungenügend konstruiert).
- Es ist in den meisten Fällen auf wertvolle Innenausstattungen wie Orgeln, Holzskulpturen, Möbel, Bilder und Malschichten oder Fresken zu achten.
- Von der Heizung wird allzuoft auch verlangt, dass sie Fehler in anderen Bereichen (Architektur, Orgelbau usw.) wieder gutmachen sollte.

Es ist also gefährlich und oft auch falsch, die Erfahrungen von Wohnungs- und Büroheizungen auf "Kirchen" anzuwenden.

## Hinweise und Tips

- Im Zweifelsfall darf davon ausgegangen werden, dass weniger Heizen eher ein kleineres Risiko mit sich bringt. Es ist daher angezeigt, Kirchenheizungen aufgrund von Messungen und Analysen zu planen.
- Wärmedämmungen wirken sich immer positiv auf den Heizbetrieb und das Raumklima aus: Reduktion des Energieverbrauchs, höhere Oberflächentemperaturen, ruhigere Raumluft und dadurch auch weniger Verschmutzungen.

## 4.2 Behaglichkeit

Das Wohlbefinden des Menschen in einem Raum hängt von verschiedenen Einflussgrössen ab. Für den Betrieb einer Heizung interessiert primär die thermische Behaglichkeit während der Heizperiode.

Da die Körpertemperatur bedeutend höher ist als die Umgebungstemperatur, findet eine dauernde Wärmeabgabe an die Umgebung statt.

Die wichtigsten Einflussgrössen auf die thermische Behaglichkeit sind:

- Tätigkeit der Person (Wärmeproduktion im Körper)
- Bekleidung und deren Dämmwert
- Raumlufttemperatur
- Die durchschnittliche Temperatur der umschliessenden Raumboflächen (inklusive Heizflächen)
- Luftgeschwindigkeit im Raum

Die relative Luftfeuchtigkeit hat beim gesunden Menschen - ausser bei Temperaturen über 22 °C, im Schwitzbereich - nur einen kleinen Einfluss auf die thermische Behaglichkeit.

Für jede Tätigkeit und Bekleidung empfindet ein gesunder Mensch bestimmte Kombinationen der Einflussgrössen als behaglich.

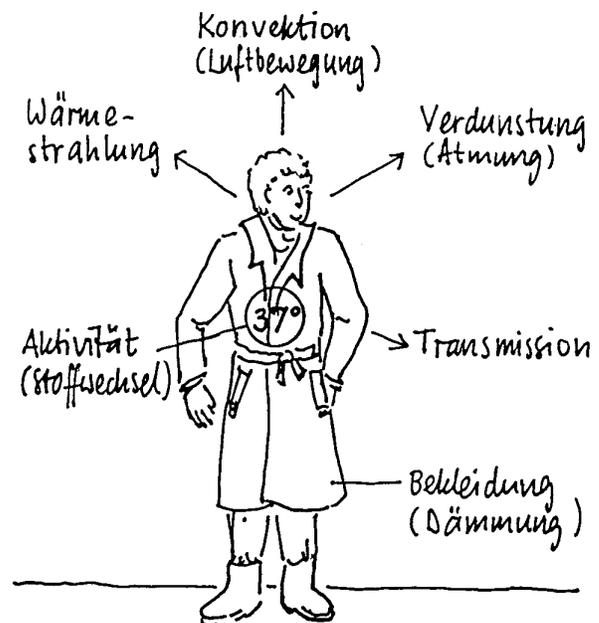


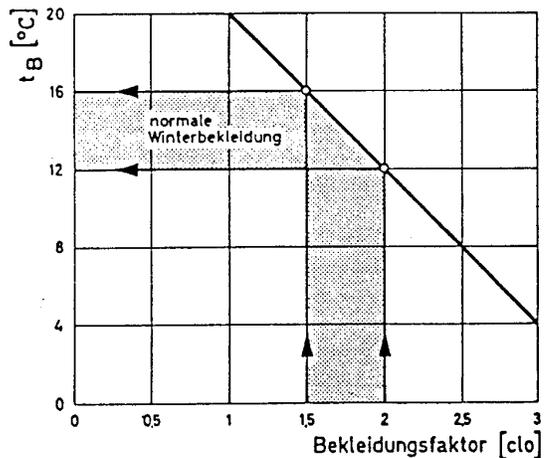
Fig. 61 Wärmeabgabe des Menschen

Da nicht jeder Mensch gleich empfindet, ist die thermische Behaglichkeit eine statistische Angelegenheit. Als behaglich wird derjenige Raumzustand bezeichnet, der von den meisten im Raum sich aufhaltenden Personen als neutral, d.h. weder als zu kalt noch als zu warm, empfunden wird.

Die Ergebnisse solcher Statistiken wurden in der Form von einfachen Diagrammen publiziert. Die verschiedenen Einflussgrößen gehen dabei als Parameter ein.

Aus einem einfachen Grund können diese Diagramme bei Kirchen nicht bzw. nur mit Vorbehalt angewendet werden:

Die Aufenthaltsdauer im betreffenden Raum wird nicht berücksichtigt, d.h. die Diagramme wurden unter der Voraussetzung eines dauernden oder mindestens längerfristigen Aufenthaltes erstellt. Bei Kirchen trifft dies im allgemeinen nicht zu, da die Aufenthaltsdauer üblicherweise nur rund eine Stunde beträgt. Bei Kirchen wird, deshalb die Behaglichkeit zweckmässiger nach dem Taschenbuch «Kirchenheizung und Denkmalschutz» abgeschätzt [16].



Sitzende Person mit leichter Bewegung  
(der in Betracht zu ziehende Bereich ist gerastert)

Fig. 62 Behaglichkeitstemperatur  $t_B$  für Personen in Abhängigkeit der Bekleidungsart

Der Dämmwert der Bekleidung wird als «clo-Faktor» bezeichnet (engl. clothing).

Fig. 63 Bekleidungs faktoren

Statistisch gesehen ist auch bei optimalem Heizbetrieb bei 5 bis 15 % der Personen mit Klagen zu rechnen.

Da sich die in Kirchen aufhaltenden Personen im allgemeinen der Aussentemperatur entsprechend bekleiden (Modetrends ausgenommen), kann durch eine angepasste Raumlufttemperatur eine ausgewogenere Behaglichkeit erreicht werden.

Art der Bekleidung	Bekleidungs faktor [clo]
normale Tageskleidung, leichter Strassenanzug	1,0
normale Winterkleidung mit Mantel	1,5 - 2,0
schwere Winterkleidung	2,0 - 3,0

Beispiel:

Aussen		Innen
+5 °C =>		16 °C
+0 °C =>		15 °C
-5 °C =>		14 °C

## Hinweise und Tips

Die Behaglichkeit kann auch durch bauliche Massnahmen verbessert werden. Dazu zählen beispielsweise zusätzliche Wärmedämmungen, Brusttäfer entlang von Aussenwänden, Holzpodeste im Bankbereich, Drehtüren anstatt Flügeltüren und die Anordnung der Heizkörper.

Der Komfortstandard von Kirchen muss klar von denjenigen des Wohn- und Bürobereiches unterschieden werden.

## 4.3 Grundtemperatur

Bei der Diskussion über die Grundtemperatur geht man zwangsläufig von einem intermittierendem Heizbetrieb aus, d.h. von einer reduzierten Raumtemperatur ausserhalb den Belegungen.

Jedes Heizen beansprucht begrenzte Ressourcen und belastet die Umwelt. Es ist daher angebracht, einen Raum nur dann auf die Behaglichkeitstemperatur zu beheizen, wenn dieser durch Menschen genutzt wird.

In der Zeit zwischen zwei Belegungen braucht in der Regel nicht geheizt zu werden. Bei nicht gedämmten und nicht luftdichten Kirchen können sich dann rasch Temperaturen einstellen, die wenig über der Aussentemperatur liegen. Dadurch werden auch die Interessen des Denkmalschutzes grösstenteils berücksichtigt.

Es kann auch zu trockene Raumluft sein, welche tiefere Raumlufttemperaturen erfordert.

Andererseits kann es zum Schutz der Gebäudesubstanz und der Kirchengestaltung angebracht sein, dass mit reduziertem Heizen eine Grundtemperatur eingehalten wird, um einem übermässigen Feuchteanstieg der Raumluft entgegen zu wirken. In solchen Fällen ist aber grösste Vorsicht angebracht, denn schon zu viele Kulturgüter wurden durch einen unsachgemässen Heizbetrieb innerhalb weniger Jahre irreversibel geschädigt.

Naheliegenderweise erhöht ein Weiterheizen auch den Komfort für Personen, die ausserhalb der Gottesdienste die Kirche besuchen und verkürzt den Aufheizvorgang vor den Belegungen. Bei zunehmender Anzahl Belegungen pro Woche können leicht höhere Grundtemperaturen in Betracht gezogen werden.

Die Probleme der Grundtemperatur bestehen auch bei einzelnen Kirchen neueren Datums. Hier wirkt sich - die im Vergleich zu älteren Kirchen leichtere Bauweise - ungünstig auf den Heizbetrieb und Energieverbrauch aus.

Im folgenden wird aufgezeigt, welche Auswirkungen mit einem abgesenkten Heizbetrieb zu erwarten sind.

Tendenzielle Vorteile von tiefen Raumlufttemperaturen:

- Kleineren Heizenergiebedarf
- Höhere relative Luftfeuchtigkeit (Gefahren bei hoher Luftfeuchtigkeit beachten)
- Geringere absolute Luftfeuchte und dadurch tiefere Taupunkttemperatur
- Weniger Salzschiäden (Ausblühungen am Innenputz).

Tendenzielle Nachteile von tiefen Raumlufttemperaturen:

- Gefahr von Kondensation an raumseitigen Oberflächen (Pilzbefall)
- grössere Temperaturänderung beim Aufheizen (siehe nächstes Kapitel)
- Aus Komfortgründen eher höhere Raumlufttemperaturen während Belegungen erforderlich.

Esmuss mit aller Deutlichkeit darauf hingewiesen werden, dass diese vereinfachten Aussagen bei speziellen bauphysikalischen Voraussetzungen nicht zutreffen oder sogar falsch sein können, wenn beispielsweise hohe Luftfeuchtigkeit, aufsteigende Feuchte, usw. vorhanden sind.

Die Materialfeuchten werden von der durchschnittlichen Lufttemperatur in der Kirche, d.h. bei intermittierendem Heizbetrieb durch die Grundtemperatur massgebend beeinflusst. Da während der Heizperiode im Normalfall tiefe Materialfeuchten Probleme darstellen, sind tiefe Grundtemperaturen anzustreben.

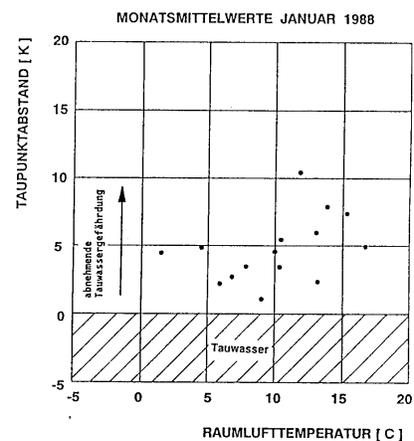


Fig. 64 Monatsmittelwerte Januar 1988 [17]

Die obigen Messresultate von 15 Kirchen zeigen klar, dass mit der Anhebung der Grundtemperatur der Taupunktstand (= Raumlufttemperatur minus Taupunkttemperatur) nicht zwangsläufig vergrössert wird. Somit kann eine Anhebung der Grundtemperatur aus bauphysikalischer Sicht nicht begründet werden.

Bei den dauernd beheizten Kirchen stellt sich die Frage nach der Grundtemperatur logischerweise nicht. Wenn aber für Kirchen Grundtemperaturen von 14 bis 15 °C gefordert werden, gleichzeitig die Erhaltung der Kulturgüter und das sparsame Heizen hervorgehoben wird, ist die Verwirrung gross. Unter solchen Vorgaben lässt sich der Feuchtehaushalt in den meisten historischen Gebäuden nicht stabilisieren.

In der Praxis interessiert nun die minimale, längerfristig zulässige Raumlufttemperatur während der Heizperiode. Diese Grenztemperatur wird durch bauphysikalische Randbedingungen der Gebäudehülle, aber auch durch Ausstattungsgegenstände wie Orgel oder Kunstgegenstände, bestimmt.

Um den Fragenkomplex der Grundtemperatur gezielt diskutieren zu können wird im Folgenden zwischen zwei praxisbezogenen Betriebsarten unterschieden.

#### **a) Heizung ausserhalb den Belegungen ausgeschaltet**

Es sind Kirchen verschiedener Bauart und Alters bekannt, in welchen dieser Heizbetrieb bereits seit Jahren ohne daraus resultierende Schäden angewendet wird.

Das Ausschalten zwischen den einzelnen Belegungen ist aus energetischer Sicht - speziell bei längeren Betriebs-Unterbrüchen - die einfachste und sinnvollste Lösung. Es wäre aber mit Sicherheit falsch, wenn dieser Heizbetrieb jeder Kirche vorbehaltlos verschrieben würde

Bei einer unbeheizten Kirche wird die Grundtemperatur durch die Gebäudehülle, die Luftwechselrate, die mittlere Temperatur der Aussenluft bzw. des Erdreiches oder des Kellers sowie der Sonneneinstrahlung bestimmt.

Für den verantwortungsbewussten Betreiber einer ausserhalb den Belegungen abgeschalteten Heizung ist es deshalb wichtig zu wissen, bei welchen Anzeichen das Heizen auf tiefem Temperaturniveau eventuell in Erwägung gezogen werden sollte.

Dies kann beispielsweise - muss aber nicht unbedingt - sein, wenn:

- Die relative Luftfeuchte während längeren Zeitabschnitten der Heizperiode über 80 - 85 % liegt (im Zusammenhang mit Schäden müssen aber auch hohe Luftfeuchtigkeiten im Sommer beachtet werden).
- Die Taupunkttemperaturen an Wänden und Fenstern häufig unterschritten werden.
- In kälteren Zonen einer Kirche, im Vergleich zu den übrigen Aussenwänden und Decken, sich innerhalb von wenigen Jahren grössere Verschmutzungen zeigen.
- Eindeutige Frostschäden vorhanden sind.

Wegen der komplexen Zusammenhänge ist es nicht möglich, alle Gefahrenmomente von tiefen Raumlufttemperaturen hier aufzuzeigen.

Für Orgeln ist kein Anzeichen bekannt, bei welchem generell eine Erhöhung der Grundtemperatur empfohlen werden kann (weitere Ausführungen siehe Kap. 3.2).

Wenn eine Anhebung der Grundtemperatur - mit dem Nachteil des höheren Energieverbrauchs notwendig wird, stellt sich zwangsläufig die schwierig zu beantwortende Frage der zukünftigen minimalen Raumlufttemperatur. Dass dabei die Raumluftfeuchte in den Fragenkomplex einbezogen werden muss, wird leider allzuoft missachtet.

Aus dem soeben gesagten geht hervor, dass es nicht sinnvoll ist, nur eine minimale über die ganze Heizperiode gleichbleibende Raumlufttemperatur anzugeben. Eine Temperaturvorgabe unter Berücksichtigung der Raumluftfeuchte führt in den meisten Fällen eher zum Ziel.

Aufgrund der Verschiedenartigkeit der Raumklimas in Kirchen ist es nicht möglich, allgemeingültige Grundtemperaturen anzugeben.

Stattdessen wird im Folgenden ein systematisches Vorgehen aufgezeigt, welches bei der Einführung einer mässigen Temperierung angewendet werden sollte.

Die einzelnen Arbeitsschritte bei der Anhebung der Grundtemperatur sind:

- Bevor eine Änderung vorgenommen wird, muss unbedingt der Istzustand des Raumklimas (Temperatur und Feuchte) während längerer Zeit, je nach Problemstellung auch im Sommer, registriert werden.
- In Kirchen, in denen keine Veranlassung für rasches Handeln besteht, sollte die Grundtemperatur zuerst nur um 1 bis 2 °C angehoben werden. Die Wirkung kann dann erst nach längerer Zeit (mehreren Wochen) beurteilt werden, da sich Gebäude und Einrichtungsgegenstände nur langsam anpassen.
- Damit die Auswirkungen der Umstellung analysiert werden können, muss die Raumklimamessung weitergeführt werden.

- Um den Feuchtehaushalt in der Heizperiode unter Kontrolle zu bekommen, ist eine variable Grundtemperatur zu wählen, beispielsweise:

Aussentemperatur	Grundtemperatur
über 5 °C	8 °C
0 ... 5 °C	7 °C
0 ... - 5 °C	6 °C
-5 ... -10 °C	5 °C
unter -10 °C	4 °C

Mit dieser Methode können die Feuchteschwankungen der Raumluft auf erstaunlich einfache Art reduziert werden.

Bei manueller Bedienung liegt der Nachteil im erhöhten betrieblichen Aufwand. Mit modernen Regelungen kann diese Funktion automatisch viel gezielter und mit weniger Falscheinstellungen ausgeführt werden.

- Nachdem eine Anhebung der Grundtemperatur vorgenommen wurde, ist mindestens während einer ganzen Heizperiode das Raumklima genau zu überwachen. Reaktionen im Zusammenhang mit dem Raumklima können unter Umständen mit grosser Verzögerung auftreten.

- Bei Veränderungen des Heizbetriebes ist eine genaue Energiebuchhaltung zu führen (siehe Kapitel 1 1).

Wenn die Heizung als scheinbare "Lösung" für andersartige Probleme (Bauphysik, Betrieb, Orgelbau) gezwungenermassen missbraucht wird, muss dafür gesorgt werden, dass diese Mängel so weit wie möglich beseitigt werden. Es darf nicht vorkommen, dass anstatt der Behebung von Mängeln dauernd Energie verbraucht wird.

Es können auch betriebliche Anforderungen (Pflanzen, vereinzelte Kirchenbesucher, Orgelprobe, Reinigungsarbeiten usw.) für eine Erhöhung der Grundtemperatur ausschlaggebend sein. Im Sinne einer rationellen Energieanwendung sollte, wenn irgendwie möglich, durch diese Ansprüche nicht eine Anhebung der Grundtemperatur begründet werden (siehe auch Kapitel 10.1).

Zwei Beispiele mögen die vorgängigen Überlegungen veranschaulichen:

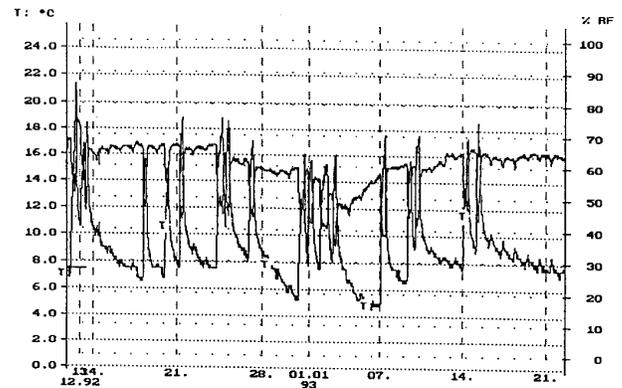
**\* Evangelische Kirche Glarus**

**Raumlufttemperatur und relative Raumluftfeuchte**

Fig. 65 Bewährter Heizbetrieb mit ausgeschalteter Heizung zwischen den Belegungen

Messwerte der Heizperiode 92 / 93

Raumlufttemperatur:	- minimal	1,7 °C
	- durchschnittlich	9,0 °C
Relative Luftfeuchte:	- minimal	35%
	- maximal	76%
	- durchschnittlich	64%



Obwohl sich die Raumluft während der oben gezeigten Messperiode bis auf 4,4 °C abkühlte, ist die relative Luftfeuchte nur während wenigen Stunden auf maximal 74,5 % angestiegen (siehe auch Fallbeispiel Anhang A 3).

Aufgrund der abgeschalteten Heizung zwischen den Belegungen ist nicht mit Schäden zu rechnen.

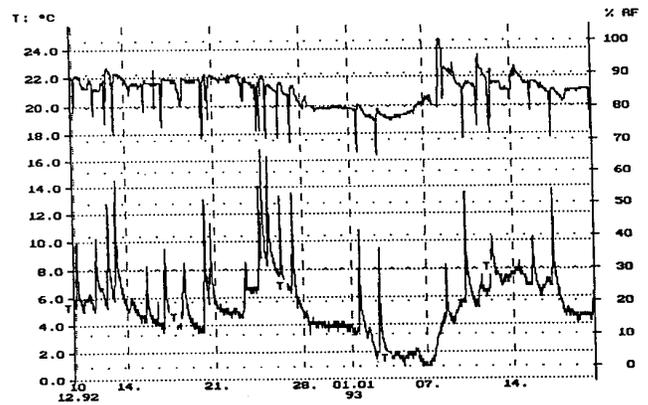
## \* Kath. Kirche Steinebrunn

Raumlufttemperatur und relative Raumluftfeuchte

Fig. 66 Kritischer Betrieb mit ausgeschalteter Heizung zwischen den Belegungen

Messwerte der Heizperiode 92 / 93

Raumlufttemperatur:	- minimal	0,7 °C
	- durchschnittlich	7,0 °C
Relative Luftfeuchte:	- minimal	28,5%
	- maximal	100%
-	- durchschnittlich	81%



Die Raumlufttemperatur ist während der oben gezeigten Messperiode kurzfristig bis auf +0,7 °C abgesunken. Trotz diesen tiefen Temperaturen, welche auch aus früheren Jahren bekannt sind, waren keine Schäden zu erkennen, die ausschliesslich den extremen Temperaturen angelastet werden müssten.

Hingegen kritischer muss die relative Luftfeuchte eingestuft werden, welche während Wochen praktisch dauernd auf über 85 % angestiegen war (siehe auch Fallbeispiel Anhang A 5).

In dieser Kirche wurde anschliessend an die Heizsaison 92/93 eine Innensanierung mit neuen Bodenheizungszone in Angriff genommen.

Der zukünftige Heizbetrieb muss anhand von Raumklimamessungen ermittelt werden. Je nach Messresultat muss dann unter Umständen eine minimale Temperierung eingeführt werden.

### b) Heizung ausserhalb den Belegungen mit reduziertem Betrieb

In den meisten beheizten Kirchen ist die Heizung ausserhalb der Belegungen reduziert in Betrieb. Die dabei von den Verantwortlichen als richtig erachteten Raumtemperaturen variieren in einem grossen Bereich von etwa 6 bis 14 °C.

In der Literatur werden ähnliche Temperaturbereiche für das "Richtige Heizen" angegeben. Empfehlungen mit einer Temperaturspanne von 6 bis 8 °C nützen jedoch in der Praxis wenig.

Aus naheliegenden Gründen liegt in der Wahl der Grundtemperatur ein grosses Energiesparpotential (siehe auch nächstes Kapitel).

Aus den gleichen Gründen wie bei Betriebsart a) kann auch hier keine allgemein gültige Angabe über das geeignete Raumklima gemacht werden. Es kann auch nicht das Ziel dieses Handbuchs sein, ein generelles Ausschalten der Heizung zwischen den Belegungen zu postulieren und sich in Warteposition auf mögliche Schäden zu begeben.

Eine Reduktion der Grundtemperatur bzw. dauerndes Ausschalten der Heizung ausserhalb den Belegungen sollte ernsthaft geprüft werden wenn:

- Ein hoher Energieverbrauch festgestellt wird (Energiekennzahl ermitteln und vergleichen, siehe Kapitel 1.3 «Grobanalyse»)
- Die relative Luftfeuchte längerfristig unter 50 bis 55 % absinkt: Wenn der Feuchtegehalt der Luft bereits im unteren des für Orgeln allgemein empfohlenen Bereiches liegt, macht es keinen Sinn, durch die Heizung diesen Trend noch zu unterstützen.
- Die mittleren Raumlufttemperaturen mehr als etwa 4 Kelvin über der mittleren Aussentemperatur liegen. Selbstverständlich sollten auch Werte unter 4 Kelvin Übertemperatur überprüft werden.

Es ist erstaunlich, wie viele Kirchen über Jahre, ja sogar Jahrzehnte auf hohem Temperaturniveau beheizt werden, ohne die genauen Hintergründe zu kennen. Oft sind es gut gemeinte Einstellungen der Sache gegenüber, falsch verstandene Ratschläge und Überlieferungen oder unbegründete Sorge um die Orgel.

Im folgenden wird ein Vorgehen für eine systematische Reduktion der Grundtemperatur beschrieben. Die einzelnen Arbeitsschritte sind analog - zwar in umgekehrter Richtung - wie bei Betriebsart a)

Aus diesem Grund nur noch stichwortartig die wichtigsten Punkte:

- Vorgängige Messungen (Istzustand festhalten)
- Reduktion der Raumtemperatur in Schritten von 1 bis 2 °C.
- Weiterführung der Messungen
- Variable Grundtemperatur für die Stabilisierung des Feuchtehaushaltes
- Nachträgliche Messungen, Energiebuchhaltung.

Wenn eine Absenkung der Raumlufttemperatur bzw. gänzlichliches Abschalten der Heizung zwischen den Belegungen vorgenommen wird, müssen kritische Temperatur- und Feuchtwerte genau beobachtet werden (siehe Anzeichen, welche bei Betriebsart a) als Grund für Temperaturerhöhung beschrieben sind).

Spezielle Aufmerksamkeit sollte der Orgel und anderen Ausstattungsgegenständen zukommen.

Die Reduktion der Grundtemperatur wird als Beispiel bei der evangelische Kirche Arbon erläutert:

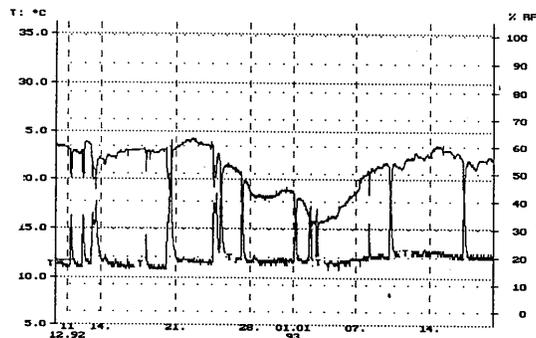


Fig. 67 Bisherige Raumlufttemperatur und relative Raumluftfeuchte

Raumlufttemperatur:	- minimal	10,7	°C
	- durchschnittlich	13	°C
Relative Luftfeuchte:	- minimal	25,5	%
	- maximal	71,5	%
	- durchschnittlich	53	%

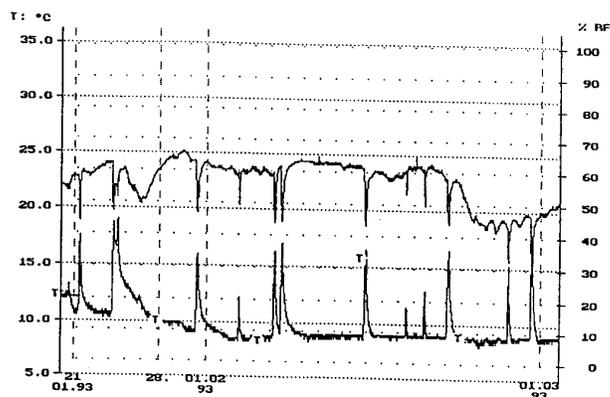
Aufgrund der relativ hohen durchschnittlichen Raumlufttemperatur und eines für Kirchen eher hohen Luftwechsels (doppelverglaste, eher undichte Fenster), ist die relative Luftfeuchte auf bedenkliche Werte abgesunken.

Aus Energiespargründen wurde im Januar 1993 die Raumlufttemperatur in der Kirche ausserhalb den Belegungen um ca. 2 °C reduziert.

Rund zwei Monate später wurde auf Empfehlung des Orgelbauers eine weitere Reduktion um ca. 1 °C vorgenommen. Es lässt sich nur erahnen, welche kritische Raumluftfeuchte ohne die Temperaturreduktion entstanden wäre.

Fig. 68 Raumlufttemperatur und relative Raumluftfeuchte mit reduzierter Grundtemperatur

Raumlufttemperatur:	- minimal	7,9	°C
	- durchschnittlich	10	°C
Relative Luftfeuchte:	- minimal	32,5	%
	maximal	69,5	%
	- durchschnittlich	59	%



Durch die zweite Temperaturabsenkung konnte erreicht werden, dass die relative Luftfeuchte nicht mehr unter 32,5 % abgesunken ist. Dazu hat auch die etwas höhere Aussentemperatur während der zweiten Messphase beigetragen (siehe auch Fallbeispiel Anhang A 2).

Die mit der Temperaturabsenkung erzielten Einsparungen werden in Kapitel 5.2 «Betriebliche Einflüsse» diskutiert.

## Hinweise und Tips

- Bei ständig beheizten Kirchen ist abzuklären, ob dieser Heizbetrieb wirklich nötig ist.
- Bei Sanierungen muss vorgängig zur Planung und Ausführung ein Nutzungs- und Heizkonzept erstellt werden (siehe Kap. 1.4)
- Die Grundtemperatur sollte über der Taupunkttemperatur bei der Belegung sein.

Beispiel:

Raumklima bei Belegung 17 °C und 50 % r.F.

=> Taupunkttemperatur ca. 7 °C.

(siehe h-x-Diagramm Anhang A 7)

Diese Forderung ist als Richtwert zu verstehen und ist nicht in jedem Fall sinnvoll.

Wenn die Grundtemperatur jedoch mehrere Kelvin über der Taupunkttemperatur liegt, ist eine Absenkung der Grundtemperatur in Betracht zu ziehen.

Bei umgekehrter Situation (Grundtemperatur tiefer als Taupunkttemperatur) ist bei einem jahrelangen bewährten Heizbetrieb im allgemeinen keine Änderung notwendig.

- Bei häufigen Belegungen kann eine mässige Anhebung der minimalen Grundtemperatur durchaus sinnvoll sein. Als Hilfsgrösse kann eine maximale, durch die Heizung hervorgerufene wöchentliche Temperaturerhöhung von rund 30 Kelvin angenommen werden.

Beispiel bei 5 Belegungen:

bisher: 5 mal Aufheizen von 6 °C auf 15 °C

=>  $5 \times 9 \text{ K} = 45 \text{ K}$  (grösser als 30 K)

neu: 5 mal Aufheizen von 8 °C auf 14 °C

=>  $5 \times 6 \text{ K} = 30 \text{ K}$

Mit dieser Anhebung der Grundtemperatur ist mit einem höheren Energieverbrauch zu rechnen. Der Mehrverbrauch hängt vom Auskühlverhalten der Kirche ab.

Der Einfluss der Grundtemperatur auf den Energieverbrauch wird im nächsten Kapitel behandelt.

Bevor die Grundtemperatur reduziert oder erhöht wird, ist der neue Heizbetrieb mit dem zuständigen Orgelfachmann zu besprechen.

- Allgemeine Richtwerte:

Grundtemperatur für den sparsamen Heizbetrieb unter 8 °C

- Unproblematische mittlere relative Luftfeuchte (auch im Sommer!) 40 bis 80 %

## 4.4 Aufheizphase

Die mehrheitlich schlecht wärmedämmten Kirchen werden aus den verschiedensten Gründen intermittierend beheizt. Dadurch entstehen zwangsläufig unerwünschte Temperaturwechsel. Wichtig ist, dass die Heizung rechtzeitig - aber auch nicht zu früh - vor dem Kirchenbesuch eingeschaltet wird. Zu rasches Aufheizen verursacht Luftströmungen, die unangenehm empfunden werden (es "zieht").

In historischen Räumen traten, im Jahresablauf und mit der wechselnden Witterung, auch ohne Heizung Temperatur- und Feuchtigkeitsschwankungen auf. Durch die feuchte- und wärmespeichernden Baumaterialien vollzogen sich die Schwankungen aber wesentlich langsamer als dies beim Heizen der Fall ist.

Es darf angenommen werden, dass im Jahresverlauf grössere Schwankungen der mittleren Raumlufttemperatur und der Feuchte zulässig sind als innerhalb von Tagen.

Fraglich im Zusammenhang mit dem Aufheizen ist, welche Raumklima-Schwankungen als unkritisch einzustufen sind. In der Vergangenheit wurden - je nach Standpunkt und Interessen aber auch abhängig vom fachlichen Überblick - die verschiedensten Empfehlungen bezüglich der Aufheizgeschwindigkeit abgegeben.

Analog wie bei der Grundtemperatur im vorgängigen Kapitel, können auch hier - obwohl die theoretischen Vorgänge bekannt sind - keine allgemein gültigen Empfehlungen abgegeben werden. Stattdessen werden im Folgenden die Auswirkungen der verschiedenen Aufheizgeschwindigkeiten dargelegt.

Tendenzielle Vorteile von grossen Aufheizgeschwindigkeiten sind:

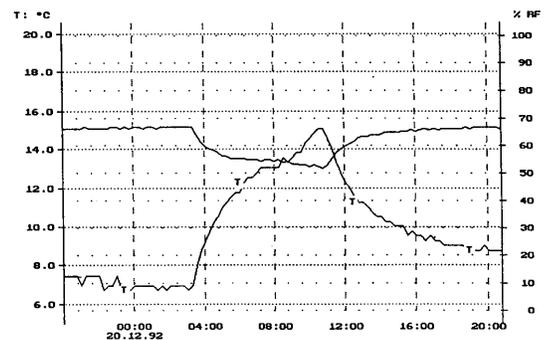
- Kleinerer Heizenergiebedarf (siehe Kapitel 5.2)
- Zeitlich kürzere bauphysikalische Belastung der Baustoffe.

Dem stehen tendenzielle Nachteile von grossen Aufheizgeschwindigkeiten gegenüber:

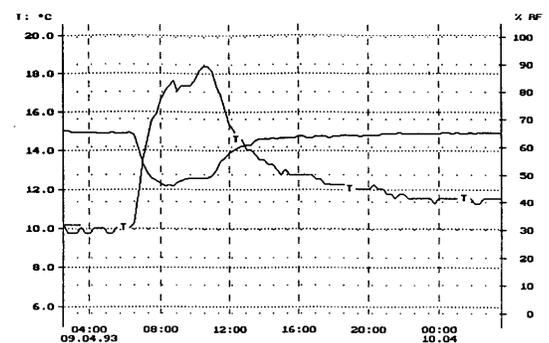
- Reduzierte Behaglichkeit, da das Gebäude weniger aufgewärmt ist.
- Oft grössere Verstimmung der Orgel, da nicht alle Register auf der gleichen Temperatur sind.
- Stärkere Luftströmungen mit Staubverwirbelungen und Schmutzablagerungen an Wänden und Inneneinrichtung (bedingt durch die schlechte Wärmedämmung und die hohen Räume lassen sich Luftströmungen auch bei langsamem Aufheizen und bei Dauerbetrieb der Heizung nicht vermeiden).

In der Praxis gilt es nun, die zweckmässige Aufheizgeschwindigkeit zu bestimmen. Dazu müssen die vorgängig aufgezeigten Vor- und Nachteile objektspezifisch gewertet werden. Aus denkmalpflegerischer Sicht werden meistens langsame Aufheizgeschwindigkeiten gefordert.

Fig. 69 Temperatur und Feuchte der Raumluft mit unterschiedlicher Aufheizgeschwindigkeiten in der evangelischen Kirche Glarus



a) ca. 1,0 Kelvin Anstieg pro Stunde



b) ca. 2,4 Kelvin Anstieg pro Stunde

### Hinweise und Tips

Aufgrund der erhöhten Risiken bei zu schnellem Aufheizen können Temperaturanstiege von 1 bis maximal 2 Kelvin pro Stunde empfohlen werden.

## 4.5 Heizen während der Belegung

Die Anforderungen an die Temperatur während des Gottesdienstes unterliegen einem zeitlichen Wandel, der in den 60er Jahren ihren Höchstwert erreichte. Mit dem Einbau der ersten Kirchenheizungen nach der Jahrhundertwende begnügte man sich mit 6 bis 8 °C. Eine neuere Umfrage in Deutschland hat ergeben, dass sich heute eine Mehrheit mit 10 bis 15 °C zufrieden gebe.

Es ist jedoch anzunehmen, dass wie bei anderen Umfragen eine Diskrepanz zwischen der Nennung (Vorsatz) und der Realität besteht. Die Sichtung von Messprotokollen [10] zeigt, dass eher auf 15 bis 18 °C geheizt wird.

Während früher auch in der Schweiz ein Temperieren auf niedrigem Niveau um rund 10 bis 12 °C als angenehmer Komfort galt, wurden in den vergangenen Jahrzehnten zunehmend höhere Raumlufttemperaturen gefordert.

Diese sind einerseits durch gestiegene Ansprüche seitens der KirchgängerInnen als auch durch die veränderte Nutzung (weltliche Anlässe wie Konzerte, Theater usw.) entstanden.

Heute werden die Kirchen während den Belegungen sehr unterschiedlich beheizt. Beim intermittierendem Heizbetrieb sind maximale Temperaturen im Bereich von 12 bis 17 °C üblich. Höhere Temperaturen als 17 °C sind eher die Ausnahme und auch unerwünscht.

Die Festlegung der Raumlufttemperaturen für die Belegungen stellt ein Kompromiss zwischen dem Benutzer - der höhere Temperaturen fordert - und der Denkmalpflege dar, die im allgemeinen einen völligen Verzicht auf erhöhte Temperaturen anstrebt. Auch aus energetischen Überlegungen sind hohe Raumlufttemperaturen abzulehnen.

Bei massiver Bauweise, wärmegeämmter Decke und doppelverglasten Fenstern gilt eine Raumlufttemperatur von 15 bis 17 °C als angemessen. Wenn sich tiefere Werte eingespielt und bewährt haben, sollten diese auf keinen Fall angehoben werden.

Kurzzeitige Erhöhungen der Raumlufttemperatur beeinflussen den langfristigen Feuchtehaushalt des Gebäudes unwesentlich.

Häufig treten unbewusst überhöhte Temperaturen auf. Die Ursachen dafür liegen meistens in einem schlechten Standort des Thermometers oder im ungenügendem Bedienungskomfort der Heizanlage.

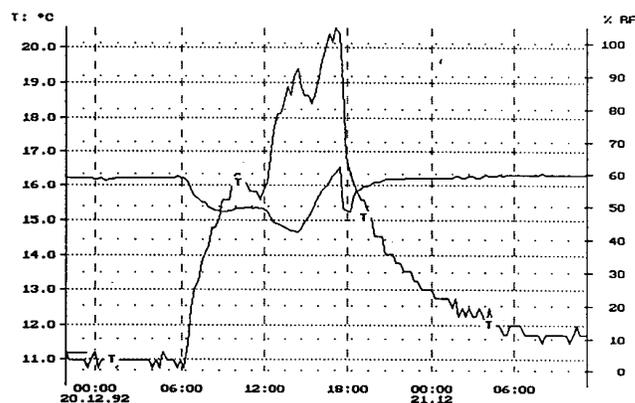
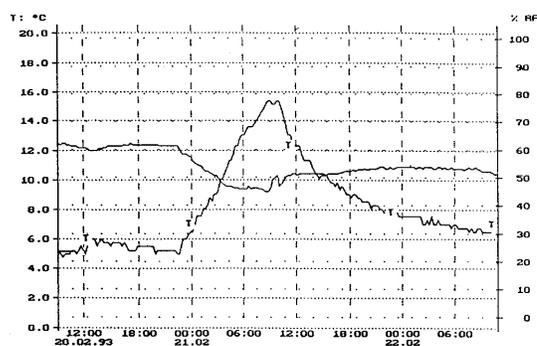
Bei durchgehend beheizten Kirchen - welche nach heutigem Umweltverständnis über eine Gesamtisolation verfügen müssten - kann während der Belegung mit Raumlufttemperaturen von 13 bis 15 °C gefahren werden.

Fig. 70 Optimierte Beheizung für einen Gottesdienst in der evangelischen Kirche Wil

Oft wird auch gefordert, dass die Kirche bereits 2 bis 3 Stunden vor der Belegung auf die Betriebstemperatur aufgeheizt sein sollte. Obwohl diese Heizweise aus Behaglichkeitsgründen und für die Stimmhaltung der Orgel zu begrüssen ist, muss sie aber aus energetischen Überlegungen abgelehnt werden.

Mit energetisch geringerem Aufwand kann der WärmeKomfort auch dadurch verbessert werden, wenn gegen das Ende des Gottesdienstes die Raumlufttemperatur um ca. 1 bis 2 °C angehoben wird. Je nach Besucherzahl findet der Temperaturanstieg automatisch durch die Wärmeabgabe der anwesenden Personen statt.

Fig. 71 Schlecht koordinierte Beheizung für einen Gottesdienst in der evangelischen Kirche Arbon (nicht durch Fehlbedienung, sondern vorallem technisch bedingt)



## Hinweise und Tips

-Um weiteren Komfortansprüchen Einhaltung zu geben, ist eine Rückbesinnung auf die ursprüngliche Nutzung notwendig. Garderoben in Kirchen und Einrichtungen für Filmvorführungen weisen beispielsweise eindeutig in die falsche Richtung.

Gegebenenfalls sind auch Auslagerungen der Gottesdienste und Anlässe während der kältesten Winterperiode in andere, oft ohnehin schon beheizte Räume in Betracht zu ziehen.

- Benutzeransprüche und gegebenenfalls eine Reduktion der Komfortansprüche sollten diskutiert werden können.
- In historischen Kirchen sollte auch für Konzerte und andere Anlässe nicht über 18 °C geheizt werden.
- Die kurzfristige Luftfeuchtigkeit beim Aufheizen sollte nicht unter 35... 40 % liegen.

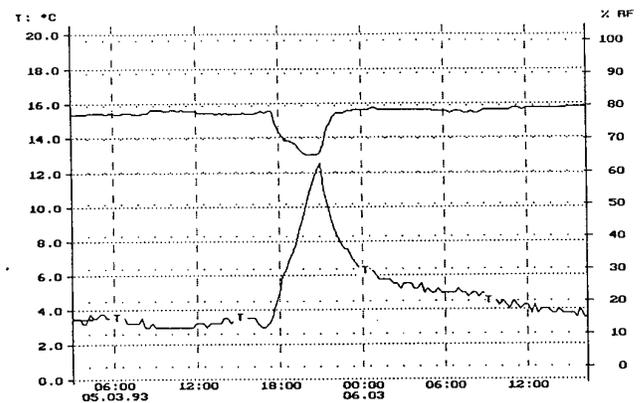
## 4.6 Temperaturverlauf nach der Belegung

Bei intermittierendem Heizbetrieb fällt die Raumlufttemperatur nach der Heizungsabschaltung relativ rasch ab. Der Temperaturrückgang ist in den ersten Stunden nach der Abschaltung am grössten.

Fig. 72 Raumklimaverlauf in der katholischen Kirche Steinebrunn

Kurzfristige Raumklima-Änderungen sind - wie im vorherigen Kapitel diskutiert - zulässig, müssen aber kritisch beobachtet und beurteilt werden.

Folgerichtig darf angenommen werden, dass eine rasche Wiederherstellung des Ausgangsklimas den am Gebäude und Einrichtung verwendeten Materialien nur dienlich sein kann, da die eventuell kritischen Temperaturspitzen bzw. Feuchte-senken während kürzerer Zeitdauer einwirken.



Voraussetzung für eine rasche Rückkehr zur Raumluftfeuchte vor dem Heizvorgang ist eine dichte Gebäudehülle.

# 5. Einflüsse auf den Heizenergieverbrauch

## 5.1 Gebäude- und anlagebedingte Einflüsse

### Gebäudehülle

Im Wohnungsbau mit regelmässiger Belegung und Raumlufttemperaturen im Bereich von 20 °C hat die wärmetechnische Qualität der Bauhülle einen grossen Einfluss auf den Heizenergieverbrauch.

Bei nur gelegentlich genutzten Kirchen ist der Einfluss der Bauhülle auf den Heizenergieverbrauch geringer. Dabei ist zu beachten, dass bei Kirchen die Auswirkungen von Wärmedämmungen auf den Energieverbrauch durch zusätzliche Faktoren wie Nutzungshäufigkeit, die Grundtemperatur ausserhalb den Belegungen und den Aufbau der Bauhülle mit bestimmt werden.

Bei geringer Nutzung, mit beispielsweise ein- oder zweimaliger Belegung pro Woche, ist das Sparpotential von Wärmedämmungen relativ klein, da sich die Gebäude zwischen den Belegungen auch mit einer Wärmedämmung stark auskühlen. Wenn aber zwischen den Belegungen geheizt wird (auch nur reduziert), oder die Kirche häufig genutzt wird, hat eine Wärmedämmung einen grösseren Einfluss auf den Energieverbrauch.

Je massiver eine Kirche gebaut ist, desto geringer ist bei selten beheizten Kirchen der Einfluss einer k-Wert-Verbesserung auf den Energieverbrauch, da jeweils ein grosser Anteil der Heizenergie in die wärmespeichernde Gebäudehülle und die Inneneinrichtung fliesst.

Bei selten belegten Kirchen die innen umfassend saniert werden müssen, sollte eine Innendämmung geprüft werden, da damit der Wärmeverlust bereits während dem Aufheizen reduziert wird.

Eine zusätzliche Wärmedämmung wird immer eine Energieeinsparung zur Folge haben, da nicht nur während dem Heizbetrieb der Wärmeabfluss über die Gebäudehülle geringer ist, sondern sich im unbeheizten Zustand eine höhere Grundtemperatur einstellt. Dadurch ist die Aufheizzeit kürzer und zwischen den Belegungen muss weniger geheizt bzw. die Heizung kann gänzlich ausgeschaltet werden.

Da bei Kirchen die betrieblichen Einflüsse den Energieverbrauch stark beeinflussen, können Energieeinsparungen nicht wie im Wohnbereich aufgrund von k-Wert-Vergleichen abgeschätzt werden.

Die folgenden Messresultate veranschaulichen die Vorgänge in zwei unterschiedlich wärmegeprägten Kirchen. Ausserhalb den Belegungen werden beide Kirchen nicht beheizt.

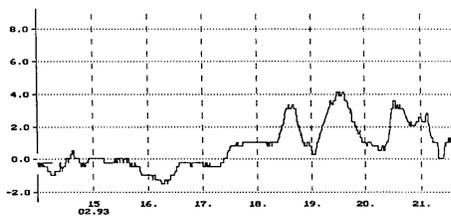


Fig. 73 Aussentemperatur Steinebrunn (gilt auch für das 6 km entfernte Amriswil)

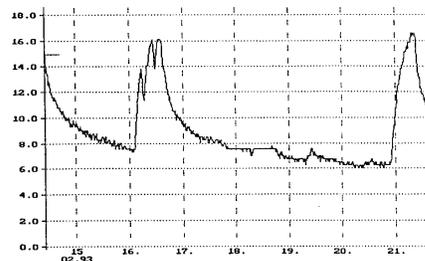


Fig. 74 Raumlufttemperatur Kirche Amriswil

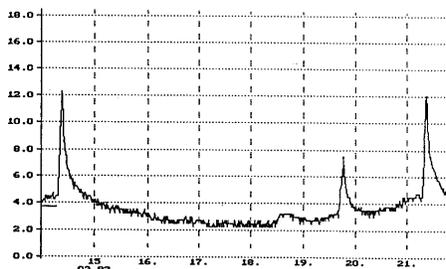


Fig. 75 Raumlufttemperatur Kirche Steinebrunn

geschätzte k-Werte		Amriswil	Steinebrunn
Wand	W/m <sup>2</sup> K	1,4	1,5
Decke zu Unbeheizt	W/m <sup>2</sup> K	0,34	3,5
Fenster (2-IV + Bleivergl.)	W/m <sup>2</sup> K	2,2	2,2
Grundtemperatur bei Aussenluft:			
	5 °C	9,5 °C	6,5 °C
	0 °C	6 °C	3 °C
	-5 °C	4 °C	1,5 °C

Fig. 76 Gegenüberstellung der Daten von zwei unbeheizten Kirchen

Die Gegenüberstellung der Daten zeigt, dass in der Kirche Steinebrunn ohne Wärmedämmung die Raumlufttemperatur ausserhalb den Belegungen rund 2 bis 3 °C tiefer ist als in der teilweise wärmedämmten Kirche Amriswil.

Wie bereits in anderen Kapiteln dieses Handbuches erwähnt, haben Wärmedämmungen auch Einfluss auf Bauschäden an der Gebäudehülle und die Behaglichkeit in der Kirche (Oberflächentemperaturen, Luftzirkulationen usw.).

Dauernd beheizte Kirchen müssen nach heutigem Standard eine durchgehende Wärmedämmung (Randzonen Fussboden, Wände, Decken) aufweisen, da der dauernde Wärmefluss nach aussen damit massgeblich reduziert werden kann.

## Heizsystem

Die Regelung und das Wärmeabgabesystem haben - speziell bei intermittierendem Heizbetrieb - einen bedeutenden Einfluss auf den Heizenergieverbrauch. Negativ wirken sich beispielsweise aus:

- Thermische Trägheit des Wärmeabgabesystems (Bodenheizungen, Speicherheizgeräte),
  - Schlechtes Wärmestrahlungsfeld im Aufenthaltsbereich der Personen (schlechter Standort der Heizgeräte, ungeeignetes Wärmeabgabesystem).
  - Wärmeabgabesysteme mit hohen Luftgeschwindigkeiten, da unter solchen Bedingungen die gewünschte Behaglichkeit meistens mit einer höheren Raumlufttemperatur kompensiert werden muss.
  - Ungenügende oder fehlende Leistungsregelung (es muss beispielsweise mit voller Leistung geheizt werden, obwohl 70 % der Leistung ausreichen würde).
  - Schlechter Bedienungskomfort (es wird z.B. bereits am Abend eingeschaltet, obwohl ein späterer Heizbeginn ausreichen würde).
  - Knackgeräusche beim Abkühlen der Heizkörper (wegen den Knackgeräuschen können die Heizkörper während dem Gottesdienst nicht ausgeschaltet werden, obwohl die gewünschte Raumlufttemperatur erreicht ist).
- Ungeeignete Regelgeräte und schlecht platzierte Raumthermostaten (siehe Kapitel 8.2)

Ein geeignetes Heizsystem ist eine wichtige Voraussetzung für einen optimierten Heizbetrieb in einer Kirche. Ohne betriebliche Anstrengungen und ohne persönliches Engagement des Bedienungspersonals nützen aber die besten Installationen wenig.

## 5.2 Betriebliche Einflüsse auf den Heizenergieverbrauch

Es hat sich bei verschiedenen Beispielen gezeigt, dass mit betrieblichen Massnahmen am effizientesten Energie eingespart werden kann. Dazu zählen die Grundtemperatur zwischen den Belegungen, die Aufheizgeschwindigkeit und die Raumlufttemperatur während den Belegungen.

Die Raumlufttemperatur während der Belegungszeit - sofern sie dem Betrieb angepasst ist - kann meistens nur in einem engen Bereich verändert werden, da sich die Kirchgängerinnen und Kirchgänger an ihre Temperatur gewöhnt haben. Allfällige Änderungen müssen daher allmählich durchgeführt werden und haben in den meisten Fällen einen eher untergeordneten Einfluss auf den Energieverbrauch.

Weit grössere Bedeutung hat die Wahl der Grundtemperatur ausserhalb den Belegungen und in einzelnen Fällen auch die Aufheizgeschwindigkeit. Diese beiden Einflüsse werden im Folgenden je an einem Beispiel untersucht.

### Grundtemperatur

Bei intermittierendem Heizbetrieb hat die Wahl der Grundtemperatur zwischen den Belegungen den grössten Einfluss auf den Heizenergieverbrauch.

In der Kirche Arbon wurde der Einfluss einer Reduktion der Grundtemperatur auf den Energieverbrauch messtechnisch erfasst.

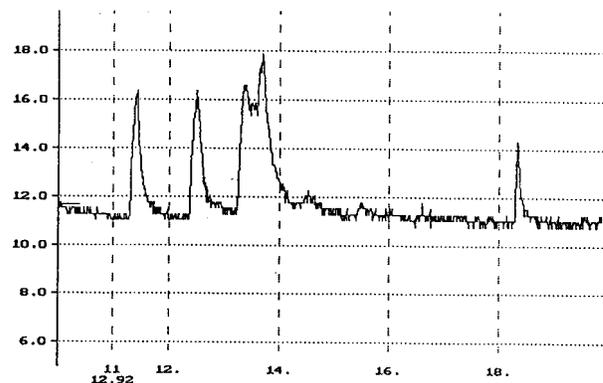


Fig. 77 Raumlufttemperatur Kirche Arbon  
(vor der Reduktion der Grundtemperatur)

Fig. 78 Raumlufttemperatur Kirche Arbon  
(nach der Reduktion der Grundtemperatur)

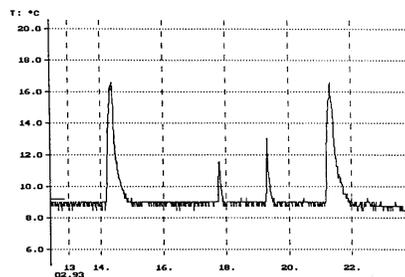


Fig.79 Vergleich vor/nach Reduktion der Grundtemperatur

		vorher	nachher
Messdauer	Anzahl Tage	10,0	10,0
mittlere Aussentemperatur	°C	+ 0,8	+0,7
mittlere Raumtemperatur	°C	12,8	9,9
Grundtemperatur	ca. °C	11,2	8,9
Reduktion Grundtemperatur	°C	---	ca. 2,3
Stromverbrauch	kWh	1449	1083
Energieeinsparung	%	---	25

Der Vergleich zeigt, dass pro Grad Celsius Reduktion der Grundtemperatur rund 10 % Heizenergie gespart wurde.

Das Resultat ist mit einer gewissen Ungenauigkeit behaftet, da im Stromverbrauch auch die Raumheizung der Nebenräume und der allgemeine Stromverbrauch enthalten sind. Die tatsächliche Energieeinsparung pro Grad Celsius Reduktion der Grundtemperatur dürfte demnach über 10 % liegen.

Es gilt zu berücksichtigen, dass die absolute und die prozentuale Einsparung von der Grundtemperatur vor der Reduktion abhängig ist, d.h. eine Reduktion der Grundtemperatur von beispielsweise 14 °C auf 12 °C bringt eine grössere absolute Einsparung wie von 11 °C auf 9 °C oder von 8 °C auf 6 °C.

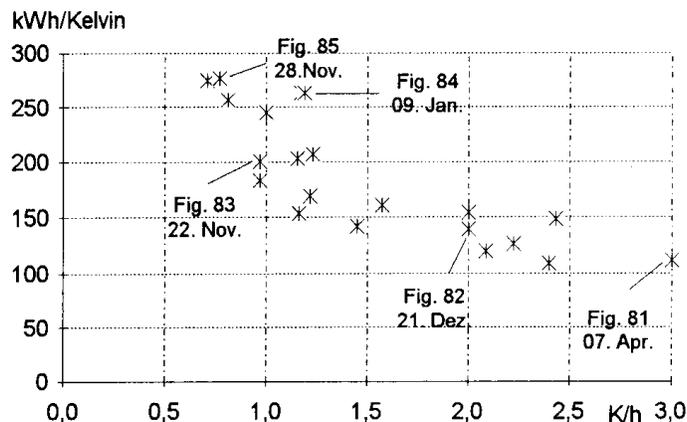
## Aufheizgeschwindigkeit

Wenn zwischen den einzelnen Belegungen die Heizung ausgeschaltet bleibt, wird nur für das Aufheizen und den Heizbetrieb während der Belegungszeit Heizenergie verbraucht. Da die Aufheizdauer im Normalfall bedeutend grösser ist als die Belegungszeit, ist offensichtlich, dass beim intermittierenden Heizbetrieb die Aufheizdauer bzw. die Aufheizgeschwindigkeit einen entscheidenden Einfluss auf den Heizenergieverbrauch hat.

In der Kirche Glarus wurde während der Heizperiode 92/93 der Einfluss der Aufheizgeschwindigkeit auf den Energieverbrauch untersucht.

Als Hilfsgrösse wurde für jede Aufheizung der spezifische Energieverbrauch pro Kelvin Temperaturerhöhung berechnet (kWh/K). Somit sind die sehr unterschiedlichen Aufheizarten miteinander vergleichbar. Das Aussenklima während dem Heizbetrieb wurde für die Auswertungen vernachlässigt, da dessen Einfluss auf den kurzfristigen Energieverbrauch eher gering ist. Die langfristigen Klimaeinflüsse werden jedoch mit der Raumlufttemperatur vor dem Heizbeginn automatisch berücksichtigt.

Fig. 80 Spezifischer Stromverbrauch pro Kelvin Temperaturerhöhung (kWh/K) bei unterschiedlichen Aufheizgeschwindigkeiten

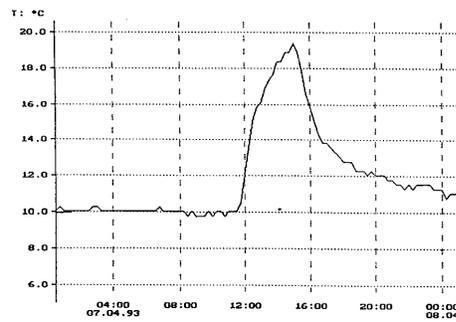


Aus Abbildung 80 ist ersichtlich, dass durch die Verkürzung der Aufheizzeit der Energieverbrauch reduziert werden kann.

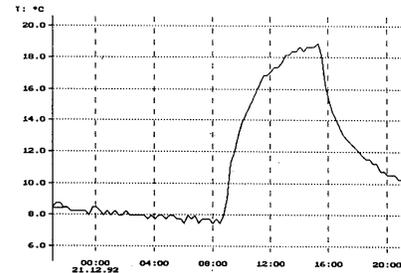
Auf der folgenden Seite werden einige, bezüglich Energieverbrauch und Aufheizgeschwindigkeit extreme Aufheizvorgänge graphisch wiedergegeben.

Aufheizvorgänge in der evangelischen Kirche Glarus (in der Reihenfolge nach zunehmendem spezifischem Stromverbrauch):

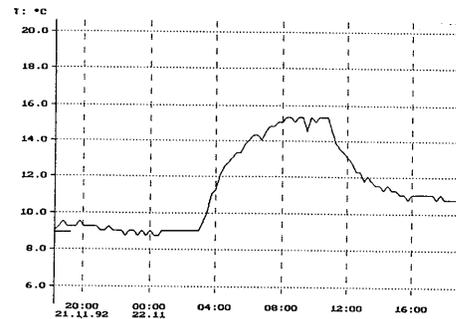
- Fig. 81: 7.4.93 Aussentemperatur ca. 6 °C, extrem schneller Temperaturanstieg von 3,0 K/h, Stromverbrauch total 836 kWh = => spezifischer Stromverbrauch 111 kWh/K



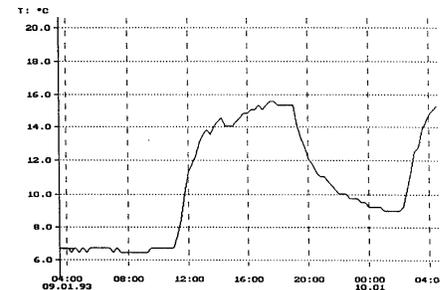
- Fig. 82: 21.12.93 Aussentemperatur ca. 3 °C, schneller Temperaturanstieg von 2,0 K/h, Stromverbrauch total 1532 kWh => spezifischer Stromverbrauch 139 kWh/K



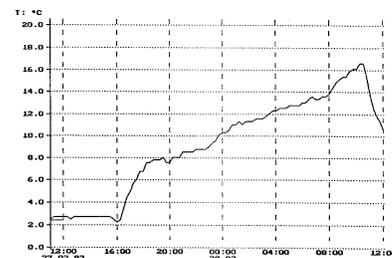
- Fig. 83: 22.11.92 Aussentemperatur ca. 4°C, langsamer Temperaturanstieg von 0,97 K/h, Stromverbrauch total 1264 kWh => spezifischer Stromverbrauch 201 kWh/K



- Fig. 84: 9.1.93 Aussentemperatur ca. 3 °C, extrem buckelförmiger Temperaturanstieg von 1,17 K/h, Stromverbrauch total 2236 kWh => spezifischer Stromverbrauch 263 kWh/K



- Fig. 85: 28.2.93 Aussentemperatur ca. -2 °C, extrem langsamer Temperaturanstieg von 0,77 K/h, Stromverbrauch total 3740 kWh => spezifischer Stromverbrauch 277 kWh/K



## Hinweise und Tips

- Rasches Aufheizen benötigt weniger Energie als langsames Aufheizen.
- Geradlinige anstatt buckelförmige Temperaturanstiege sind energetisch optimaler und auch aus bauphysikalischer Sicht, erwünscht.

## 6. Berechnungen

### 6.1 Energiekennzahl nach der SIA-Empfehlung 18014 [18]

#### Grundsätzliches

In der Schweiz wurde die Energiekennzahl erstmals 1976 in einer SIA-Dokumentation publiziert. In der Folge fand die Energiekennzahl als Mittel zur groben Beurteilung des energetischen Zustandes und des Benutzerverhaltens bei bestehenden Gebäuden eine breite Anwendung.

Der Vorzug der Energiekennzahl liegt in der einfachen und raschen Anwendbarkeit. Die Aussagekraft der Energiekennzahl ist gross, wenn Gebäude mit einheitlicher und gleicher Nutzung untereinander verglichen werden (Erfahrungswerte), also z.B. bei Wohn-, Schul- und Bürogebäuden.

Die Energiekennzahl dient verschiedenen Zwecken:

- \* Beurteilung des Energieverbrauches eines bestehenden Gebäudes (Grobanalyse)
- \* Periodische Kontrolle des Energieverbrauches
- \* Erfolgskontrolle nach energetischen Sanierungen
- \* Prognose des künftigen Energieverbrauches bei Neubauprojekten (Energiebilanz)
- \* Energetische Kontrolle eines Neubaus nach dessen Inbetriebnahme (ab dem zweiten Betriebsjahr).

Die Energiekennzahlen können nur innerhalb desselben Nutzungstypes miteinander verglichen werden, d.h. beispielsweise dass die Energiekennzahlen von verschiedenen Kirchen einen Vergleich erlauben, aber ein Vergleich zwischen Kirchen und Wohnbauten nicht ohne weiteres möglich ist.

Die Energiekennzahl eines Gebäudes mit mehreren unterschiedlichen Nutzungsbereichen wird beurteilt, indem die Erfahrungswerte der verschiedenen Nutzungen über deren Flächenanteil gewichtet werden.

Bei Vergleichen von Energiekennzahlen innerhalb eines Nutzungstyps sind das Heizsystem und der Endenergieträger (Elektrizität, Gas, Öl usw.) zu beachten.

Der Einfluss der Lage (Standort des Gebäudes) ist im Mittelland von untergeordneter Bedeutung.

Die jährlichen Klimaschwankungen beeinflussen den Heizenergieverbrauch. In der Praxis begnügt man sich mit der Korrektur über die Heizgradtage (Heizgradtage siehe Anhang A7). Eine genaue Korrektur ist schwierig, weil mit den Heizgradtagen nur die Temperaturabweichungen erfasst sind, nicht jedoch geänderte Einflüsse von Sonne und Wind.

Der Energieverbrauch wird, speziell bei Kirchen, stark von der Raumhöhe, der Teilzeitnutzung und der Raumtemperatur beeinflusst. Um die Aussagekraft der Energiekennzahl zu verbessern, werden Korrekturfaktoren für die Berechnung der Energiebezugsfläche verwendet.

#### Definition der Energiekennzahl E

Die Energiekennzahl ist ein Mass für den spezifischen Energieverbrauch eines Gebäudes, wie er sich aus dem Zusammenwirken des Baukörpers, der Haustechnikanlagen, dem Benutzerverhalten und dem lokalen Klima ergibt.

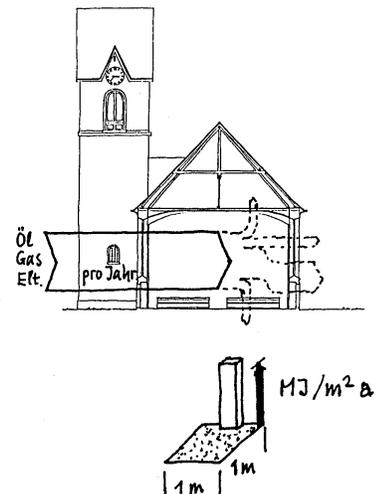


Fig. 86 Definition Energiekennzahl

## Berechnung der Energiekennzahl

Die Energiekennzahl E (ohne Index) ist die Summe "Σ" aller in einem Gebäude während eines Jahres verbrauchte Endenergie "B" in MJ (Megajoule) dividiert durch die Energiebezugsfläche "EBF" des Gebäudes in m<sup>2</sup>.

$$E = \frac{3,6 \cdot \sum B}{EBF} \quad [\text{MJ/m}^2\text{a}]$$

wobei:

ΣB = jährlicher Endenergie-Verbrauch [kWh]

EBF = Energiebezugsfläche [m<sup>2</sup>]

Die Energiekennzahl E setzt sich aus der Summe der Teilenergiekennzahlen der verschiedenen Energieträger (Öl, Gas, Elektrizität) zusammen:

$$E = E_{\text{ÖL}} + E_{\text{Gas}} + E_{\text{EL}} + \dots$$

Da für die verschiedenen Energieträger ein uneinheitlicher Primärenergiebedarf erforderlich ist, bis sie als Endenergie genutzt werden können, ist eine Addition aber wenig sinnvoll.

Häufig wird die Energiekennzahl auch nach der Nutzung gegliedert:

$E_{\text{Heizen}}$  für Raumheizung

$E_{\text{Wärme}}$  für Heizen und Warmwasser

$E_{\text{LKP}}$  für Licht, Kraft, Prozesse

Im Folgenden wird gezeigt, wie die Energiekennzahl hergeleitet nach der SIA-Empfehlung 180/4 bei beheizten Kirchen angewendet werden kann.

### \* Energiebezugsfläche EBF

Die Energiebezugsfläche ist die Summe aller oberund unterirdischen Geschossflächen, für deren Nutzung ein Beheizen oder Kühlen notwendig ist.

Die Energiebezugsfläche wird brutto, das heisst mit den äusseren Abmessungen im Grundriss, einschliesslich begrenzender Wände und Brüstungen, nach der SIA-Empfehlung 416 berechnet.

Windfänge, Sakristeien, Mesmerräume zählen zur EBF, auch wenn sie nicht beheizt werden. Ebenfalls gehören gekühlte Räume für die Leichenaufbewahrung zur EBF. Die Flächen von innenliegenden Emporen müssen bei der Berechnung der EBF nicht extra ermittelt werden, da die Korrektur über die Raumhöhe erfolgt.

### \* Jährlicher Endenergieverbrauch

Der Verbrauch wird für eine jährliche Heizperiode, z.B. 1. Juli .. 30. Juni aufgrund von Rechnungen, Lieferscheinen oder Zählerablesungen erfasst.

Da bei vielen Kirchen nur ein Stromzähler vorhanden ist, wird in der Berechnung einheitlich der gesamte Jahresverbrauch eingesetzt. Konsequenterweise muss dann, wenn für den allgemeinen Verbrauch ein separater Zähler vorhanden ist, dieser Energiebezug zum Strombezug für das Heizen zu addieren.

Der Allgemein-Anteil beträgt bei elektrisch beheizten Kirchen rund 5 bis 10 % des Jahresverbrauches (Erfahrungswert) und beeinflusst die Energiekennzahl nur unbedeutend.

Da Energielieferungen und Abrechnungen oft nicht in jedem Jahr am gleichen Datum erfolgen, müssen diese in geeigneter Art auf ein Jahr umgerechnet werden.

Die Umrechnung kann mit dem gleichen Rechengang wie die nachfolgend beschriebene Korrektur der jährlichen Klimaschwankungen durchgeführt werden.

### \* Jährliche Klimaschwankungen

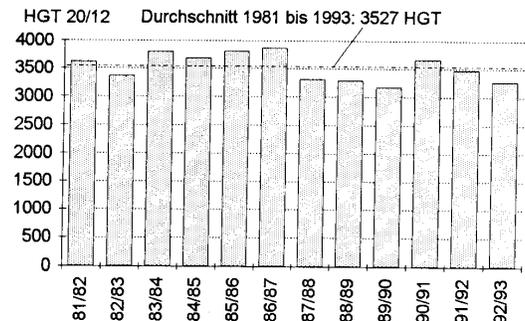
Die jährlichen Klimaschwankungen beeinflussen den Energieverbrauch und damit auch die Energiekennzahl.

Fig. 87 Heizgradtage 20/12 von Zürich-SMA

Heizgradtage (HGT): Begriffserklärung Anhang A 7

Eine Klimakorrektur des jährlichen Energieverbrauchs über die HGT verbessert im allgemeinen die Genauigkeit des Resultates:

- Wird der Energieverbrauch aus Verbrauchsangaben über mehrere Jahre als Durchschnitt ermittelt, können die jährlichen Klimaschwankungen bei Grobanalysen über das ganze Ge-



bäude vernachlässigt werden. Bei Feinanalysen mit Schwerpunkt Heizsystem ist jedoch eine Korrektur sinnvoll.

- Bei jährlichen Verbrauchs- und Erfolgskontrollen ist eine Berücksichtigung der Klimaschwankungen im allgemeinen sinnvoll.
- Bei der Berechnung des künftigen Verbrauchs von Neubauten (Energiebilanz) werden langfristige mittlere Klimadaten nach der SIA-Empfehlung 380/1 bzw. 381/3 verwendet.

Im Anhang A7 sind Tabellen mit den realen Heizgradtagen einiger Klimastationen der Schweiz zu finden. Mittels den dort angegebenen HGT-Summen über mehrere Jahre kann die Klimakorrektur auf einfache Art und ohne grossen Rechenaufwand erfolgen.

Obwohl bei Kirchen die HGT 18/10 am ehesten zutreffen, wurden für die Summenbildungen aus praktischen Gründen die HGT 20/12 verwendet, da vorwiegend nur diese als Monatswerte publiziert werden. Da bei der Normierung des Energieverbrauchs das Verhältnis von zwei HGT-Werten in die Berechnung eingeht, ist der Unterschied gering. Die HGT 20/12 Werte können somit für diesen Zweck ohne Bedenken anstelle der 18/10-Werte verwendet werden.

Umrechnung auf Jahresverbrauch:

Die vorstehende Rechnung für die Klimakorrektur des Energieverbrauchs hat sich bei Gebäuden mit Elektroheizungen als speziell praktisch erwiesen um den Verbrauch klimanormiert auf ein ganzes Betriebsjahr umzurechnen. So müssen z.B. nur die Zählerstände vom beliebigen Anfang und Ende einer mehrjährigen Messperiode zur Verfügung stehen. Die Addition über unzählige Abrechnungsperioden entfällt somit.

Mit der vorliegenden Berechnungsart wird der gesamte Jahresverbrauch klimanormiert. Eigentlich wäre dies nur für den Heizenergieverbrauch zulässig. Da jedoch der allgemeine Verbrauch verhältnismässig klein ist, hat diese Vereinfachung wenig Einfluss auf das Ergebnis.

#### \* Korrekturfaktoren zur EBF

Bei Gebäuden mit komplexer Nutzung wird nach der SIA-Empfehlung 180/4 die Bewertung der EBF mittels Korrekturfaktoren empfohlen. Damit wird die Aussagekraft und Vergleichbarkeit der Energiekennzahlen verbessert.

Mit den Korrekturfaktoren wird der individuellen Nutzung und der Art (Raumhöhe) des Gebäudes Rechnung getragen.

Zur Vereinfachung der Berechnung wird die Annahme getroffen, dass für eine oder mehrere Belegungen pro Tag der Raum an diesem Tag normal beheizt wird. Ausserhalb den Belegungen wird von einer minimalen Temperierung des Raumes ausgegangen (dies bedeutet aber nicht, dass Kirchen ausserhalb der Belegung geheizt werden sollten!).

Somit erhalten häufig belegte Räume einen Bonus im Vergleich zu den wenig belegten.

$$\bar{B}_i = \sum B_i \cdot \frac{\overline{\text{HGT}}}{\sum \text{HGT}_{\text{Ende}} - \sum \text{HGT}_{\text{Anfang}}} \quad [\text{kWh/a}]$$

wobei

$\bar{B}_i$  = jährlicher Energieverbrauch (klimanormiert)

$\sum B_i$  = Energieverbrauch der Beobachtungsperiode

$\overline{\text{HGT}}$  = langjährige HGT 20/12 aus der SIA-Empfehlung 380/1

$\sum \text{HGT}_{\text{Ende}}$  = aufsummierte HGT <sup>1)</sup> am Ende der Beobachtungsperiode

$\sum \text{HGT}_{\text{Anfang}}$  = aufsummierte HGT <sup>1)</sup> am Anfang der Beobachtungsperiode

<sup>1)</sup> siehe Anhang A 7

$$E = \frac{3,6 \cdot \sum B}{\text{EBF} \cdot f_z \cdot f_t \cdot f_h} \quad [\text{MJ/m}^2\text{a}]$$

wobei:

$\sum B$  = jährlicher Endenergie-Verbrauch [kWh]

EBF = Energiebezugsfläche [m<sup>2</sup>]

Korrekturfaktoren:

$f_z$  = Teilzeitnutzung [-]

$f_t$  = Temperatur bei Beheizung [-]

$f_h$  = Raumhöhe [-]

Bei Feinanalysen von Kirchen drängt sich deshalb die Korrektur für Teilzeitnutzung, gemischte Nutzung und grosse Raumhöhen auf.

Als zusätzliche Information ist jeweils anzugeben, mit welchen Korrekturfaktoren die Energiekennzahlen berechnet wurden.

#### - Teilzeit-Korrekturfaktor $f_z$

Wenn ein Raum (oder ein ganzes Gebäude) nicht an allen Heiztagen beheizt wird, ist die entsprechende Geschossfläche mit dem Teilzeit-Korrekturfaktor  $f_z$  zu multiplizieren.

Für die Berechnung sind zwei Fälle vorgesehen:

- a) Zusammenhängende Nutzung während ganzer Monate oder Teilen davon: Die Abschätzung von fz erfolgt mit Tabelle 1 aus der SIA-Empfehlung 180/4, Seite 13.
- b) Wöchentliche Nutzung während der ganzen Heizsaison jeweils an gleich viel Tagen: In diesem Fall ist fz gleich dem Verhältnis der Benutzungstage zur ganzen Woche. Beispielsweise ist bei einer wöchentlichen Belegung am Samstag und Sonntag  $f_z = 2/7 = 0,29$ .  
Gelegentliche Nutzungen (Beerdigungen, kulturelle Anlässe usw.) werden in wöchentliche Anlässe umgerechnet.

Sind beide Fälle für ein Objekt zutreffend, ist  $f_z = f \cdot f_z$  (Fall a) \* fz (Fall b).

**- Temperatur-Korrekturfaktor ft**

Bei Gebäuden mit gemischter Nutzung wird die Geschossfläche der einzelnen Räume oder Nutzungszonen entsprechend der Auslegungstemperatur mit dem Temperatur-Korrekturfaktor ft bewertet.

Räume mit nicht definierter Nutzungsart, sind gemäss der SIA-Empfehlung 180/4 entsprechend ihrer Beheizung einzustufen.

Da für Kirchen keine Nutzung definiert ist, wird mit folgender Tabelle eine Einstufung für Kirchen vorgegeben.

Fig. 88 Temperatur-Korrekturfaktoren ft für Kirchen

Nutzung	ft
Kirchen, Sakristeien	
- normale Belegung	1,0
- ausserhalb Belegung	0,3
Säle, Kirchengemeindehäuser	
- normale Belegung	1,0
- ausserhalb Belegung	0,3
Temperierte und unbeheizte Räume, wie Windfänge, Eingänge, Mesmerräume usw.	0,3

Bei Teilzeit-Nutzungen müssen die ft-Werte für die Tage mit Belegung bzw. ohne Belegung gewichtet werden.

Bei Gebäuden, welche ausserhalb der Belegung nicht beheizt werden, kann mit dieser Berechnungsart eine entsprechend tiefe Energiekennzahl erwartet werden.

**- Raumhöhen-Korrekturfaktor fh**

Wo Räume mit Raumhöhen von mehr als 4 m einen wesentlichen Anteil am Jahresenergieverbrauch des Gebäudes haben, wird gemäss der SIA-Empfehlung 180/4 die Energiekennzahl wesentlich aussagekräftiger, wenn das Gebäudevolumen ebenfalls in die Berechnung eingeht.

Dies wird mit dem Korrekturfaktor  $f_h = h/h_v$  erreicht. Dabei ist h die Höhe des Raumes von OK-Fussboden zu OK-Fussboden bzw. bei Räumen, die bis unter das Dach reichen bis OK der Wärmedämmung. Als hv wird vereinfacht eine Vergleichsraumhöhe von 3 m eingesetzt.

Mit dieser Berechnungsart würde bei einer angenommenen Raumhöhe von 15 m die Energiebezugsfläche rechnerisch um das fünffache vergrössert. Da eine mittelgrosse Kirche (30 m x 16 m Grundriss) üblicher Bauart mit einer Raumhöhe von 15 m aber im Vergleich zu einer 3 Meter hohen Kirche nur rund die doppelte Oberfläche aufweist, liefert diese Berechnungsmethode unbefriedigend tiefe Energiekennzahlen, weil die Raumhöhe überbewertet wird.

In der Musterverordnung "Rationelle Energienutzung in Hochbauten" des Bundesamtes für Energiewirtschaft und der kantonalen Energiefachstellen [19], wird die Gebäudehüllenziffer eingeführt.

Nach dieser Berechnungsart darf die oben erwähnte Kirche bei einer Raumhöhe von etwa 9 m bei der Energiebilanzberechnung die doppelte Heizenergie im Vergleich zu 3 m Raumhöhe verbrauchen. Dieser Wert wird eher dem tatsächlichen Verbrauch entsprechen.

Es gilt nun die Überlegungen der Musterverordnung so auf die Berechnung der Energiekennzahl zu übertragen, dass zwischen den beiden Rechenmethoden keine Widersprüche entstehen. Nur so können die im voraus berechneten Energiebilanzen später mit dem effektiven Verbrauch verglichen werden.

Als Versuch wurde der Raumhöhen-Korrekturfaktor fh angepasst. Dieser kann bei Kirchen mit genügender Genauigkeit durch den folgenden vereinfachten Ausdruck berechnet werden:

$$f_h = \frac{h + 3}{6}$$

In der folgenden Tabelle werden die Resultate der verschiedenen Rechenmethoden bei einer nicht unterkellerten Kirche mit rechteckigem Grundriss von 30 m x 16 m einander gegenübergestellt:

Fig. 89 Vergleich von verschiedenen Rechenmethoden:

- a) Zulässiger Heizenergiebedarf nach Musterverordnung (Qh x EBF)
- b) Übliche Raumhöhen-Korrektur nach SIA-Empfehlung 180/4 (hv = 3,0 m)
- c) Neuer Vorschlag der Raumhöhen-Korrektur für Kirchen

Raumhöhe [m]	Zul. Heizenergiebedarf [%] a)	$f_h = \frac{h}{hv}$ [%] b)	$f_h = \frac{h+3}{6}$ [%] c)
3	100	100	100
6	150	200	150
9	200	300	200
12	249	400	250
15	300	500	300
18	349	600	350
21	398	700	400

Die Berechnung zeigt, dass beispielsweise eine 21 m hohe Kirche nach der Musterverordnung 4 mal mehr Energie verbrauchen darf als wenn sie nur 3 m hoch wäre.

Bei der üblichen EBF-Korrektur nach Berechnungsart b) mit hv = 3,0 m kann die gleiche Kirche bei 21 m Höhe 7 mal mehr Energie verbrauchen, bis die Energiekennzahl den gleichen Wert erreicht wie bei der 3 m hohen Kirche.

Bei der EBF-Korrektur nach Berechnungsart c) mit (h+3)/6 ergeben sich annähernd die Faktoren wie bei der Musterverordnung. Somit entspricht die (h+3)/6-Korrektur bei üblichen Kirchenräumen der verfeinerten Korrektur nach der Musterverordnung (Gebäudehüllenziffer und Raumhöhenkorrektur).

Aufgrund obiger Überlegungen wird bei Feinanalysen von Kirchen mit Elektroheizungen die EBFKorrektur mit

$$f_h = (h+3)16$$

zur Anwendung empfohlen.

### Auswertung der Fallbeispiele

Fig. 90 Auswirkungen EBF-Korrektur auf die Energiekennzahlen

Die Anwendung der vorgängig empfohlenen Formel für die Berechnung der Energiebezugsfläche (unter Berücksichtigung der Nutzung und der Gebäudeform) erlaubt es, die Energiekennzahl vorwiegend aufgrund des Benutzerverhaltens und des Dämmwertes der Gebäudehülle zu beurteilen.,

Die häufig benutzte Kirche Goldingen hat in Kolonne 6 so den zweitniedrigsten Verbrauch (gegenüber Platz 4 in Kolonne 4). Die schlecht gedämmte Kirche Wil bleibt berechtigterweise bei den hohen Verbrauchern.

Kirche	EBF 1) [m²]	h 2) [m]	Bel. 3) [-]	SIA-180/4 4) [MJ/m²·a]	SIA-180/4 5) [MJ/m²·a]	$f_h = \frac{h+3}{6}$ 6) [MJ/m²·a]
Amriswil	707	10,9	1,7/102	349	100	273
Arbon	1348	12,8/10,5	1/50	271	92	320
Glarus	1334	18/11,5	1,6/90	405	83	357
Goldingen	530	9,2	5/36	389	134	261
Steinebrunn	621	10 ... 12	2/30	229	75	230
Wil	625	10 ... 12	1/50	506	156	525

- 1) Unkorrigierte Energiebezugsfläche EBF
- 2) Raumhöhe h
- 3) Durchschnittliche Anzahl Belegungen pro Woche / vereinzelte pro Jahr
- 4) Energiekennzahl nach SIA-Empfehlung 180/4, ohne Raumhöhenkorrektur
- 5) Energiekennzahl nach SIA-Empfehlung 180/4, mit Raumhöhenkorrektur  $f_h = h/hv$  (hv = 3,0 m)
- 6) Energiekennzahl gemäss Vorschlag für Kirchen mit der Raumhöhenkorrektur  $f_h = (h+3)/6$  und Teilzeitkorrektur

### Hinweise und Tips

- Die Berechnung der Energiekennzahl kann bei Gebäuden mit Teilnutzung auf einfache Art mit dem Formular «Energiekennzahl E für Gebäude mit Teilnutzung» berechnet werden (leeres Formular im Anhang A 8.2, bzw. ausgefüllt im Anhang A 4).
- Um eine differenzierte Energiekennzahl berechnen zu können, ist eine Begehung des Objektes unumgänglich. Nur bei solchen Gelegenheiten können Differenzen aufgrund von nicht mehr aktuellen Plänen, nicht dokumentierten Änderungen der Heizungsanlage, usw. festgestellt werden.

## 6.2 Energiebedarf nach der SIA-Empfehlung 38011 [7]

### Grundsätzliches

Die SIA Empfehlung 380/1 «Energie im Hochbau» hat einen ökologisch massvollen und wirtschaftlichen Einsatz von Energie bei der Planung von Hochbauten zum Ziel. Die in der Empfehlung gestellten Anforderungen, die Planungshinweise und die Berechnungsmethoden erfassen das Gebäude als Gesamtsystem. Das optimale Zusammenwirken aller energierelevanten Faktoren steht im Vordergrund. Bau und Haustechnik sind aufeinander abzustimmen.

Im Zentrum dieser Empfehlung steht die Energiebilanz eines Gebäudes.

Fig. 91 Energiebilanz [7]

Die berechneten Werte - der Energieverbrauch pro m<sup>2</sup> und Jahr, sowie der Nutzungsgrad der Heizungsanlage - können mit vorgegebenen Grenzwerten und anzustrebenden Zielwerten, sowie mit Vergleichswerten bestehender Bauten verglichen werden.

Die wichtigsten Elemente der Energiebilanz

Der **Heizenergiebedarf** [MJ/M2a] ist der erforderliche Wärmebedarf, um ein Gebäude auf einer gewünschten, für die Gebäudekategorie typischen mittleren Raumlufthtemperatur zu halten. Er setzt sich zusammen aus dem Wärmebedarf für die Transmission und die Lüftung, abzüglich der Wärmegewinne. Die Wärmegewinne entstehen durch Sonneneinstrahlung, Personenwärme, sowie Wärme von Beleuchtung, Kraft und Prozesserl.

Die **Energiekennzahl Wärme** [MJ/M2a] gibt die dem Gebäude zugeführte Energie (z.B. Öl, Gas, Fernwärme, Elektrizität) an. Sie ist die Summe aus Heizenergiebedarf, Energiebedarf für Warmwasser und Wärmeverlusten für Erzeugung, Speicherung und Verteilung.

Der Nutzungsgrad ist ein Mass für die Güte der Wärmeerzeugung und -verteilung. Er ist das Verhältnis von Energiebedarf Wärme (= Heizenergiebedarf + Energiebedarf Warmwasser) zur Energiekennzahl Wärme.

Die Energiekennzahl Licht, Kraft, Prozesse [MJ/M2a] wird in der Regel durch den Elektrizitätsverbrauch bestimmt. Die für den Wärmebedarf verwendete Elektrizität ist in der Energiekennzahl Wärme enthalten.

Obwohl die Energiebilanz nicht zu den Hauptthemen dieses Berichtes zählt, wird sie im folgenden detailliert behandelt. Dies vorallem im Hinblick auf die Berechnung des Wärmeleistungsbedarfs und der Prognose für den Energiebedarf.

### Methode des Verfahrens

#### \* Systemanforderungen

Für grössere Neubauten steht die Energiebilanz als Systemanforderung im Vordergrund.

Für behördliche Energienachweise müssen die Projektwerte die Grenz- bzw. Zielwerte erfüllen. Hierfür wurden für verschiedene Gebäudekategorien Standardnutzungen festgelegt, z.B. mittlere Raumlufthtemperatur, Heizgrenztemperatur, Aussenluftwechselusw.

Bei Optimierungsverfahren für Neubauten oder beim Nachvollziehen der Energiebilanz eines bestehenden Gebäudes sind Nutzungswerte zu verwenden, die möglichst nah bei der bisherigen bzw. zukünftigen Nutzung liegen.

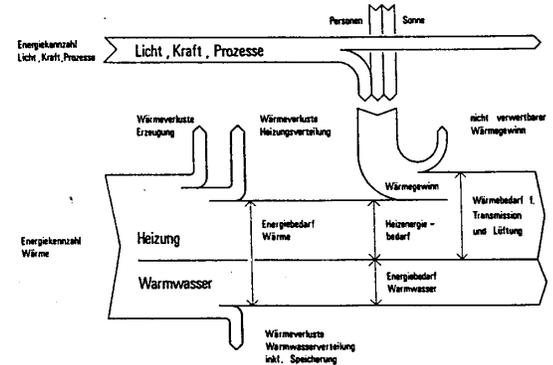
#### \* Einzelanforderungen

Bei Umbauten und kleineren Neubauten mit einer Energiebezugsfläche bis 500 M2 stehen Einzelanforderungen für Gebäudehülle, Haustechnik und Betrieb anstelle der Systemanforderungen.

### Anwendung der Empfehlung

In den vergangenen Jahren wurde die Empfehlung in grossem Umfang als Planungsinstrument und als Berechnungsgrundlage für behördliche Energienachweise verwendet.

Es stellt sich nun die Frage, wie die SIA-Empfehlung 380/1 bei elektrisch beheizten Gebäuden und im speziellen im Zusammenhang mit beheizten Kirchen angewendet werden kann und soll.



Es darf sicher davon ausgegangen werden, dass in nächster Zeit nur vereinzelt neue Kirchen gebaut werden. Weit mehr fallen die umfangreichen Sanierungen und Renovationen ins Gewicht. Dabei handelt es sich in den meisten Fällen um schützenswerte Objekte, bei welchen die Wärmedämmung nur an einzelnen Bauteilen, z.B. im Bereich des Fussbodens, der Fenster und der Decke verbessert werden kann. Für behördliche energetische Nachweise stehen für solche Fälle demzufolge eher die Einzelanforderungen im Vordergrund.

Beim Nachweisverfahren mit Systemanforderungen ist die Standardnutzung für die mittlere Raumtemperatur-Auslegung "Industrie" zu verwenden. Damit werden für Neubauten und Gesamtanierungen aus den 60-iger Jahren plausible Resultate erreicht.

Soll die Energiebilanz für alte, historische Kirchen mit schwerer Bauweise - abgestimmt auf die bisherige sporadische Belegung und den bisherigen Energieverbrauch - rekonstruiert werden, eignen sich die Vorgaben der Standardnutzung in der SIA-Empfehlung 380/1 nicht.

Im übernächsten Kapitel (Berechnung des effektiven Heizenergiebedarfs) werden daher sinngemäss zu den Standardnutzungen nach SIA 380/1 die für Kirchen zu gebrauchenden Standardwerte vorgeschlagen. Diese können verwendet werden, wenn für die Berechnung des Heizenergiebedarfs keine genaueren Nutzungsdaten vorliegen.

Bei schutzwürdigen Kirchen werden oft auch Ausnahmebestimmungen bezüglich der Wärmedämmung angewendet. Trotz gewissen Erleichterungen besteht aber auch in Kirchen die Pflicht, dass die Energie sparsam und rationell angewendet wird. Dies trifft ganz speziell für die in Kirchen oft verwendete hochwertige elektrische Energie zu.

## Energiebilanz bei elektrisch beheizten Kirchen

Der Energiebedarf für Warmwasser ist in Kirchen im allgemeinen gering, da Warmwasser nur gelegentlich für Reinigungszwecke benötigt wird. Im Verhältnis zum Wohnbereich sind meistens nur kleine Boiler oder Durchlauferhitzer installiert. Der Energiebedarf für Warmwasser wird deshalb nicht weiter behandelt.

Bei direkt beheizten Kirchen kann auch kein Nutzungsgrad berechnet werden, da keine Wärmeerzeugungs- und Verteilverluste vorhanden sind. Eventuell vorhandene Wärmespeicher befinden sich üblicherweise im beheizten Raum.

Bei elektrisch beheizten Kirchen reduziert sich demzufolge die Energiebilanz auf die Berechnung des Heizenergiebedarfs.

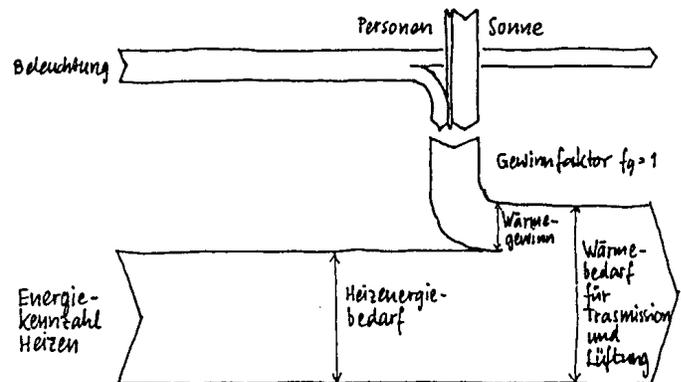


Fig. 92 Energiebilanz einer elektrisch beheizten Kirche

## Bedeutung des effektiven Heizenergiebedarfs

Berechnungen mit effektiven Daten eignen sich für die Feinanalyse des bisherigen als auch für die Prognose des zukünftigen Verbrauchs.

Die Resultate müssen klar bezeichnet werden, mit welchen Randbedingungen sie berechnet wurden. Dies trifft auch für die Energiebilanz und Energiekennzahlen zu, da diese im Normalfall mit Standard-Parametern berechnet werden.

Es gilt zu berücksichtigen, dass Berechnungen mit objektspezifischen Parametern nicht mehr ohne weiteres untereinander verglichen werden können.

## Berechnung des effektiven Heizenergiebedarfs

Auf die Wiedergabe der einzelnen Formeln für die Berechnung des Heizenergiebedarfs wird an dieser Stelle verzichtet. Die Berechnung wird heute vorwiegend mit PC-Programmen durchgeführt. Für die Handrechnung steht das SIA-Formular Nr. 1096 zur Verfügung.

Wenn die Abweichung zwischen Berechnung und dem tatsächlich Verbrauch möglichst klein sein soll, müssen die Parameter plausibel angepasst werden.

Im folgenden wird kurz erläutert, nach welchen Überlegungen die Parameter für die Berechnung bestimmt werden können. Für einzelne Objekte werden eventuell differenzierte Überlegungen notwendig sein. Es werden nur diejenigen Werte erwähnt, bei welchen ein Unterschied zur SIA-EMPfehlung 380/1 besteht.

## \* Tatsächliche Nutzung

### - **Mittlere Raumlufttemperatur $t_i$**

Die mittlere Raumtemperatur kann anhand von Messungen über eine ganze Heizperiode oder von gemittelten einzelnen Messungen oder genauen Angaben des Bedienungspersonals bestimmt werden. Dabei ist die effektive mittlere Raumtemperatur gemeint, welche sich aufgrund des Heizbetriebes und der äusseren Einflüsse (Aussentemperatur, Sonne, Wind usw.) ergibt.

Standardwert bei Berechnungen für neue Objekte:  $t_i = 18\text{ °C}$

### - **Heizgrenztemperatur $t_g$**

Da in Kirchen im Allgemeinen keine nennenswerten inneren Wärmequellen vorhanden sind, wird die Heizgrenze bei eher höheren Temperaturen, das heisst früher erreicht, als man sie aufgrund der im Vergleich zum Wohnbereich tieferen Raumlufttemperaturen annehmen würde. So wurde z.B. in der evangelischen Kirche Wil bei einer mittleren Aussentemperatur (24-h Mittelwert) von  $10,4\text{ °C}$  am 15.10.93 geheizt.

Es gilt zu berücksichtigen, dass aus praktischen Gründen nur die nach SIA 380/1 definierten Heizgrenztemperaturen in Frage kommen. Eine Heizgrenztemperatur von  $10\text{ °C}$  wird am ehesten dem tatsächlichen Betrieb entsprechen.

### - **Aussen-Luftwechsel $n$**

Bei der Berechnung des Wärmeleistungsbedarfs (Kapitel 6.4) wird erwähnt, dass der natürliche Luftwechsel bei Kirchen nur rund 10 bis 40 % des Luftwechsels von neuen Mehrfamilienhäusern beträgt. Deshalb kann auch bei der Berechnung des Heizenergiebedarfs mit reduziertem Aussenluftwechsel gerechnet werden. Die folgenden Schätzungen können für die Bestimmung des Aussenluftwechsels bei Kirchenbauten dienen, wenn keine detaillierten Angaben vorhanden sind:

- vorwiegend festverglaste Fensterflächen, luftdichte Decke (z.B. Gipsdecke), relativ dichte Türen  
 $n = 0,05\text{ h}^{-1}$

- vorwiegend verschraubte Fensterflächen, luftdichte Decke (z.B. Gipsdecke), relativ dichte Türen  
 $n = 0,1\text{ h}^{-1}$

- vorwiegend verschraubte Fensterflächen, mässig luftdichte Decke (z.B. Holzdecke), relativ undichte Türen  
 $n = 0,2\text{ h}^{-1}$

### - **Personenbelegung $P$**

Die Personenbelegung berechnet sich aus der Energiebezugsfläche dividiert durch die Anzahl Personen während der Belegung, z.B.

$$P = 530\text{ m}^2 : 90\text{ Personen} = 5,9\text{ m}^2/\text{Pers.}$$

Die interne Wärme durch die Personenbelegung ist für die Berechnung des Heizenergiebedarfs wegen der kurzen Belegungszeit in den meisten Fällen nicht von Bedeutung und kann ohne grossen Einfluss auf das Resultat vernachlässigt werden.

### - **Nutzungszeit $h_p$**

Die Nutzungszeit bestimmt die interne Wärme von Personen und die erhöhten Lüftungsverluste während der Belegung. Sie wird in Anzahl Stunden pro Tag angegeben, z.B. bei 5 Belegungen während je einer Stunde in der Woche

$$h_p = 5 \cdot 1\text{ h} : 7\text{ Tage} = 0,7\text{ h/Tag}$$

### - **Elektrizitätsverbrauch $E_e$**

Bei elektrisch beheizten Kirchen ist der übrige Elektrizitätsverbrauch meistens gering und kann vernachlässigt werden. Der grösste Anteil (Beleuchtung) fällt ohnehin in der Kirche während der Belegung an und wird somit für Heizzwecke mitgenutzt. Grössere Verbraucher, welche es eventuell noch zu beachten gilt, sind Aussenbeleuchtungen, Scheinwerfer, Kühlgeräte für die Leichenaufbewahrung usw.

## • **Klimadaten**

### - **Mittelwerte der Aussentemperatur $t_a$**

Die mittlere Aussentemperatur während der Heiztage ist von der Heizgrenze abhängig. Siehe Klimadaten SIA 380/1, Spalte für  $t_g\ 10\text{ °C}$ .

### - **Heiztage $HT$**

Diese sind analog wie  $t_a$  von der Heizgrenze abhängig.

### - **Heizgradtage $HGT$**

Für die Berechnung des effektiven Heizenergiebedarfs werden die Heizgradtage durch  $HT \cdot (t_i - t_a)$  bzw.  $HT (t_i - t_m)$  ersetzt.

### - **Strahlungswerte**

Zutreffend sind die Werte für die Globalstrahlung während den Heiztagen 18/10.

## • Rechenwerte

### - Temperaturen $t_m$ unbeheizter Nebenzonen

Die Estrich- und Erdreichtemperaturen  $t_m$  werden nach SIA 380/1, Tabelle D 2-1 eingesetzt. Für die Transmissionsverluste des Bodens ergeben die linearen k-Werte realistische Verbrauchsanteile.

### - Gewinnfaktor $f_g$ für freie Wärme

Da der Wärmegewinn bei tiefen Raumlufttemperaturen voll nutzbar ist, wird  $f_g = 1$  eingesetzt.

## • k-Werte

Bei Sonneneinstrahlung oder Änderungen der Aussen- bzw. der Raumluft sind die Aussenbauteile ständigen zeitlichen Änderungen des Temperatur- und Wärmestromes unterworfen. Der k-Wert beschreibt aber den Wärmedurchgang durch ein Bauteil im stationären Zustand, d.h. bei zeitlich gleichbleibenden Temperaturdifferenzen. Will man den instationären Wärmefluss erfassen, dann müssten unter anderem die Wärmespeicherfähigkeit der Bauteile berücksichtigt werden.

Der Einfluss der Sonneneinstrahlung auf nicht transparente Bauteile bewirkt einen reduzierten Transmissionswärmeverlust. Dies hat jedoch einen geringen Einfluss auf den jährlichen Heizenergiebedarf.

Die Wärmegewinne durch die Fenster können bei Kirchen mit grossen Speichermassen wegen der Absorption durch die Oberflächen von Boden, Wand und (Gips-) Decke, gut ausgenützt werden. Auf die monatlichen Bilanzen, speziell in der Übergangszeit, hat die Sonneneinstrahlung einen beträchtlichen Einfluss.

Die Auswertung der Energiebilanzen von mehreren Kirchen hat ergeben, dass bei Energiebilanzberechnungen aus den oben genannten Gründen, bei sehr dicken Wänden (> 1,0m) eine

### **k-Wert Reduktion von ca. 10 bis 15 %**

von dem nach Norm SIA 180 berechneten Wert vorgenommen werden kann.

Für die Wärmeverluste ins Erdreich wird auf die Methode mit linearen k-Werten nach TH-K-77 verwiesen (siehe Handbuch BfK «Planung und Projektierung wärmetechnischer Gebäudesanierungen», [4]).

## • Raumhöhenkorrektur $f_h$ zur Energiebezugsfläche

Bei grossen Raumhöhen wird die Energiebezugsfläche für die Berechnung des Heizenergiebedarfs korrigiert. Es wird der gleiche Raumhöhen-Korrekturfaktor wie für die Berechnung der Energiekennzahl in Kapitel 6.1 beschrieben verwendet.

## Auswertung Fallbeispiel

Die Energiebilanz der Kirche Goldingen (siehe Anhang A4, Seite 124) zeigt, dass die üblichen Rechenmethoden auch bei Kirchen angewendet werden können.

Unter Berücksichtigung der tatsächlichen Daten wich der berechnete Heizenergiebedarf für die Messperiode über 167 Tage nur geringfügig vom effektiven Verbrauch ab.

## 6.3 Matrix Elektroverbrauch

### Grundsätzliches

Die Matrix Elektroverbrauch eignet sich für die Verbrauchsanalyse von bestehenden Gebäuden als auch für die Analyse von betrieblichen und technischen Änderungen im Zusammenhang mit der Heizungsanlage.

Für die Prognose des Energieverbrauchs von neuen Gebäuden ist sie nicht sehr geeignet, da die betrieblichen Randbedingungen meistens nicht genügend genau bekannt sind.

Durch Zusammenzählen des Energieverbrauchs der einzelnen Verbraucher wird der Elektrizitätsverbrauch pro Jahr errechnet. Dieser muss mit dem Verbrauch gemäss EW-Abrechnung übereinstimmen.

### Erfassung der Daten

Alle elektrischen Verbraucher müssen erfasst werden. Dazu zählen beispielsweise:

- Direktheizkörper
- Bodenheizungen
- Stillstandsverluste von Regelgeräten, Regeltransformatoren usw.
- Innenbeleuchtung
- Aussenbeleuchtung
- Dachrinnen- und Ablaufrohrheizungen
- Alarmeinrichtungen
- Turmuhr-Heizungen
- Warmwasserspeicher (Boiler)
- Lätwerk

Ihre Leistung muss entweder gemessen oder anhand von Typenschildern bestimmt werden. Je nach Verbrauchertyp muss zwischen der Leistung im Standby (Bereitschaft) und im Betrieb unterschieden werden.

Der Heizbetrieb wird zur Erfassung der Leistung und der Betriebsstunden aus praktischen Gründen aufgeteilt in:

- kalte Winterwitterung
- normale Winterwitterung
- Übergangszeit.

Spezielle Beachtung ist bei allen Verbrauchern mit hohen Betriebsstunden angebracht, z.B. bei dauernd eingeschaltete Regeltransformatoren, Aussenbeleuchtungen usw.

Die jährlichen Betriebsstunden werden anhand von Betriebsstundenzählern, Befragungen, oder Schätzungen festgelegt. Wenn nur gelegentlich Warmwasser verwendet wird, können bei Warmwasserspeichern näherungsweise 2 bis 3 Stunden Aufheizzeit pro Tag eingesetzt werden.

### Berechnungen

Wenn alle Randbedingungen bekannt sind, werden die einzelnen Leistungen mit den jährlichen Betriebsstunden multipliziert. Durch Addition der einzelnen Energieverbräuche wird der Elektrizitätsverbrauch pro Jahr berechnet. Die berechneten Verbrauchsanteile müssen aufgrund plausibler Annahmen und weiteren Hinterfragungen solange interpoliert werden, bis das Total der Multiplikationen mit dem effektiven Jahresverbrauch übereinstimmt.

### Auswertung der Fallbeispiele

Im Anhang A 4 ist die «Matrix Elektroverbrauch» der Kirche Goldingen eingereicht. Diese wurde unter anderem benützt, um den Stromverbrauch der Emporenheizung abzuschätzen, welche infolge eines Installationsfehlers vor dem Elektrozähler angeschlossen war.

### Hinweise und Tips

- Anwendungsbeispiel für «Matrix Elektroverbrauch» siehe Fallbeispiel Goldingen, Anhang A4, Seite 135
- Leistungsmessung mit der Stoppuhr und dem Elektrozähler: siehe Kapitel 9.1.

## 6.4 Wärmeleistungsbedarf von Gebäuden nach der SIA-Empfehlung 38412 [20]

### Grundsätzliches

Bei nur zeitweise beheizten Räumen und Gebäuden wird beim Aufheizen, infolge der Speichierfähigkeit der einzelnen Bauteile, der thermische Gleichgewichtszustand nicht erreicht. Demzufolge kann auch das normale Berechnungsverfahren für den Wärmeleistungsbedarf, welches von stationären Wärmeströmen ausgeht, nicht angewendet werden.

Für die Bestimmung des Wärmeleistungsbedarfs beim Aufheizen wurden im Laufe der Zeit die verschiedensten Gleichungen (Kirchenformeln) entwickelt, die sich in ihrem Aufbau und dementsprechend im zahlenmässigen Ergebnis stark unterscheiden. Die älteste bekannte Formel stammt aus dem Jahre 1893.

Dabei gilt es zu beachten, dass der Wärmeleistungsbedarf die im Heizsystem selbst liegenden Verluste oder von ihm erzeugten Verluste nicht enthält. Bei Gebäuden mit elektrischer Direktheizung entstehen jedoch keine Erzeugungsverluste.

Im folgenden wird die Anwendung der SIA-Empfehlung 384/2 zur Berechnung des Wärmeleistungsbedarfs von Kirchen erläutert.

In den meisten praktischen Fällen kann der Wärmeleistungsbedarf mit ausreichender Genauigkeit nach dem in der SIA-Empfehlung 384/2 aufgeführten Näherungsverfahren für selten beheizte Räume angewendet werden. Danach berechnet sich der Wärmeleistungsbedarf  $\dot{Q}_h$  aus dem Transmissions-Wärmeleistungsbedarf  $\dot{Q}_T$  und dem Lüftungs-Wärmeleistungsbedarf  $\dot{Q}_L$  minus den internen Wärmequellen  $\dot{Q}_I$ .

$$\dot{Q}_h = \dot{Q}_T + \dot{Q}_L - \dot{Q}_I \quad [W]$$

$\dot{Q}_T$  wird bei selten beheizten Räumen mit einem speziellen Verfahren berechnet (siehe nächstes Kapitel).

Detaillierte Angaben über die Berechnung des Wärmeleistungsbedarfs von Gebäuden sind in der SIA-Empfehlung 384/2, Ausgabe 1982, zu finden.

Auf die früher verwendeten Methoden mit Zuschlagsfaktoren ist, wegen ihrer kumulierenden Wirkung, zu verzichten.

Der Wärmeleistungsbedarf  $\dot{Q}_h$  eines Gebäudes ist bei der Planung des Heizungssystems eines Gebäudes von Bedeutung (siehe Kapitel 7).

#### Transmissions-Wärmeleistungsbedarf $\dot{Q}_T$ von selten beheizten Räumen

Selten beheizte Räume - dazu gehören auch die meisten Kirchen - beanspruchen die grösste Wärmeleistung für das Aufheizen des Raumes. Bei der Berechnung des Transmissions-Wärmeleistungsbedarfs  $\dot{Q}_T$  wird bei solchen Gebäuden deshalb zwischen dem Wärmeleistungsbedarf  $\dot{Q}_F$  der nichtspeichernden Bauteile (Fenster, Türen) und dem Wärmeleistungsbedarf  $\dot{Q}_W$  der wärmespeichernden Bauteile (Wände, Böden, Decken, Säulen usw.) unterschieden.

$$\dot{Q}_T = \dot{Q}_F + \dot{Q}_W \quad [W]$$

#### • Nichtspeichernde Bauteile

Übliche Formel für die Berechnung des Wärmeleistungsbedarfs (SIA 384/2, Seite 23):

$$\dot{Q}_F = \sum [A \cdot k \cdot (t_i - t_a)] \quad [W]$$

wobei

A = Fläche des Bauteils [m<sup>2</sup>]; Decken, Böden, Wände mit lichten Raummassen, bzw. Geschosshöhen; Türen und Fenster mit Mauerlichtmassen

k = k-Wert [W/m<sup>2</sup>·K]

t<sub>i</sub> = Raumlufttemperatur [°C]; im Normalfall 15 ... 17 °C verwenden, Wert in Absprache mit der Bauherrschaft bestimmen

t<sub>a</sub> = Temperatur [°C] an der Aussenseite des Bauteils gemäss SIA 384/2, Ziffer 2.1 (Aussenlufttemperatur), 2.3 (Erdreich) oder 2.4 (unbeheizte Räume)

## \* Speichernde Bauteile

Näherungsformel für speichernde Bauteile (SIA 384/2, Seite 42):

$$\dot{Q}_W = \sum [A_W \cdot \bar{k}_z \cdot (t_i - t_0)] \quad [\text{W}]$$

wobei

$A_W$  = Oberfläche der wärmespeichernden Bauteile [m<sup>2</sup>],

$\bar{k}_z$  = von der vorgegebenen Aufheizdauer  $z$  abhängiger mittlerer  $k$ -Wert [W/m<sup>2</sup>·K], gemäss SIA 384/2, Figur 9, Seite 43.

$t_i$  = mittlere Raumlufthtemperatur [°C], gleicher Wert wie für nichtspeichernde Bauteile verwenden

$t_0$  = mittlere Raumlufthtemperatur [°C] vor dem Aufheizen, z.B. 7 °C

## Lüftungs-Wärmeleistungsbedarf QL

Der Lüftungswärmebedarf ist erforderlich, um die kontrolliert als auch unkontrolliert einströmende Aussenluft auf Raumlufthtemperatur zu erwärmen. Die unkontrollierte (natürliche) Lüftung hängt wesentlich von den konstruktionsbedingten Fugen bei Fenstern und Türen, den Spalten und Ritzen in der Gebäudehülle, sowie den herrschenden Druckverhältnissen ab.

Die treibenden Kräfte für den natürlichen Luftaustausch sind einerseits die Temperaturdifferenzen zwischen Raum- und Aussenluft und andererseits der Wind, welcher auf den angeströmten Gebäudfassaden einen Überdruck und auf der windabgekehrten Gebäudeseite einen Unterdruck erzeugt. Diese Druckdifferenzen nehmen zu mit der Höhe über Boden.

Der Luftaustausch ist erhöht, wenn ein Gebäude quer zur Hauptwindrichtung steht und Fenster und Türen auf der windzugekehrten bzw. der windabgekehrten Seite aufweist.

Der Lüftungswärmeleistungsbedarf berechnet sich mit

$$\dot{Q}_L = \frac{\rho \cdot c_p}{3600} \cdot \dot{V}_L \cdot (t_i - t_a) \quad [\text{W}]$$

wobei

$\rho$  = Dichte der Raumlufthtemperatur [kg/m<sup>3</sup>]

$c_p$  = spez. Wärme der Raumlufthtemperatur [J/kg · K] bezogen auf  $t_i$

$t_i$  = Raumlufthtemperatur [°C], bei selten beheizten Räumen mittlere Raumlufthtemperatur nach Abschluss der Aufheizphase

$t_a$  = Aussenlufttemperatur [°C]

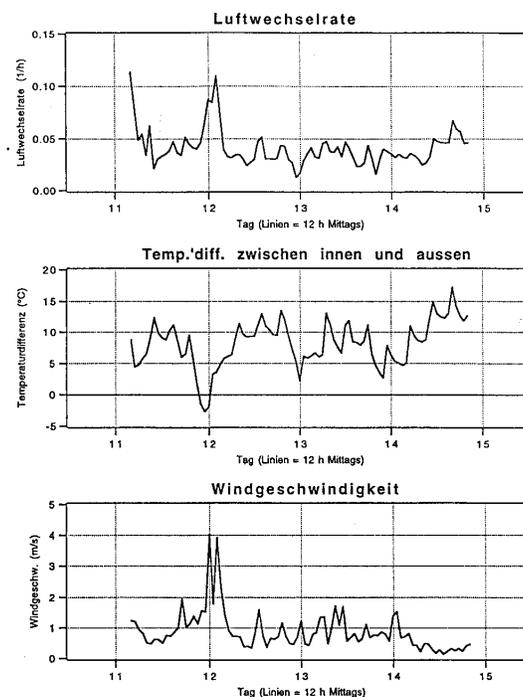
Die grösste Unsicherheit bei der Anwendung der oben aufgeführten Formel liegt im stündlichen Aussenluftstrom.

Dieser wird im Wohnungsbau bei der tiefsten Aussenlufttemperatur aus hygienischen und bauphysikalischen Gründen mit minimal 30 % des beheizten Nettovolumens angenommen. Wenn der effektiv geschätzte Aussenluftstrom - verursacht durch Fenster- und Türfugen, Rolladenkästen, Cheminée, undichte Gebäudehülle und Abluftanlagen - grösser als der Minimalwert ist, wird der effektive Aussenluftstrom für die Berechnung verwendet.

Nun gilt es die obigen Empfehlungen auf nur zeitweise belegte Kirchen zu übertragen. Dort besteht im Normalfall bei den tiefsten Aussenlufttemperaturen während dem Heizbetrieb aus hygienischen Gründen kaum ein Bedarf für einen minimalen Aussenluftstrom.

In Kirchen ist, wegen der im Vergleich zum Wohnungsbau im allgemeinen kompakteren Gebäudegeometrie und der wenigen Fenster und Türen, der Aussenluftstrom wesentlich geringer.

Fig. 93 Messungen in der evangelischen Kirche Ebnet SG, 1.1. bis 15. Jan. 1993 [8]



Die Messungen der EMPA in der Kirche Ebnat haben bestätigt, dass Kirchen einen geringen Luftwechsel aufweisen.

Berechnungen nach SIA 384/2 über die Fugenverluste haben für die Kirche Ebnat einen natürlichen Luftwechsel von ca. 0,08 h<sup>-1</sup> ergeben. Bei dieser Art von Berechnung gehen verschiedene Randbedingungen als Schätzwerte in die Rechnung ein, d.h. das Resultat ist mit entsprechender Vorsicht zu interpretieren. Als Kompensation für die Lüftungsverluste der sehr undichten Türen, der Bleiverglasungen und der fest verschraubten Fenster mit den Randanschlüssen, wurden die ganzen Flächen der Fenster und Türen als undicht angenommen, obwohl nur rund 40 % der Flächen bedienbar sind.

In der Kirche Ebnat dürfte demzufolge für die Wärmeleistungs-Berechnung ein 0,1 facher Luftwechsel angemessen sein.

Um die Luftwechsel bei anderen Objekten möglichst genau abschätzen zu können, mögen folgende Angaben der evangelischen Kirche Ebnat dienen:

Bauteil	Fläche [m <sup>2</sup> ]	davon zu öffnen [m <sup>2</sup> ]	Fugen- länge [m]
Türen <sup>1)</sup>	11,5	11,5	30
Fenster mit DV <sup>2)</sup>	29,5	9,5	123
Fenster mit Bleiverglasung <sup>3)</sup>	8,2	--	17
<b>Total</b>	<b>49,2</b>	<b>21,0</b>	<b>170</b>

1) Relativ undichte Holztüren (2 Aussentüren, 3 Türen gegen Turm bzw. Keller)

2) 7 grosse Kirchenfenster mit je 2 Lüftungsflügel, 2 bedienbare kleine Fenster

3) einfache Bleiverglasung

Wände: massive Bauart

Decke: Gipsdecke (dicht, ohne Fugenverluste)

Fig. 94 Kirche Ebnat SG: Bauteile welche den natürlichen Luftwechsel bestimmen

Die Berechnung des natürlichen Lüftungsverlustes der Kirche Goldingen (Anhang A 4) ergab einen noch tieferen Luftwechsel von 0,04 h<sup>-1</sup>. Ausschlaggebend dafür sind vorallem die festverglasten Kirchenfenster (ohne Lüftungsverluste) mit den kleinen Lüftungsflügeln.

Aufgrund des berechneten natürlichen Luftwechsels - und im Vergleich zur Kirche in Ebnat - kann für die Kirche in Goldingen ein Luftwechsel von 0,06 h<sup>-1</sup> für die Berechnung des Wärmeleistungsbedarfs angenommen werden.

## Interne Wärmequellen Q<sub>I</sub>

Die bei tiefen Aussentemperaturen gesichert vorkommenden internen Wärmequellen (Beleuchtung, Maschinen, Personen, usw.) können nach SIAEmpfehlung 384/2 unter Berücksichtigung eines Gleichzeitigkeitsfaktors berücksichtigt werden. Die internen Wärmequellen sollen zurückhaltend in die Berechnung eingesetzt werden.

Bei Kirchen sind die internen Wärmequellen im allgemeinen nicht von Bedeutung und werden deshalb im folgenden nicht berücksichtigt.

## Auswertung Fallbeispiel

Für die Kirche Goldingen wurde, mit der für dauernd beheizte Gebäude üblichen Berechnungsmethode nach SIA 384/2, ein Wärmeleistungsbedarf von 32,1 kW, mit der Methode für selten beheizte Räume hingegen von 53,4 kW berechnet. Effektiv sind 90,3 kW (inkl. Fensterheizung) installiert.

Für eine Neuinstallation würde demnach rund 53 kW ausreichen, jedoch für effizientes Aufheizen wäre ca. 60 kW von Vorteil (siehe nächstes Kapitel "Leistungsbemessung aus einem kontrollierten Aufheizvorgang").

## Hinweise und Tips

\* Durch Abdichten von Fugen (speziell bei Fenstern und Türen) lässt sich die natürliche Lüftung stark reduzieren. Die minimale Lüftung aus lufthygienischen Gründen ist durch kurzzeitige Stosslüftung zu gewährleisten.

\* Da die Druckunterschiede mit der Höhe über Boden zunehmen, soll auch die Decke bzw. die Anschlüsse zu den Wänden möglichst dicht ausgeführt werden.

## 6.5 Weitere Methoden für die Berechnung des Wärmeleistungsbedarfs

### Leistungsbemessung aus dem langjährigen Energieverbrauch

Für Wohnungsbauten kann auf der Basis des langjährigen Brennstoffverbrauchs mit relativ einfachen Formeln die Heizkesselleistung bestimmt werden. Dabei wird von mittleren jährlichen Brennerlaufzeiten bzw. dem jährlichen Energieverbrauch ausgegangen.

Da die meisten elektrisch beheizten Kirchen nur zeitweise beheizt sind und oft nur einzelne Heizgruppen in Betrieb sind, kann die Laufzeit bzw. der Heizenergieverbrauch nicht als Bemessungsgrösse verwendet werden. Aus diesem Grund scheidet dieses Verfahren aus.

### Leistungsbemessung aus einem kontrollierten Aufheizvorgang

Bei Kirchen mit bestehenden Elektroheizungen bietet sich die Möglichkeit zur Leistungsbemessung mittels Messungen während einem kontrollierten Aufheizvorgang. Als Berechnungsgrundlage dienen dabei die Aussenlufttemperatur, die Leistung während dem Aufheizen und der Verlauf der Raumlufttemperatur.

Das Bemessungsverfahren gliedert sich in folgende Teilschritte:

#### Vorbereitung der Messung

Die Kirche sollte während mehreren Tagen vorgängig der Messung nicht beheizt, bzw. so beheizt werden, dass sich die normale Grundtemperatur der Heizperiode einstellt. Während dieser Zeit sollte kaltes, möglichst ausgeglichenes Winterwetter (bedeckter Himmel, kein Wind) vorherrschen.

Die Steuerung und Regelung der Heizung ist so einzustellen, dass während der ganzen Messung mit konstanter Leistung, z.B. mit 50 oder 100 % der Maximalleistung, geheizt werden kann (Raumthermostaten an den oberen Anschlag bzw. überbrücken, Achtung auf Liefersperrungen durch das Elektrizitätsversorgungsunternehmen).

Die Leistung ist so zu wählen, dass innerhalb der Messung ein Temperaturanstieg von mindestens 10 Kelvin erreicht wird. Es sind nur diejenigen Heizgruppen einzuschalten, welche auch im normalen Betrieb für das Aufheizen benützt werden (z.B. ohne Fensterheizung).

#### Durchführung der Messung

Die Messung ist unter idealen Bedingungen (keine Wärmegewinne durch Sonne und innere Abwärme) und unter normalen Windverhältnissen durchzuführen.

Vor und nach der Messung sind die Zählerstände des Elektrozählers zu notieren, womit dann die Heizleistung während der Messung bestimmt werden kann.

-Während der Messung sind die Aussen- und die Raumlufttemperatur zu registrieren.

#### Leistungsbemessung

Für die Leistungsbemessung ist die mittlere Aussenlufttemperatur  $t_{am}$  zu berechnen:

$$t_{am} = \frac{(t_a \cdot A_a \cdot k) + (t_{x1} \cdot A_{x1} \cdot k) + (t_{x2} \cdot A_{x2} \cdot k) + \dots}{\sum A \cdot k}$$

wobei:

$t_a$  = Aussenlufttemperatur [°C]

$A_a$  = Aussenwand / -dachflächen [m<sup>2</sup>]

$k$  = k-Wert des Bauteils [W/m<sup>2</sup>K]

$t_x$  = Erdreichtemperatur bzw. Raumlufttemperatur des angrenzenden unbeheizten Raumes (nach SIA-Empfehlung 384/2, Tab. 5 bzw. Tab. 6)

$A_x$  = Fläche zum Erdreich oder unbeheizten Raum

$\sum A \cdot k$  = Total ( $A_a \cdot k + A_{x1} \cdot k + \dots$ ) aller Umschliessungsflächen

Die Wärmeleistung "p" ist direkt proportional der Differenz zwischen Raum- und mittlerer Aussenlufttemperatur. Sie kann somit als Verhältnis von Temperaturdifferenzen ausgedrückt werden:

$$p = p' \frac{t_i - t_{am}}{t_i' - t_{am}'}$$

wobei:

$p$  = erforderliche Heizleistung bei  $t_i$  und  $t_{am}$

$p'$  = Heizleistung während der Messung

$t_i$  = Raumlufttemperatur für die Dimensionierung der Wärmeleistung (nach maximaler Aufheizzeit <sup>1)</sup>)

$t_{am}$  = mittlere Aussenlufttemperatur für die Dimensionierung der Wärmeleistung

$t_i'$  = gemessene Raumlufttemperatur nach maximaler Aufheizzeit (die Messdauer ist länger als die maximale Aufheizzeit <sup>1)</sup>)

$t_{am}'$  = mittlere Aussenlufttemperatur während der Messung

<sup>1)</sup> max. Aufheizzeit = Aufheizzeit, bis bei tiefster Aussenlufttemperatur die Solltemperatur erreicht ist

### Anwendungsbeispiel für Leistungsbemessung

a) Gewichtung der Bauteile für die Berechnung der mittleren Aussentemperatur  $t_{am}$ :

Bauteil	Fläche k-Wert		$A \cdot k$ [W/K]	$\Sigma A \cdot k$
	A [m <sup>2</sup> ]	k [W/m <sup>2</sup> K]		
Wände	874	1,7	1486	1'914
Fenster	131	2,0	262	
Türen	15	1,9	26	
Decke	540	0,26	140	
Total gegen Aussenklima				
- Boden Sitzbankber.	207	0,65	135	938
- Übriger Fussboden	206	3,9	803	
Total gegen Erdreich				938
$\Sigma A \cdot k$				2'852

b) Mittlere Aussentemperatur  $t_{am}$  bei  $t_{amin}$ :

$$t_{am} = \frac{-8,0 \cdot 1914 + 5,0 \cdot 938}{2852} = -3,7 \text{ °C}$$

( $t_{amin}$  nach SIA-Empfehlung 384/2, Tab. 1)

c) Mittlere Aussentemperatur  $t_{am}$  während Messung:

$$t_{am}' = \frac{6,0 \cdot 1914 + 5,0 \cdot 938}{2852} = 5,7 \text{ °C}$$

d) Heizleistung  $p'$  während der Messung:

$$p' = 2181 \text{ kWh} : 22,0 \text{ h} = 99,1 \text{ kW}$$

(die Fensterheizung war nicht in Betrieb, da diese auch beim normalen Aufheizen nicht benützt wird)

Die nominelle Heizleistung (ohne Fensterheizung) beträgt 108 kW. Die Abweichung zur Messung ist der Regelung der Bodenheizung zuzuschreiben, welche während der Messung sinnvollerweise wie im normalen Betrieb im Einsatz war.

e) Heizleistung "p", welche notwendig ist, damit nach einer Aufheizzeit von 15 h bei  $t_{amin} = -8 \text{ °C}$  die Raumlufttemperatur  $t_i = 17 \text{ °C}$  wird:  
( $\Rightarrow$  mittlere Aussentemperatur =  $-3,7$ ):

$$p = 99,1 \frac{17,0 - (-3,7)}{27,3 - 5,7} = 95,0 \text{ kW}$$

Die Berechnung zeigt, dass bei der minimalen Aussentemperatur von  $-8 \text{ °C}$  noch ca. 4 % Leistungsreserve vorhanden ist. Wenn mit Maximalleistung von 99,1 kW geheizt wird, ist mit rund 11,3 Stunden Aufheizzeit zu rechnen ( $17,0 - (-3,7) + 5,7 = 26,4 \text{ °C}$ ).

Es zeigt sich aufgrund der Aufheizkurve, dass bei tiefen Aussentemperaturen die Raumlufttemperatur auf ca.  $15 \text{ °C}$  reduziert werden sollte (entspricht bei der Messung  $26,4 - 2,0 = 24,4 \text{ °C}$ ), damit der flache Teil der Aufheizkurve nicht durchfahren wird. Dadurch kann die Aufheizzeit von **11,3 auf 6,5** Stunden reduziert werden. Diese tiefere Raumlufttemperatur ist auch aus der Sicht der Behaglichkeit für Kirchenbesucher/innen mit Winterbekleidung durchaus sinnvoll.

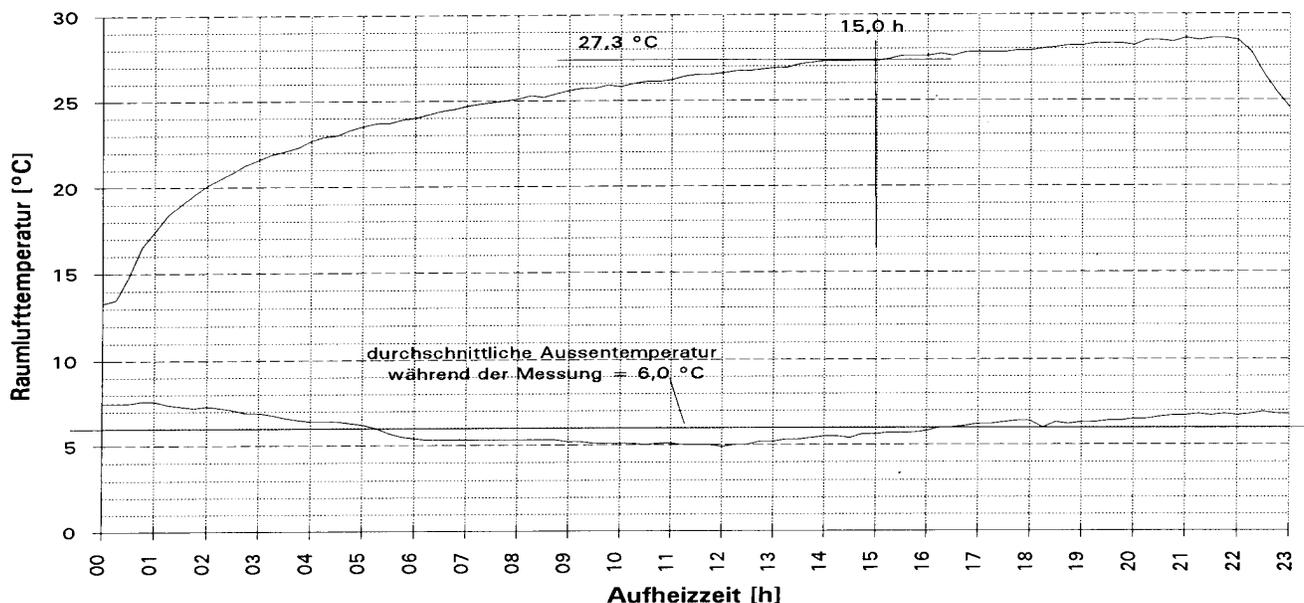


Fig. 95 Kontrollierter Aufheizvorgang in der evangelischen Kirche Amriswil

## 7. Planung der Heizung

### 7.1 Planung des Wärmeabgabesystems

Die oft geäußerte Befürchtung, dass das Beheizen der Kirchen zu Bauschäden führen kann, verlangt hohe Anforderungen an das Heizsystem und dessen Regelung.

Das Wärmeabgabesystem darf nie für sich alleine betrachtet werden. Es sollte so gut als möglich dem Gebäude und der Nutzung angepasst und ganz speziell im Zusammenhang mit der Steuerung und Regelung evaluiert und geplant werden (Kapitel 7.4). Es gilt auch zu berücksichtigen, dass nicht alte im Wohnungsbau gebräuchlichen Heizgeräte und -systeme auch für Kirchen geeignet sind.

#### Anforderungen an das Wärmeabgabesystem

Die Anforderungen an das Wärmeabgabesystem stehen in engem Zusammenhang mit der gewünschten Behaglichkeit. Die Behaglichkeits-Anforderungen wiederum sollten dem Gebäude angepasst sein. Heizsysteme in historischen Kirchen unterscheiden sich beispielsweise von denen in neueren oder sanierten Kirchen mit Wärmedämmung.

#### Wichtige Anforderungen an das Wärmeabgabesystem sind:

- Geringe Luftumwälzungen (Verschmutzungen an Gebäudehülle, Komfortprobleme)
- Gleichmäßige Verteilung der Wärmeabgabe über den Gebäudegrundriss (keine punktuelle Wärmeabgabe mit hohen Temperaturen)
- Tiefe Strahlungstemperaturen auf Personen und Einrichtungen
- Montage- und Installationsfreundlichkeit
- Ästhetik
- Geringe bauliche Anpassungen (Kosten, Denkmalschutz)
- Schnelle Reaktionsgeschwindigkeit beim Aufheizen
- Gute Regelbarkeit der Wärmeleistung
- Tiefe Geräte- / Montage- und Installationskosten
- Kleiner Energieverlust während dem Betrieb
- Einfacher Unterhalt und Reinigung der Heizkörper
- Geringe Behinderungen bei der Fussbodenreinigung

#### Vor- und Nachteile der Wärmeabgabesysteme

Bei der Wahl des Wärmeabgabesystems sind die Vor- und Nachteile der möglichen Systeme (siehe Kapitel 2.1 "Wärmeabgabe") einander objektiv gegenüberzustellen. Dabei müssen auch die betrieblichen und baulichen Randbedingungen entsprechend berücksichtigt werden. Während beispielsweise bei täglicher Belegung und vorwiegend freier Bestuhlung eine Fussbodenheizung geeignet sein kann, ist diese bei nur ein- bis zweimaliger Belegung pro Woche kaum zu empfehlen. Da die Randbedingungen und Anforderungen an eine Kirchenheizung sehr unterschiedlich sind, gibt es das für Kirchen einzig richtige Heizsystem nicht.

Bei der Wahl des Wärmeabgabesystems sollte auch berücksichtigt werden, dass die Nutzung während der zu erwartenden Lebensdauer der Heizung ändern kann. Aus diesem Grund sind betrieblich flexible Heizsysteme zu bevorzugen.

Bei historischen Kirchen sind in den Baukörper integrierte Flächenheizungen weniger geeignet. Sie sind träge, haben eine schlechte Regulierfähigkeit, bergen die Gefahr zum Dauerüberheizen und reduzieren das Sorptionspotential des Baukörpers. Die Folgen sind geringe Raumluftfeuchte und die unerwünschte Austrocknung des Baukörpers und der Einrichtung.

Hochtemperaturstrahler, zu denen auch Scheinwerfer zählen, sind für historische Bauten ebenfalls nicht geeignet. Im Bereich der Orgel sind Rohrheizkörper wegen den tieferen Strahlungstemperaturen den Infrarotheizkörpern vorzuziehen (Ausnahme ist die Fingerheizung beim Spieltisch).

#### Zusätzliche Informationen für die Systemwahl

##### \* Fussbodenheizungen

Elektrischen Fussbodenheizungen sollten nicht aus Behaglichkeitsgründen den Vorzug gegeben werden, da bei Kirchen wegen den tieferen Komfortansprüchen die im Wohnungsbau gültigen Vorteile nicht so gewichtig sind. Zudem sind die Verhältnisse mit dem Wohnungsbau so gut wie nicht vergleichbar.

Der Entscheid für oder gegen Fussbodenheizungen wird meistens von baulichen oder finanziellen Randbedingungen abhängig sein. So muss im Normalfall für den Einbau einer reinen Fussbodenheizung der Unterbau ganzflächig erneuert und isoliert werden. Aus denkmalpflegerischer Sicht sind aber zusätzliche Ausgrabungen oft unerwünscht. Für intermittierendes Heizen sind Fussbodenheizungen wegen der erhöhten Wärmeverluste im Boden und der thermischen Trägheit weniger geeignet als Sitzbankheizungen.

Wenn Fussbodenheizungen nur im Bereich der Sitzbänke eingebaut werden können, kann damit die erforderliche Heizleistung meistens nicht installiert werden.

Häufig werden Fussbodenheizungen mit anderen Wärmeabgabesystemen kombiniert. Bei freier Bestuhlung im Chorbereich eignen sich beispielsweise Fussbodenheizungen als Ergänzung zur Sitzbankheizung.

Mit dem Einbau reiner Fussbodenheizungen werden Kirchen oft zu dauernd beheizten Gebäuden umfunktioniert. In solchen Fällen ist es unerlässlich, dass die gesamte Gebäudehülle nach den heutigen Anforderungen wärmegeklämt ist. Die in der Werbung für Fussbodenheizungen angegebene Energieeinsparung von 20 bis 30 % kann in Kirchen nicht realisiert werden. Vielmehr entstehen gegenüber Sitzbankheizungen zusätzliche Verluste in den Boden.

### \* Verwendung von alten Heizkörpern

Bei Sanierungen stellt sich oft die Frage, ob die alten Heizkörper weiter verwendet werden können. Beispiele von Infrarotheizkörpern zeigen, dass diese häufig auch nach Jahrzehnten noch in einem brauchbaren Zustand sind. Beanstandungen in der Vergangenheit müssen meistens der fehlenden Leistungssteuerung und nicht dem Wärmeabgabesystem zugeordnet werden.

Dagegen sind Eisen-Rohrheizkörper unter den Fusschemeln, welche während dem Betrieb brummen, ein eher ungünstiges Strahlungsfeld erzeugen und die Fussbodenreinigung behindern, eher erneuerungsbedürftig.

Es ist im Einzelfall auch abzuklären, ob Reparaturen noch ausgeführt werden können.

Bei einer Wiederverwendung von Heizkörpern sind diese durch Fachleute zu reinigen und einem Spannungstest zu unterziehen.

### \* Vertikale Wärmeverteilung in Kirchen

Fig. 96 Evang. Kirche Ebnat, Infrarot-Bankheizung (Kirche ohne Wärmedämmung)

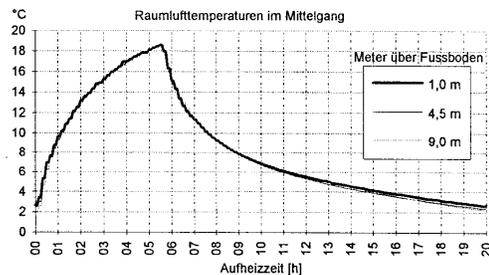


Fig. 97 Evang. Kirche Nesslau, elektrische Fussbodenheizung mit Speicherwirkung (Kirche mit Wärmedämmung)

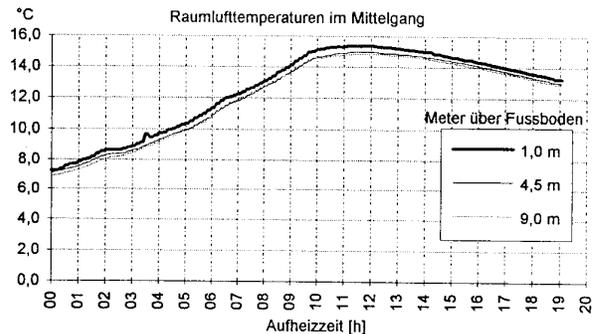
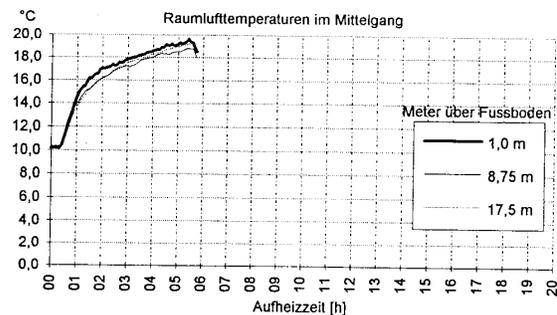


Fig. 98 Evang. Kirche Glarus, Eisen-Rohrheizkörper (Kirche ohne Wärmedämmung)



Die Messungen mit verschiedenen Wärmeabgabesystemen zeigen, dass entgegen der weitverbreiteten Meinung, praktisch keine vertikale Wärmeverteilung existiert. Die vertikale Wärmeverteilung wird auch durch die Bodenheizung nicht wesentlich beeinflusst. Markant hingegen ist das träge Verhalten der Bodenheizung.

## 7.2 Bestimmung der Wärmeleistung

Methoden für die Berechnung des Wärmeleistungsbedarfs sind durch die Kapitel 6.4 und 6.5 im Detail dokumentiert. Im Folgenden werden einige Randbedingungen diskutiert, welche für die Bestimmung der Wärmeleistung zusätzlich von Bedeutung sind.

### - Raumluffttemperatur

Während mit Heizungen der ersten Generation der Kirchenraum an kalten Tagen kaum über 10 °C aufgeheizt werden konnte, werden heute Raumluffttemperaturen von 15 °C gerade noch als zumutbar empfunden.

Bei der Dimensionierung der Wärmeleistung sollte auch heute maximal mit Raumluffttemperaturen von 17 bis 18 °C gerechnet werden. Dabei ist klar von den Anforderungen beim Wohnungsbau zu unterscheiden.

### - Erhöhung der Netzspannung

Im Verlauf der vergangenen bzw. der folgenden Jahre wird in der Schweiz die Netzspannung allmählich von 380 V auf 400 V erhöht. Da praktisch alle Elektroheizungen (auch die neueren) auf 380 V ausgelegt sind, ergibt sich eine nicht vernachlässigbare Leistungserhöhung.

### - Leistungsreserve

Die Leistung  $P$  steigt quadratisch zur Spannung  $U$  an:

$$P = \frac{U^2}{R}$$

Die Leistungserhöhung  $\Delta P$  berechnet sich demnach:

$$\Delta P = 1 - \frac{U_{\text{neu}}^2}{U_{\text{alt}}^2} = 1 - \frac{400^2}{380^2} = 0,108$$

⇒ Bei der Auslegung der Heizung gilt es zu berücksichtigen, dass durch die höhere Netzspannung die Wärmeleistung eines Heizkörpers, dessen Angaben auf 380 V basieren, um rund 11 % erhöht wird. Andererseits sind während Kältespitzen vielerorts Unterspannungen von 5 % keine Ausnahme.

Vergleich des Stromverbrauches  $B$ :

a) Ohne Leistungsreserve ( $P = 100\%$ )  
 $B = 16,5 \text{ h} \cdot 99,1 \text{ kW} = 1635 \text{ kWh}$

b) Mit Leistungsreserve ( $P = 110\%$ )  
 $B = 11,3 \text{ h} \cdot 99,1 \text{ kW} \cdot 1,1 = 1232 \text{ kWh}$

⇒ Mit einer um 10 % höheren Leistung reduziert sich der Stromverbrauch im gewählten Fall von 1635 kWh auf 1232 kWh (-25 %). Die Reduktion des

Stromverbrauches liegt in der Verkürzung der Aufheizzeit um 32 %.

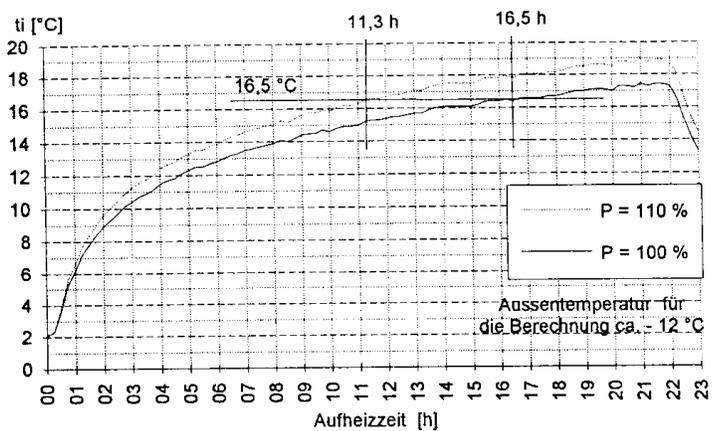
Die gleiche Energieeinsparung von 25 % kann auch bei einer Leistung von 100 % erreicht werden, wenn die Aufheizzeit auf rund 12,5 Stunden verkürzt wird. Damit kann die Kirche nur auf ca. 15,5 °C geheizt werden, was jedoch bei der tiefen Aussentemperatur von -12 °C durchaus sinnvoll ist.

Aus energetischen und ökologischen Überlegungen ist es im allgemeinen sinnvoll, keine, oder allenfalls nur eine geringe Leistungsreserve vorzusehen.

Wenn man jedoch einen Aufheizvorgang bei tiefen Aussentemperaturen betrachtet, wird ersichtlich, dass bei knapp bemessener Wärmeleistung die erforderliche Aufheizzeit stark verlängert wird.

Als Rechenbeispiel wurde der Aufheizvorgang aus Figur 95 auf tiefe Aussentemperaturen umgerechnet. Im folgenden Diagramm ist der berechnete Temperaturverlauf mit und ohne Leistungsreserve aufgezeichnet.

Fig. 99 Aufheizvorgang mit und ohne Leistungsreserve



### Hinweise und Tips

Mit einer Wärmeleistungs-Reserve kann bei tiefen Aussentemperaturen Energie gespart werden, weil dadurch die Aufheizzeit verkürzt wird. Gleichzeitig besteht aber bei einer grosszügig dimensionierten Wärmeleistung die Gefahr, dass auf zu hohe Raumluffttemperaturen aufgeheizt wird.

Für intermittierenden Heizbetrieb sind in Kirchen spezifische Leistungen von rund 100 bis 200 W/M<sup>2</sup> üblich (hängt stark von der Bauweise und den Proportionen des Objektes ab.)

## 7.3 Anordnung der Heizkörper und der Heizflächen

### Grundsätzliches

Der Anordnung der Heizkörper und Heizflächen sind in Kirchen meistens Grenzen gesetzt. Die richtige Wärmeverteilung ist jedoch von entscheidender Bedeutung für einen zufriedenstellenden Betrieb.

Wichtige Grundsätze für die Wärmeverteilung sind:

- Schwerpunktartige Wärmeabgaben sind zu vermeiden, da sie zu grossen Luftumwälzungen mit hohen Luftgeschwindigkeiten führen.
- Ungleichmässige Wärmeverteilungen (unterschiedliche Leistung pro  $M^2$ ) führen zu Temperaturdifferenzen innerhalb des Raumes. Die Folge davon ist eine schlechte Wärmeversorgung einzelner Bauteile mit Kondensationsgefahr.
- Zur Verbesserung der Behaglichkeit sollte der Aufenthaltsbereich von Personen möglichst im Strahlungsfeld der Wärmeabgabe liegen (Heizkörpermontage beispielsweise unter den Sitzbänken anstatt unter den Fussstapeln).
- Der Regelfähigkeit der Wärmeabgabe ist spezielle Aufmerksamkeit zu schenken.
- Wertvolle als auch empfindliche Gebäude- und Einrichtungsgegenstände (Altare, Bilder, Holzskulpturen, Orgeln, usw.) dürfen nicht im direkten Warmluftstrom der Heizung stehen.
- Zugerscheinungen aufgrund von kalten Bauteilen (z.B. Fenstern) ist durch zusätzliche Heizkörper entgegenzuwirken.

### Wirkung der verschiedenen Wärmeabgabesysteme

#### - Sitzbankheizungen

Mit Sitzbankheizungen wird die gleichmässige Wärmeverteilung über den Gebäudegrundriss gewährleistet. Aus Behaglichkeitsgründen sollten auch im Chor und auf der Empore alle Sitzbänke und fest montierte Stühle mit Heizkörpern versehen werden. Bei Zonen mit freier Bestuhlung drängt sich meistens eine Kombination mit Bodenheizungen auf.

Auf Emporen haben sich als Ergänzung zu Sitzbankheizungen - oder auch als einzige Heizung Stufenheizungen bewährt.

Nicht zu empfehlen sind Anordnungen, bei welchen die einzelnen Sitzbänke unterschiedlich beheizt werden (z.B. jede dritte Bank ohne Heizung). Denn bei solchen Anlagen besteht die Gefahr, dass die ganze Kirche auf höherem Temperaturniveau beheizt wird, nur damit auch in den unbeheizten Bereichen die Komfortbedürfnisse befriedigt sind.

#### - Fussbodenheizungen

Mit ganzflächigen Fussbodenheizungen wird eine gleichmässige Wärmeverteilung erreicht. Wenn bei Sanierungen nur in einzelnen Bereichen (z.B. Chor, Sitzbankbereich, Gänge) Fussbodenheizungen eingebaut werden, ist durch zusätzliche Heizkörper eine gleichmässige Wärmeverteilung zu gewährleisten.

Unter fest eingebauten Einrichtungsgegenständen (Altare, Kanzeln, Taufsteine, Orgeln, usw.) dürfen keine Fussbodenheizungen verlegt werden. Im Normalfall ist ein Wandabstand von mindestens 20 cm einzuhalten.

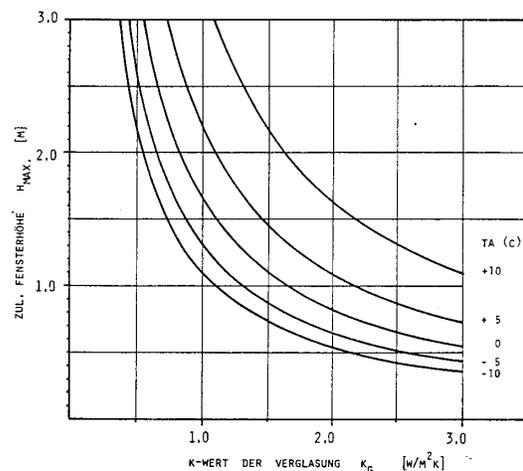
Um dem erhöhten Wärmebedarf in Randzonen entgegenzuwirken, kann dort die Wärmeleistung pro Quadratmeter erhöht werden, indem die Heizkabel enger verlegt werden bzw. eine leistungstärkere Heizfolie oder Heizmatte eingebaut wird.

#### - Fensterheizungen

Die meist hohen, oft nur einfachverglasten Kirchenfenster, haben nebst dem grossen Energieverlust im Winter auch entsprechend tiefe Oberflächentemperaturen. In der Grenzschicht des Fensters kühlt sich die Raumluft derart ab, dass diese als sogenannter «Kaltluftabfall» in den Raum fliesst und unangenehme Zugerscheinungen verursacht.

Zur Veranschaulichung der Zusammenhänge möge das folgende Diagramm dienen.

Fig. 100 Zulässige Fensterhöhe  $h_{max}$ , wenn die max. Luftgeschwindigkeit in der Grenzschicht  $v = 0,2$  m/s nicht überschreiten darf [21]  
(Diagramm gilt nur für den Wohnungsbau)



Über praktische Erfahrungen und die Auslegung von Fensterheizungen in Kirchen ist aus der Literatur nichts bekannt. Fensterheizungen in Kirchen haben die Aufgabe, den abfallenden Kaltluftstrom zu bremsen und Schwitzwasser zu verhindern. Sie werden normalerweise nur während der Nutzungszeit eingeschaltet.

Wann Fensterheizungen in Kirchen erforderlich sind, hängt nicht vom installierten Heizsystem ab. Aus Figur 100 ist ersichtlich, dass die Notwendigkeit für Fensterheizungen vor allem durch den k-Wert des Fensters und die Fensterhöhe gegeben ist. Figur 100 darf aber für Kirchen nicht direkt angewendet werden, da der thermische Komfort nicht mit dem Wohnungsbau vergleichbar ist.

Wenn der k-Wert des Fensters markant besser ist als der k-Wert der anschliessenden Wand, kann über die Notwendigkeit von Fensterheizungen durchaus diskutiert werden. In Zonen mit unterdurchschnittlicher installierter Wärmeleistung (oft im Chorbereich zutreffend), ist eher zugunsten der Fensterheizung zu entscheiden.

Bei Fensterhöhen über ca. 6 m Höhe werden an den oberen Quersprossen oft zusätzliche Heizstäbe angebracht. Ob damit eine zufriedenstellende Abschirmung der Kaltflächen gegen den Aufenthaltsbereich von Personen erzielt wird, konnte nicht nachgewiesen werden.

In der evangelischen Kirche Amriswil wurde der Einfluss der Fensterheizungen auf das Raumklima messtechnisch untersucht.

Fig. 101 Einfluss von Fensterheizungen auf die Zugluftgeschwindigkeit

Angaben zur Messung:

- k-Wert Fenster: 2,2 W/m<sup>2</sup>K
- Fensterfläche (B x H): 2,3 m x 5,7 m
- Aussentemperatur: +3 °C
- Leistung Fensterheizung: 1050 W / Fenster
- Messpositionen: 1 m unter Fenstersims, 20 cm Wandabstand

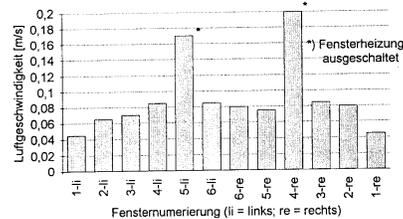
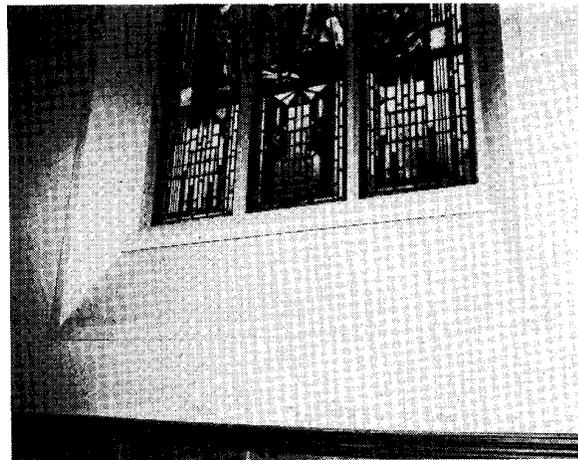


Fig. 102 Fensterheizung des Messobjektes

Die Messungen zeigen, dass mit einer Fensterheizung die Zugluft eindeutig reduziert werden kann. Die untersuchte Fensterheizung hat praktisch keinen Einfluss auf die Lufttemperatur unterhalb der Fenster. Die höheren Luftgeschwindigkeiten im hinteren Bereich der Kirche sind auf den Einfluss der Empore zurückzuführen.

Die maximal registrierte Luftgeschwindigkeit von 0,2 m/s (bei einer Aussentemperatur von +3 °C) gilt noch -nicht als kritisch. Bei negativen Aussentemperaturen müsste ohne Fensterheizung mit bedeutend höheren Luftgeschwindigkeiten gerechnet werden. Die Fensterheizung ist demzufolge als zweckmässig zu beurteilen.



### - Heizungen im Orgelbereich

Im Bereich der Orgel ist beim Einsatz von Heizgeräten grösste Vorsicht am Platz. Speziell Strahler können Oberflächentemperaturen von Holzteilen als auch an der Tastatur soweit anheben, dass dadurch Schäden entstehen. In der Orgel sollen Heizungen nur in Absprache mit dem zuständigen Orgelbauer installiert werden.

Bevor Orgelheizungen installiert werden, sollte immer abgeklärt werden, ob das Problem nicht auch mit Lufteintrittsöffnungen im Orgelgehäuse gelöst werden kann. Dadurch werden Orgeln gleichmässiger und auch gleichzeitig mit der Raumluft der Kirche erwärmt.

## Hinweise und Tips

Optimale Wärmeabgabesysteme sind gleichmässig über den ganzen Grundriss verteilt. Damit werden auch gute regelungstechnische Voraussetzungen geschaffen.

## 7.4 Planung der Steuerung und Regelung

### Grundsätzliches

Die vorgängig beschriebenen Wärmeabgabesysteme können ohne Steuer- und Regelgeräte nicht betrieben werden. Diese Geräte haben einen ausserordentlich grossen Einfluss auf das Funktionieren der ganzen Anlage. Nur bei geeigneter Kombination von Wärmeabgabe mit der Steuerung und Regelung kann von einem funktionierenden Heizsystem gesprochen werden. Die Regelung muss unbedingt gleichzeitig und in Koordination mit dem Wärmeabgabesystem geplant werden.

Regelsysteme für Kirchenheizungen sind rein technisch analysiert nicht sehr komplex. Die Schwierigkeit liegt vielmehr in der richtigen Erfassung der Randbedingungen und der doch eher ungewohnten Anwendung. In der Praxis kommen sehr unterschiedliche Lösungen vor.

Im Normalfall sollten mit der Regelung nicht anderweitige Probleme gelöst werden müssen, welche bei der Planung der Heizung ungenügend beachtet wurden. Bei Sanierungen kann es aber durchaus sinnvoll sein, dass Verbesserungen anstatt mit einer kompletten Heizungserneuerung mit einer neuen Regelung realisiert werden.

### Anforderungen an Steuerung und Regelung

Die Steuerung und Regelung hat die Aufgabe, unter Berücksichtigung der jahreszeitlichen Umwelteinflüsse, mit minimalem Energieeinsatz ein der Nutzung der Kirche angemessenes Raumklima zu schaffen. Gleichzeitig sollte das System in der Lage sein, schädliche Einflüsse der Heizung aber auch der Umgebung auf Ausstattung und Gebäudehülle zu verringern.

Wichtige Grundsätze der Steuerung und Regelungs sind:

- Die Heizung muss auf einem möglichst tiefen Temperaturniveau gefahren werden können.
- Bei intermittierendem Heizbetrieb muss der Sollwert der Raumlufttemperatur für den belegten als auch den unbelegten Zustand eingestellt werden können.
- Der Heizbetrieb soll auf einfache Weise dem Gottesdienstplan angepasst werden können (hoher Bedienungskomfort).
- Die Bedienung der Heizung muss von einem zentralen Standort erfolgen können.
- Es sollten möglichst wenige externe Regel- und Einstellorgane eingesetzt werden (keine Thermostate an den einzelnen Heizgeräten = einfache Systeme, weniger Fehlbedienungen).
- Die Heizungssteuerung muss eine feine Temperaturregulierung ermöglichen und ein Überheizen ausschliessen = Steuerung der Wärmeleistung.
- Bei Kirchen, in welchen eine starke Spreizung der Raumlufttemperatur zu erwarten ist, sollte die Wärmeabgabe in den einzelnen Zonen gedrosselt werden können. Mehrere Regelorgane im selben Raum verteilt können jedoch einen unkontrollierten Heizbetrieb verursachen.

Sinnvolle, oft notwendige Ergänzungen sind:

- Steuerung der Grundtemperatur und der Aufheizphasen nach der Aussentemperatur
- Steuerung der Aufheizgeschwindigkeit
- Einbezug der Raumluftfeuchte auf den Heizbetrieb = Vermeidung von unzulässigen Raumluftfeuchten (siehe Kapitel 4.2 "Behaglichkeit").

### Zusätzlich sind zu beachten

#### \* Vorschriften des Energielieferanten:

- Maximale Anschlussleistung
- Maximale Schaltleistung (z.B. 10 kW)
- Sperrzeiten
- Bei Speicherheizgeräten: Freigabezeiten; vorgeschriebene Tagnachladung (z.B. 50 % von P<sub>max</sub>)
- Hoch- Niedertarifzeiten

#### \* Systembedingte Eigenschaften des Wärmeabgabesystems

- Regelfähigkeit (speziell bei Speicherheizgeräten und Bodenheizungen)
- Strahlungstemperatur der Heizkörper = Maximale Leistung während der Belegung aus Komfortgründen.

#### \* Betriebliche Randbedingungen:

- Knackgeräusche der Heizkörper bei Erwärmung und Abkühlung = Leistung während der Belegung nicht verändern.
- Zeitliche Steuerung der Fensterheizung (z.B. 1/4 Stunde vor der Belegung bis Belegungsende).

#### \* Aufteilung der Heizgruppen:

- Sinnvolle Aufteilung der Regelungsgruppen, z.B. Fensterheizungen, Heizungen in Windfängen, Bank- und Bodenheizungen in betrieblich orientierte Zonen aufgeteilt.

## Wichtige Punkte für die Wahl der Steuer- und Regelkomponenten

### - Raumtemperaturregler

Obwohl Raumtemperaturregler relativ einfache Geräte sind, ist bei der Auswahl entsprechende Vorsicht geboten, da diese meist mit verschiedenen Zusatzfunktionen erhältlich sind (siehe Kapitel 2.2 "Bimetall Temperaturregler"). Im Besonderen ist die Genauigkeit der Temperaturerfassung und die Schalttemperaturdifferenz zu beachten.

Geräte mit einer Temperaturabsenkung haben den Nachteil, dass die Absenkung durch die Auswahl des Gerätes gegeben ist, d.h. später im Betrieb nicht verstellt werden kann. Anstelle eines Gerätes mit Temperaturabsenkung sind zwei unabhängige Thermostate vorzuziehen.

In Räumen mit unkontrolliertem Zutritt sind nur Geräte mit Möglichkeiten zur Fixierung der Einstellung einzusetzen.

Geräte mit einer Temperatur-Eichung sind solchen mit einer Merk-Skala (z.B. 1 ... 6) vorzuziehen.

Für Regelungen mit Raumlufttemperaturen nahe dem Nullpunkt (z.B. Frostwächter) sollten Thermostate eine geeichte Skala ab 0 °C aufweisen.

### - Steuerung der Wärmeleistung

In der Praxis haben sich Systeme mit mindestens 3 Heizstufen, z.B. 1/2 , 1/4, voll oder mit variabler Leistung bewährt (siehe Kapitel 2.2 "Starkstromseitige Steuerung der Wärmeleistung"). Bei richtig dimensionierter Wärmeleistung ist vor allem der Leistungsbereich zwischen halber und voller Leistung von Bedeutung.

### - Regler für Speicherheizgeräte

Für Speicherheizgeräte sind nur witterungsabhängige Aufladesteuerungen geeignet. Die Entladung kann beispielsweise durch übliche Schaltuhren und Raumtemperaturregler erfolgen.

### - Regler für Fussbodenheizungen

Bei dauerndem Einsatz sind Fussbodenheizungen grundsätzlich wie Speicherheizungen aussentemperaturabhängig aufzuladen.

Bei intermittierendem Heizbetrieb müssen Fussbodenheizungen in Abhängigkeit der thermischen Verzögerung zeitlich versetzt zur Belegung eingeschaltet werden.

Fussbodenheizungen werden üblicherweise mit einem Temperaturwächter im Fussboden gegen Übertemperatur geschützt.

### - Programmierbare Heizungsregler

Die unterschiedlichsten Regel- und Steuerfunktionen von mehreren Heizgruppen lassen sich mit solchen Geräten zentral zusammenfassen. Dadurch wird die Bedienung der Heizung als auch die Installation einfacher und übersichtlicher. Nachträgliche Änderungen und Optimierungen sind bei geeigneter Systemauslegung ohne Anpassung oder Umbau der Installation möglich.

## Was bei jeder Anlage vorhanden sein sollte

### - Bedienelemente

- Hauptschalter (für alle Heizgruppen, inkl. der Nebenräume)
- Schaltuhr oder Gerät mit Timer-Funktion
- Umschalter Automatik- / Handbetrieb
- Schalter für die manuelle Heizgruppenwahl

### - Kontrolllampen (Anzeige von Schaltzuständen)

- Freigabe der Heizung (Hauptschalter)
- Für jede Heizgruppe
- Sperrung der Heizung durch das Elektrizitätsversorgungs-Unternehmen.

## 7.5 Plazierung der Raumtemperaturregler und Temperaturfühler

Für eine einwandfreie Funktion der Heizung sind die Standorte der Temperaturmessungen von grosser Bedeutung. Dazu gehören:

### - Messung von Raumlufttemperaturen

Als Standorte kommen Innenwände und Säulen in Frage. Die Beeinflussung durch Wärmequellen (Heizung, Licht, Sonne, Kerzen, Personen) oder Zug- bzw. Kaltluft (Türen, Fenster) ist besonders zu beachten. Sowohl Raumecken ohne Luftzirkulation als auch Unterputzmontagen sind ungeeignet. Bei intermittierendem Heizen wurden an Aussenwänden Messfehler von bis zu 5 °C festgestellt.

- Messung der Aussenlufttemperatur

Die Geräte sind von der direkten Witterung (Sonne, Regen, Tropfwasser) geschützt zu montieren. Der Standort muss schattig und gut durchlüftet sein, d.h. dem nordseitigen Aussenklima des Gebäudes entsprechen.

## 8. Montage und Installation der Heizung

### 8.1 Montage der Heizkörper und FUSSBodenheizung

#### \* Heizkörper

Für die vorschriftsgemässe Montage der Heizkörper sind die Herstellerangaben zu beachten, z.B.:

- Zulässige Montagelage der Heizkörper (bei Rohr-, IR-Heizkörpern und bei Konvektoren ist meist nur waagrechte Montage zugelassen).
- Minimalabstände, vielfach unterschiedlich in horizontaler und vertikaler Richtung (Nachbarschaft brennbarer Materialien beachten!).
- Die Ausdehnung der Heizkörper bei Erwärmung ist bei der Montage zu berücksichtigen.

#### \* Fussbodenheizungen

Bei Fussbodenheizungen sind die produktespezifischen Montageanleitungen zu befolgen, z.B. beim Verlegen der Wärmedämmungen, Feuchtesperren, Randdämmstreifen und Temperaturfühler. Es sind auch die Informationen für den Anschluss der Regler und die geltenden Sicherheitsvorschriften zu beachten.

Die Kabel bzw. Heizmatten sind gemäss Verlegeplan einzubauen und zu nummerieren. Jede Anschlussdose sollte mit einem Leistungsschild (oder Angabe des Ohmwertes) versehen werden. Heizkabel müssen so verlegt werden, dass diese nicht in die Wärmedämmung einschmelzen können. Heizleiter dürfen nicht gekürzt werden (nur das Kürzen und Anschliessen der Kaltleitungen ist zulässig). Bei grösseren Flächen sind Dehnungsfugen vorzusehen.

Das Fühlerkabel wird zweckmässigerweise in einem Schutzrohr installiert, um bei einem eventuellen Defekt einen Austausch zu ermöglichen. Die Temperaturfühler sind nach Angaben der Lieferanten zu plazieren. Dabei sind Bereiche zu wählen, wo sicher kein Wärmestau entstehen kann.

Während dem Verlegen von Bodenheizungen sollten im betreffenden Raum keine anderweitigen Arbeiten ausgeführt werden.

Nach der Verlegung ist jede Heizgruppe vor dem Einbringen des Unterlagsbodens auf die vorgesehene Leistungsaufnahme und einwandfreie Funktion zu prüfen. Die Funktion kann auch mit Messungen des ohmschen Widerstandes nachgewiesen werden. Mängel bei der Verlegung werden leider oft zu spät erkannt und können nachträglich nur mit erheblichem Aufwand behoben werden.

Fussbodenheizungen dürfen nie vor dem vollständigen Abbinden und Aushärten des Unterlagsbodens in Betrieb genommen werden (Rissbildungen!).

#### \* Fensterheizkörper

Bei der Montage von Fensterheizkörpern ist speziell auf die richtige Plazierung der Luftleitbleche zu achten. Ohne diese strömungsbeeinflussenden Bleche muss die Funktion der Fensterheizkörper vielfach in Frage gestellt werden.

### 8.2 Montage der Raumtemperaturregler und Temperaturfühler

Schlitze in Gehäuseabdeckungen müssen einen Luftstrom von unten nach oben zulassen. Die Anschlussrohre müssen dicht zugestopft werden, damit keine falsche Luft in die Fühlergehäuse einströmen kann (gilt bei Innen- und bei Aussenmontage).

Es dürfen nur die Original-Temperaturfühler an die entsprechenden Regler angeschlossen werden (grosse Unterschiede der Fühlerempfindlichkeit!). Bei einzelnen Fühlern ist auf die richtige Polung zu achten.

### 8.3 Elektroinstallation

Bei der Elektroinstallation ist auf gute Zugänglichkeit für den Servicefall zu achten. Verdeckte Abzweigdosen unter Sitzbänken sind zu vermeiden.

Die maximalen Kabellängen und die entsprechenden Kabelquerschnitte sind, gemäss den Herstellerangaben, unbedingt einzuhalten (Falschmessungen!). Bei Verlegung in Kabelkanälen oder in der Nähe von stromführenden Leitungen werden meistens abgeschirmte Kabel verlangt. Korrekterweise werden Abschirmungen nur einseitig - normalerweise in der Hauptverteilung - angeschlossen.

Bei Raumtemperaturreglern mit thermischer Rückführung ist unbedingt auf korrekte Verdrahtung zu achten (normalerweise Anschluss des Nulleiters).

Verkabelungen, bei welchen die einzelnen Heizkörpergruppen direkt auf die Hauptverteilung geführt werden, haben sich bewährt.

## 9. Abschluss der Arbeiten

### 9.1 Inbetriebnahme und Abnahme der Heizung

Die Heizanlage ist durch den zuständigen Elektroinstallateur unter Beizug der Lieferanten der Heizgeräte und Regelkomponenten zu prüfen.

Insbesondere sind die Funktionen der Regel- und Steuergeräte genau zu kontrollieren. Damit diese Geräte einwandfrei funktionieren, müssen bei der Inbetriebnahme die Grundeinstellungen sorgfältig vorgenommen werden.

Bei Speicherheizgeräten muss die witterungsabhängige Aufladung dem Raum und den örtlichen Bestimmungen entsprechend eingestellt und getestet werden.

Bodenheizungsregler und die Temperaturbegrenzer in Unterlagsböden sind unter Berücksichtigung der gewünschten Wärmeabgabe und der Art des Bodenbelages einzustellen. Die einzelnen Funktionen müssen eingehend simuliert und geprüft werden.

Bei Raumthermostaten ist der Einstellmechanismus zu blockieren.

Bei der Inbetriebnahme sind die Leistungen der einzelnen Heizgruppen zu kontrollieren. Dadurch lassen sich Schema- und Installationsfehler feststellen.

Bei Elektroheizungen kann, im Vergleich zu Heizungen mit anderen Energieträgern, die Leistung der Wärmeabgabe auf relativ einfache Art mit einer Stoppuhr und dem vorhandenen Elektrozähler gemessen werden.

Für die Berechnung der Leistung "P" ist folgende Formel zu benutzen:

$$P = \frac{\text{Anz. Umdr} \cdot \text{Abl. Faktor} \cdot 3600}{\text{Zählerkon} \cdot t} \quad [\text{kW}]$$

wobei

Anz. Umdr = Anzahl Zählerumdrehungen [Umdr]

Abl. Faktor = Ablese-Faktor (Konstante der Messung) [-]

Zählerkon = Zählerkonstante [Umdr/kWh]

t = Zeitdauer der Messung [Sekunden]

**Beispiel:** Für 3 Umdrehungen am Elektrozähler werden 66,94 Sekunden gemessen, der Ablesefaktor ist 4, die Zählerkonstante 37,5 Umdr/kWh.

$$P = \frac{3 \cdot 4 \cdot 3600}{37,5 \cdot 66,94} = 17,2 \text{ kW}$$

Die gemessenen Werte sind schriftlich festzuhalten, da diese für den Service und die Bedienung nützlich sind.

Nach der Inbetriebnahme einer neuen oder umgebauten Heizung sollten als Kontrolle die Einschaltzeiten und die Temperaturen längerfristig durch thermohygraphische Messungen überprüft werden.

## 9.2 Bedienungsanleitung und Anlagedokumentation

Allzuoft sind bei elektrischen Kirchenheizungen ausser einem Elektroschema keine weiteren anlagespezifischen Unterlagen zu finden. Die allgemeinen Beschreibungen der Geräte sind vielfach noch vorhanden.

Was nützt aber beispielsweise eine Beschreibung einer Schaltuhr in zehn und mehr Sprachen, wenn die Funktion der einzelnen Kanäle der Schaltuhr im System nicht bekannt sind. In solchen Fällen muss der Fachmann in mühseliger Kleinarbeit die Ideen der Planer wieder rekonstruieren.

Für das Bedienungspersonal muss in jedem Fall eine allgemeinverständliche, auf das Objekt bezogene Bedienungsanleitung vorhanden sein.

Der Anlageordner kann beispielsweise nach folgendem Leitfaden aufgebaut sein:

### 1. Allgemeines

Adressen der am Projekt beteiligten Firmen mit Telefonnummern für den Servicefall.

### 2. Grundlagen zum Projekt

Bei Sanierungen sind Grob-, Fein-, und Verbrauchsanalysen sowie Messungen, bei neuen Anlagen Energiekonzepte einzuordnen.

### 3. Technische Anlagebeschreibung

Berechnungen, Dimensionierungen, Prinzipschema der Heizungsanlage, Beschreibung von technischen Spezialitäten, welche aus dem elektrischen Schema nicht direkt hervorgehen (z.B. Timing der Steuerung).

### 4. Installation, technische Daten

Angaben für den Service und die Ersatzteilbeschaffung (technische Daten der verwendeten Komponenten, Geräte und der Installation). Dazu zählen auch Lieferscheine, welche nach Jahrzehnten noch sehr nützlich sein können.

### 5. Bedienungsanleitung der Heizung

Auf die Anlage abgestimmt, sind für den Nichtfachmann verständlich zu beschreiben (möglichst tabellarisch):

- Die Inbetriebsetzung der Heizung im Herbst
- Die möglichen Betriebsarten (z.B. Automatikbzw. Handbetrieb)
- Die Schaltzustände der Steuerschalter und der Kontrollampen
- Sämtliche anlagespezifischen Funktionen der Regelorgane (inkl. Raumtemperaturregler mit Zusatzfunktionen)

Die Leistungen der einzelnen Heizgruppen bzw. -stufen sind anzugeben. Nur mit diesen Angaben kann die Anlage sinnvoll und ökonomisch betrieben werden.

Die bei der Inbetriebnahme vorgenommenen Grundeinstellungen sind zu dokumentieren.

Es sollte auch angegeben werden, wie die Funktion von Störungsanzeigen kontrolliert werden kann.

### 6. Bedienungsanleitungen von Geräten

Sämtliche Bedienungsanleitungen der eingesetzten handelsüblichen Geräte sind einzuordnen.

### 7. Elektroschema

Bereinigtes Elektroschema, Verlegepläne von Bodenheizungen.

### 8. Inbetriebnahme, Wartungsanweisungen

Notizen über die Inbetriebnahme, usw.

### 9. Mess- und Anlageprotokolle, Störungsbehebung

Messungen bei der Inbetriebnahme, Anlageprotokoll betreffend Störungen und ausgeführten Änderungen und Anpassungen.

### 10. Heizprotokolle, Energiebuchhaltung

Siehe Kapitel 1 1.

# 10. Betrieb und Wartung der Heizung

## 10.1 Betrieb der Heizung

Das Raumklima in Kirchen wird vorallem durch die Gebäudehülle (k-Werte, Luftdichtigkeit), das Aussenklima sowie durch den Einsatz von technischen Einrichtungen (z.B. Heizungen) und durch betriebliche Eingriffe (z.B. Lüften) beeinflusst. Nachfolgend wird der Betrieb von Kirchenheizungen und Fragen in diesem Zusammenhang aus praktischer Sicht des Bedienungspersonals besprochen. Da die Mehrzahl der elektrischen Kirchenheizungen intermittierend (intermittierend = mit Unterbrechungen) eingeschaltet sind, wird vorwiegend auf diese Betriebsweise eingegangen. Der intermittierende Heizbetrieb stellt im Vergleich zum durchgehenden Heizen grössere Anforderungen an das Personal. Bei durchgehend beheizten Kirchen sind analoge Überlegungen wie unter "Heizen während der Belegung" beschrieben anzustellen. Kirchen sollten aber nur durchgehend geheizt werden, wenn sie wärmegeklämt sind (auch bei trägen Bodenheizungen).

### Hinweise für das Heizen

Weiter vorne in diesem Handbuch wurden bereits fachtechnisches Wissen, Grundlagen und Untersuchungsergebnisse von beheizten Kirchen behandelt. Die Themen, die auch aus betrieblicher Sicht von Interesse sind, seien hier übersichtshalber nochmals in Erinnerung gerufen:

- 3.1 Raumklima und Bauphysik
- 3.2 Raumklima und Orgel
- 3.3 Randbedingungen aus denkmalpflegerischer Sicht
- 4.1 Grundsätzliches zum Heizbetrieb
- 4.2 Behaglichkeit
- 4.3 Grundtemperatur
- 4.4 Aufheizphase
- 4.5 Heizen während der Belegung
- 5.2 Betriebliche Einflüsse auf den Heizenergieverbrauch

Dem interessierten Bedienungspersonal wird die Durchsicht der entsprechenden Kapitel empfohlen.

Aus betrieblicher Sicht lässt sich das Wichtigste wie folgt zusammenfassen:

#### \* Raumlufttemperatur

##### - Grundtemperatur

Bei intermittierendem Heizen stellt sich zwangsläufig die Frage nach der richtigen Grundtemperatur. Wegen der Vielseitigkeit der Problematik kann aber keine allgemeingültige Temperaturangabe gemacht werden. Bei der Diskussion der Grundtemperatur sollte folgendes beachtet werden:

Die grösste Energieeinsparung ist zu erwarten, wenn zwischen den Belegungen nicht geheizt wird. Dieser Betrieb sollte möglichst bei allen Kirchen angestrebt werden.

Wenn auch ausserhalb den Belegungen geheizt wird, sollte die Heizung nur dann eingeschaltet werden, wenn es in der Kirche kälter als z.B. 6 bis 8 °C ist (= Grundtemperatur, die normalerweise für Kirchen im Mittelland ausreichend ist).

Eine tiefe Grundtemperatur im Winter bewirkt eine höhere Raumluftfeuchte (meistens erwünscht).

Die Orgel - meist der empfindlichste Gegenstand in einer Kirche - muss bei der Festlegung der Grundtemperatur berücksichtigt werden. Orgelschäden aufgrund zu tiefer Raumlufttemperaturen sind jedoch die Ausnahme.

Bleiben einzelne Heizkörper dauernd oder häufig eingeschaltet, wird darüber eine stärkere Verschmutzung resultieren.

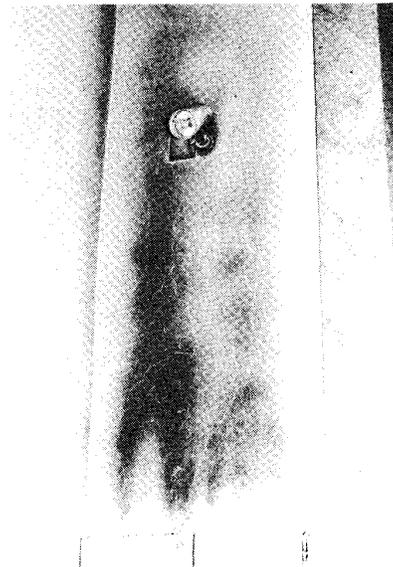


Fig. 103 Wandverschmutzung durch Heizung

## - Aufheizen

Die Bestimmung des optimalen Zeitpunktes, wann die Heizung vor einer Belegung eingeschaltet werden soll, ist für das Bedienungspersonal verständlicherweise ein fast unlösbares Problem, da die Randbedingungen (Aussenklima) ständig ändern und zusätzlich die unterschiedlichsten Wünsche zu berücksichtigen sind.

Für schnelles Aufheizen sprechen:

- Geringerer Energieverbrauch
- Kürzere Dauer der bauphysikalischen Belastung der Bauteile.

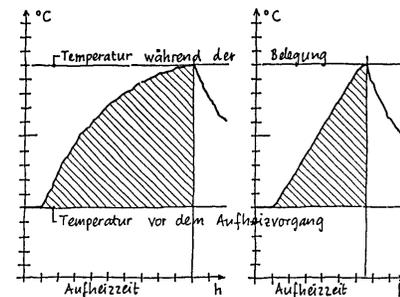
Für langsames Aufheizen sprechen:

- Höhere Behaglichkeit während der Belegung, da nicht nur die Raumluft, sondern auch Boden, Wand, Decke und Bänke aufgeheizt sind. Dadurch ist mit einer Reduktion der Zugluft zurechnen.
- Die Orgel wird gleichmässiger aufgewärmt, was die Stimmhaltung verbessert (dies hat keinen Zusammenhang mit möglichen Schäden an der Orgel).
- Geringere Luftströmungen, daher geringere Staubaufwirbelungen und Schmutzablagerungen.

In der Praxis haben sich Aufheizgeschwindigkeiten von ca. 1 bis 2 °C pro Stunde bewährt. ,

In untenstehender Figur wird schnelles mit langsamem Aufheizen verglichen. Die Fläche unter der Temperaturkurve entspricht ungefähr dem Energieverbrauch für das Aufheizen. Es zeigt sich, dass mit kurzem Aufheizen Energie gespart werden kann.

Fig. 104 Vergleich von verschiedenen Aufheizgeschwindigkeiten



## - Heizen während der Belegung

Dem Heizbetrieb während der Belegung muss spezielle Beachtung geschenkt werden. Es ist ein möglichst ausgeglichenes Raumklima anzustreben.

Auch hier ist es nicht möglich, eine allgemeingültige Empfehlung für die Raumlufttemperatur abzugeben. Erhebungen zeigen, dass Werte von rund 12 bis 17 °C üblich sind. Die Gründe für die grossen Unterschiede zwischen den einzelnen Objekten sind nicht genau bekannt, dürften aber vor allem in den individuellen Gewohnheiten, aber auch in der verschiedenen Bereitschaft zum Energiesparen liegen.

Bei knapper Raumheizung ist es wichtig, dass während des Anlasses die Raumlufttemperatur nicht absinkt, sondern gegen das Ende des Anlasses evtl. sogar leicht (1 bis 2 °C) angehoben wird.

In historischen Gebäuden sollte auch für kulturelle Anlässe nicht über 18 °C geheizt werden.

Bei tiefen Aussentemperaturen ist es sinnvoll, während der Belegung weniger hoch zu heizen, als bei höheren Aussentemperaturen (Beispiel siehe Kapitel 4.2 "Behaglichkeit", Seite 59).

Heizkörper mit hohen Strahlungstemperaturen (z.B. Infrarot-Heizkörper) sollten während der Belegung nicht mit voller Leistung eingeschaltet werden, da dies unangenehm hohe Temperaturen, z.B. bei Bankheizungen an Beinen und Oberschenkeln, verursacht.

Bei tiefen Aussentemperaturen ist es sinnvoll, während der Belegung weniger hoch zu heizen, als bei höheren Aussentemperaturen (Beispiel siehe Kapitel 4.2 "Behaglichkeit", Seite 59).

## \* Betriebliche Aspekte

### - Betrieb einzelner Heizgruppen

Die manuelle Bedienung der einzelnen Heizgruppen erfordert viel Zeit und Fingerspitzengefühl:

- Fensterheizkörper haben die Aufgabe, den abfallenden Kaltluftstrom zu bremsen und sind nicht als Grundlastheizung einzusetzen. Sie sollten erst rund eine Viertelstunde vor der Belegung eingeschaltet werden. Somit können sich die Heizkörper rechtzeitig erwärmen und die Knackgeräusche aufgrund der Erwärmung stören nicht. Bei Aussentemperaturen über etwa +5 °C kann meistens auf den Einsatz der Fensterheizungen verzichtet werden.
- Heizkörper im Orgelbereich (vorallem innerhalb der Orgel) sollten so wenig als möglich und nur kurzzeitig in Betrieb genommen werden.
- Speicherheizungen sollen so eingestellt sein, dass am Morgen keine Überheizung der Räume entsteht. Korrekturen an der Aufladeauto-

matik dürfen nur durch instruiertes Personal vorgenommen werden.

#### **- Heizen für spezielle Zwecke**

Für einzelne Personen, welche die Kirche unregelmässig aufsuchen sowie für Reinigungsarbeiten sollte nicht speziell geheizt werden (das einmalige Aufheizen einer mittleren Kirche kostet an kalten Tagen etwa 50 bis 100 Franken). Ebenso sollte zum Oben auf der Orgel die Grundtemperatur nicht angehoben, sondern nur die Orgelsitzbankheizung und die Fingerheizungen in Betrieb genommen werden.

#### **- Optimierung des Heizbetriebes**

Die Überlegung, bei Speicherheizgeräten ja keinen Hochtarif zu brauchen, dafür den Speicher bei Niedertarif etwas mehr zu laden, ist falsch. Der kurzfristige Betrieb der Zusatzheizung im Hochtarif verursacht geringere Kosten als die zusätzliche Nachladung, welche ein Überheizen am Morgen zur Folge hat. Das gleiche gilt bei der Aufheizung einer ganzen Kirche. Auch hier lohnt sich ein Aufheizen mit dem billigeren Nachtstrom im allgemeinen nicht, wenn die Belegung erst mehrere Stunden später erfolgt.

#### **- Orgel und intermittierendes Heizen**

Damit sich die Orgel den Änderungen des Raumklimas schneller angleichen kann, müssen die Jalousien der Schwellkästen ausserhalb der Spielzeit immer offen sein. Eine ausreichende Luftzirkulation ist bei Bedarf durch zusätzliche Türen im Orgelgehäuse zu ermöglichen.

Die Aufheizzeit sollte aber nicht zur Verbesserung der Stimmhaltung der Orgel verlängert werden.

#### **- Diverse Betriebliche Eingriffe**

Bei kalter Witterung sind gegebenenfalls exponierte Zonen, z.B. Partien entlang der Aussenwände, abzusperren. Häufig kann bei den Emporenaufgängen intensive Zugluft festgestellt werden. Dies wird meist auch durch die stärkere Verschmutzung in diesem Bereich sichtbar. Mit schweren Vorhängen in den Emporenaufgängen kann diesem Übel auf einfache Art begegnet werden.

Die Behaglichkeit kann auch dadurch verbessert werden, indem auf den Sitzbänken Kissen angebracht werden.

#### **- Kontrolle des Raumklimas**

Die Raumlufttemperatur sollte mit einem genauen Thermometer gemessen werden. Das Thermometer muss möglichst frei im Raum hängen. Kalte Gebäudeteile, speziell Aussenwände, können die Messung um mehrere Grad Celsius verfälschen.

In diesem Zusammenhang muss auch erwähnt werden, dass Raumthermostate an kalten Bauteilen ebenfalls falsch messen. Es wurden Abweichungen von bis zu 5 °C festgestellt. Bei Nichtbeachtung können die Auswirkungen gravierend sein, denn je tiefer die Aussentemperatur ist, desto grösser ist der Messfehler und desto mehr wird geheizt, bis die am Thermostat eingestellte Temperatur erreicht ist. Bei tiefen Raumtemperaturen sind aber - gerade umgekehrt wie vorgängig erwähnt - tiefere Raumlufttemperaturen sinnvoll.

In Zeitabständen von einigen Jahren sollte überprüft werden, ob der praktizierte Heizbetrieb noch richtig und dem Bedarf entsprechend ist. In kritischen Fällen sind Fachleute beizuziehen. Allenfalls sind mit mehrwöchigen Messungen die Raumlufttemperatur und die relative Raumluftfeuchte zu kontrollieren.

## **Raumluftfeuchte**

Die relative Raumluftfeuchte sollte in jeder Kirche überwacht werden. Werte zwischen 45 bis 80 % sind im allgemeinen unkritisch. Die Erfahrung zeigt, dass kurzfristige Unter- als auch Überschreitungen dieses Bereiches nicht zwangsläufig zu Schäden führen müssen.

Zusätzliche Luftbefeuchtungen in Kirchen dürfen nur nach Rücksprache mit Fachleuten durchgeführt werden (siehe auch Kapitel 3.1 "Bauphysik").

## **Lüften**

Im frühen Frühjahr ist das Lüften häufig mit Kondensationsgefahren im Kircheninnern verbunden. Die Aussenmauern sind vom vergangenen Winter her im Innern noch kälter als die Aussenluft, so dass die eindringende Warmluft zu Tauwasserbildung führen kann.

In den warmen Jahreszeiten kann die Temperatur in der Kirche durch Fenster- und Türlüftung der Aussentemperatur angepasst werden.

Während der Heizperiode ist kurz aber kräftig zu lüften. Dauerlüften ist zu vermeiden. Lüftungsöffnungen gegen den Dachboden sind zu schliessen.

Kurz vor dem Orgelspiel sollte die Kirche nicht mehr übermässig durchlüftet werden, da die Stimmung der Orgel dadurch beeinflusst werden kann.

In historischen Bauten ist dem richtigen Lüften spezielle Beachtung zu schenken, um Feuchteschäden zu vermeiden.

Angesichts des grossen Luftvolumens von Kirchen und der nur kurzfristigen Belegung ist die Frischluft rate (aus hygienischen Gründen) im Normalfall ausreichend. Zwischen mehreren, rasch nacheinander folgenden Belegungen, ist eventuell durch kurzes kräftiges Querlüften für Frischluft zu sorgen.

## Pflanzen

Pflanzen gedeihen nur, wenn das richtige Mass an Licht, Feuchtigkeit, Wärme, Wasser und Nährstoffe zur Verfügung steht. Die verschiedenen Pflanzengattungen reagieren auf die äusseren Einflüsse sehr unterschiedlich.

In Kirchen sind Licht und Wärme von besonderer Bedeutung, weil diese meist nicht für alle Pflanzen in ausreichendem Masse vorhanden sind. In unbeheizten bzw. temperierten Kirchen können auch mit Pflanzenleuchten die Bedingungen nicht wesentlich verbessert werden, da eine ausgeglichene räumliche Verteilung der Wärmestrahlung für die meist grösseren Pflanzen nicht gewährleistet ist. Diese Leuchten wurden für beheizte Räume entwickelt, wo primär die Lichtmenge ungenügend ist.

Pflanzen reagieren auch sehr unterschiedlich auf Durchzug, Feuchtigkeit und Kälte. Bei tiefen Temperaturen ist für viele Pflanzen hohe Feuchtigkeit schlecht (kalte nasse Füsse!).

Es zeigt sich also, dass in Kirchen mit einfachen Mitteln für viele Pflanzengattungen keine geeignete Umgebung geschaffen werden kann. Aus diesem Grund sollten die Pflanzen immer entsprechend dem vorhandenen Raumklima ausgewählt und nie das Raumklima den Pflanzen angepasst werden.

Folgende Pflanzen eignen sich **gut** für Kirchen:

- **Araucaria:** Zimmertanne
- **Aucuba:** Blattpflanze mit festem Wuchs
- **Buxus (Buschbaum):** Buschpflanze
- **Fatsia oder Aralia (Japonia):** Blattpflanze
- **Lorbeeren:** Baum oder Buschformen (z.B. Pyramide), erträgt auch leichten Frost, braucht im Sommer viel Licht (evtl. im Freien aufstellen).
- **Phoenix-Palme:** während dem Sommer im Freien aufstellen

Folgende Pflanzen eignen sich **bedingt** für Kirchen:

- **Beaucarnea:** Stammstück mit Blätter
- **Dracaena** (Drachenbaum): Stammstück aus welchem die Blätter treiben, verschiedene Arten erhältlich.
- Gummibaum: nur bei Temperaturen über ca. 12 °C, im Winter privat oder in geheiztem Raum aufstellen.
- **Koniferen** (Nadelgehölze): es sind die unterschiedlichsten Formen und Farben erhältlich (während dem Sommer im Freien aufstellen).
- **Schefflera:** Blattpflanze
- **Yucca-Palme:** bevorzugt Licht

Aus ökonomischen und praktischen Überlegungen können auch künstliche Pflanzen in Betracht gezogen werden. Diese Pflanzen sind aus einigen Metern Entfernung selbst vom Fachmann nicht von echten Pflanzen zu unterscheiden.

## Kerzen

Durch jeden Kerzenabbrand entsteht Russ, welcher vorallem über die heizungsbedingten Luftbewegungen im ganzen Kirchenraum fein verteilt wird. Um übermässige Verschmutzungen zu vermeiden, sollte eine grosse Russproduktion vermieden werden.

Die wichtigste Voraussetzung für eine saubere Flamme ist einwandfreies Kerzenmaterial. In Kirchen sollten nur Kerzen aus dem Fachhandel verwendet werden. Beim Kerzenkauf ist der Verwendungszweck und die voraussichtliche Brenndauer zu beachten.

Ebenso wichtig wie die Qualität ist die Pflege der Kerzen. Ein zu langer Docht, verschmutzte Kerzen oder ein zu hoher Rand erhöhen die Russproduktion. Grosse und dicke Kerzen bedürfen entschieden mehr Pflege als dünne.

## 10.2 Wartung der Heizung

Elektroheizungen sind grundsätzlich wartungsarm. Dies ist vermutlich auch der Grund, warum die Wartung oft gänzlich vernachlässigt wird.

Ein minimaler Unterhalt, speziell in Räumen mit öffentlichem Zutritt, ist jedoch auch bei diesen Systemen notwendig.

Dazu zählen:

### \* Vor der erneuten Inbetriebsetzung im Herbst:

- Die Reinigung sämtlicher Heizkörper, speziell diejenigen, auf welchen sich Staub und andere Verunreinigungen ablagern können (Verschmutzte Heizkörper entwickeln im Betrieb unangenehme Gerüche und wirbeln Staub auf). Im Fussboden versenkte Konvektoren sind meistens besonders stark verschmutzt.
- Die Kontrolle der Wärmeabgabe: Die verschiedenen Heizgruppen sind einzeln nacheinander in Betrieb zu nehmen und alle Heizkörper müssen von Hand überprüft werden, ob sie sich gleichmässig erwärmen.  
  
Bei Drehstromverbrauchern (3 Phasen) sind bei einem Defekt meistens mehrere Heizkörper(gruppen) betroffen. Dabei werden einzelne Heizkörper überhaupt nicht, andere nur noch reduziert (1/2 evtl. 2/3) erwärmt. Die Ursache ist im Normalfall bei einem defekten Heizkörper oder einem Unterbruch in der Stromzuführung (Sicherung) zu suchen.
- Funktionskontrolle der Regelorgane (soweit möglich)
- Kontrolle, ob Änderungen der ElektrizitätsLieferbedingungen zu berücksichtigen sind (andere Sperrzeiten, neue Tarife und Tarifzeiten usw.)
- Die Überprüfung der Dichtigkeit von Türen und Fenstern, nötigenfalls ist neu abzudichten bzw. sind die Tür- und Fensterschliesser zu reparieren.
- Leuchtenkästen und Lüftungsöffnungen in der Decke auf Luftdichtigkeit überprüfen (Überhitzung der Leuchten beachten)

### \* Periodisch:

- Kontrolle, ob Papier und anderer Unrat im Bereich der Heizkörper abgelagert wurde (Brandgefahr). Der direkte Kontakt mit brennbaren Gegenständen wie Vorhängen oder das Belegen mit Tüchern muss ebenfalls vermieden werden.
- Überprüfung der Einstellung der Regelorgane (Raumthermostate, Schaltuhren, Bodenheizungsregler, Regler für Speicherheizungen usw.)
- Messung der Raumlufttemperaturen während und ausserhalb den Belegungen und evtl. der Raumluftfeuchte.

# 11. Erfolgskontrolle

## 11.1 Energiebuchhaltung

Die regelmässige Kontrolle des Energieverbrauches einer Kirche ist in doppelter Hinsicht von grosser Bedeutung. Auf der einen Seite ermöglicht der Vergleich des jährlichen Energieverbrauches die Überprüfung von Veränderungen an der Heizungsanlage, dem Benützerverhalten oder an der Baukonstruktion. Die aufgezeichneten Verbrauchszahlen dienen auch bei der Projektierung energetischer Massnahmen.

Auf der anderen Seite kann der ermittelte Energieverbrauch über die Energiekennzahl (siehe Kapitel 6.1) mit anderen, gleichartig genutzten Kirchen verglichen werden. Daraus lässt sich auf einfache Art abschätzen, ob die Heizung effizient betrieben wird.

Bei Kirchen kann der wärmetechnische Zustand wegen der sehr unterschiedlichen Nutzungszeiten nicht aufgrund des Energieverbrauches beurteilt werden.

### \* Erfassung der Daten

Da für elektrische Energie immer Zähler vorhanden sind, ist der Aufwand für die Führung der Energiebuchhaltung gering. Die Energiebuchhaltung liefert nur dann aussagekräftige Ergebnisse, wenn alle wichtigen Grössen systematisch erfasst werden. Dazu gehören neben den Verbrauchswerten auch Nutzungsänderungen, Systemdefekte, Regelungseinstellungen, Unterhalts- und Sanierungsarbeiten.

Die Verbrauchserfassung sollte regelmässig einmal pro Monat erfolgen. Es ist ein Stichtag - vorzugsweise der letzte oder erste Tag des Monats - zu wählen. Für gezielte Untersuchungen können über eine kürzere Zeit auch tägliche oder wöchentliche Ablesungen notwendig sein.

Zur Protokollierung der abgelesenen Daten eignet sich das Formular «Energiebuchhaltung» im Anhang A 8.4. Je nach Art der Heizungsanlage und Energiemessung sind eventuell weitere oder abgeänderte Formulare notwendig.

In Kirchen ist vielfach nur ein Zähler vorhanden. Damit wird der gesamte Elektrizitätsverbrauch (Heizen, Licht, Lätwerk, usw.) erfasst. Wenn mehrere Zähler installiert sind, müssen die Angaben aller Zähler erfasst werden. Es sollten immer alle Zählerdaten der verschiedenen Tarife (Hochtarif, Niedertarif, Leistung) notiert werden.

Bei speziellen Situationen, z.B. Heizgruppen mit unbekanntem Regelverhalten, kann der Einbau von Betriebsstundenzählern wichtige Informationen über den Energieverbrauch und Hinweise für Optimierungen liefern.

### \* Auswertung der Daten

Mit einer laufenden Verbrauchskontrolle können die Auswirkungen von Energiesparmassnahmen, bereits nach kurzer Zeit beurteilt werden. Eine übermässige Verbrauchszunahme kann rechtzeitig erkannt und gezielte Gegenmassnahmen können getroffen werden.

Die Verbrauchskontrolle besteht darin, dass die Monatsverbräuche mit denjenigen der Vorjahre, oder auch der Verbrauch von Heizperiode zu Heizperiode miteinander verglichen werden.

### \* Weitere Elektrizitätsverbraucher

In elektrisch beheizten Kirchen wird wohl immer der grösste Anteil der verbrauchten Energie für die Raumheizung benötigt. Es wäre aber trotzdem falsch, alle anderen Elektrizitätsverbraucher nicht zu beachten.

Besonders kritisch sollten alle potentiellen Dauerverbraucher beobachtet werden, z.B.:

- **Dachrinnen und Ablaufrohrheizungen:** Nur mit Temperatur- und Feuchteregelung betreiben; jährlich kontrollieren; die Dachrinnen sind von Laub, Moos usw. zu befreien.
- **Entfeuchtungsgeräte:** Nur in Betrieb setzen wenn nötig; Hygrostat möglichst hoch einstellen.
- **Befeuchtungsgeräte:** Nur in Betrieb setzen wenn wirklich nötig; Hygrostat möglichst tief einstellen.
- **Aussenbeleuchtungen:** Betriebsstunden überprüfen; evtl. Leistung reduzieren (z.B. Lampe mit nur 500 W anstatt 1000 W einsetzen).
- **Glühlampen:** durch Energiesparlampen ersetzen.

Baujahr: 1892

Letzte Renovation: 1991/92

Die "städtische" Saalkirche wurde im neugotischen Stil von August Hardegger erbaut.

## Gebäudehülle

- äussere Mauerschale aus einem QuadersteinMauerwerk (Steine aus Kernbeton mit Vorsatz), hellgrau gestrichen; innere Mauerschale aus Backstein bzw. Sandsteinquader, verputzt; k-Wert = ca. 1,4 W/M2K
- Fenster: 2-fach Isolierverglasung, fest verglast in Stahlrahmen mit innerer vorgehängter Kunstverglasung, k-Wert = ca. 2,2 W/M2K
- Holzbalkendecke, 1944 eingebaut, 1991/92 zusätzlich mit 10 ... 12 cm gedämmt, k-Wert = ca. 0,34 W/M2K
- im Orgel- und Chorbereich teilweise unterkellert
- Steildach mit Faserzementschindeln

## Kirchenheizung

- Eisen-Rohrheizkörper im Sitzbankbereich, unter Fusschemel auf Boden montiert
- Fussbodenheizung im Chor und unter der Empore Fensterbankheizung
- Programmierbare Heizungsregelung 1992 eingebaut

Fig. A1 Aussenansicht

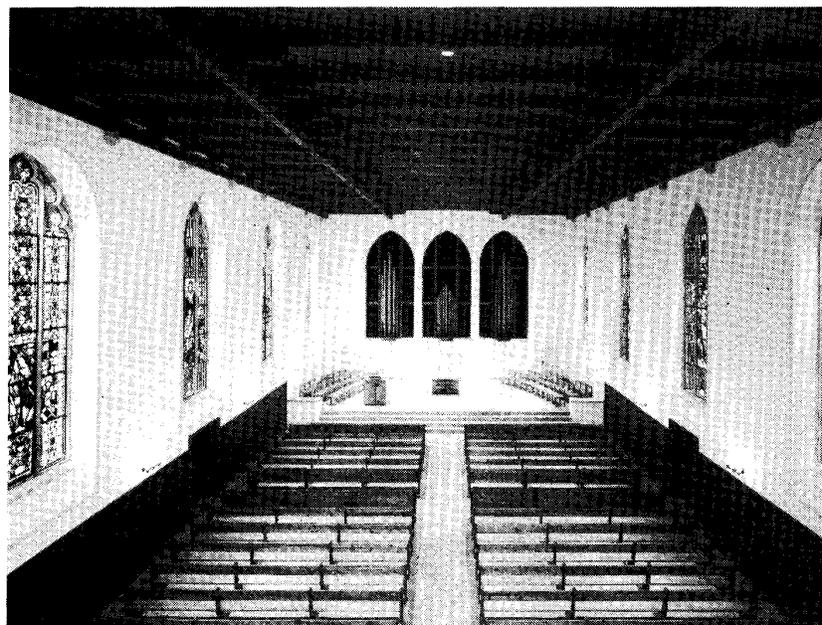
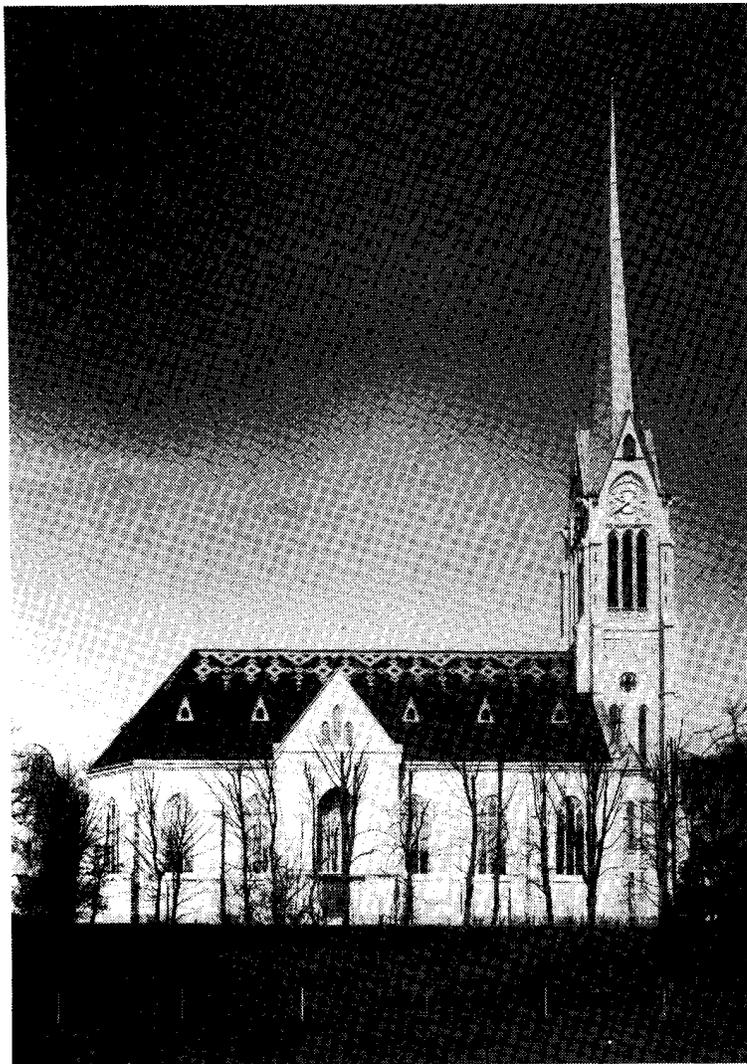


Fig. A2  
Innenansicht

Grobanalyse elektrische Kirchenheizung Stand September 1993 (Zusammenfassung)

Gebäudeangaben	- Baujahr - Sanierung - Beheizte Räume / Zonen - Anzahl Sitzplätze	1892 1991/92 --- ca. 690	Gesamtsanierung Kirche, Orgelraum, 2 Seiteneingänge, 1 WC Davon ca. 170 auf der Empore und ca. 55 im Chor
Technische Angaben	Raumhöhe Kirche Installierte Heizleistung Heizung - Wärmeabgabe  - Steuerung, Regelung	10,9 m 128 kW Chor/Schiff hinten Schiff/ Empore Fenster Nebenräume Kirche	Nominalleistung bei 380 Volt (alle Räume) Bodenheizung Eisen-Rohrheizkörper unter Fusschemel auf Boden montiert alle Fenster mit Fensterbankheizung Wandkonvektoren Programmierbare Heizungsregelung
Jährlicher Energieverbrauch	Elektrizität (effektiv) kWh Fr.	68'580 15'350.--	Heizperiode 92/93 Hochtarif 17,5 Rp./kWh; Niedertarif 9,3 Rp./kWh; Leistung Fr. 8.--/ kW/Monat (nur für 60 % von P <sub>max</sub> )
Berechnete Werte	Energiebezugsfläche EBF Spezifische install. Leistung P <sub>s</sub> Energiekennzahl	707 m <sup>2</sup> 181 W/m <sup>2</sup> 349 MJ/m <sup>2</sup> a	alle Räume (bei Grobanalysen: EBF = beheizte BGF) nur Kirche: 122,5 kW : 649 m <sup>2</sup> beh. BGF = 189 W/m <sup>2</sup> Heizperiode 92/93, auf beheizte BGF bezogen 1) ⇒ Verbrauch: mittel Sparpotential: tief
Bisheriger Heizbetrieb	Raumlufttemperaturen: - Kirche: - belegt - unbelegt (Minimum)  - Orgelraum  - Windfänge vorne  - WC  Belegungen: - wöchentliche (Kirche) - vereinzelte	ca. 17 °C ca. 6 °C --- --- --- 1,7 ca. 100	Ausserhalb den Belegungen wurde nur im NT geheizt Möglichst wie in der Kirche Nur im strengen Winter vor den Belegungen kurz beheizt (Windfang Hauptportal ohne Heizung) Nur im Winter bei Frostgefahr reduziert beheizt Anzahl / Woche (Sonntags- und Jugendgottesdienste) Anzahl / Jahr (ca. 60 Bestattungen; Konzerte u. Diverse)
Weitere Elektrizitäts-Verbraucher	keine		
Bisherige Schwierigkeiten	Störendes Brummen der Eisen-Rohrheizkörper; Geräuschentwicklung der Fensterheizkörper beim Erwärmen und Abkühlen.		
Ausgeführte/geplante Sanierungen	Sanierung 1991/92: Gebäude aussen und innen saniert; bestehende Heizkörper in der Kirche verwendet, Chor und Schiff hinten neue Bodenheizung; Nebenräume neue Heizkörper; neue programmierbare Heizungsregelung		
Sofortmassnahmen	Raumklimamessungen, Überwachung des Heizbetriebes, Energiebuchhaltung führen		
Weiteres Vorgehen	Weitere, mögliche Massnahmen: Das Gebläse für die (beheizte) Orgel steht im Untergeschoss des unterkellerten Chores. Dieses wird durch eine Türe mit grossem, offenem Gitter durch die Aussenluft stark ausgekühlt. ⇒ Demontables Fenster in Türöffnung einbauen. Im Sommer Fenster entfernen zur Austrocknung des Untergeschosses. ⇒ Im Orgelraum Bodenöffnung erstellen (im Bereich Holzdecke), Zuluftkanal zu Orgelgebläse führen, oder neues Orgelgebläse im Orgelraum aufstellen. Damit wird der Orgel, anstelle der kalten (Aussen-)Luft, die wärmere Kirchenluft zugeführt = energiesparend und bessere Stimmhaltung der Orgel. ⇒ Decke unter Orgelraum wärmedämmen		

1) Mit Teilzeit-, Temperatur- und Raumhöhenkorrektur nach RAVEL-Kirchenheizungen für Feinalysen beträgt die EBF 955 m<sup>2</sup> und die HGT-normierte Energiekennzahl 273 MJ/m<sup>2</sup>a.

# Grundriss

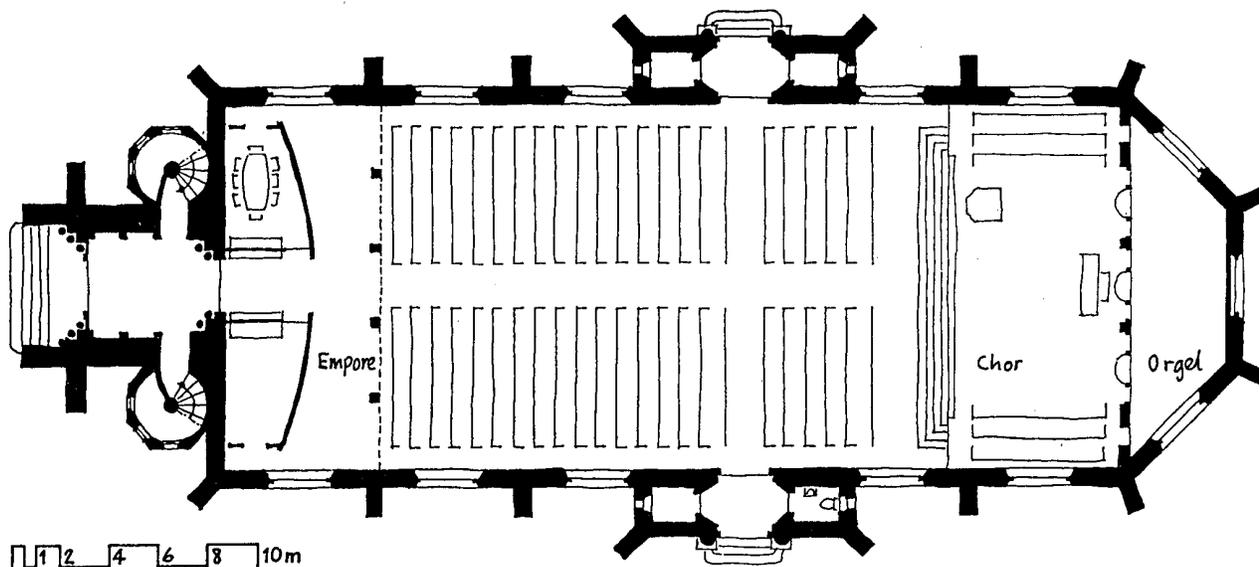


Fig. A3 Grundriss evangelische Kirche Amriswil

## Heizsystem

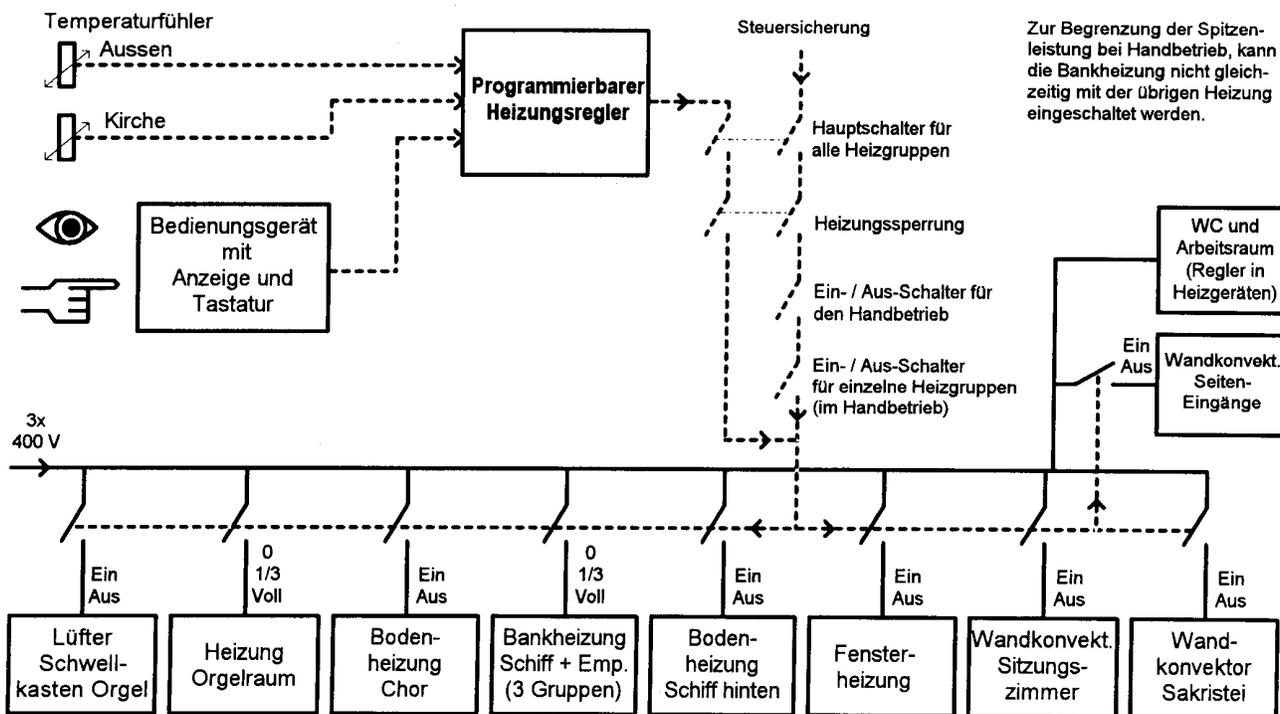


Fig. A4 Prinzipschema Heizung evangelische Kirche Amriswil

# Funktionsbeschreibung der Heizung

Die Heizung kann in drei, voneinander unabhängigen Betriebsarten eingesetzt werden:

## - Autornatisch Heizen

Am Bedienungsgerät werden der Belegungsbeginn, das Belegungsende und die Solltemperaturen eingetippt (siehe auch Seite 36). Aufgrund der Innen- und der Aussentemperatur berechnet der Heizungsregler für jede Belegung den optimalen Aufheizbeginn. Die Aufheizgeschwindigkeit wird wegen der empfindlichen Orgel begrenzt.

Die Bodenheizungen werden zeitlich vorverlegt, die Fensterheizung aussentemperaturabhängig und nur während der Belegung eingeschaltet. Die Regelung erfolgt gesamthaft in 5 Leistungsstufen, indem einzelne Heizgruppen hinzu bzw. von 1/3 auf voll umgeschaltet werden.

Der kleine Lüfter in der Trennwand zum Schwellkasten ist während dem Heizen immer in Betrieb = möglichst gleiche Temperatur im Schwellkasten wie in der Kirche.

Die Heizungen in Sakristei und Sitzungszimmer werden mit der Kirchenheizung freigegeben (Regelung der Temperaturen an den Heizgeräten). Die Kanzelheizung wird durch ein unabhängiges Zeitrelais, die Heizung am Orgelspieltisch über den Hauptschalter der Orgel gesteuert. Die Seiteneingänge werden bei Bedarf manuell beheizt.

Ausserhalb den Belegungen wird im Niedertarif auf ca. 6 °C geheizt (sehr selten).

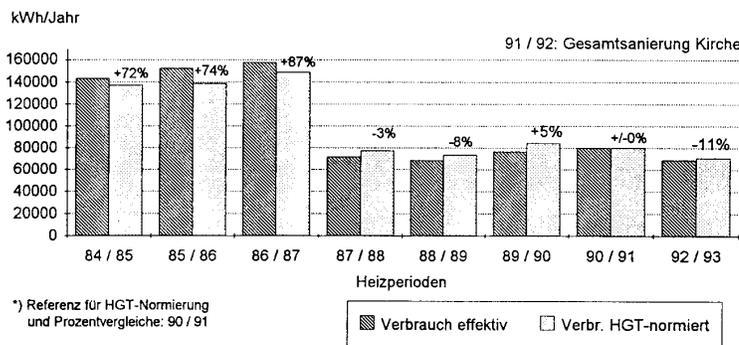
## - Direkt Heizen

Über den Heizungsregler können die einzelnen Heizgruppen zeitgesteuert ein- und ausgeschaltet werden (inkl. Leistungsvorwahl). Dieser Betrieb ist mit einer üblichen Installation mit Schaltuhr und Raumthermostat vergleichbar.

## - Handbetrieb

Bei ausserordentlichen Situationen und im Servicefall sind alle Heizgruppen mittels den Schaltern auf der Hauptverteilung bedienbar.

# Stromverbrauch



Die markante Reduktion des Stromverbrauchs in der Heizperiode 87/88 (-50 % im Vergleich zum Vorjahr) ist vorwiegend auf den Mesmerwechsel im September 1987 zurückzuführen.

Nach der Sanierung 1991/92 konnte der Stromverbrauch im Vergleich zu vorher, trotz häufigeren Belegungen und der neuen, energetisch eher uneffizienteren Bodenheizung, um ca. 11 % reduziert werden.

Fig. A5 Stromverbrauch Kirche Amriswil

# Probleme, Erkenntnisse, Verbesserungen

Da die Bankheizungen bei Vollast ein störendes Brummen erzeugen, können diese während der Belegung nur mit 1/3 der Nennleistung eingeschaltet bleiben. Bei tiefen Aussentemperaturen ist diese Leistung ungenügend.

Bei Heizungsperrungen durch das Elektrizitäts-Versorgungsunternehmen kurz vor Belegungen, kann der während der Sperrzeit entstandene Wärmeverlust kaum mehr rechtzeitig kompensiert werden. Während beispielsweise einer Stunde sinkt die Raumtemperatur tiefer ab, als mit voller Leistung in der gleichen Zeit wieder aufgeheizt werden kann.

Da die Fensterheizungen beim Erwärmen und Abkühlen laute Knackgeräusche erzeugen, wurde die Software des Reglers dahingehend angepasst, dass die Heizkörper während der Belegung nicht mehr ein- bzw. ausgeschaltet werden. Versuche mit getrennter Montage der Luftleitbleche bzw. der Heizkörper brachten eine Reduktion der Geräusche. Es ist bedauerlich, wenn Heizkörper nur wegen der Geräuschbildung nicht ausgeschaltet werden können.

Baujahr: 1924 Einweihung

letzte Renovation: 1987/88 (nur innen)

Eporenhallenkirche mit Zentralraum, geprägt von "später Gründerzeit", neoklassizistisch



Fig. A6 Aussenansicht

### Gebäudehülle

- Backsteinmauerwerk verputzt, Dicke im Erdgeschoss = ca. 1 00 cm, k-Wert ca. 0,5 W/M2K
- Holzfenster mit Doppelverglasung, ohne Fugendichtung, k-Wert = ca. 2,6 W/M2K, grosse Fenster mit etwas schwachen Kreuzpfosten, Fensterflügel z.T. verzogen = grosse Luftdurchlässigkeit
- Holz-Kassetten-Decke, Hohlraum ca. 100 cm hoch ganze Kirche unterkellert, Hourdisdecke
- Steildach mit Ziegeldeckung

### Heizung

- *Kirche*: Infrarot-Heizkörper im Sitzbankbereich, in den Seitenschiffen und Emporen durch Rohrheizkörper ergänzt, Bodenheizung im Chor, Orgelraumheizung, Fensterbankheizung
- *Unterweisung und Sitzungszimmer*: Speicherheizgeräte
- *Eingänge*: Flachrohr-Wandheizkörper
- *Jugendraum*: Luftheizung mit Elektroeinatz
- *Archiv*: Bodenheizung, Be- und Entfeuchtung



Fig. A7  
Innenansicht

## Grobanalyse elektrische Kirchenheizung Stand September 1992 (Zusammenfassung)

Gebäude Angaben	- Baujahr - Sanierung - Beheizte Räume / Zonen  - Anzahl Sitzplätze Kirche	1924 1987/88 —  ca. 750	Innensanierung, Heizungserweiterung Kirche, Orgelraum, 4 Windfänge, 4 WC, Unterweisung, Sitzungszimmer, Jugendraum, Archiv Davon 400 auf den Emporen
Technische Angaben	Raumhöhe Kirche Installierte Heizleistung Heizung - Wärmeabgabe  - Steuerung, Regelung	12,8/10,5 m 273 kW Chor Schiff/ Emporen Orgelraum Nebenträume alle Räume	Mittelschiff / Seitenschiffe Nominalleistung bei 380 Volt (alle Räume) Bodenheizung im erhöhten Bereich, seit 1988 Infrarot-Heizkörper auf Bankunterseiten montiert, seit 1988 ergänzt mit Leichtmetall-Rohrheizkörper Seit 1988 Leichtmetall-Rohrheizkörper siehe Vorderseite und Fig. A8 4 Schaltuhren, 18 Raumtemperaturregler, 10 Einstellmöglichkeiten an Heizgeräten und Reglern, 47 Schalter!
Jährlicher Energieverbrauch	Elektrizität (effektiv) kWh Fr.	101'496 14'024.--	Heizperiode 91/92 (vor Realisierung der Sparmassn.) Hochtarif 21 Rp./kWh; Niedertarif 10 Rp./kWh (Wintertarif; keine Leistungsverrechnung)
Berechnete Werte	Energiebezugsfläche EBF Spezifische install. Leistung P <sub>s</sub> Energiekennzahl	1348 m <sup>2</sup> 203 W/m <sup>2</sup> 271 MJ/m <sup>2</sup> a	alle Räume (bei Grobanalysen: EBF = beheizte BGF) nur Kirche: 163 kW : 744 m <sup>2</sup> beheizte BGF = 219 W m <sup>2</sup> Heizperiode 91/92, auf beheizte BGF bezogen <sup>1)</sup> ⇒ Verbrauch: mittel Sparpotential: mittel
Bisheriger Heizbetrieb	Raumlufttemperaturen: - Kirche: - belegt ca. - unbelegt ca. - Orgelraum - Eingänge (nur hinten) - WC (ausgen. vorne links) - Archiv Belegungen: - Kirche - Unterweisung - Sitzungszimmer - Jugendraum	ca. ca. --- --- --- 20 °C 1,0 bzw. 50 3,5 bzw. 15 1,0 bzw. 40 0 bzw. 2	17 °C 11 -12 / 9 °C    Bis Ende Jan. 93 / ab anfangs Feb. 93 (siehe Seite 70) Möglichst gleiche Temp. wie Kirche, mit sep. Regelung Thermostatbetrieb, ab Herbst 92 nur noch selten in Betr. Im Winter beheizt, ab Heizperiode 92/92 reduziert Heizung, Be- und Entfeuchtung ganzes Jahr in Betrieb wöchentliche bzw. vereinzelte (Anz./Woche bzw. A./Jahr) do. do. do.
Weitere Elektrizitätsverbraucher	- Luftbefeuchter und Luftentfeuchter im Archiv (über separate Hygrostaten, welche sich gegenseitig beeinflussen, unbefriedigende Lösung!) - 2 Warmwassererwärmer (dauernd ausgeschaltet)		
Bisherige Schwierigkeiten	Zeitaufwendige, sehr schwierige Bedienung — Im Automatik-Betrieb kann nur auf voller Leistung geheizt werden (1/3 nicht möglich) — Ungeeignete Leistungsregelung für die Infrarot-Heizkörper in der Kirche — Bodenheizung im Chor ist unlogisch mit der übrigen Heizung verriegelt — Heizungssperrung ist nicht sichtbar — Heizung Unterweisung und Sitzungszimmer zeitlich fest mit Kirchenheizung gekoppelt — Hohe Betriebsstunden Archivheizung — Lüftungsklappen Jugendraum defekt		
Ausgeführte/geplante Sanierungen	Sanierung 1987/88: - Kirche, Sitzungszimmer, Unterweisung und Eingänge innen renoviert; Kirchenheizung erweitert geplant: - Aussenrenovation		
Sofortmassnahmen	Raumklimamessungen, Überwachung des Heizbetriebes, Energiebuchhaltung führen, Instruktion Bedienungspersonal, prov. Bedienungsanleitung erstellen		
Weiteres Vorgehen (mögliche Massnahmen)	Wärmetechnische Feinanalyse durch ausgewiesene Fachleute erstellen lassen — Heizungssteuerung und Regelung umbauen (mit Leistungsregelung, evtl. witterungsgeführter Ladung der Speicheröfen) — Heizungen in den 4 Eingängen/Treppenhäusern ausschalten — Verzogene Türe zu Unterweisungszimmer als Doppeltüre erneuern — Abklären, ob eine Fenstersanierung (Fugendichtung, Pfosten und Kämpfer verstärken) noch sinnvoll ist, oder der Fensterersatz geplant werden sollte — Dämmschicht vom Estrich her in Kirchendecke einbringen — Archiv im Untergeschoss des Turmes: Energieverbrauch und -kosten für Zuluft-, Befeuchtungs- und Entfeuchtungsanlagen erfassen; sicherstellen dass Be- und Entfeuchtung nicht gleichzeitig läuft; abklären ob weniger energieintensiver Lagerort möglich wäre — Für die bestellte Elektro-Warmluftheizung im Bastelkeller separate Strommessung einrichten, Verbrauch erfassen.		

<sup>1)</sup> Mit Teilzeit-, Temperatur- und Raumhöhenkorrektur nach RAVEL-Kirchenheizungen für Feinanalysen beträgt die EBF 1220 m<sup>2</sup> und die HGT-normierte Energiekennzahl 320 MJ/m<sup>2</sup>a.

# Grundriss

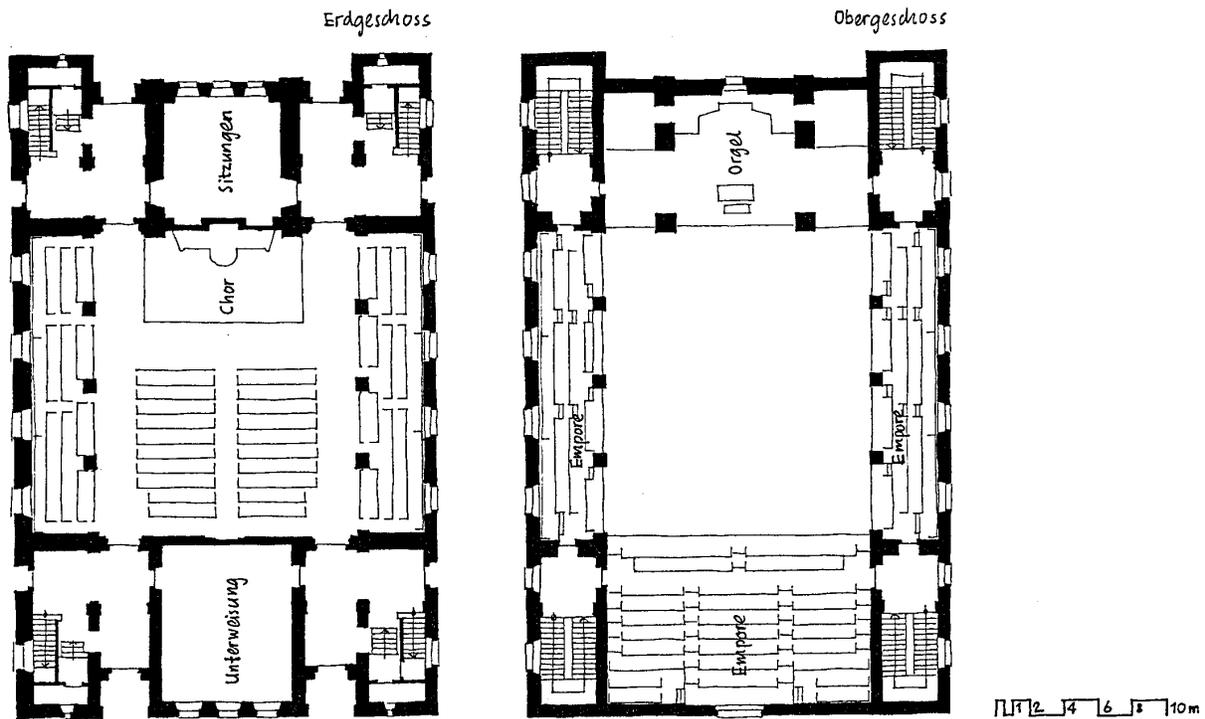


Fig. A8 Grundriss evangelische Kirche Arbon

## Heizsystem

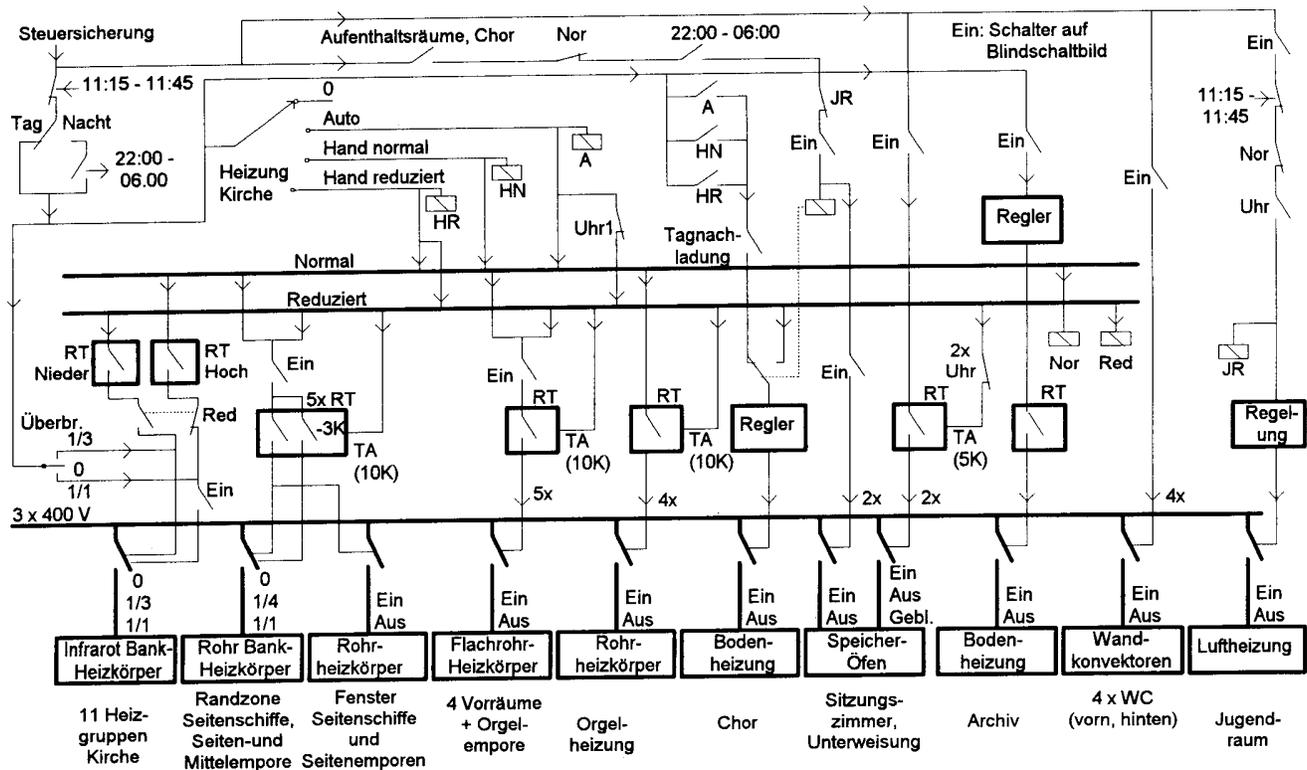


Fig. A9 Prinzipschema Heizung evangelische Kirche Arbon

# Funktionsbeschreibung der Heizung

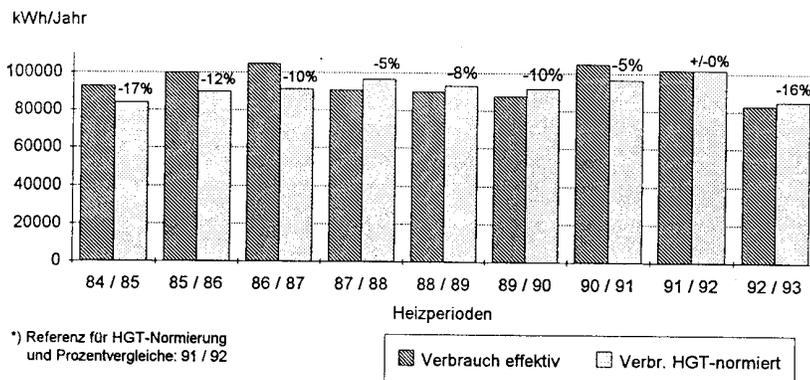
Betriebsarten der Heizung:

- **Automatik:** Ausserhalb den Belegungen läuft die Heizung auf "reduziert", d.h. die Infrarotbankheizung wird über den Raumtemperaturregler (RT) "Nieder" bzw. die übrigen Heizkörper über die individuellen RT mit einer Temperaturabsenkung (TA) geregelt.  
Mit der Schaltuhr "Uhr" wird die Heizung auf den Normalbetrieb umgeschaltet. RT "Hoch" regelt die Infrarotheizung bzw. die übrigen Heizkörper werden ohne Temperaturabsenkung über die individuellen RT betrieben.  
Die Bodenheizungen (Chor und Archiv), die WC-Heizungen und die Heizung im Jugendraum werden durch die Umschaltung "normal/reduziert" nicht beeinflusst (ausgenommen Sperrungen zur Leistungsbegrenzung).
- **Hand normal:** wie Automatik im Normalbetrieb
- **Hand reduziert:** wie Automatik im red. Betrieb

Die einzelnen Heizgruppen:

- **Infrarotbankheizung:** 2 Leistungsstufen = im reduzierten Betrieb 1/3 bzw. bei Normalbetrieb 1/1 (1/3 im Normalbetrieb bzw. 1/1 bei "reduziert" ist nur via Überbrückungsschalter möglich)
- **Randzonen, Fenster:** RT mit Folgekontakt = 1. Stufe: Randzonen 1/4 u. Fenster voll; 2. Stufe (ca. 3 K unter Sollwert): Randzonen 1/1 u. Fenster voll; im reduzierten Betrieb TA = 10 K.
- **Vorräume, Orgelempore:** Freigabe mit Kirchenheizung; im reduzierten Betrieb TA = 10 K.
- **Orgelheizung:** Immer freigegeben wenn Kirchenheizung in Betrieb, Regelung durch 4 RT in der Orgel, im reduzierten Betrieb TA = 10 K.
- **Bodenheizung Chor:** Freigabe durch Schalter "Arbeitsräume + Chor" und Schalter auf dem Blindschaltbild = in Betrieb von 22:00 bis 06:00, ausser wenn im Jugendraum geheizt wird, Tagnachladung über Schalter möglich.
- **Sitzungszimmer, Unterweisung:** Aufladung Speicheröfen wie Betrieb Bodenheizung Chor, Entladung je über separate Schaltuhren; im reduzierten Betrieb TA = 5 K.
- **Archiv:** Über Schalter "Tag/Nacht" immer freigegeben, Regelung über RT im Archiv.
- **WC:** Freigabe über Schalter auf dem Blindschaltbild, Temperaturregler in den Heizgeräten.
- **Jugendraum:** Nur möglich wenn Kirchenheizung auf "reduziert", Freigabe über Schaltuhr.

## Stromverbrauch



Der Verbrauch der letzten Jahre liegt innerhalb einer üblichen Bandbreite. In den weniger kalten Heizperioden (87/88 bis 89/90) wurde weniger Strom verbraucht. 91/92 war der Verbrauch trotz des milden Winters hoch (höchster HGT-normierter Wert).

Der Heizbetrieb wurde aufgrund der Beobachtungen und Messungen anfangs Februar 93 angepasst: Grundtemperatur in Kirche abgesenkt (siehe Seite 70 u.71), Aufheizzeiten verkürzt. Daraus resultierte eine Einsparung von rund 16 %.

Fig. A10 Stromverbrauch Kirche Arbon

## Probleme, Erkenntnisse, Verbesserungen

Die sehr komplizierte Anlage mit Total 18 Raumtemperaturreglern und 34 Heizgruppen sowie der schlechte Bedienungskomfort verursacht aus verständlichen Gründen erhebliche Probleme. Einer der grössten Mängel ist die fehlende Leistungsregelung für die Bankheizung während der Belegung (nur 100 % bzw. 0 %). Schwierig zu verstehen sind auch die gegenseitigen Abhängigkeiten unter den einzelnen Heizgruppen.

Bei einer Sanierung der Heizungssteuerung und -regelung müssen unbedingt Vereinfachungen und eine Leistungsregelung für die Kirchenheizung miteinbezogen werden.

Baujahr: 1863 ... 1866

letzte Renovation: 1964 (nur innen)

Basilika mit Anlehnungen an den Still der Roman tik und der Renaissance, von Ferdinand Stadler



Fig. A11  
Aussenansicht

### Gebäudehülle

- Bruchsteinmauerwerk, innen und aussen verputzt, Dicke im Erdgeschoss = ca. 120 cm, k-Wert = ca. 1,0 W/M2K
- Fenster: festverglaste Einfachverglasung in Metallrahmen, k-Wert = ca. 5,6 W/M2K, neues Chorfenster Westseite 3-fach verglast.
- Decke: sichtbare Balkenkonstruktion, Kassettenholzdecke, Betonboden
- Kirche nicht unterkellert (alte Lüftungskanäle vorhanden)
- Steildach mit Tonziegeldeckung

### Heizung

- Kirche: Eisenrohr-Heizkörper im Sitzbankbereich Schiff, Bodenheizung und Wandheizkörper im Chor, Wandheizkörper auf den Seitenemporen, Rohr- und Wandheizkörper auf der Orgelempore, Fensterheizung, Orgelraumheizung
- Sakristei, WC, Heizraum: Konvektoren



Fig. A12  
Innenansicht

Grobanal se elektrische Kirchenheizung Stand September 1992 (Zusammenfassung)

Gebäude Angaben	- Baujahr - Sanierung - Beheizte Räume - Anzahl Sitzplätze	1863.. 1866 ca. 1994 --- ca. 1'100	Sanierungsprojekt innen und aussen Kirche, Orgelraum, 2 WC, Sakristei, Heizraum Davon ca. 120 auf den Emporen und ca. 100 im Chor
Technische Angaben	Raumhöhe Kirche Installierte Heizleistung Heizung - Wärmeabgabe  - Steuerung, Regelung	18,0/11,5 m 261 kW Chor Schiff Seiten Emp. Orgel Nebenräume Kirche	Hauptschiff / Seitenschiff Nominalleistung bei 380 Volt (alle Räume) Bodenheizung (seit ca. 1981), Wandheizkörper Eisen-Rohrheizkörper im Sitzbankbereich unter Fuss-schemmel auf dem Boden montiert Wandheizkörper Rohr- und Wandheizkörper Wandkonvektoren keine Regelung (kein Thermostat), nur Schaltuhr
Jährlicher Energieverbrauch	Elektrizität (effektiv) kWh Fr.	150'095 18'321--	Heizperiode 91/92 (vor Realisierung der Sparmassn.) Hochtarif 20 Rp./kWh; Niedertarif 9 Rp./kWh (Wintertarif); keine Leistungsmessung
Berechnete Werte	Energiebezugsfläche EBF Spezifische install. Leistung P <sub>s</sub> Energiekennzahl	1'334 m <sup>2</sup> 196 W/m <sup>2</sup> 405 MJ/m <sup>2</sup> a	alle Räume (bei Grobanalysen: EBF = beheizte BGF) nur Kirche: 250 kW : 1'268 m <sup>2</sup> beheizte BGF = 197 W/m <sup>2</sup> Heizperiode 91/92, auf beheizte BGF bezogen <sup>1)</sup> ⇒ Verbrauch: hoch, ab 92/93 mittel Sparpotential: mittel
Bisheriger Heizbetrieb	Raumlufttemperaturen: - Kirche: - belegt - unbelegt (Minimum)  - Orgelraum  - Sakristei  - WC  Belegungen: - wöchentliche (Kirche) - vereinzelte	ca. 17 °C --- --- --- --- 1,6 ca. 90	Ausserhalb der Heizperiode wurde nie geheizt Ausserhalb den Belegungen wird nicht geheizt Wird seit einigen Jahren nicht mehr eingeschaltet Nur vereinzelt vor Belegungen kurz beheizt Nur im Winter bei Frostgefahr reduziert beheizt Anzahl / Woche (Sonntags- und Jugendgottesdienste) Anzahl / Jahr (ca. 50 Bestattungen; Konzerte u. Diverse)
Weitere Elektrizitäts-Verbraucher	keine		
Bisherige Schwierigkeiten	Zugserscheinungen in der Kirche, schwierig in der Bedienung, hohe Energiekosten		
Ausgeführte/geplante Sanierungen	geplant: Gebäude wird aussen und evtl. auch innen saniert		
Sofortmassnahmen	Raumklimamessungen, Überwachung des Heizbetriebes, Energiebuchhaltung führen, schneller Aufheizen als bisher (ab anfangs März 93 realisiert)		
Weiteres Vorgehen	Wärmetechnische Feinanalyse durch ausgewiesene Fachleute erstellen lassen: - Abklären, ob in Zukunft Elektroheizung oder anderes Heizsystem - Wenn Elektroheizung, dann abklären, ob bestehendes Wärmeabgabesystem beibehalten werden kann - Bei Elektroheizung Steuerung- und Regelungskonzept erstellen: Art der Leistungssteuerung, Heizkonzept - Wärmetechnische Sanierungen: Fenster 2- oder 3-fach verglasen, Wärmedämmungen (Decke, usw.) - Luftdichtigkeit: Sanierung Fenster und Türen (Fugendichtungen)		

<sup>1)</sup> Mit Teilzeit-, Temperatur- und Raumhöhenkorrektur nach RAVEL-Kirchenheizungen für Feinanalysen beträgt die EBF 1605 m<sup>2</sup> und die HGT-normierte Energiekennzahl 357 MJ/m<sup>2</sup>a.

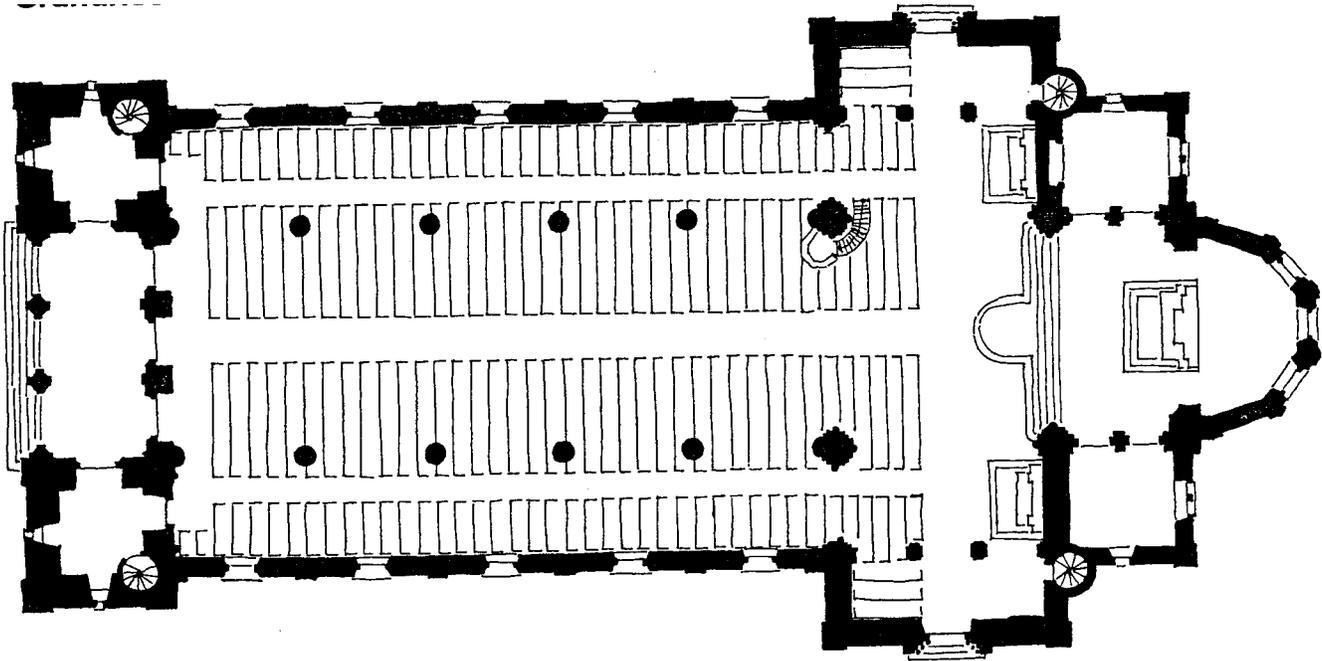


Fig. Al 3 Grundriss evangelische Kirche Glarus

Heizsystem

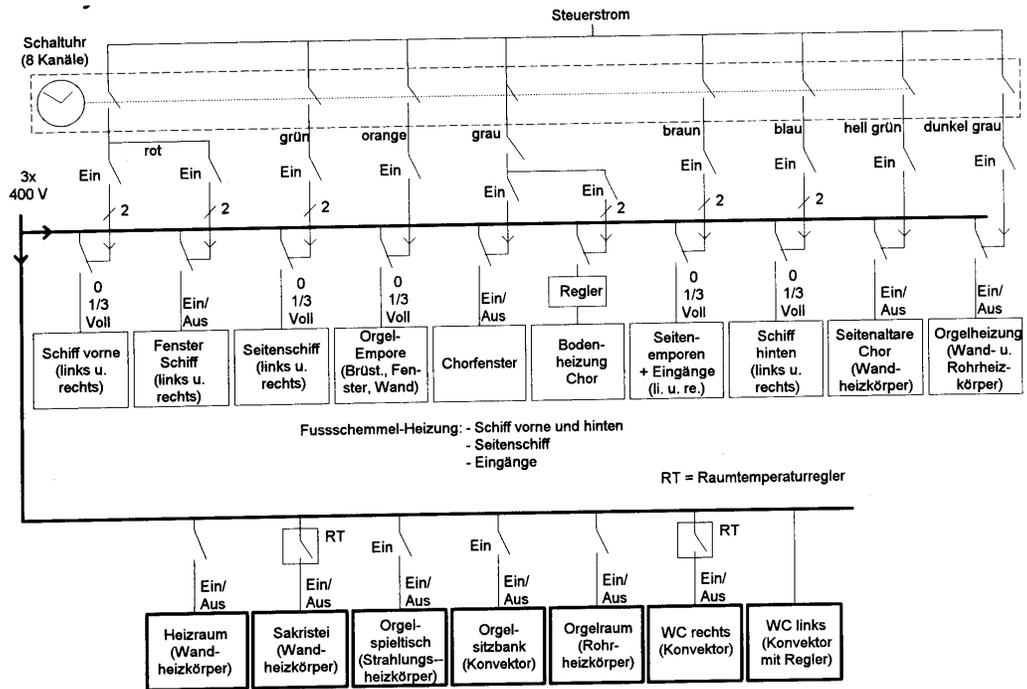


Fig. Al 4 Prinzipschema Heizung evangelische Kirche Glarus

## Funktionsbeschreibung der Heizung

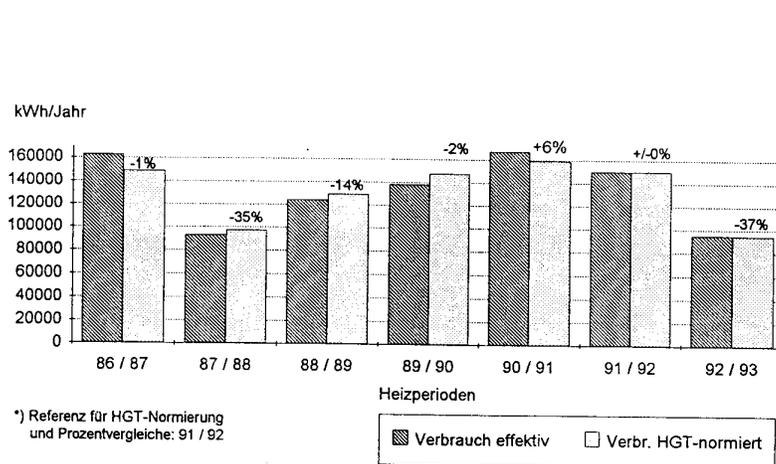
Die wichtigen Heizgruppen der Kirche können über die mehrkanalige Schaltuhr ein- und ausgeschaltet werden. Der manuelle Betrieb ist durch Überbrückung an der Schaltuhr möglich.

Besonderes zu den einzelnen Heizgruppen:

- *Schiff, Eingangsbereich vorne:* Die Wärmeabgabe der Eisen-Rohrheizkörper unter den Fussstuhlen kann durch Stern-Dreieckumschaltung von 1/3 auf volle Leistung umgeschaltet werden.
- Bodenheizung Chor.- Die Bodenheizung ist in einen 220 V und einen 380 V Bereich mit separater Regelung aufgeteilt.
- Sakristei und WC rechts: individuelle Raumtemperaturregler.

Ausserhalb den Belegungen wird die Kirche nicht beheizt.

## Stromverbrauch



Die markante Verbrauchsreduktion in der Heizperiode 87/88 (-35 %) ist hauptsächlich auf die Verlegung von Gottesdiensten in das Kirchgemeindehaus zurückzuführen. Aus Energie-spargründen wurden versuchsweise von Mitte Januar bis Ende Februar 1988 rund 10 Gottesdienste verlegt. Für die relativ grossen Abweichungen in den drei Heizperioden 88/89, 89/90 und 90/91 liegen keine plausiblen Angaben vor.

Ab der Heizperiode 91/92 wurden im Winter während rund 6 Wochen die Gottesdienste wieder ins Kirchgemeindehaus verlegt.

92/93 konnte der Stromverbrauch im Vergleich zum Vorjahr um 37 % reduziert werden (ab Ende Februar 93 schnelleres Aufheizen).

Fig. A1 5 Stromverbrauch Kirche Glarus

## Probleme, Erkenntnisse, Verbesserungen

Aufgrund von Befragungen und von Raumklimamessungen wurde vermutet, dass mit einem schnelleren Aufheizen ohne Komforteinbusse Energie gespart werden kann. Anstatt wie bisher mit rund 1 Kelvin pro Stunde (K/h), wird seit Ende Februar 1993 mit rund 2 K/h aufgeheizt (siehe auch Seite 66 "Aufheizphase" und Seite 71 "Aufheizgeschwindigkeit").

Die Schaltuhr wird jeweils so eingestellt, dass die Wärmeabgabe gleichmässig über den ganzen Gebäudegrundris erfolgt (meistens alle Bankheizungen bis Belegungsende auf Vollast). Obwohl in der Kirche kein Raumtemperaturregler vorhanden ist, wurden keine Übertemperaturen festgestellt. Obliche Raumtemperaturregler würden bei intermittierendem Heizen ohnehin nicht befriedigend funktionieren.

Bei der früheren Heizmethode wurde auf den Belegungsbeginn normalerweise auf ca. 17 bis 18 °C aufgeheizt. Während der Belegung war die Heizung weiter reduziert in Betrieb (Bankheizung auf 1/3). Dabei ist bei tiefen Aussentemperaturen gegen das Belegungsende die Raumlufttemperatur gesunken.

Mit der neuen Heizmethode wird "nur" auf ca. 16 bis 17 °C aufgeheizt, dafür während der Belegung mit hoher Leistung weitergeheizt. Dadurch steigt die Temperatur gegen das Belegungsende noch um 1 bis 2 °C an. Trotz der eher grösseren Luftbewegungen während der Belegungszeit hat sich die Behaglichkeit nicht verschlechtert. Während einem Aufheizevorgang mit Maximalleistung wurden in der Kirche an 20 verschiedenen Stellen Luftgeschwindigkeiten gemessen. Die grössten festgestellten Werte betragen ca. 0,35 m/s.

Baujahr: Chor und Schiff 1784, Turm stammt vom Vorgängerbau von 1679...81



Letzte Renovation: 1956... 58 aussen, 1971... 73innen

Saalkirche mit halbrundem Chor in spätbarockem Stil, von Max Schöb, Eschenbach

#### Gebäudehülle

- Fassaden aus Bruchstein, weiss verputzt, Dicke ca. 1 00 cm, k-Wert = ca. 1,2 W/M2K
- Fenster mit Doppelverglasung in Holz-/Metallkonstruktion, k-Wert = ca. 2,6 W/M2K
- Gewölbedecke aus Gips (auf Gipslättli unter Balkendecke)
- Kirche nicht unterkellert
- Steildach mit Ziegeldeckung

#### Heizung

- *Kirche*: Infrarot-Sitzbankheizung (seit 1972), Fussbodenheizung im Chor (Bereich Altar), Stufenheizung auf der Empore, Fensterbankheizung
- *Sakristei*: Speicherheizgerät
- *Kapelle*: Fussbodenheizung seit 1 990

Fig. AI 6 Aussenansicht

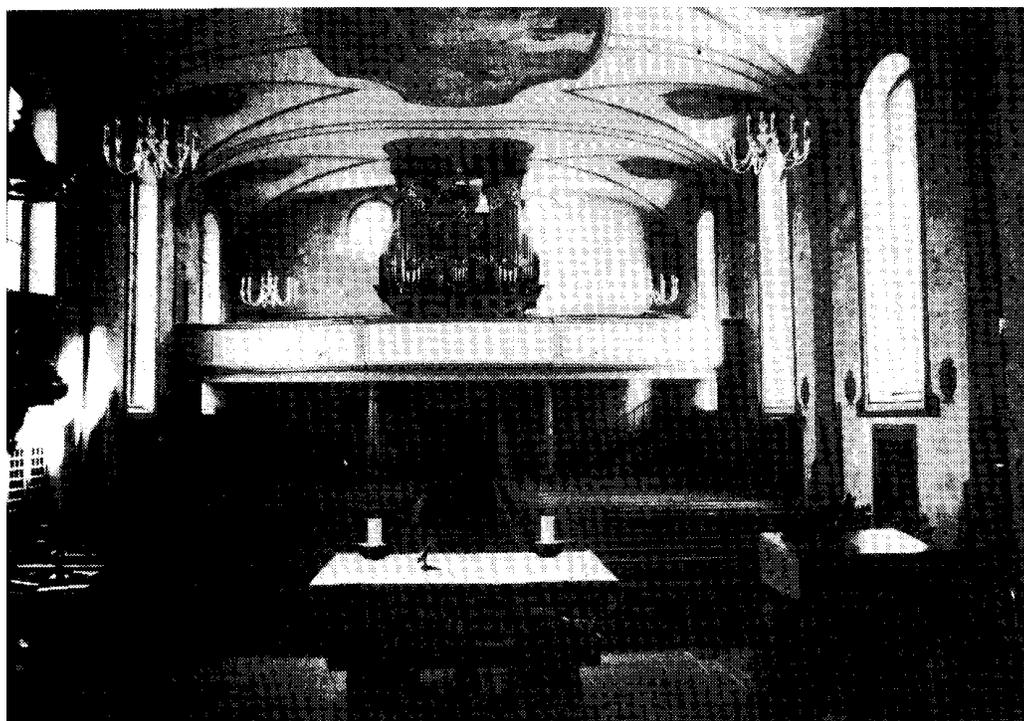


Fig. AI 7 Innenansicht

# Grundriss, Schnitte

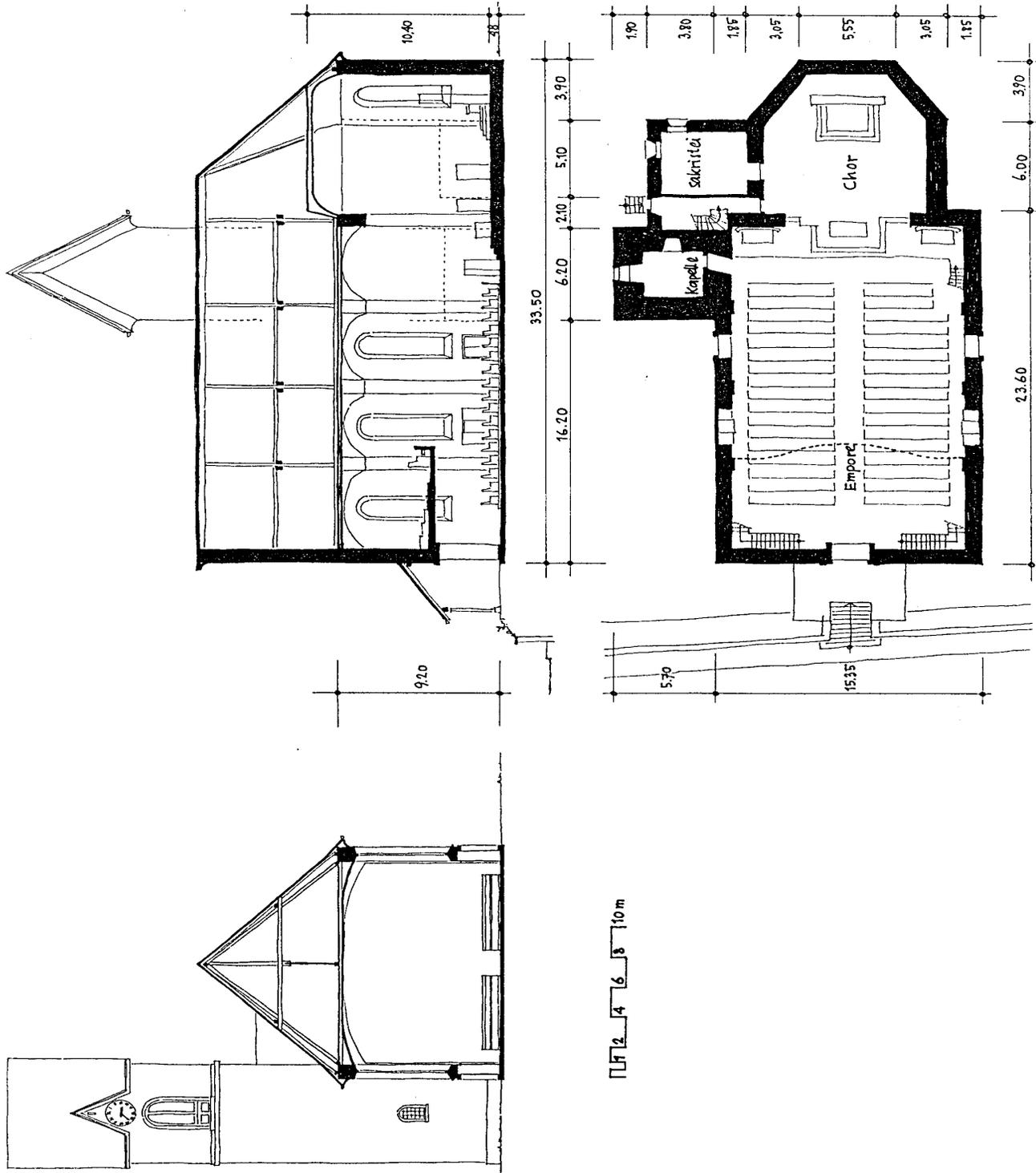


Fig. A18 Grundriss und Schnitte katholische Kirche Goldingen

# Heizsystem

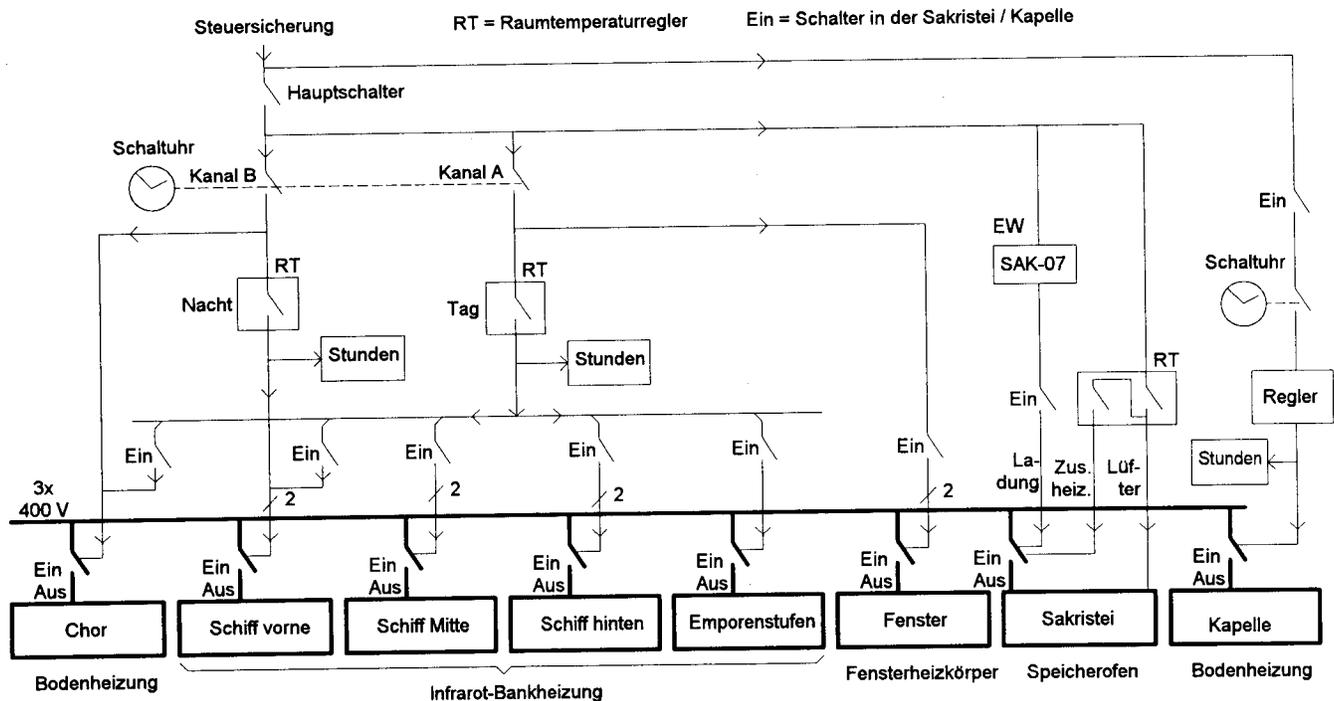


Fig. A19 Prinzipschema Heizung katholische Kirche Goldingen (Stand nach Installationsänderung Okt. 1992)

## Funktionsbeschreibung der Heizung

### Kirche

Die Kirchenheizung wird über den Hauptschalter freigegeben. Es sind zwei Betriebsarten möglich:

#### - *Nachtbetrieb* (Grundtemperatur)

Ober Kanal "B" der Schaltuhr wird die Bodenheizung im Chor eingeschaltet. Wenn die Raumlufttemperatur den am Raumtemperaturregler "Nacht" eingestellten Wert unterschreitet, werden die Sitzbankheizungen "Schiff vorne" (Bänke 1 ... 5) zusätzlich eingeschaltet.

#### - *Tagbetrieb*

Kanal "A" der Schaltuhr gibt die Heizung während dem Aufheizen und den Belegungen frei. Über den Raumtemperaturregler "Tag" werden die auf dem Blindschaltbild eingeschalteten Heizgruppen in Betrieb gesetzt. Die Fensterheizung ist nicht über den Regler angeschlossen, damit diese unabhängig von der übrigen Heizung betrieben werden kann.

### Sakristei

Die Freigabe für die Aufladung des Speicherofens erfolgt über den Rundsteuerbefehl Nr. 07 des Stromlieferanten. Am Speicherheizgerät kann die Aufladung mit dem Laderegler eingestellt werden. Die Entladung übernimmt der Raumtemperaturregler in der Sakristei. Ebenfalls über den Raumtemperaturregler kann die Zusatzheizung im Speicherofen freigegeben werden.

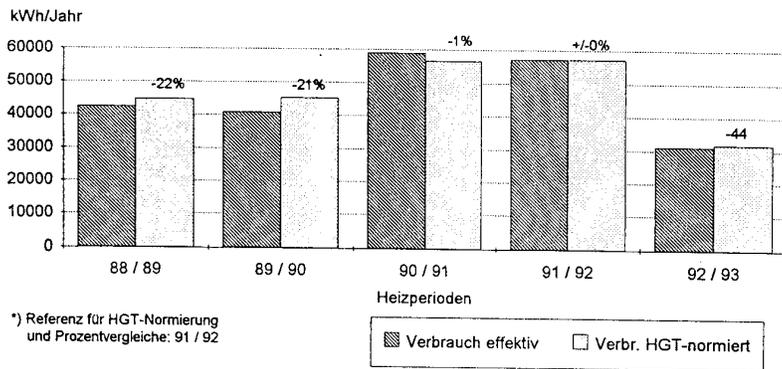
### Kapelle

Für die Bodenheizung in der Kapelle ist eine separate Schaltuhr und ein Regler vorhanden.

### Überwachung

Für die Überwachung der Betriebszeiten der Heizung wurde für den Tag- und den Nachtbetrieb der Kirchenheizung als auch für die Heizung in der Kapelle je ein Betriebsstundenzähler installiert.

# Stromverbrauch



Ab 1990/91 ist der Stromverbrauch aus unerklärlichen Gründen angestiegen.

Durch den Umbau der Heizungssteuerung und -regelung, aber auch wegen der detaillierten Instruktion der Mesmerin, konnte in der Heizperiode 92/93 der Verbrauch im Vergleich zum Vorjahr um 44 % reduziert werden.

Betriebszeiten der Heizung: (vom 23.10.92 bis 18.8.93)

Kirche: - Tagbetrieb: 502 Std.  
 - Nachtbetrieb: 291 Std.  
 Kapelle: 744 Std.

Fig. A20 Stromverbrauch Kirche Goldingen

## Probleme, Erkenntnisse, Verbesserungen

Vor dem Umbau der Heizungssteuerung und -regelung wurde die Heizung tagsüber manuell bzw. nachts durch die Steuerkommandos der SAK ein- und ausgeschaltet. Die Emporenheizung war erstaunlicherweise vor dem Elektrozähler angeschlossen (Installationsfehler!). Im obigen Stromverbrauch sind deshalb für die Jahre vor dem Umbau der Steuerung und Regelung je 1000 kWh dazu gezählt worden (Schätzung aufgrund der Betriebszeiten, siehe auch Seite 135 "Matrix Elektroverbrauch").

Die Folgen des bisherigen (nachts eher unkontrollierten) Heizbetriebes waren ein hoher Stromverbrauch und starke Verschmutzungen im Bereich der Heizkörper.

Mit dem Umbau der Heizungsteuerung und -regelung konnte ohne Komforteinbuße mit bedeutend weniger Elektrizität geheizt werden. Überraschend war die Reaktion einiger Kirchgängerinnen und Kirchgänger auf die Auswirkungen der "Energiespar-Übung". Sie waren der Meinung, dass neuerdings eher mehr geheizt werde als vorher.

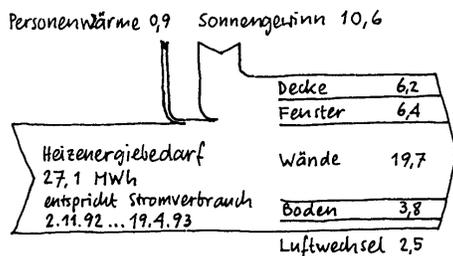
Störend nach dem Umbau ist nach wie vor, dass die Wärmeabgabe der Bankheizung nicht geregelt werden kann.

## Energiebilanz

Die Energiebilanz basiert auf Messdaten vom 2.11.92 bis 19.4.93 (167,44 Tage), bzw. auf manuellen Ablesungen und SIA 380/1 Standardwerten:

Raumluft:	- Kirche	10,15 °C (M)
	- Kapelle	10,0 °C (A)
	- Sakristei	14,0 °C (A)
	- unbeheiz. Nebenräume	6,0 °C (S)
Aussen:		3,26 °C (M)
Erdreich:	- Boden Kirche (für k-lin)	6,0 °C (S)
	- Böden (Kapelle, Sakristei)	8,0 °C (S)
Luftwechsel	- während Nutzung	0,6 (-) (S)
	- ausserhalb Nutzung	0,06 (-) (*)

(M = Messung; A = Ablesungen; S = SIA; \* = siehe Seite 85)



Die Berechnung ergab einen Heizenergiebedarf von 27'400 kWh. Der effektive Verbrauch während der Beobachtungsperiode betrug 27'518 kWh.

Fig. A21 Energiebilanz Kirche Goldingen. in MWh (effektive Daten aufgrund von Messungen)

Eine analoge Berechnung, aber mit Raumtemperaturen der Vorjahre (Kirche 13 °C, Kapelle 15 °C, Sakristei 16 °C) ergibt mit 209 HT einen Jahresenergiebedarf von ca. 57'300 kWh.

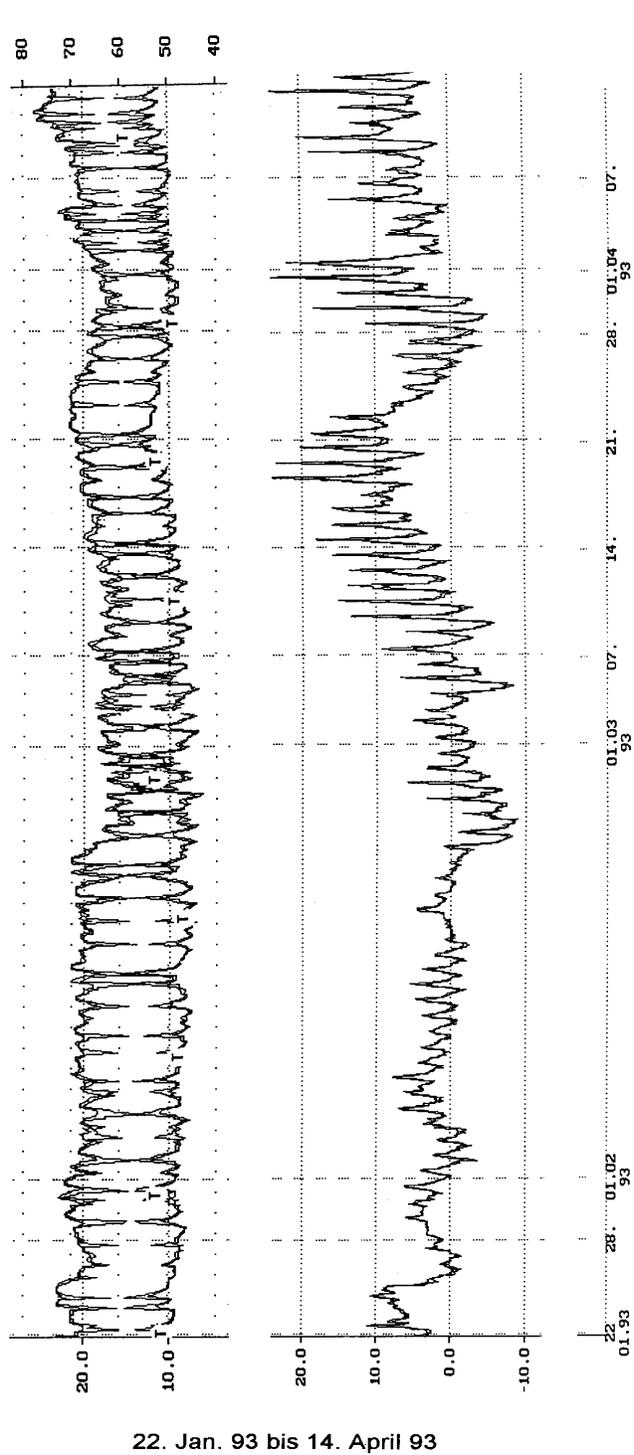
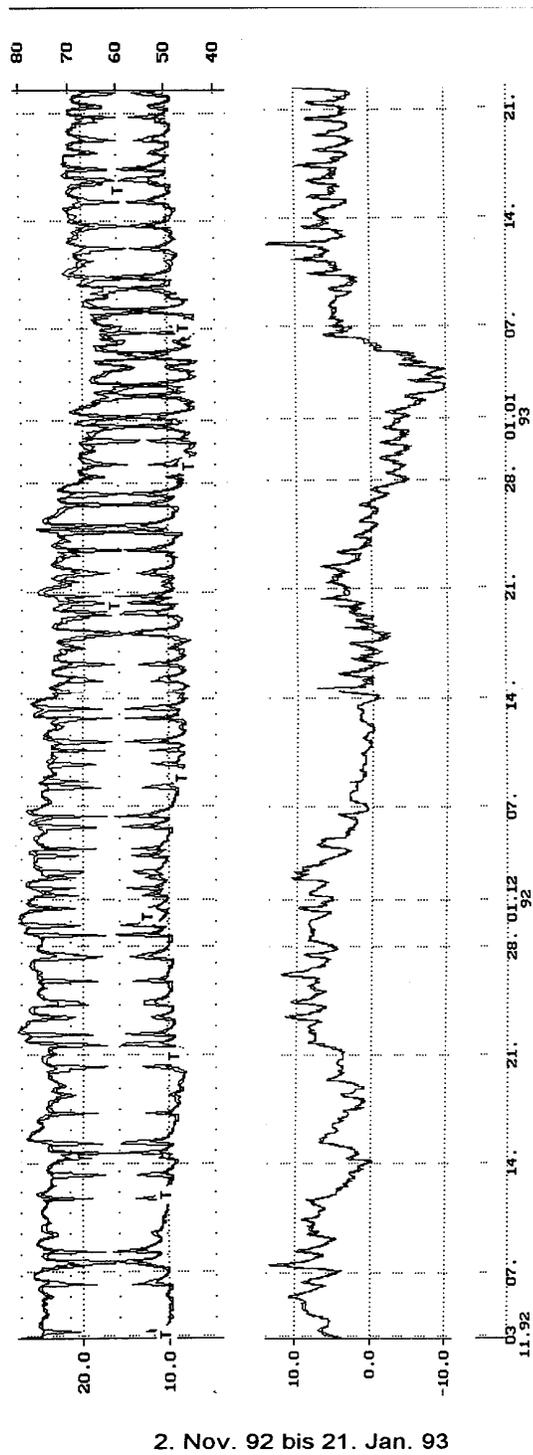


Fig. A22 Kirche Goldingen, von oben nach unten: relative Feuchte der Raumluft, Raumlufttemperatur und korrespondierende Aussentemperatur (nach dem Umbau der Heizungsteuerung und -regelung)

Objekt: Katholische Kirche Goldingen

**Übersicht Feinanalyse Heizung**

(Stand Oktober 1992, vor dem Umbau der Steuerung und Regelung)

<b>Gebäude</b>			
Mittlere Raumhöhe:	- Kirche - Kapelle - Sakristei	9,2 m 3,2 m 2,9 m	
Energiebezugsfläche EBF (alle Räume)		828 m <sup>2</sup>	raumhöhen-, teilzeit- und temperaturkorrigiert
Beheizte BGF:	- Kirche - Kapelle - Sakristei	466 m <sup>2</sup> 35,3 m <sup>2</sup> 28,8 m <sup>2</sup>	BGF = Bruttogeschossfläche
<b>Heizung und Energie</b>			
Installierte Heizleistung:	- Kirche - Kapelle - Sakristei	95,8 kW 1,8 kW 4,5 kW	
Spezifische installierte Leistung P <sub>s</sub> :	- Kirche - Kapelle - Sakristei	206 W / m <sup>2</sup> 51 W / m <sup>2</sup> 156 W / m <sup>2</sup>	3,0 kW Speicherladung, 1,5 kW Zusatzheizung P <sub>s</sub> = installierte Heizleistung ; beheizte BGF
Jährlicher Energieverbrauch:	- Elektrizität - HGT normiert - effektiv	60'061 kWh 57'282 kWh 7'211 -- Fr.	Heizperiode 91/92 Heizperiode 91/92 Hochtarif 21,2 Rp./kWh; Niedertarif 10,6 Rp./kWh; Grundpreis Fr. 111.-- für 6 Monate, keine Leistungsmessung
Energiekennzahl Wärme		261 MJ/m <sup>2</sup> a	Heizperiode 91/92: raumhöhen-, teilzeit- und temperaturkorrigiert sowie HGT-normiert 1)
Beurteilung des Energieverbrauches			Verbrauch: mittel Sparpotential: gross
<b>Raumklima</b>			
Lufttemperatur / relative Luftfeuchte		Bisher °C / % rel.F.	2) Empfehlung
Kirche:	- unbelegt - belegt	12 ... 14 / --- ca. 15 / ---	°C / % rel.F. min. 6 / 45..80 13...15 / 40..85
Kapelle:	- unbelegt - belegt	14 ... 16 / --- 14 ... 16 / ---	8...10 / --- 10...12 / ---
Sakristei:	- unbelegt - belegt	14 ... 20 / --- 14 ... 20 / ---	--- / --- ca. 15 / ---
<b>Bemerkungen</b>		1)	Ohne Korrekturen und ohne HGT-Normierung ist die Energiekennzahl 389 MJ/m <sup>2</sup> a (630 m <sup>2</sup> beheizte BGF)

Objekt: Katholische Kirche Goldingen

**Allgemeine Daten und Angaben**

Architekt (Erbauer)	Baumeister Max Schöb, Eschenbach
Baujahr der Kirche	1784
Neuwert	Fr. 5'350'000.--
Standort, Meereshöhe	Goldingen / 701 m ü.M.
Anzahl Sitzplätze (davon Empore), ca. 50 cm Sitzbreite pro Person	ca. 410 (65)
Die Kirche steht unter nationalem Denkmalschutz	ja

<b>Ausgeführte Umbauten, Erweiterungen Renovationen</b>	
- Aussenrenovation	1880
- Innenrenovation und Dekorationsmalerei, neue Orgel	1897
- Aussenrenovation	1956 bis 1958
- Innenrenov. / Umbau und Erweiterung Heizung, neue Orgel (alte Orgel war veraltet)	1971 bis 1973
- Renovation Nikolauskapelle (Einbau einer neuen Bodenheizung, vorher kleiner Elektrofen mit Timer)	1989 bis 1990
<b>Geplante Bauvorhaben</b>	
- Aussenrenovation	keine
- Innenrenovation / Umbauten	keine

Kirche wird geheizt seit 1959

<b>Orgel:</b>	Mönch & Sohn, Überlingen
- Spieltraktur	mechanische Schleif-Windlade
- Register-Steuerung	elektrisch
- Windsystem:	- Magazinbälge - Gebläse
	im Unterbau der Orgel
	im Unterbau der Orgel, Windansaug im Bereich der Orgel

<b>Elektrizitätsmessung / Energielieferbedingungen</b>			
- Elektrozähler	Typ	Kraft	Licht
	EW-Nr.	ML3d	---
- Ablesefaktor		32 029 996	---
- Hochtarifzeiten		1	---
- Sperrzeiten			Mo - Fr: 07.00 - 21.00 Uhr; Sa: 07.00 - 12.30 Uhr Mo - Sa: 11.00 - 12.00 Uhr

Objekt: Katholische Kirche Goldingen

**Funktionsweise der bisherigen Heizung**

a) Steuerung

Standort / Bezeichnung des Stueurelementes	Stueurelement Art	Stellungen	Funktion / Bemerkungen
<b>Steuertableau in Sakristei</b>			
Chor-Nord	DTL+3L	Ein / Aus	RE21
Chor-Süd	DTL+3L	Ein / Aus	RE13
Kapelle	DTL+1L	---	Schalter nicht mehr in Betrieb
Ambo + Altar	DTL+1L	Ein / Aus	RE21, je eine Steckdose
Windfang	DTL+2L	Ein / Aus	RE13
Seitenaltar	DTL+1L	Ein / Aus	RE13
Fenster - Nord	DTL+3L	Ein / Aus	RE13
Fenster - Süd	DTL+4L	Ein / Aus	RE13
Schiff - Vorne	DTL+1L	Ein / Aus	RE21
"	DTL+1L	Ein / Aus	RE21
Schiff - Mitte	DTL+1L	Ein / Aus	RE21
"	DTL+1L	Ein / Aus	RE21
Schiff - rechts	DTL+1L	Ein / Aus	RE21
"	DTL+1L	Ein / Aus	RE21
Schiff - hinten	DTL+1L	Ein / Aus	RE21
"	DTL+1L	Ein / Aus	RE21
Schiff - links	DTL+1L	Ein / Aus	RE21
"	DTL+1L	Ein / Aus	RE21
Schiff - Vorne	DTL+4L	Ein / Aus	RE13, ungezählt!
Empore	ITL	---	ohne Sperrung, siehe Bedienkonsole auf Empore
Orgelbank			
Bodenheizung	DS+1L	Ein / Aus	RE13
Sakristei	DS+L	Ein / Aus	RE13 (Freigabe Speicherladung und Zusheizung)
<b>Bedienkonsole auf Empore</b>			
Orgelbank + Kniestrahler	IT+L	---	Parallele Bedienung zu Drucktaster "Orgelbank" in der Sakristei, Orgelbankheizung über Wärmesteckdose (meistens nicht eingesteckt)
<b>Beichtstühle</b>			
Bedienung in den Beichtstühlen	DS	0 / 1	Grüne Lampe (ausserhalb Beichtstuhl) leuchtet, wenn Heizung in Betrieb
<b>Bedientableau in Kapelle</b>			
Fenster (2)	DS	1 / 0 / 2	Auf / Grundstellung / Zu
Schalluhr (3)	Tages- bzw. Wochenpr.	1/2 bzw. 3 Std.	Alle Reiter gesetzt, d. h. bei eingeschaltetem Steuerschalter war die Heizung dauernd freigegeben; der Kontakt der Wochenscheibe war nicht abgeschlossen
Steuerschalter (4)	DS	0 / 1	Bodenheizung Aus / Freigabe über Schalluhr
Fl-Schalter (7)	KS	0 / 1	Heizung Aus / Ein

Legende:

- DTL + ...L: Drucktaster mit Signallampe + ... Signallampe(n) auf dem Blindschaltbild
- ITL: Impulstaster mit Kontrolllampe
- DS+L: Drehschalter + separate Kontrolllampe
- KS: Kippschalter
- RE21: Rundsteuer-Empfänger Nr.21 (Direktheiz.);
- RE13: Rundsteuer-Empfänger Nr. 13 (Boiler 8h);
- (2..7): Nummerierung auf dem Tableau

Mo - Fr: 11.00 bis 12.00 Uhr gesperrt  
 Mo - Sa: 23.00 bis 07.00 Freigabe  
 Sa/So: Sa 12.30 bis Mo 07.00 Freigabe

Objekt: Katholische Kirche Goldingen

**Funktionsweise der bisherigen Heizung**

b) Regelung

Raum	Gerät / Typ	Einstellbereich / Schalterstellungen	Einstellung im bish. Betrieb	Beschreibung / Erreichbarkeit / Bemerkungen
Kirche	---	---	---	kein Thermostat und keine Regelung vorhanden
Kapelle	Regler / Tekmar 1601	0 bis 10	6	Regler für Bodenheizung mit Messfühler im Überzug, die Schalterstellungen 0 ... 10 ergeben Temperaturen von -9 °C bis + 55 °C (Temperatur im Überzug ); Der Regler ist im Wandschrank in der Kapelle montiert;
Sakristei	Raumtemperaturregler mit zwei Stufen	Regler 5...35 °C	15...17 °C	Reglerstellung 6 ergibt 16 °C im Überzug über der Heizfolie. Regler für zweistufiges Gebläse zur Speicherentladung, zwei Kippschalter für die Betriebsartenwahl; Der Regler ist hinter der Türe Kirche/Sakristei montiert;
Orgel	Speicherofen	Regler ohne Skala	Maximum	Ein: Gebläse für Entladung über Thermostat gesteuert Aus: Gebläse für Entladung ausgeschaltet Ein: Zusatzheizung über Thermostat gesteuert (nur auf Stufe 2) Aus: Zusatzheizung Aus Laderegler für den Speicherbetrieb; dieser Regler wurde nie bedient (Funktion war unbekannt) keine Heizung vorhanden

Legende:

ZH: Zusatzheizung

Objekt: Katholische Kirche Goldingen

Installierte Heizleistung (pro Heizgruppe und Raum zusammengestellt)

Blatt 1 von 2

Gruppe / Bankreihen (BR)	Art / Typ des Heizkörpers / Montageart / Bemerkung	Spannung [V]	Nominalleistung [kW]	Anzahl [E]	Subtotal [kW]	Total Gruppe [kW]
Chor-Nord	Wand Strahlungssofen	380	1500	2	3,0	
	Infrarot-Bankstrahler	220	400+700	1	1,1	
	Fensterims-Heizkörper	380	1300	1	1,3	5,4
Chor-Süd	Wand Strahlungssofen	380	1500	2	3,0	
	Infrarot-Bankstrahler	220	500+500	1	1,0	
	Fensterims-Heizkörper	380	1300	2	2,6	6,6
Kapelle	Schalter ausser Betrieb	--	--			
Ambo + Altar	Steckdose, keine Heizkörper	--	--			
Windfang	Wand-Strahlungssofen	220	1400	2		2,8
Seitenaltar	Wand-Strahlungssofen	380	2000	1		2,0
Fenster-Nord	Fensterims-Heizkörper	380	1300	3	3,9	
Fenster-Süd	do.	380	1300	4	5,2	
Schiff-vorne (i) BR 1 - 5	Infrarot-Bankstrahler	220	800+800	5	8,0	
" -vorne (i) BR 1 u.2 BR 3 - 5	do.	220	500+500	2	2,0	
	do.	220	800+800	3	4,8	6,8
Schiff-mitte (i) BR 6 - 12	do.	220	800+800	7	11,2	
" -mitte (i) BR 6 - 12	do. links	220				11,2
Schiff-hinten (i) BR 13 BR 14 BR 15 - 17	do.	220	800+800	1	1,6	
	do.	220	300+300+800	1	1,4	
	do.	220	800+800	3	4,8	7,8
" -hinten (i) BR 13 - 17	do. links	220				7,8
Empore BR 2 BR 3 - 5 BR 6 Stufenheizung	Infrarot-Bankstrahler	220	500+500	2	2,0	
	do.	220	300+500	6	4,8	
	do.	220	500+500	2	2,0	
	Infrarot-Strahler	220	300	4	1,2	10,0
Orgelbank + Knieheizung	Infrarot-Bankstrahler	220	400	2	0,8	
Bodenheizung Chor	Verzinktes Gasrohr mit eingezogenem Heizleiter	220	5500	1		5,5
Finger-Heizung / Wärmesteckdose Orgelspieltisch	keine	--	--			
Heizung Orgelraum	nicht mehr vorhanden	--	--			
Beichtstühle	Beichtstuhlheizkörper	220	400	2		0,8
<b>Total Kirche</b>						<b>95,8</b>

Objekt: Katholische Kirche Goldingen

Installierte Heizleistung (pro Heizgruppe und Raum zusammengestellt)

Blatt 2 von 2

Gruppe / Bankreihen (BR)	Art / Typ des Heizkörpers / Montageart / Bemerkung	Spannung [V]	Nominalleistung [kW]	Anzahl [E]	Subtotal [kW]	Total Gruppe [kW]
Total Kirche (Übertrag)						95,8
Kapelle	Bodenheizung	220	1815	1		1,8
Sakristei	Speicherofen Zusatzheizung	380 220	3000 1500	1 1	3,0 1,5	4,5
<b>Total alle Räume</b>						<b>102,1</b>

Vergleich der nominalen Heizleistungen mit Messungen

Gruppe / Bankreihen (BR)	installierte Nominalleistung [kW]	Messung [kW]
Total Kirche	95,8	94,0 1)
Sakristei (Speicherofen)	3,0	2,86
Kapelle (Bodenheizung)	1,8	2,16

1) Obwohl die effektive Nominalleistung nur rund 87,5 kW betrug (Heizkörper mit total 8,3 kW waren defekt, siehe Ist-Zustand Anlagen und Einrichtungen), war die gemessene Leistungsaufnahme trotzdem noch höher als die installierte Leistung.

Der Grund für die erhöhte Leistung ist in der Netzspannung zu suchen. Diese betrug während der Messung 405 V anstatt nominal 380 V. Die einzelnen Heizgruppen wurden nacheinander gemessen. Bei Vollast reduzierte sich die Netzspannung auf 397 V.

Objekt: Katholische Kirche Goldingen

**Bisheriger Betrieb der Heizung** (pro Raum zusammengestellt)

Blatt 1 von 2

a) Wöchentliche Belegungen

Wochentag	Belegungsart	Belegungsdauer [von ... bis]	Raumtemp. [ca. °C]	Bemerkungen
Kirche:				
Dienstag	Messe	07.30 .. 08.00	15	
Mittwoch	Abendmesse	19.00 .. 20.15	15	
Freitag	Schülermesse	07.30 .. 08.15	15	
Samstag	Beichtgelegenheit Rosenkranz Abendmesse	17.00 .. 17.30 17.30 .. 18.00 18.00 .. 19.00	15 15 15	
Sonntag	Messe	09.30 .. 10.30	15	
Kapelle				Keine regelmässigen Belegungen
Sakristei			14 ... 20	Die Sakristei wird nur während den Belegungen in der Kirche benützt.

b) Vereinzelte Belegungen

Raum / Belegungsart	Anzahl / Jahr	Dauer [h]	Raumtemp. [ca. °C]	Bemerkungen
Kirche				
Feiertage	18	1	15	
Bestattungen	12	1	15	
Kulturelle Anlässe	6	2	15	
Orgelspiel, Probe	--	--	--	Dafür wird nicht geheizt
Probe Kirchenchor	--	--	--	Dafür wird nicht geheizt, die Probe findet nur vor Feiertagen (ca. 5 mal pro Winter) in der Kirche statt
Kirchenreinigung	--	--	--	Dafür wird nicht speziell geheizt
Kapelle				
Gruppenmessen	3	1	14 ... 16	1 bis 2 x / Winter (Pfarrleit) => Hochrechnung: 3x
Beichtgespräche u. stille Anbetungen	6	1 ... 2	14 ... 16	ca. 3 Tage während Karwoche => Hochrechnung: 6x
Diverse	--	--	--	Die Kapelle wird tagsüber von einzelnen Personen als stiller Gebetsort benützt, dafür wird nicht speziell geheizt.
Sakristei				Gelegentl. Benützung für Reinigungsarbeiten und Vorbereitungen, dafür wird nicht speziell geheizt.

Thermometerstandort Raumtemperatur-Messung:

Kirche: Bereich Chorbänke / Altar  
Kapelle: auf dem Altar

Veränderungen der bisherigen Belegungen:

Kirche: keine Veränderungen in den letzten Jahren  
Kapelle: keine Veränderungen in den letzten Jahren

Objekt: Katholische Kirche Goldingen

**Bisheriger Betrieb der Heizung** (pro Raum zusammengestellt)

Blatt 2 von 2

c) Bisherige Bedienung

Warum wurde geheizt	Heizperiode	Eingeschaltete Heizgruppen (von ... bis) / Bemerkungen
Kirche		
Aufrechterhaltung der Minimaltemperatur	Anfangs Nov. bis Mitte April	Bodenheizung Chor, Chor-Süd, Fenster-Nord und Fenster-Süd dauernd eingeschaltet (gesperrt Mo-Fr 07:00 bis 23:00 und Sa 07:00 bis 12:30), dabei wurden ausserhalb dem Heizbetrieb minimale Raumtemperaturen von 12 bis 14 °C gemessen. Die Mesmerin war der Ansicht, dass die Raumtemperatur wegen der Orgel nicht unter 12 °C fallen sollte.
Orgeltemperierung	--	keine Heizkörper in der Orgel
Wöchentliche Belegungen	Winter (kalt)	Eingeschaltete Heizgruppen: Dienstag: Schiff-mitte (links) 07:00 bis 08:00 Mittwoch: Schiff-mitte(rechts) 18:30 bis 20:15 Freitag: Schiff vorne + mitte 07:00 bis 08:15 Samstag: Schiff mitte + hinten + Empore 17:00 bis 19:00 Sonntag: do. Samstag 08:30 bis 10:00
Beerdigungen	Winter (wärmer) /Übergangszeit	Sitzbankheizung Orgel: wurde auf Wunsch des Organisten praktisch nie eingeschaltet analog kalter Winter, aber etwas kürzere Aufheizzeiten
Kulturelle Anlässe	...	analog wöchentliche Belegungen
Kapelle	...	analog wöchentliche Belegungen
Temperierung	Ende Okt. bis Mitte Mai	Steuerschalter dauernd auf Stellung "1"; in der Heizperiode 90/91 Freigabe der Bodenheizung über die Schaltuhr (tagsüber ca. 4 h ausgeschaltet); in der Heizperiode 91/92 wurde die Heizung dauernd freigegeben, da sonst die gewünschte Raumtemperatur nicht erreicht wurde.
Belegung		Die unter "Funktionsweise des bisherigen Systems" (Regelung) aufgeführte Einstellung ergab im Winter 91/92 eine Raumtemperatur von ca. 14 bis 16 °C.
Sakristei		wird nicht speziell geheizt
Temperierung / Belegung	Ende Okt. bis Ende April	Dienstag Abend bis Sonntag vor dem Gottesdienst: Auf dem Hauptabtau auf "Ein"

Objekt: Katholische Kirche Goldingen

Weitere Elektrizitätsverbraucher (Bestandesaufnahme)

Bezeichnung der Anlage	Leistung	Betriebszeiten / installiert seit / Mängel / Bemerkungen	Massn. Nr.
<b>Beleuchtung</b>			
Innenbeleuchtung	ca. 7 kW	Während den Belegungen sind Leuchten mit ca. 5 kW in Betrieb, ausserhalb den Belegungen ausgeschaltet.	
Aussenbeleuchtung	---	keine	
<b>Diverse Verbraucher</b>			
Verstärker	unbedeutend	nur während den Belegungen in Betrieb	
Liedermedienanlage	unbedeutend	nur während den Belegungen in Betrieb	
Funkuhr	unbedeutend	seit April 91 in Betrieb	
Läutwerk	unbedeutend		
Boiler 50 Liter	800 W	in der Sakristei	
Alarmaneinrichtung	70 VA	seit Feb. 91 dauernd in Betrieb	
Dachrinnenheizung	--	keine	
Ablaufrohrheizung	--	keine	
Heizung Turmuhr	---	keine	

Objekt: Katholische Kirche Goldingen

Schwierigkeiten des bisherigen Heizbetriebs (pro Raum zusammengestellt)

Raum / Thema Kirche	Beschreibung des Problems	Massn. Nr.
Steuerung/Regelung	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Kein Hauptschalter für die komplette Heizung vorhanden</li> <li>- Aufwendige Bedienung, keine Schalluhr vorhanden</li> <li>- kein Thermostat vorhanden</li> <li>- Falsche bzw. unzuweckmässige Verwendung der Rundsteuerkommandos des EWs:</li> <li>- Die Heizung im Chor-Süd, die Fenster-, Emporen- und Bodenheizung sind während der Woche (z.B. auch an Neujahr, Wehnachten, usw.) nur von 23.00 bis 07.00 Uhr freigegeben (Kommando Boiler).</li> <li>- Die Bankheizungen im Schiff und Chor-Nord werden während der Woche von 11.00 bis 12.00 Uhr gesperrt: unnötige Erschwernisse bei der Bedienung (für Kirchenheizungen besteht im betreffenden Gebiet keine Sperrpflicht mehr).</li> <li>- Die Funktion des Schlüsselschalters und des Blinkers auf dem Blindschaltbild war unklar (Aufhebung der Netzsperrung, welche nicht mehr in Betrieb ist).</li> <li>- Die Wärmeabgabe ist nicht regelbar (nur 100 % oder 0 % der einzelnen Heizgruppen möglich).</li> <li>- Sehr unterschiedliche Grundtemperatur, da während dem ganzen Winter nachts die gleiche Grundlast eingeschaltet war. Es wurde instruiert, dass durch die Fernsteuerung des EWs die Regelung erfolge.</li> <li>- Starke Zugerscheinungen im Chor, Fallwinde von Wänden und Fenstern.</li> <li>- Auf der Empore war es im allgemeinen zu warm; Zugluft durch Emporenaufgang.</li> <li>- Es sind keine Probleme bekannt, sehr stabile Orgel.</li> </ul>	<p>L2 M3/L1 M3</p> <p>M1</p> <p>M1</p> <p>L2</p> <p>L1</p> <p>M3</p> <p>L1</p> <p>L1</p> <p>--</p> <p>L2</p> <p>S2</p> <p>S2/L1</p> <p>M1</p> <p>S2</p> <p>S1/S2/L1 S2</p>
Orgel		
Kapelle	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Keine Kontrolllampe: Es ist nicht ersichtlich, wann geheizt wird.</li> <li>- Die Temperaturregelung wurde falsch interpretiert: Man glaube, dass mit Stellung 6 (gemäss Einstellanweisung des Reglers) eine Raumtemperatur von 16 °C erreicht werde, gemeint war aber 16 °C im Unterlagsboden.</li> </ul>	
Sakristei	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Bei Biswind eher zu kalt (Raumtemperatur ca. 14 °C), wenn draussen warm, dann über 20 °C.</li> <li>- Der Speicherofen war oft zu heiss, vorallem an Wochenenden: Ab Samstagmittag wurde die Aufladung durchgehend freigegeben (Kommando für Boiler).</li> <li>- Irreführende Beschriftung des Raumthermostaten in der Sakristei "Speicher Ein": Bei Speicher aus war der Speicherofen nicht ausgeschaltet, sondern nur das Gebläse für die Entladung war ausser Betrieb.</li> </ul>	
Allgemeine Probleme	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Hohe Stromkosten</li> <li>- Keine bzw. ungenügende Instruktion der Mesmerin</li> </ul>	

Objekt: Katholische Kirche Goldingen

Ist-Zustand Anlagen und Einrichtungen

Blatt 1 von 2

(ohne Anspruch auf Vollständigkeit, ersetzt nicht allfällig notwendige fachspezifische Abklärungen)

Nr.	Anlage / Einrichtung	Beschrieb	Beurteilung / sichtbare Mängel / Bemerkungen	Massn. Nr.
1.1	Schiff, Empore, Chor	Infrarot Bankstrahler	allgemein guter Zustand; Ersatzteilbeschaffung möglich; Südseite 10. Bank (rechter Heizkörper) defekt	M2
1.2	Chor	Bodenheizung (Heizkabel)	1 Heizkreis von 3 defekt; Isolation der Kabelenden im Boden-Anschlusskasten mangelhaft	L3
1.3	Empore	Infrarot-Stufenheizung	funktionsfähig; Brandgefahr wegen schlechter thermischer Isolierung der Heizkörper zu den Holzstufen	L3
1.4	Chor, Seiten- altar, Windfang hinten	Strahlungsheizkörper (Wandmontage)	funktionsfähig	-
1.5	Fenster	Fensterstims-Heizkörper	5 von 10 Heizkörper defekt: 1 x Chor nord, 1 x Chor süd vorne, 3 x Schiff süd	M2
1.6	Orgelaum	keine Heizkörper	wird auch in Zukunft nicht beheizt	-
1.7	Beichtstuhl	Wandheizkörper	in Ordnung	-
1.8	Windfang hinten	Wandstrahlungsöfen	in Ordnung; wurden selten eingeschaltet	-
1.9	Kapelle	Bodenheizung	in Ordnung	-
1.10	Sakristei	Speicheröfen	Gebälseteil stark verschmutzt; auf Stufe 1 (Thermosensorenstellung zwischen den beiden Schaltpunkten) läuft das Gebläse relativ unruhig.	L3
<b>Steuerung / Regelung</b>				
2.1	Kirche	keine Regelung vorhanden	Heizungs-Freigabe über EW-Kommando (ganzer Winter gleich); Bedeutung der EW Kommandos für Mesmerin unklar (siehe auch bisherige Heizungsinstallation u. Probleme des bisherigen Heizbetriebs); keine Bedienungsanleitung vorhanden.	M1/M3/ S2/L1
2.2	Kapelle	Bodenheizungsregler/ Schaltuhr	Anlage in Ordnung; Funktion des Bodenheizungsregler für Mesmerin unklar; Schaltkontakt der Wochenscheibe der Schaltuhr nicht verdrahtet, Regelung nicht ausserentemperaturabhängig.	M1/S2/ L1
2.3	Sakristei	Raumthermostat	Raumthermostat in Ordnung (ungenau Temperaturerfassung); Heizungs-Freigabe (Speicher und Zusatzheizung) mit falschem EW-Kommando: "Boiler" anstatt "Speicheröfen Nachtaufladung"; keine ausserentemperaturabhängige Auftragssteuerung vorhanden; Funktion EW-Kommando do. Kirche	M1/S2/ L1

Objekt: Katholische Kirche Goldingen

Ist-Zustand Anlagen und Einrichtungen

Blatt 2 von 2

(ohne Anspruch auf Vollständigkeit, ersetzt nicht allfällig notwendige fachspezifische Abklärungen)

Nr.	Anlage / Einrichtung	Beschrieb	Beurteilung / sichtbare Mängel / Bemerkungen	Massn. Nr.
3.0	Elektro- installation	Hauptverteilung Turmeingang	erneuerungsbedürftig, da relativ alt (1959); 1 Schallschutz defekt, Ersatzteilbeschaffung für restliche Schallschütze (mit Verzögerung) nicht mehr gewährleistet; Bedienungsfront mit Schalter ist seit dem Umbau 1971/73 überflüssig.  Die Installation entspricht nicht mehr den heutigen Vorschriften;  Die Heizgruppe Empore ist ungezählt (Anschluss vor dem Zähler);	M2/L2   L2  M1
3.1		Unterverteilung Sakristei	Abgang Kapelle unbeschriftet, auf halber Höhe montiert anstatt unten (bei den anderen Abgängen)	L2
3.2		Übrige Elektroninstallation	In Ordnung (Baujahr 1973); einzelne Kontrolllampen waren defekt  betriebsbereit, wurde mit Ausnahme des Stromverbrauchs nicht untersucht	M1/L2  -
4.0	Orgel		Die Orgel funktioniert gemäss Aussage des Organisten ohne Probleme. Pro Jahr ist zweimaliges nachstimmen notwendig	-
4.1	Kunsthistorische Gegenstände	Holzfiguren	keine Probleme bekannt	-
5.0	Dokumentation	Kirchenheizung Heizung Kapelle Heizung Sakristei	keine Dokumentation vorhanden  Bedienungsanleitung der Geräte vorhanden, keine Anleitung für das ganze Heizsystem  keine Dokumentation vorhanden	S2  S2  S2

Objekt: Katholische Kirche Goldingen

**Ist-Zustand Gebäudehülle** (nur innen)

(ohne Anspruch auf Vollständigkeit, ersetzt nicht allfällig notwendige fachspezifische Abklärungen)

Bauteil	Beschreibung	Beurteilung / sichtbare Mängel / Bemerkungen	Massn. Nr.
<b>Kirche</b> Boden: - Bereich Bänke	belüfteter Holzboden; 10 cm Hohlraum; ca. 4 cm Mineralwolle	keine Mängel; die Kirche ist nicht unterkellert	
- Bereich Gänge Chor	Natursteinplatten; im Chor ca. 12m <sup>2</sup> Bodenheizung (Aufbau unbekannt)	do.	
Wände	Bruchsteinmauerwerk von ca. 1,0 bis 1,25 m Stärke	dunkle Flecken durch Staubablagerungen und Verschmutzung (speziell im Bereich Em- porenauflänge, über Chronheizkörper Süd und den Fensterheizkörper); Risse im Verputz mit Verfärbungen (mehrmalig senkrecht, im unteren Bereich der Wände); grau-schwarze Flecken (speziell im Sockel- bereich Nordseite), diese sind vorwiegend im Sommer entstanden. (siehe Bericht Fontana & Fontana 1991)	L1
Fenster	Innen Bleiverglasung, aussen Einfach- glas (ca. 3 cm Zwischenraum), festver- glast, 6 Lüftungsfügel 75 x 60 cm	guter Allgemeinzustand innen und aussen, sehr dicht; es wurde bisher im Winter keine übermässige Ansammlung von Kondensat festgestellt.	
Türen	Massivholz ca. 6 cm.	für kirchliche Verhältnisse relativ dicht (ohne Dichtung), guter Zustand; bei allen Türen ist eine zus. innere Pendeltüre vorhanden.	
Decke zu Estrich	Schiff und Chor: Gipsdecke ca. 6 cm, 6 cm Mineralwolleisolation (mit Dampf- bremse) ca. 15 ... 50 cm Hohlraum, oben durchgehend begehbare Bretter- boden.	dunkle Flecken, Gipsplatten zeichnen sich ab (speziell Chor)	
<b>Kapelle</b> Boden	Tonplatten, Überzug mit Armierung, Bodenheizung, 8 cm Flumroc, Dach- pappe, Beton	nicht unterkellert	
Wände	Bruchsteinmauerwerk ca. 1,4 bis 1,6 m	keine Veränderungen seit Renovation 1989/90	
Fenster	DV, Kippflügel mit Motorantrieb	do. Wände	
Decke	massives Gewölbe gegen 1. OG Turm; Hohlraum, oben Bretterboden		
<b>Sakristei</b> Boden	Linoleum auf Holzboden	nicht unterkellert	
Wände	Bruchsteinmauerwerk ca. 0,75 m; ge- gen unbeheizten Eingang 20 cm Mau- erwerk.	stark verschmutzt, wegen unkontrolliertem Heizbetrieb des Speicherofens (während gan- zer Heizperiode eingeschaltet)	
Fenster	DV Flügel, innen Bleiverglasung, aus- sen Einfachglas, ohne Gummidichtung	gegen Turmaufgang	
Türe	einfache Holztüre	gegen obere Sakristei,	
Decke	Gipsplatten; Holzkonstruktion mit ca. 50 cm Hohlraum; Bretterboden: total ca. 100 cm dick		

Blatt 1 von 1

Objekt: Katholische Kirche Goldingen

**Zukünftiger Heizbetrieb**

Thema bezüglich der Heizung	Raumklima-Zustand			
	unbelegt Temp. [°C]	rel. F. [%]	aufheizen, belegt Temp. [°C]	rel. F. [%]
<b>a) Kirche</b> - Gebäude Erhaltung der Bau- substanz	frei gl. a)	20..90 b)	max. 20	20..90 b)
- Einrichtung - Orgel - Erhaltung - Stimmhaltung - Holzfiguren f)	c) min. 6..8 --- d)	45 .. 80 --- e)	max. 18 --- e)	40..85 --- --- --- ---
<b>- Betrieb</b> - Minimaltemperatur - vereinz. Besucher - Pflanzen - Reinigung - Belegungen h) - Gottesdienste - Beerdigungen - Schulumessen - Kulturelle Anlässe	--- g) min. 6 --- g)	--- --- --- --- --- --- --- ---	--- --- --- --- 13 ... 15 13 ... 15 13 ... 15 13 ... 15	--- --- --- --- --- --- --- ---
Empfehlung	min. 6	45 ... 80	13 ... 15	40 ... 85
<b>b) Kapelle</b>	8 ... 10	---	10 ... 12	---
<b>c) Sakristei</b>	---	---	ca. 15	---

Der zukünftige Heizbetrieb nach obiger Tabelle wurde aus folgenden Gründen angepasst (Belegungen, Komfort, technische Anpassungen usw.):

- Kirche: optimiertes Aufheizen, besserer Komfort mit weniger Energie
- Kapelle: optimierte Regelung = Energieeinsparung
- Sakristei: optimierte Regelung = Energieeinsparung

Objekt: Katholische Kirche Goldingen

**Massnahmenkatalog**

Blatt 1 von 2

a) Sofortmassnahmen (im Oktober 92 bereits durchgeführt bzw. veranlasst)

Massn. Nr.	Beschreibung der Massnahmen	Bemerkungen / Auswirkung
S1	<p>Überwachung und Betreuung:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Für die detaillierte Überwachung der Energieverbräuche sind Betriebsstundenzähler einzubauen. Für die Kirchenheizung (Tag- bzw. Nachtbetrieb) und die Heizung in der Kapelle.</li> <li>Genaues Protokoll über die Belegungen der einzelnen Räume führen.</li> <li>Während der Heizperiode 92/93 Raumklimamessungen durchführen</li> </ul>	Durch eine ständige Betreuung und Überwachung während der Heizsaison 1992/93 ist ein möglichst optimaler Heizbetrieb einzuführen.
S2	<p>Dokumentation / Instruktion:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Komplette Bedienungsanleitung für das Heizsystem aller Räume erstellen.</li> <li>Funktionsschema über die Heizung zeichnen.</li> <li>Beschreibungen richtigstellen, Mesmerin instruieren</li> </ul>	

b) Mittelfristige Massnahmen (im Oktober 1992 bereits durchgeführt bzw. veranlasst)

M1	<p>Änderungen an der bestehenden Elektroinstallation:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Umverdrähtung der EW-Kommandos:                             <ul style="list-style-type: none"> <li>Heizung Kirche und Kapelle dauernd freigeben;</li> <li>Speicherofen Sakristei über Kommando Nr. 7 werden;</li> <li>Boiler über Kommando Nr. 13 (Boiler 8 h)</li> </ul> </li> <li>Schalluhr Heizung Kapelle: Kontakt der Wochenscheibe parallel zu Kontakt der Tagesscheibe verdrehen.</li> <li>Emporenheizung in der Hauptverteilung unverdrähten (über Zähler).</li> </ul>	Diese Änderungen müssen auch zum Einhalten der Vorschriften ausgeführt werden.
M2	<p>Reparaturen:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Infrarot-Bankheizkörper im Schiff reparieren</li> <li>Fensterheizkörper reparieren</li> <li>defekter Schaltschutz in der Hauptverteilung austauschen</li> </ul>	Unterbruch im Heizkörper beheben. Zur Reparatur an ehemaligen Lieferant gesandt
M3	<p>Provisorischer Einbau einer einfachen Steuerung und Regelung für die Kirchenheizung:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Installation von zwei Raum-Thermostaten:                             <ul style="list-style-type: none"> <li>Tag = vor / während den Belegungen;</li> <li>Nacht = im Niedertarif über Schalluhr.</li> </ul> </li> <li>Einbau einer Schalluhr mit 2 Schaltkreisen (für Tag- bzw. Nachtbetrieb)</li> </ul>	Mit dieser einfachen Regelung wird versucht, den Energieverbrauch besser kontrollieren zu können. Verbesserungen hinsichtlich dem Komfort und der Verschmutzung können langfristig aber nur mit einer neuen Steuerung und Regelung erzielt werden.

Objekt: Katholische Kirche Goldingen

**Massnahmenkatalog**

Blatt 2 von 2

c) Langfristige Massnahmen

Massn. Nr.	Beschreibung der Massnahmen	Bemerkungen / Auswirkung
L1	<p>Neue benutzerfreundliche Regelung:</p> <p>Kirche:</p> <p>Die Belegungen sollen im voraus programmiert werden können, die Raumlufttemperaturen müssen für den Belegungszustand als auch für den unbelegten Zustand eingestellt werden können, die Wärmeabgabe muss variabel sein.</p> <p>Kapelle und Sakristei:</p> <p>Ausstemperaturabhängige Regelung für die Bodenheizung in der Kapelle und den Speicherofen in der Sakristei.</p>	<p>Damit kann die Heizung besser an die Bedürfnisse angepasst werden.</p> <p>Mit einer variablen Wärmeabgabe kann die Wärme gleichmässiger im Raum verteilt werden, dadurch treten geringere Luftströmungen auf =&gt; weniger Verschmutzung, höherer Komfort.</p> <p>Damit kann Energie eingespart werden und ein gleichmässigeres Raumklima geschaffen werden.</p>
L2	<p>Neue Hauptverteilung und Anpassungen an der Unterverteilung.</p>	<p>Wünsche aus betrieblicher Sicht, altersbedingter Ersatz und Anpassung an die heutigen Vorschriften.</p>
L3	<p>Reparaturen:</p> <p>Reparatur der Bodenheizung im Chor</p> <p>Reparatur oder Ersatz der Stufenheizung auf der Empore</p> <p>Service des Speicherofens in der Sakristei</p>	<p>Damit kann der Komfort im Bereich des Altars verbessert werden.</p> <p>Aus Sicherheitsgründen erforderlich.</p> <p>Reinigung, Service Gebläse</p>

Bezeichnung der Teilflächen	Grobanalyse				Feinanalyse	
	Nützungs-Abk.:)	Länge [m]	Breite [m]	Anzahl [ ]	beh. BGF = L · B · n [m²]	EBF = BGF · f <sub>z</sub> · f <sub>t</sub> [m³]
Kirche - Schiff	K	23,6	15,35	1	362,3	603,8
- Chor	K	9,9	11,65	1	115,3	211,1
abzüglich	K	3,9	3,05	0,5x2	-11,9	-21,8
					465,7	793,1
Nikolauskapelle	N	6,2	5,7	1	35,3	11,6
Sakristei	S	5,1	5,65	1	28,8	23,6
					Σ beh. BGF = 530	Σ EBF = 828

**Energieverbräuche 2)**

Energie Art	von [Datum]	bis [Datum]	Energiekosten [Fr.]	Stand neu [kWh]	Stand alt [kWh]	Faktor [-]	Verbr. B [kWh]	
Elektro	17.10.91	16.04.92	2453	31047	18783	1	12264	
- HT	"	"	3864	203796	165157	1	38639	
- NT	"	"	165					
- Grpreis								
- HT	16.04.92	19.10.92	136	31751	31047	1	704	
- NT	"	"	482	208471	203796	1	4675	
- Grpreis	"	"	111					
Empore (ungezählt)							1000	
Total Energiekosten = 7211							Verbrauch Σ B <sub>i</sub> =	57282

Skizzen, Bemerkungen: - Skizzen siehe Seite 122  
 - Arbeitsblätter "Energiekennzahl E" siehe Anhang A8

- 1) siehe Seite 2
- 2) Es sind alle Elektroähler zu erfassen, z.B. auch sep. Zähler für den allgemeinen Verbrauch (Licht, Lautwerk usw.). Wenn Ablesungen von sep. Zähler für den allg. Verbrauch fehlen, wird ein Zuschlag von 5% (Schätzung) addiert.
- 3) Bei Elektrizität Ablesefaktor, bei Öl und Gas Energieinhalt pro Messeinheit

Nutzungszone	Nütz. Abk.	Periodische Belegung jede Woche							f <sub>z</sub> = f <sub>z,m</sub> · (f <sub>t</sub> + f <sub>z</sub> ) <sup>4</sup>	
		Mo	Di	Mi	Do	Fr	Sa	So		
Kirche	K	0,3	1	1	0,3	1	1	0,80	0,02	1 = 1 · (0,8 + 0,02) = 0,82
Nikolauskapelle	N	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,02	1 = 1 · (0,3 + 0,02) = 0,32
Sakristei	S									wie Kirche = 0,82

**Berechnung des Teilzeit-Korrekturfaktors f<sub>zv</sub> für vereinzelte Belegungen**

(Umrechnung von vereinzelten auf tägliche Belegungen, unter Berücksichtigung der Gleichzeitigkeit der periodischen Belegungen jede Woche)

Nütz. Abk.	vereinzelte Belegungen	Belegungen/Jahr	f <sub>zv</sub> = (1 - f <sub>t</sub> ) · Ver./365	Bemerkungen
K	Festtage Bestattungen Kulturelle Anlässe	18 12 6		
N	Gruppenmessen Beichtgespräche, stille Anbetungen	36 3 6	f <sub>zv</sub> = (1 - 0,8) · 36/365 = 0,02	
S		9	f <sub>zv</sub> = (1 - 0,3) · 9/365 = 0,02	wie Kirche
			f <sub>zv</sub> = 0,02	

**Energiekennzahl Grobanalyse (ohne Korrektur der EBF und ohne HGT-Normierung):**

$$E = \frac{3,6 \cdot B_i}{\Sigma EBF \cdot 5)} = \frac{3,6 \cdot \dots \cdot 57'282}{\dots \cdot 530 \dots} = \dots \cdot 389 \dots \text{ MJ/m}^2\text{a}$$

**Energiekennzahl Feinanalyse (mit Raumhöhen, Teilzeit- und Temperatur-Korrektur der EBF und mit HGT-Normierung):**

$$\bar{B}_i = \frac{2 \cdot B_i}{\Sigma HGT_{\text{Ende}} - \Sigma HGT_{\text{Anfang}} \cdot 6)} = \frac{2 \cdot \dots \cdot 57'282}{\dots \cdot 3717 \dots - 3717 \dots \cdot 6} = \dots \cdot 60'061 \text{ kWh/a}$$

$$E = \frac{3,6 \cdot \bar{B}_i}{\Sigma EBF} = \frac{3,6 \cdot \dots \cdot 60'061}{\dots \cdot 828} = \dots \cdot 261 \dots \text{ MJ/m}^2\text{a}$$

- 1) f<sub>t</sub>: Summe der ft-Werte aus periodischer Belegung dividiert durch 7
- 2) f<sub>z</sub>: Berechnung siehe separate Berechnungstabelle
- 3) f<sub>z,m</sub>: Teilzeit-Korrekturfaktor, wenn während einzelnen Monaten während der Heizperiode nicht geheizt wird (siehe Anhang 7, Fig. A39); wenn kein Unterbruch im Heizbetrieb, dann f<sub>z,m</sub> = 1.
- 4) f<sub>t</sub> · f<sub>z</sub>: Dieser Wert ist auf die Vorderseite zu übertragen
- 5) Bei Grobanalysen wird die beheizte Bruttogeschossfläche (beh. BGF) als EBF eingesetzt.
- 6) siehe HGT Tabellen Anhang A 7

# Matrix Elektroverbrauch

Analyse des Verbrauchs Heizperiode 91 / 92

Verbrauchergruppe/ Grund für den Betrieb	Zeitperiode des Betriebes	Leistung [kw]	Dauer [h]	pro/ Woche	Anzahl Wochen	pro/ Monat	Anzahl Monate	Energie [kWh]
<b>Kirchenheizung</b> <b>- Grundtemperatur 1)</b>	anf. Nov. ... Mitte Mai	18,3	82,5	1	26			<b>39254</b>
- Belegungen Winter								
- wöchentliche Belegungen								
- kalte Witterung	"	28	1,5	5	6			1260
- normale Witterung	"	28	1,5	5	18			3780
- Übergangszeit	April, Mai, Okt.	20	1,5	5	4			600
- vereinzelte Belegungen (ausserhalb den wöchentl.)	ganzer Winter	25	1,5			3,5	6	788
- Empore (ungezählt)	"	9,8	1,5	2,5	28			1029
<b>Total Belegung</b>								<b>7457</b>
Total Kirchenheizung								46710
<b>Nikolauskapelle (Bodenheiz.)</b>	Ende Okt. ... Mitte Mai	1,8	10	7	28			<b>3528</b>
<b>Sakristei (Speicherladung)</b>	"	3	6	7	28			<b>3528</b>
Total Heizung								53766
Weitere Verbraucher								
- Innenbeleuchtung	während Belegungen	5	1,5	5	52			1950
- Alarmeinrichtung		0,07	24	7	52			612
- Boiler		0,8	3	7	52			874
- Läutwerk, Verstärker, Diverses		0,5	2	7	52			364
<b>Total weitere Verbraucher</b>								<b>3799</b>

Gesamtverbrauch 57565

Effektiver Verbrauch gemäss Rechnung St.Gallisch-Apenzellische Kraftwerke (SAK) 57282

1)  $2,6 + 6,6 + 3,9 + 5,2 = 18,3$  kW

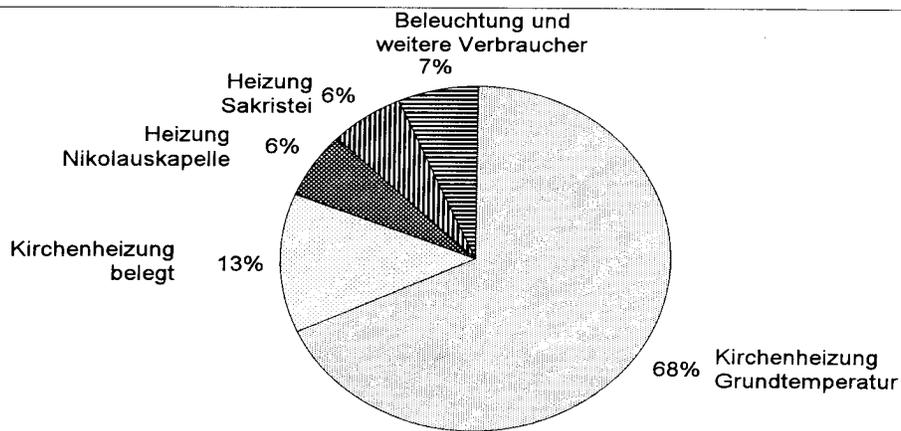




Fig. A23 Aussenansicht

**Grundsteinlegung:** 1. Oktober 1922

Letzte Renovation: Aussen ca. 1988

“Ländliche” Saalkirche mit halbrundem Chor und, von diesem aus zugängliche, Seitenkapelle, Merkmale der Baustile Barock und Gotik von Architekt Rimli, Rorschach

**Gebäudehülle**

- Aussenwände Stampfbeton, beidseitig verputzt, Dicke = 71 cm, k-Wert = ca. 1,5 W/M2K
- Fenster Bleiverglasung + Isolierverglasung, fest verglast in Stahlrahmen, k-Wert = ca. 2,2 W/M2K
- Decke zu Estrich, abgehängte Gipskuppeln, ungedämmt, k-Wert = ca. 3,5 W/M2K
- Kirche nicht unterkellert, Kapelle unterkellert
- Steildach mit Ziegeln gedeckt (Kirche und Vordächer auf der Süd- und Ostseite)

**Kirchenheizung** (Stand vor Sanierung)

- *Kirche:* Infrarot- Bankstrahler im Schiff und auf der Empore (mit Wandheizkörpern ergänzt), Fensterbankheizung, Konvektoren im Windfang
- *Kapelle:* Wandkonvektoren
- *Sakristei:* Wandkonvektor und Infrarotdeckenstrahler



Fig. A24 Innenansicht

## Grobanalyse elektrische Kirchenheizung Stand September 1992 (Zusammenfassung)

Gebäude Angaben	- Baujahr - Sanierung - Beheizte Räume / Zonen - Anzahl Sitzplätze (Kirche)	1922 ... 1925 1993/94 --- ca. 410	erste Innenrenovation der Kirche Kirche, Beichtstühle, Windfang, Kapelle, Sakristei, 2 WC Davon ca. 20 auf Empore und ca. 10 im Chor
Technische Angaben	Raumhöhe Kirche Installierte Heizleistung Heizung - Wärmeabgabe  - Steuerung, Regelung	10 ... 12 m 128 kW Chor Schiff Empore Kapelle Sakristei WC Kirche/Kap.	Nominalleistung bei 380 Volt (alle Räume) Infrarot-Bankstrahler unter den Chorstühlen, tragbarer Infrarot-Strahler Infrarot-Bankstrahler Infrarot-Bankstrahler und Wandheizkörper Wandkonvektoren Infrarot-Deckenstrahler und Wandkonvektor Wandkonvektoren keine Regelung (nur Schaltuhr) / Raumthermostat
Jährlicher Energieverbrauch	Elektrizität (effektiv) kWh Fr.	39'475 5'954.--	Heizperiode 91/92 (bish. Heizbetrieb, vor Beobachtung) Hochtarif 19 Rp./kWh; Niedertarif 11 Rp./kWh; kein Leistungstarif
Berechnete Werte	Energiebezugsfläche EBF Spezifische install. Leistung $P_s$ Energiekennzahl	621 m <sup>2</sup> 206 W/m <sup>2</sup> 229 MJ/m <sup>2</sup> a	alle Räume (bei Grobanalysen: EBF = beheizte BGF) nur Kirche: 112 kW : 508 m <sup>2</sup> beheizte BGF = 220 W/m <sup>2</sup> Heizperiode 91/92, auf beheizte BGF bezogen <sup>1)</sup> ⇒ Verbrauch: gering Sparpotential: klein
Bisheriger Heizbetrieb	Raumtemperaturen: - Kirche: - belegt - unbelegt (Minimum)  - Kapelle: - belegt - unbelegt (Minimum)  - Sakristei - WC Belegungen: - Kirche - Sakristei	12 ... 16 °C 0 ... 6 °C  14 ... 20 °C 0 ... 6 °C --- --- 2 / 30 2 / ---	Schnelle Aufheizungen von wenigen Stunden Dauer. Ausserhalb der Heizperiode wurde grundsätzlich nicht geheizt. Bei tiefen Raumlufttemperaturen wurde jedoch die Fensterbankheizung als Grundlast eingeschaltet.  wie Kirche nicht geheizt  Nur vereinzelt vor Belegungen kurz beheizt.  Nur im Winter bei Frostgefahr reduziert beheizt.  wöchentliche bzw. vereinzelte (Anz./Woche bzw. A/Jahr) do.
Weitere Elektrizitäts-Verbraucher	kleiner Durchlauferhitzer		
Bisherige Schwierigkeiten	Behinderungen des Heizbetriebes durch Heizungssperrungen; Zugserscheinungen im Bereich des Orgelspieltisches		
Ausgeführte/geplante Sanierungen	Innensanierung mit Heizungsumbau in Planung: Bestehende Infrarotheizung, neue Bodenheizung im Chor, Schiff hinten, Windfang und in der Kapelle; programmierbare Heizungsregelung		
Sofortmassnahmen	Erfassung des Ist-Zustandes: Raumklimamessungen, Überwachung des Heizbetriebes, Energiebuchhaltung führen		
Weiteres Vorgehen	Wärmetechnische Feinanalyse durch ausgewiesene Fachleute erstellen lassen: - Abklären, ob in Zukunft Elektroheizung oder anderes Heizsystem; - Wenn Elektroheizung, dann abklären, ob bestehendes Wärmeabgabesystem beibehalten werden kann; - Wärmetechnische Sanierungen: Wärmedämmungen (Decken, Böden usw.); - Luftdichtigkeit: Sanierung Türen (Fugendichtungen).		

<sup>1)</sup> Mit Teilzeit-, Temperatur- und Raumhöhenkorrektur nach RAVEL-Kirchenheizungen für Feinanalysen beträgt die EBF 1898 m<sup>2</sup> und die HGT-normierte Energiekennzahl 230 MJ/m<sup>2</sup>a.

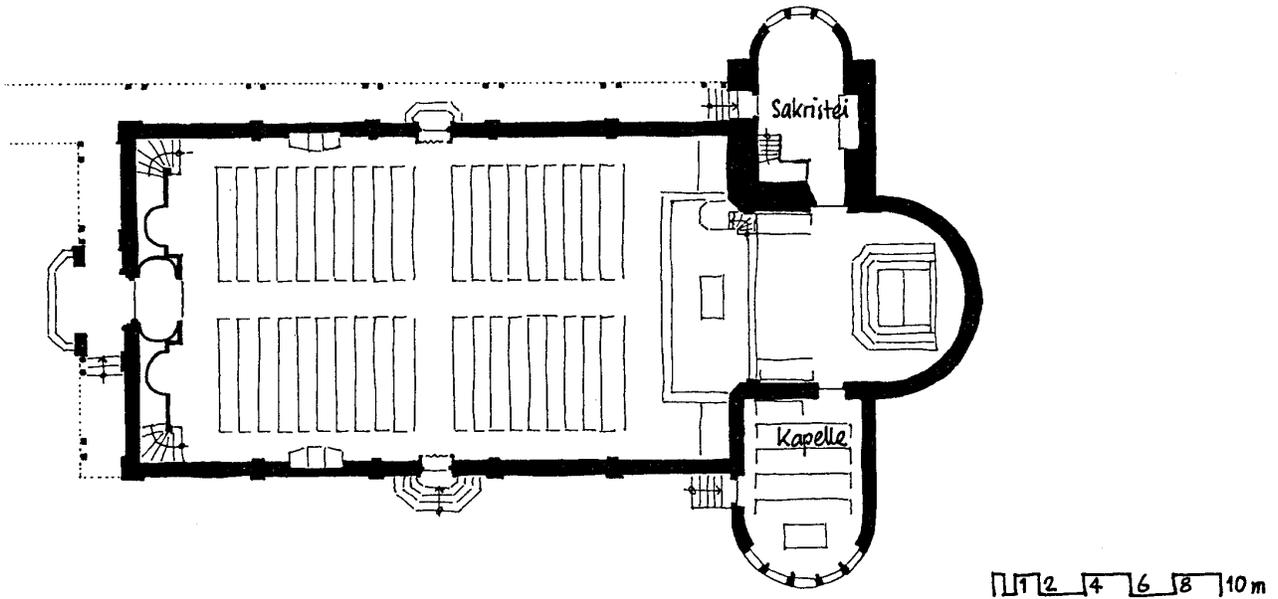


Fig. A25 Grundriss katholische Kirche Steinebrunn

Heizsystem

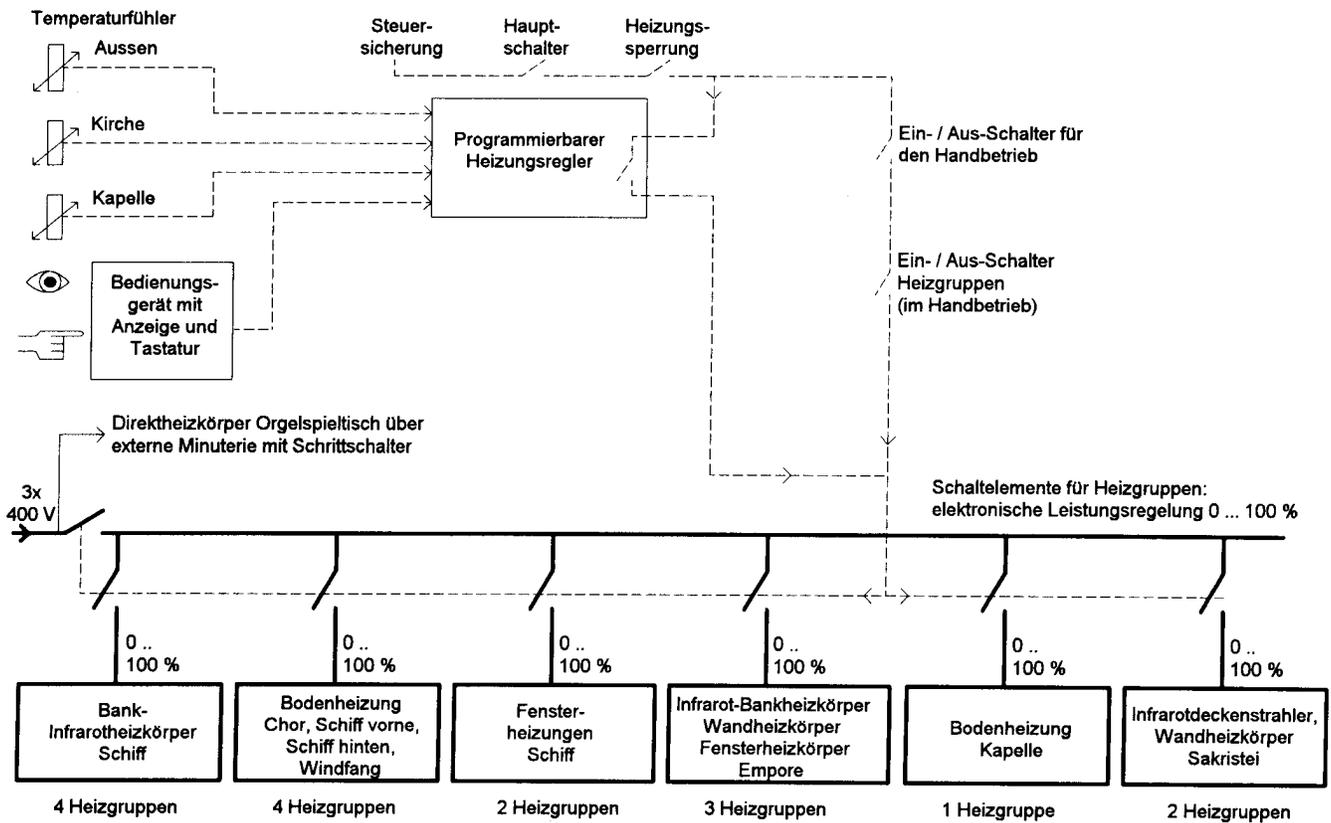


Fig. A26 Prinzipschema Heizung katholische Kirche Steinebrunn (Stand nach Sanierung 1993/94)

# Funktionsbeschreibung der Heizung

## \* Alte Heizung (vor Sanierung 1993/94)

Die Heizgruppen der Kirche können entweder von Hand, oder über die Schaltuhr eingeschaltet werden (ohne Raumtemperaturregler).

Die übrigen Räume (Kapelle, Sakristei, Windfang) sind über das Blindschaltbild bedienbar. In der Kapelle ist ein Raumtemperaturregler vorhanden.

## \* Neue Heizung (nach Sanierung 1993/94)

Drei, voneinander unabhängige Betriebsarten, sind möglich:

### - Automatisch Heizen

Am Bedienungsgerät werden der Belegungsbeginn, das Belegungsende und die Solltemperaturen eingetippt. Aufgrund der Innen- und der Aussentemperatur berechnet der Heizungsregler für jede Belegung den optimalen Aufheizbeginn. Die Bodenheizungen werden zeitlich vorverlegt, die Fensterheizung aussentemperaturabhängig und nur während der Belegung eingeschaltet. Die Regelung erfolgt stufenlos von 0 bis 100 %. Bei der Inbetriebnahme können einzelne Heizgruppen nach Bedarf gedrosselt werden.

Die Kapelle wird funktionsgleich wie die Kirche geregelt (als separater Raum).

Die Heizung in der Sakristei wird mit der Kirchenheizung freigegeben. Die Heizungen bei der Orgel sowie im neuen Gesprächsraum (hinten in der Kirche) können manuell bedient werden (Schrittschaltrelais mit Minuterie).

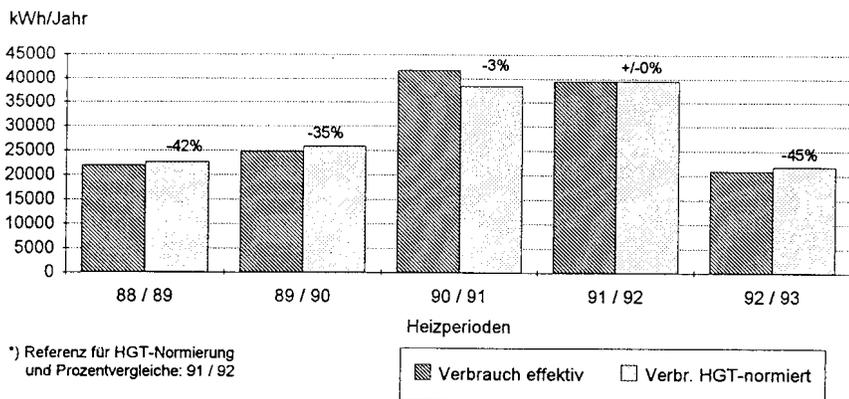
Ausserhalb den Belegungen wird wie bisher nur bei sehr tiefen Aussentemperaturen geheizt.

### - Direkt Heizen

Ober den Heizungsregler können die einzelnen Heizgruppen zeitgesteuert ein- und ausgeschaltet werden (inkl. Leistungsvorwahl). Dieser Betrieb ist mit einer üblichen Installation mit Schaltuhr und Raumthermostat vergleichbar.

### - Handbetrieb

Bei ausserordentlichen Situationen und im Servicefall sind alle Heizgruppen mittels den Schaltern auf dem Blindschaltbild bedienbar.



## Stromverbrauch

Die Reduktion des Stromverbrauches in der Heizperiode 92/93 (-45 % im Vergleich zum Vorjahr) überraschte im nachhinein sehr. Dies, obwohl angewiesen wurde, während der Heizperiode 92/93 wie in den Vorjahren zu heizen, damit das bisherige Raumklima messtechnisch erfasst werden kann.

Die Anwesenheit eines Aufzeichnungsgerätes, welches alle 10 Minuten das Raumklima registriert, sowie die genaue Hinterfragung des Heizbetriebes, haben scheinbar eine nicht zu unterschätzende Wirkung.

Fig. A27 Stromverbrauch Kirche Steinebrunn

## Probleme, Erkenntnisse, Verbesserungen

Die Wärmeabgabe der Infrarot-Bankheizung konnte bisher nicht gesteuert werden (es war nur Ein/ Aus möglich). Die hohe Wärmeleistung während dem Gottesdienst führte gelegentlich zu Beanstandungen. Die Heizkörper waren trotz des Alters noch in einem guten Zustand.

Bei der Sanierung der Heizung fiel der Entscheid zugunsten einer stufenlosen elektronischen Leistungsregelung mit den bestehenden Heizkörpern.

Obwohl aus wärmetechnischer Sicht (Energieverbrauch, Komfort, usw) eine Wärmedämmung der Kirchendecke nötig wäre, wurde auf Empfehlung der Denkmalpflege darauf verzichtet.



Fig. A28 Aussenansicht

Baujahr: 1961

Renovationen: keine

Zentralbau mit Zeltdach und Laterne, als moderner Sichtbetonbau; von Walter Henne, dipl.Arch. BSA, SIA, Schaffhausen

#### Gebäudehülle

Fassaden aussen Sichtbeton, innen 6 cm Bimsstein, Fugen zeichnen sich ab, k-Wert = ca. 1,3 W/M2K

Fenster: hochliegendes Fensterband unter dem Dach aus Profilitglas, k-Wert = ca. 2,8 W/M2K; grosses Chorfenster in Bleiverglasung und äusserem Einfachglas, k-Wert = ca. 3,0 W/M2K

Laterne (bei Regen undicht)

Dach mit Kupfereindeckung

#### Kirchenheizung

- Infrarot-Bankheizung im Schiff
- Infrarot-Stufenheizung und Wandheizkörper auf der Empore
- Bodenheizung im Chor und unter der Empore
- Fensterbankheizung
- Infrarotheizkörper (Schiff und Empore) seit 1984 über Regeltransformator
- Programmierbare Heizungsregelung
- November 1992 eingebaut

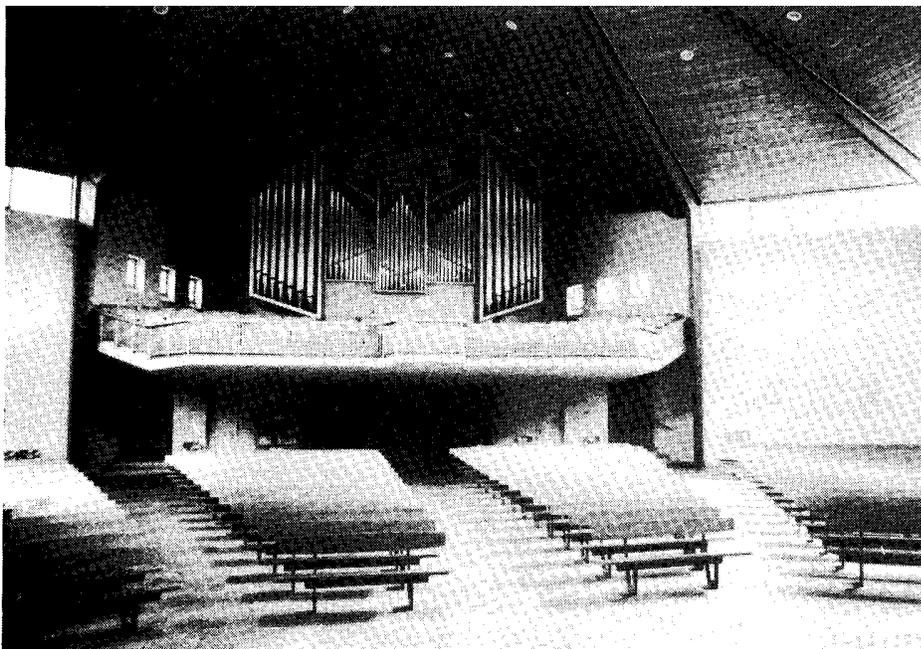


Fig. A29 Innenansicht

## Grobanalyse elektrische Kirchenheizung Stand September 1992 (Zusammenfassung)

Gebäude-angaben	- Baujahr - Sanierung - Beheizte Räume / Zonen - Anzahl Sitzplätze	1961 --- ca. 580	bisher keine Kirche, Pfarrzimmer Davon ca. 50 auf der Empore
Technische Angaben	Raumhöhe Kirche Installierte Heizleistung Heizung - Wärmeabgabe    - Steuerung, Regelung	10 ... 12 m 142 kW Chor/Schiff hinten Schiff Empore Pfarrzimmer Orgel Kirche	Nominalleistung bei 380 Volt (alle Räume) Bodenheizung Infrartheizkörper unter den Sitzbänken Infrartheizkörper in den Treppenstufen, Wandheizkörper tragbares Heizgerät Orgelraum, separater Raumthermostat (keine Heizkörper mehr vorhanden) Regeltransformator für Infrartheizkörper, 3 Thermostate (Bänke links, Bänke rechts, Grundtemperatur)
Jährlicher Energieverbrauch	Elektrizität (effektiv) kWh Fr.	87'798 10'452.--	Heizperiode 91/92 Hochtarif 19 Rp./kWh; Niedertarif 10 Rp./kWh; ab 1. Okt. 91 kein Leistungstarif mehr
Berechnete Werte	Energiebezugsfläche EBF Spezifische install. Leistung $P_s$ Energiekennzahl	625 m <sup>2</sup> 227 W/m <sup>2</sup> 506 MJ/m <sup>2</sup> a	alle Räume, bei Grobanalysen: EBF = beheizte BGF) nur Kirche: 140 kW : 608 m <sup>2</sup> beheizte BGF = 230 W/m <sup>2</sup> Heizperiode 91/92, auf beheizte BGF bezogen <sup>1)</sup> ⇒ Verbrauch: hoch, ab 92/93 mittel Sparpotential: gross
Bisheriger Heizbetrieb	Raumlufttemperaturen: - Kirche: - belegt - unbelegt (Minimum) - Pfarrzimmer - Orgelraum Belegungen: - wöchentliche (Kirche) - gelegentliche	ca. 17 °C ca. 4 ... 6 °C --- --- 1,0 ca. 50	Ausserh. den Belegungen wurde praktisch nicht geheizt Gleichzeitig mit Kirche leicht temperiert wurde seit einigen Jahren nicht mehr separat beheizt Anzahl / Woche (Sonntagsgottesdienst) Anzahl / Jahr (ca. 4 Bestattungen; Konzerte u. Diverse)
Weitere Elektrizitäts-Verbraucher	Raumentfeuchtung im Luftschutzkeller der Gemeinde im UG (seit 1992)		
Bisherige Schwierigkeiten	- Während den Belegungen Luftzirkulationen im Schiff - Hohe Stromkosten		
Ausgeführte/geplante Sanierungen	Herbst 1992: Einbau einer programmierbaren Heizungsregelung		
Sofortmassnahmen	Raumklimamessungen, Überwachung des Heizbetriebes, Energiebuchhaltung führen		
Weiteres Vorgehen	Möglichst sofort: Türen Haupteingang, Aussentüre und Fenster Pfarrzimmer abdichten. Weitere mögliche Massnahmen bei einer Sanierung: - Wärmetechnische Feinanalyse durch ausgewiesene Fachleute erstellen lassen. - Innendämmung auf Wände - Fenster erneuern, z.B. Holz-Metall-Rahmen, 2-IV-IR-Verglasung mit k-Wert = 1,5 W/m <sup>2</sup> K - wenn Chorfenster saniert werden muss, äussere Einfachverglasung durch Isolierverglasung ersetzen - Laternen sanieren, analog Fenster - Überprüfen, ob beim Dach die Hohlräume zwischen den Sparren mit Dämmmaterial gefüllt werden könnten		

<sup>1)</sup> Mit Teilzeit-, Temperatur- und Raumhöhenkorrektur nach RAVEL-Kirchenheizungen für Feinalysen beträgt die EBF 638 m<sup>2</sup> und die HGT-normierte Energiekennzahl 525 MJ/m<sup>2</sup>a.

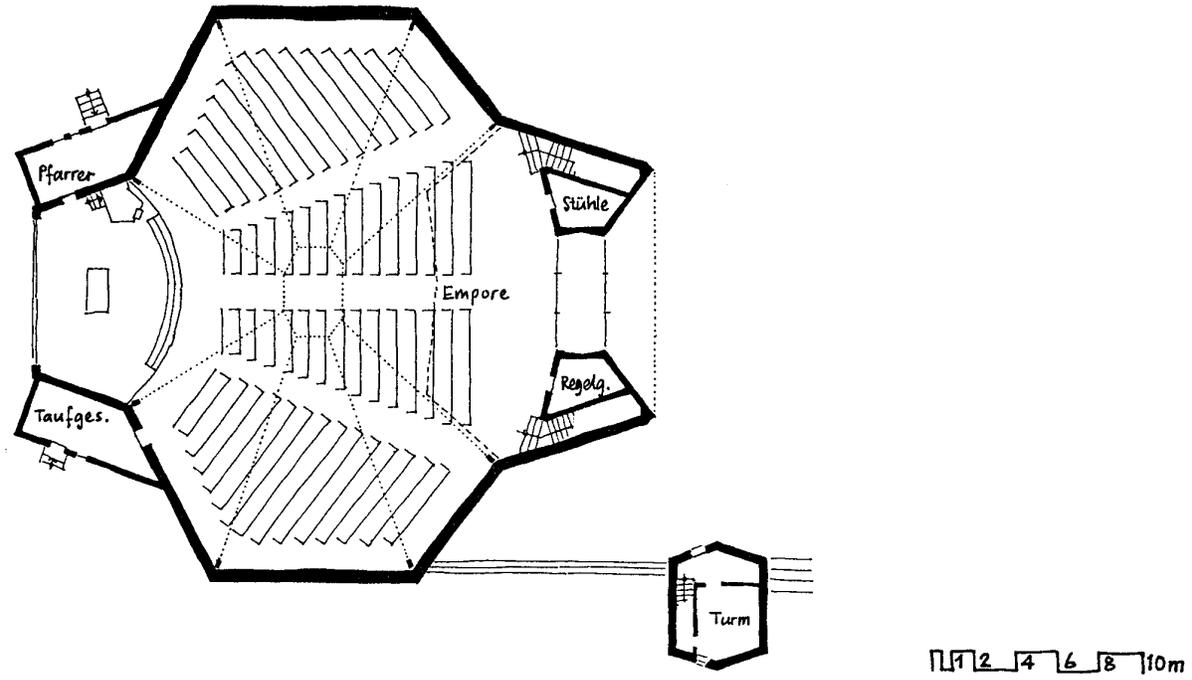


Fig. A30 Grundriss evangelische Kirche Wil

Heizsystem

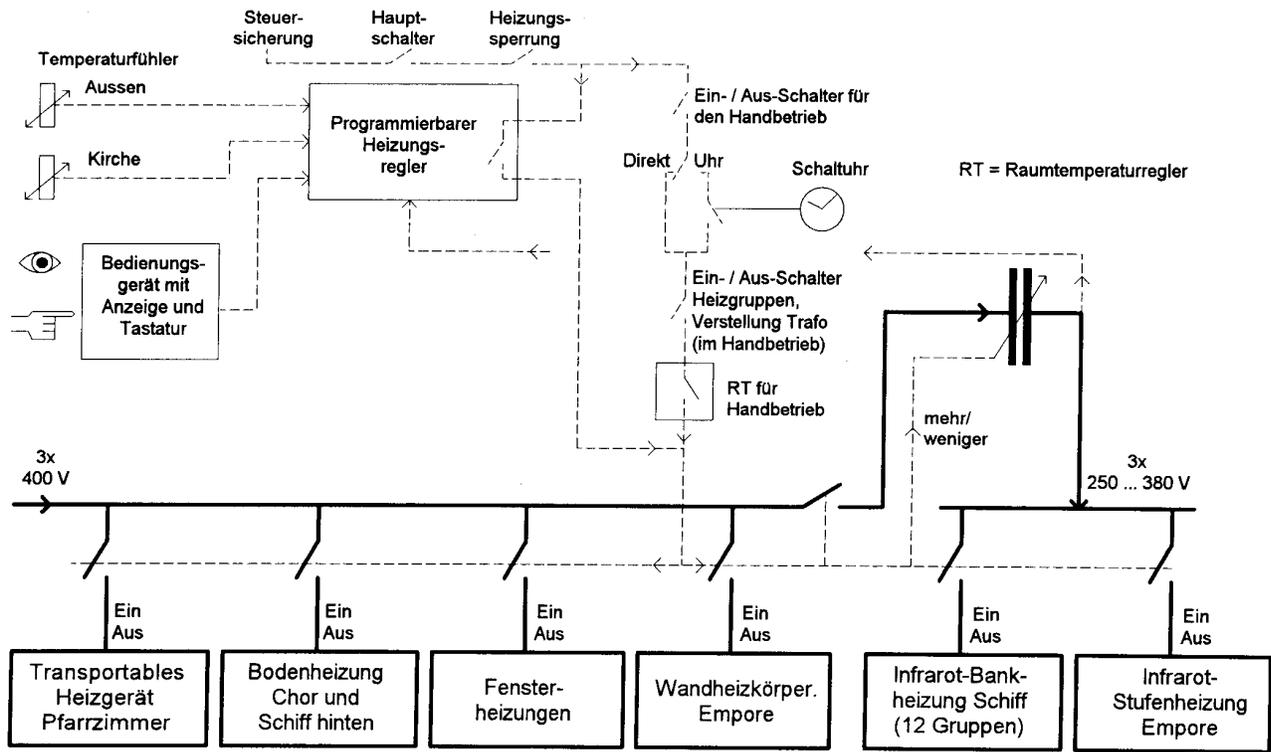


Fig. A31 Prinzipschema Heizung evangelische Kirche Wil (Stand Oktober 1992, mit neuer Heizungsregelung)

## Funktionsbeschreibung der Heizung

Die Heizung kann in drei, voneinander unabhängigen Betriebsarten eingesetzt werden:

### - Automatisch Heizen

Am Bedienungsgerät werden der Belegungsbeginn, das Belegungsende und die Solltemperaturen eingetippt. Aufgrund der Innen- und der Aussentemperatur berechnet der Heizungsregler für jede Belegung den optimalen Aufheizbeginn.

Die Bodenheizungen werden zeitlich vorverlegt, die Fensterheizung aussentemperaturabhängig und nur während der Belegung eingeschaltet. Die Regelung erfolgt gesamthaft in 7 Leistungsstufen, indem einzelne Heizgruppen automatisch hinzu geschaltet werden bzw. die Spannung zu den Infrarotheizkörpern verstellt wird.

Die Heizung im Pfarrzimmer wird mit der Kirchenheizung automatisch freigegeben.

Ausserhalb den Belegungen wird im Niedertarif auf ca. 6 °C geheizt (sehr selten).

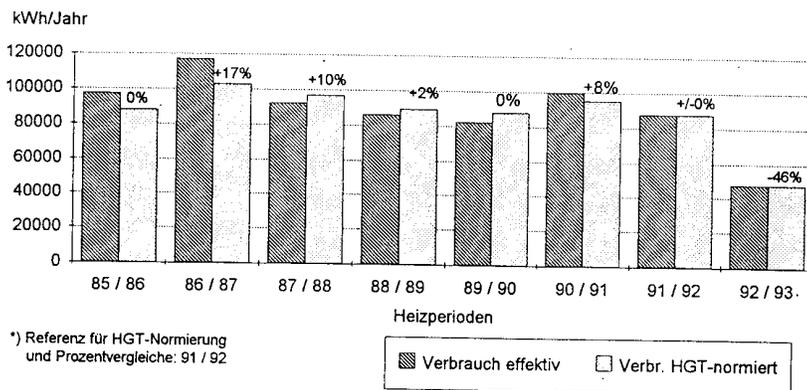
### - Direkt Heizen

Über den Heizungsregler können die einzelnen Heizgruppen zeitgesteuert ein- und ausgeschaltet, bzw. der Regeltransformator verstellt werden. Dieser Betrieb ist mit einer üblichen Installation mit Schaltuhr und Raumthermostat vergleichbar.

### - Handbetrieb

Bei ausserordentlichen Situationen und im Servicefall sind alle Heizgruppen mittels den Schaltern auf dem Blindschaltbild bedienbar.

## Stromverbrauch



In den Jahren 1985 bis 1992 variierte der pro Heizperiode klimanormierte Energieverbrauch zwischen 87'798 und 103'023 kWh.

In der ersten Heizperiode (Okt. 1992 bis Okt. 1993) mit dem neuen Regler konnte der Verbrauch auf 47'655 kWh reduziert werden. Die Einsparung beträgt ca. 40'000 kWh (46 %).

Mit der eingesparten Energie könnten etwa zwölf durchschnittliche Schweizer Haushalte während einem Jahr versorgt werden.

Fig. A32 Stromverbrauch Kirche Wil

## Probleme, Erkenntnisse, Verbesserungen

Die unangenehmen Luftbewegungen in der Kirche konnten mit der neuen Regelung reduziert, aber nicht beseitigt werden. Im Sitzbankbereich wurden maximale Luftgeschwindigkeiten von rund 0,15 ... 0,20 m/s gemessen. Obwohl diese Werte nicht extrem gross sind, werden sie wegen den tiefen Temperaturen der abfallenden Luft als unangenehm empfunden. Dieses Problem lässt sich nur mit einer Verbesserung des k-Wertes der Aussenwände und Decke beheben.

Aus installationstechnischen Gründen wurde der neue Raumfühler anfänglich am Standort des bisherigen Raumthermostaten montiert. Wie bereits vorgängig vermutet, war die Aussenwand unter dem hochliegenden Fenster ungeeignet. Im Bereich des Raumfühlers wurden unmittelbar an der Wandoberfläche Luftgeschwindigkeiten von bis zu 0,55 m/s und Lufttemperaturen von bis zu 2 °C tiefer als im Kirchenraum gemessen. Dadurch wurde, speziell bei tiefen Aussentemperaturen, wenn grundsätzlich eher tiefere Raumlufttemperaturen ausreichen würden, höher geheizt. Die Verlegung des Raumfühlers an die Untersicht der Empore brachte die gewünschte Verbesserung.

## **A 7 Begriffserklärungen, Definitionen, Tabellen, Literaturverzeichnis**

### **Inhalt**

#### **Begriffserklärungen**

Klima

Energiekennzahl (siehe Kapitel 6.1)

k-Wert

#### **Definitionen**

Dezimale

Begriffe zur Energie

Temperaturen

#### **Tabellen**

Brennstoffwerte

HGT 20/12 für St.Gallen

HGT 20/12 für Zürich SMA

h, x-Diagramm für feuchte Luft

#### **Literaturverzeichnis**

# Begriffserklärungen

Siehe auch RAVEL-Glossar «Grundbegriffe der Energiewirtschaft» [22].

## Klima

### \* Heizgrenze tgr

Die Heizgrenze nennt man jene Tagesmitteltemperatur der Aussenluft, oberhalb welcher nicht mehr geheizt werden muss. Die Heizgrenze kann je nach Gebäudekonstruktion, Raumlufttemperatur und internem Wärmegewinn abweichen. Im Wohnbereich wird mit  $t_{gr} = 12 \text{ °C}$  gerechnet. Bei passiver Sonnenenergienutzung und bei Raumlufttemperaturen unter  $20 \text{ °C}$  ist die Heizgrenze entsprechend tiefer.

### \* Heiztage HT

Die Heiztage sind diejenigen Tage einer Periode, bei denen die Tagesmitteltemperatur (24-StundenMittelwert) der Aussenluft unter der Heizgrenze liegt.

### \* Heizgradtage HGT

Die Heizgradtage werden als Hilfsgrösse für die Berechnung des Energieverbrauchs von beheizten Gebäuden verwendet. Sie sind die über eine bestimmte Zeitperiode gebildete Summe der Temperaturdifferenzen zwischen Raumluft zur Aussenluft.

Fig. A33 Langjährige HGT-Mittelwerte aus SIAEmpfehlung 381/3 [23] (Periode 1961 bis 1970)

Station	m ü.M.	Jahr		Sept. - Mai	
		HGT 20/12	HGT 18/10	HGT 20/12	HGT 18/10
Altdorf	449	3441	2778	3370	2758
Basel-Binningen	316	3346	2718	3304	2708
Bern	572	3666	2996	3591	2981
Chur	582	3526	2884	3439	2853
Davos	1561	5886	5026	5326	4691
Einsiedeln	914	4538	3791	4314	3690
Fribourg	677	3873	3167	3764	3133
Genf	405	3072	2463	3061	2459
Glarus	480	3877	3181	3777	3146
Interlaken	568	3798	3123	3709	3097
Kreuzlingen	446	3667	2979	3602	2962
La Chaux-de-Fonds	990	4184	3428	3982	3346
Lausanne	589	3375	2733	3322	2723
Lugano	275	2643	2088	2638	2087
Luzern	498	3651	2978	3575	2960
Neuchâtel	487	3413	2773	3371	2765
Sion	549	3236	2654	3320	2649
St.Gallen	664	4044	3285	3893	3229
St.Moritz	1833	6407	5525	5659	5067
Zürich-SMA	556	3718	3022	3616	2993

Es stehen von über 50 Stationen langjährige HGTWerte über einzelne Monate, die Heizperiode oder das ganze Jahr zur Verfügung (siehe SIA-Empfehlung 381/3 «Heizgradtage der Schweiz», [23]).

Die Heizgradtage werden für verschiedene Heizgrenzen (10, 12 und  $14 \text{ °C}$ ) angegeben.

Die Aussentemperatur (HGT) ist nicht die einzige Einflussgrösse auf den Energieverbrauch von einzelnen Gebäuden. Weitere wichtige Grössen sind:

- Die Strahlungsgewinne (Sonne durch Fenster)
- Die Windverhältnisse
- Interne Wärmequellen (Personen, Beleuchtung)
- Das Benutzerverhalten (Lüftungsverhalten, effektive Raumtemperatur)

Aktuelle HGT-Daten werden von der SMA in Fachzeitschriften publiziert.

## Energiekennzahl

Definition und Erklärungen siehe Kapitel 6.1.

## k-Wert

Als k-Wert (Wärmedurchgangskoeffizient) wird der Wärmestrom bezeichnet, welcher durch  $1 \text{ M}^2$  eines Bauteils fliesst, wenn der Temperaturunterschied der angrenzenden Luftschichten 1 Kelvin beträgt.

Neben den Wärmeübertragungen Luft - Bauteil Luft, wird der k-Wert durch die Wärmeleitungseigenschaften (X, in  $\text{W/mK}$ ) der Bau- und Wärmedämmstoffe bestimmt.

Merke: Je kleiner der k-Wert, desto besser der Wärmeschutz:

Die physikalische Einheit des k-Wertes ist Watt pro Quadratmeter und Kelvin [ $\text{W/M}^2\text{K}$ ]; 1 K entspricht  $1 \text{ °C}$ .

Die Einheit  $\text{kcal/M}^2\text{h} \text{ °C}$  ist heute nicht mehr gebräuchlich ( $1 \text{ kcal/M}^2\text{h} \text{ °C} = 1,163 \text{ W/M}^2\text{K}$ ).

Berechnung: siehe «k-Wert-Berechnung und Bauteilekatalog» [6]

# Definitionen

## Dezimale

Dezimalzahl	Faktor	Symbol	Vorsilbe
0,000 000 000 001	= $10^{-12}$	p	Pico
0,000 000 001	= $10^{-9}$	n	Nano
0,000 001	= $10^{-6}$	$\mu$	Mikro
0,001	= $10^{-3}$	m	Milli
1'000	= $10^3$	k	Kilo
1'000'000	= $10^6$	M	Mega
1'000'000'000	= $10^9$	G	Giga
1'000'000'000'000	= $10^{12}$	T	Tera

Fig. A34 Teile und Vielfache

## Begriffe zur Energie

### • Arbeit, Energie

Energie als physikalischer Begriff bedeutet Vorrat an Arbeitsvermögen. Energie tritt in verschiedenen Erscheinungsformen auf, z.B. als mechanische Energie (Lage, Bewegung), thermische Energie (Wärme), chemische Bindungsenergie, elektromagnetische Strahlungsenergie oder Kernenergie usw.

**Einheiten:** J (Joule)  
 kWh (Kilowattstunden)  
 kcal (Kilokalorien, alte Masseinheit)

**Beziehung:**  $1 \text{ J} = 1 \text{ N} \cdot \text{m} = 1 \text{ W} \cdot \text{s}$

(N = Newton, m = Meter, W = Watt,  
 s = Sekunden)

	kWh	MWh	MJ	kcal
1 kWh =	1	0,001	3,6	860
1 MWh =	1'000	1	3600	860'000
1 MJ =	0,278	0,000278	1	239
1 kcal =	0,00116	0,000'001	0,00419	1

Fig. A35 Energie-Umrechnungstabelle

### • Leistung

Als Leistung bezeichnet man den auf eine Zeiteinheit bezogenen Energieumsatz (Leistung = Energie pro Zeiteinheit).

**Einheiten:** W (Watt)  
 kcal/h (Kilokalorien pro Stunde, alte Masseinheit)

**Beziehung:**  $1 \text{ W} = 1 \text{ J} / \text{s} = 1 \text{ N} \cdot \text{m} / \text{s} = 1 \text{ V} \cdot \text{A}$

(s = Sekunden, V = Volt, A = Ampère)

	W	kW	MW	kcal/h
1 W =	1	0,001	0,000'001	0,860
1 kW =	1'000	1	0,001	860
1 MW =	1'000'000	1'000	1	860'000
1 kcal/h =	1,163	0,00116	0,000'001	1

Fig. A36 Leistungs-Umrechnungstabelle

Weitere Leistungseinheit: 1 PS = 0,736 kW

## Temperaturen

### Anwendung

Temperaturangaben (Raumlufttemperaturen, Aussentemperaturen)	Grad Celsius	°C
absolute Temperaturen $K = °C + 273,15$ (Temperatur-Differenzen)	Kelvin	K

Fig. A37 Temperaturangaben

Energieträger	Unterer Heizwert $H_u$ je kg <sup>1)</sup>		
	MJ	kWh	kcal
<b>Heizöl</b> - extraleicht (EL), (1 Liter = 0,84 kg) - schwer	42,7 40,2	11,9 11,2	10'200 9'600
<b>Erdgas</b> (Betriebskubikmeter laut Gaszähler)	Den oberen Heizwert $H_o$ pro $m^3$ beim Gaswerk erfragen (Zürich: 37,6 MJ/ $m^3$ ) $H_u \cong 0,9 H_o$ <sup>2)</sup>		
<b>Flüssiggas</b> Propan, Butan	46	12,8	11'000
<b>Elektrizität</b>	3,6	1,0	860
<b>Feste Brennstoffe</b> - Steinkohle, Koks <sup>3)</sup> - Braunkohlenbriketts (1 Bund = 25 kg) - Holz lufttrocken (15 % Feuchte) 1 Ster (Raummeter): - Nadelholz $\approx$ 360 kg - Laubholz $\approx$ 500 kg - Holzschnitzel (30 % Feuchte) (1 $m^3 \rightarrow$ 250 kg)	29,3 20 15,5 12,1	8,1 5,6 4,3 3,4	7'000 4'800 3'700 2'900
<b>Fernwärme</b> 1 $m^3$ Wasser enthält pro K Abkühlung	4,19	1,16	1'000

1) Die Nutzung der Energie durch Abkühlung (Kondensation) des Wasserdampfes in den Abgasen ist im oberen Heizwert enthalten, im unteren nicht enthalten.

2) Für energetische Berechnungen (Kostenvergleiche, Energiekennzahlen) wird immer  $H_u$  verwendet.

3) Mittelwert

Fig. A38 Heizwerte verschiedener Energieträger, die bei vollständiger Verbrennung eines Brennstoffes freigesetzt werden

	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
unter 800 m ü.M.												
- Tessin	0,21	0,17	0,15	0,07	0,02	--	--	--	--	0,04	0,14	0,20
- Schweiz ohne Tessin	0,19	0,16	0,14	0,08	0,03	0,01	--	--	0,02	0,06	0,13	0,18
800 ... 1600 m ü.M.												
ganze Schweiz	0,16	0,13	0,12	0,09	0,05	0,02	0,01	0,02	0,04	0,08	0,12	0,16
über 1600 m ü.M.												
ganze Schweiz	0,13	0,12	0,11	0,09	0,07	0,04	0,03	0,04	0,05	0,08	0,11	0,13

Fig. A39 Anteile der monatlichen Heizgradtage (berechnet und zusammengefasst aus den Daten der Empfehlung SIA 381/3, Tabelle 1, SIA-Empfehlung 180/4 [18])

Langjähriger Mittelwert für St.Gallen nach SIA 380/1 bzw. SIA 381/2: 4046 HGT

**HGT:**

Monatswerte aus den Witterungsberichten der Schweizerischen Meteorologischen Anstalt [24]

**12 Mte.:**

HGT über die vergangenen 12 Monate aufsummiert (inkl. auf gleicher Zeile genannter Monat)

**Summe HGT:**

HGT aufsummiert mit Beginn 1. Juni 1984 (inkl. auf gleicher Zeile genannter Monat)

Jahr	Monat	HGT	12 Mte.	Summe HGT	Jahr	Monat	HGT	12 Mte.	Summe HGT
84	Jan	608		608	89	Jan	608	3815	21211
	Feb	643		1251		Feb	473	3737	21684
	Mär	601		1852		Mär	377	3566	22061
	Apr	416		2268		Apr	393	3626	22454
	Mai	328		2596		Mai	121	3627	22575
	Jun	92		2688		Jun	106	3656	22681
	Jul	57		2745		Jul	8	3646	22689
	Aug	0		2745		Aug	59	3659	22748
	Sep	215		2960		Sep	144	3672	22892
	Okt	288		3248		Okt	237	3642	23129
	Nov	424		3672		Nov	538	3641	23667
	Dez	596	4268	4268		Dez	556	3620	24223
85	Jan	803	4463	5071	90	Jan	594	3606	24817
	Feb	602	4422	5673		Feb	371	3504	25188
	Mär	573	4394	6246		Mär	405	3532	25593
	Apr	367	4345	6613		Apr	436	3575	26029
	Mai	178	4195	6791		Mai	124	3578	26153
	Jun	142	4245	6933		Jun	124	3596	26277
	Jul	0	4188	6933		Jul	33	3621	26310
	Aug	68	4256	7001		Aug	0	3562	26310
	Sep	75	4116	7076		Sep	156	3574	26466
	Okt	334	4162	7410		Okt	221	3558	26687
	Nov	590	4328	8000		Nov	500	3520	27187
	Dez	503	4235	8503		Dez	648	3612	27835
86	Jan	619	4051	9122	91	Jan	637	3655	28472
	Feb	759	4208	9881		Feb	618	3902	29090
	Mär	546	4181	10427		Mär	404	3901	29494
	Apr	434	4248	10861		Apr	433	3898	29927
	Mai	102	4172	10963		Mai	359	4133	30286
	Jun	141	4171	11104		Jun	123	4132	30409
	Jul	46	4217	11150		Jul	9	4108	30418
	Aug	70	4219	11220		Aug	0	4108	30418
	Sep	171	4315	11391		Sep	46	3998	30464
	Okt	259	4240	11650		Okt	368	4145	30832
	Nov	420	4070	12070		Nov	495	4140	31327
	Dez	572	4139	12642		Dez	676	4168	32003
87	Jan	803	4323	13445	92	Jan	655	4186	32658
	Feb	564	4128	14009		Feb	541	4109	33199
	Mär	644	4226	14653		Mär	471	4176	33670
	Apr	315	4107	14968		Apr	385	4128	34055
	Mai	342	4347	15310		Mai	95	3864	34150
	Jun	148	4354	15458		Jun	45	3786	34195
	Jul	27	4335	15485		Jul	8	3785	34203
	Aug	31	4296	15516		Aug	0	3785	34203
	Sep	53	4178	15569		Sep	80	3819	34283
	Okt	295	4214	15864		Okt	414	3865	34697
	Nov	475	4269	16339		Nov	420	3790	35117
	Dez	546	4243	16885		Dez	611	3725	35728
88	Jan	511	3951	17396	93	Jan	512	3582	36240
	Feb	551	3938	17947		Feb	616	3657	36856
	Mär	548	3842	18495		Mär	521	3707	37377
	Apr	333	3860	18828		Apr	265	3587	37642
	Mai	120	3638	18948		Mai	139	3631	37781
	Jun	77	3567	19025		Jun	37	3623	37818
	Jul	18	3558	19043		Jul	70	3685	37888
	Aug	46	3573	19089		Aug	60	3745	37948
	Sep	131	3651	19220		Sep	164	3829	38112
	Okt	267	3623	19487		Okt	378	3793	38490
	Nov	539	3687	20026		Nov	611	3984	39101
	Dez	577	3718	20603		Dez	516	3889	39617

Beispiel: HGT von 1. Okt. 89 bis 30. Mai 92 = 34'150 - 22'892 = 11'258 HGT

Langjähriger Mittelwert für Zürich SMA nach SIA 380/1 bzw. SIA 381/2: 3717 HGT

**HGT:** Monatswerte aus den Witterungsberichten der Schweizerischen Meteorologischen Anstalt [24]

**12 Mte.:** HGT über die vergangenen 12 Monate aufsummiert (inkl. auf gleicher Zeile genannter Monat)

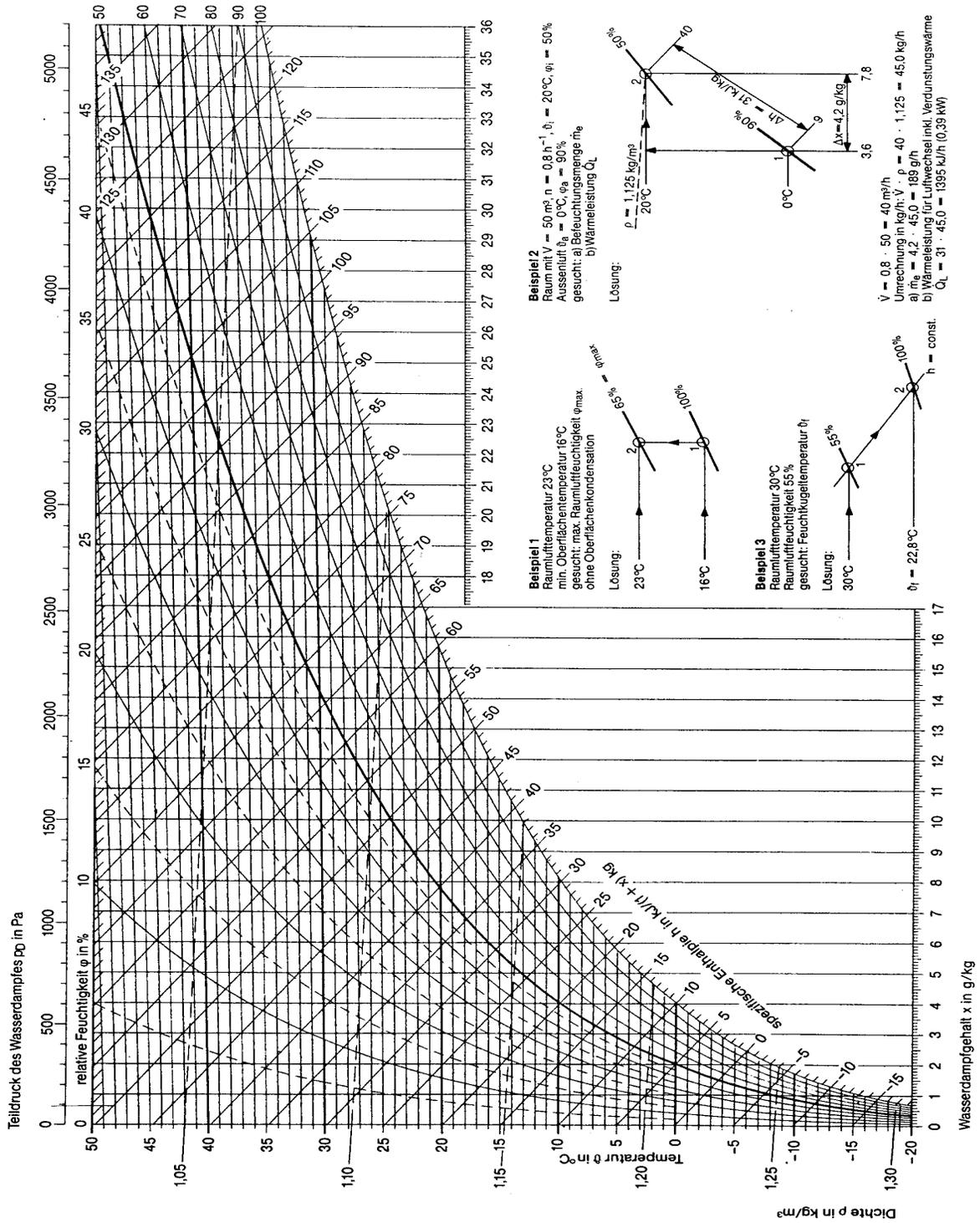
**Summe HGT:** HGT aufsummiert mit Beginn 1. Januar 1984 (inkl. auf gleicher Zeile genannter Monat)

Jahr	Monat	HGT	12 Mte.	Summe HGT	Jahr	Monat	HGT	12 Mte.	Summe HGT
84	Jan	592		592	89	Jan	590	3410	18997
	Feb	595		1187		Feb	476	3354	19473
	Mär	543		1730		Mär	338	3176	19811
	Apr	341		2071		Apr	372	3250	20183
	Mai	255		2326		Mai	88	3266	20271
	Jun	47		2373		Jun	67	3292	20338
	Jul	0		2373		Jul	0	3292	20338
	Aug	0		2373		Aug	34	3317	20372
	Sep	131		2504		Sep	61	3304	20433
	Okt	230		2734		Okt	235	3310	20668
	Nov	407		3141		Nov	507	3304	21175
	Dez	559	3700	3700		Dez	537	3305	21712
85	Jan	779	3887	4479	90	Jan	594	3309	22306
	Feb	569	3861	5048		Feb	374	3207	22680
	Mär	517	3835	5565		Mär	368	3237	23048
	Apr	301	3795	5866		Apr	370	3235	23418
	Mai	125	3665	5991		Mai	42	3189	23460
	Jun	65	3683	6056		Jun	54	3176	23514
	Jul	0	3683	6056		Jul	0	3176	23514
	Aug	36	3719	6092		Aug	0	3142	23514
	Sep	35	3623	6127		Sep	70	3151	23584
	Okt	289	3682	6416		Okt	212	3128	23796
	Nov	557	3832	6973		Nov	467	3088	24263
	Dez	509	3782	7482		Dez	616	3167	24879
86	Jan	592	3595	8074	91	Jan	595	3168	25474
	Feb	706	3732	8780		Feb	591	3385	26065
	Mär	513	3728	9293		Mär	379	3396	26444
	Apr	411	3838	9704		Apr	365	3391	26809
	Mai	75	3788	9779		Mai	281	3630	27090
	Jun	92	3815	9871		Jun	90	3666	27180
	Jul	0	3815	9871		Jul	0	3666	27180
	Aug	46	3825	9917		Aug	0	3666	27180
	Sep	98	3888	10015		Sep	36	3632	27216
	Okt	201	3800	10216		Okt	299	3719	27515
	Nov	439	3682	10655		Nov	483	3735	27998
	Dez	571	3744	11226		Dez	635	3754	28633
87	Jan	752	3904	11978	92	Jan	644	3803	29277
	Feb	544	3742	12522		Feb	531	3743	29808
	Mär	589	3818	13111		Mär	432	3796	30240
	Apr	248	3655	13359		Apr	331	3762	30571
	Mai	265	3845	13624		Mai	63	3544	30634
	Jun	116	3869	13740		Jun	18	3472	30652
	Jul	0	3869	13740		Jul	0	3472	30652
	Aug	17	3840	13757		Aug	0	3472	30652
	Sep	47	3789	13804		Sep	48	3484	30700
	Okt	270	3858	14074		Okt	360	3545	31060
	Nov	450	3869	14524		Nov	410	3472	31470
	Dez	549	3847	15073		Dez	601	3438	32071
88	Jan	514	3609	15587	93	Jan	512	3306	32583
	Feb	532	3597	16119		Feb	571	3346	33154
	Mär	516	3524	16635		Mär	478	3392	33632
	Apr	298	3574	16933		Apr	230	3291	33862
	Mai	72	3381	17005		Mai	57	3285	33919
	Jun	41	3306	17046		Jun	8	3275	33927
	Jul	0	3306	17046		Jul	30	3305	33957
	Aug	9	3298	17055		Aug	45	3350	34002
	Sep	74	3325	17129		Sep	98	3400	34100
	Okt	229	3284	17358		Okt	354	3394	34454
	Nov	513	3347	17871		Nov	569	3553	35023
	Dez	536	3334	18407		Dez	491	3443	35514

Beispiel: HGT von 1. Okt. 89 bis 30. Mai 92 = 30'634 - 20'433 = 10'201 HGT

# h, x-Diagramm für feuchte Luft

p = 950 mbar, H = 540 m ü.M. aus «Element 23» [25]



# Literaturverzeichnis

- [1] Methoden der Wirtschaftlichkeitsanalyse von Energiesystemen»Materialien zu RAVEL  
EDMZ Best. Nr. 724.397.12.51.2 d
- [2] «Planung, Bau und Betrieb von Elektrowärmepumpen-Anlagen»RAVEL  
EDMZ Best. Nr. 724.356 d
- [3] «Förderung von energiesparenden Massnahmen in den evangelisch-reformierten Kirchgemeinden der  
Kantone AI, AR, GL, SG (1 989 bis 1992) Ernst Baumann
- [4] Handbuch «Planung und Projektierung wärmetechnischer Gebäudesanierungen»  
EDMZ Best. Nr. 724.500 d
- [5] Vereinigung der Schweizer Denkmalpfleger Kolloquium Sommersemester 1992ETH Zürich«  
Heizung in Historischen Bauten» Manuskript des Verfassers F. Stadlin, Buchs
- [6] «k-Wert-Berechnung und Bauteilekatalog» Bundesamt für Energiewirtschaft  
EDMZ Best. Nr. 805.150 d
- [7] SIA-Empfehlung 380/1«  
Energie im Hochbau», Ausgabe 1988
- [8] «Luftwechselraten»Messungen mit Tracergas SF6 in der evangelischen Kirche Ebnet / SG  
EMPA Dübendorf Energie in kirchlichen Gebäuden sinnvoll nutzen Evangelisch-Reformierte Kirche des Kantons  
St.Gallen Ernst Baumann
- [9] Bau und Energie«Bauphysikalische Grundlagen»  
Hans Moor  
Verlag der Fachvereine  
ISBN 3-7281-1824-9 (vdf)
- [10] Forschungsbericht T239 «Bauphysikalische Untersuchungen in unbeheizten und beheizten Gebäuden alter Bauart»  
H. Künzel, D. Hotz  
IRB Verlag, Frauenhofer-Gesellschaft Stuttgart IPB-Bericht FB-32/1991  
[II]«Wandmalereizerfall, Salze und Raumklima der Klosterkirche von Münstair»  
A. Arnold, et al  
Zeitschrift für Kunsttechnologie und Konservierung, Heft 2/1991, Wernersche Verlagsgesellschaft, Worms am Rhein
- [12] «Raumklima in grossen historischen Räumen» Claus Arendt  
Verlag Rudolf Müller  
I  
SBN 3-481-00564-4
- [13] «Die Orgel» Friedrich Jakob  
Verlag Schott, ISBN 3-7957-2342-6
- [14] «Einführung in den Orgelbau» Wolfgang Adelung  
Verlag Breitkopf & Härtel,  
ISBN 3-7651-0279-2
- [15] «Die akustischen Grundlagen» Werner Lottermoser  
Verlag Erwin Bochinsky, ISBN 3-920 12-21-0
- [16] Taschenbuch «Kirchenheizung und Denkmalschutz» Dr. Ing. Axel Pfeil  
Bauverlag GmbH, Wiesbaden und Berlin
- [17] VDI Bericht«  
Richtiges Heizen in historischen Gebäuden» Nr. 896 / 1991
- [18] SIA-Empfehlung 180/4« Energiekennzahl»  
Ausgabe 1982
- [19] Musterverordnung«  
Rationelle Energienutzung in Hochbauten» (aufbauend auf der Empfehlung SIA 380/1 Energie im Hochbau)  
Bundesamt für Energiewirtschaft BEW
- [20] SIA-Empfehlung 384/2«Wärmeleistungsbedarf von Gebäuden» Ausgabe 1982
- [21] SIA-Sonderdruck aus Heft 35 / 1987«  
Zur Bedeutung des Fensters»
- [22] Glossar «Grundbegriffe der Energiewirtschaft» Materialien zu RAVEL  
EDMZ Best. Nr. 724.397.12.51.1 d
- [23] SIA-Empfehlung 381/3«  
Heizgradtage der Schweiz»  
Ausgabe 1982
- [24] Die Heizgradtage wurden den monatlichen Witterungsberichten entnommen (Jahresabonnement inkl. Versand  
Fr. 30.—), Schweizerische Meteorologische Anstalt, Postfach, 8044 Zürich
- [25] «Element 23»  
Schweizerische Ziegelindustrie  
Ausgabe 1980

## **A 8    Arbeitsblätter**

### **Inhalt**

- A 8.1    Grobanalyse elektrische Kirchenheizung
- A 8.2    Energiekennzahl E für Gebäude mit Teilnutzung
- A 8.3    Raumklima und Orgel
- A 8.4    Energiebuchhaltung

**Grobanalyse elektrische Kirchenheizung** (Stand: .....) Seite 1 von 2

Allgemeine Angaben	Auftraggeber	.....	.....
	Kontaktpersonen	.....	.....
	Beweggründe für Analyse	.....	.....
	Begehung(en)	.....	.....
Gebäudeangaben	Baujahr	.....	.....
	Sanierungen	.....	.....
	Beheizte Räume / Zonen	.....	.....
	Anzahl Sitzplätze	.....	Davon .....
Technische Angaben	Raumhöhe Kirche	..... m	Nominalleistung bei 380 Volt (alle Räume)
	Installierte Heizleistung	..... kW	
	Heizung: - Wärmeabgabe (Art der Wärmeabgabe pro Raum)	.....	
	- Steuerung, Regelung	.....	
Jährlicher Energieverbrauch	Elektrizität (effektiv) kWh Fr.	..... .....	Heizperiode 19 ... / ... Hochtarif ... Rp./kWh; Niedertarif ... Rp./kWh; Leistungstarif Fr. ... / .....
Berechnete Werte	Energiebezugsfläche EBF	..... m <sup>2</sup>	alle Räume (bei Grobanalysen: EBF = beheizte BGF) nur Kirche: ..... kW ..... beheizte BGF = ..... W/m <sup>2</sup> Heizperiode ....., auf beheizte BGF bezogen 1) ⇒ Verbrauch: ..... Sparpotential: .....
	Spezifische installierte Leistung P <sub>s</sub>	..... W / m <sup>2</sup>	
	Energiekennzahl	... MJ/m <sup>2</sup> a	
Bisheriger Heizbetrieb	Raumlufttemperaturen:		
	- Kirche: - belegt - unbelegt (Minimum)	..... °C ..... °C	..... .....
	Belegungen: - wöchentliche (Kirche) - vereinzelte ..... .....	..... .....	Anzahl / Woche Anzahl / Jahr

1) Mit Teilzeit-, Temperatur- und Raumhöhenkorrektur nach RAVEL-Kirchenheizungen für Feinanalysen beträgt die EBF ..... m<sup>2</sup> und die HGT-normierte Energiekennzahl ..... MJ/m<sup>2</sup>a.

Objekt:.....

## Grobanalyse elektrische Kirchenheizung

Seite 2 von 2

Weitere Elektrizitäts- Verbraucher	
Bisherige Schwierig- keiten	
Ausgeführte/ geplante Sanierungen	
Sofortmass- nahmen	
Weiteres Vorgehen	
Bemerkungen	
bearbeitet durch	

Beilagen: - Arbeitsblatt «Energiekennzahl E für Gebäude mit Teilnutzung»

**Energiekennzahl E für Gebäude mit Teilnutzung** (nach SIA-Empfehlung 180/4)

**Zusammenstellung der Flächen für:**

Grobanalyse

Feinanalyse

Bezeichnung der Teilflächen	Nutzungs- Abk.1)	Länge L [m]	Breite B [m]	Anzahl n [-]	beh. BGF = L · B · n [m <sup>2</sup> ]	h <sub>g</sub> [m]	f <sub>h</sub> = (h <sub>g</sub> +3)/6 [-]	f <sub>z</sub> · f <sub>t</sub> 1) [-]	EBF = BGF · f <sub>h</sub> · f <sub>z</sub> · f <sub>t</sub> [m <sup>2</sup> ]
					Σ beh. BGF =				Σ EBF =

**Energieverbräuche** 2)

Energie Art	von [Datum]	bis [Datum]	Energiekosten [Fr.]	Stand neu [kWh]	Stand alt [kWh]	Faktor [-] 3)	Verbr. B [kWh]
			Total Energiekosten =				Verbrauch Σ B <sub>i</sub> =

Skizzen, Bemerkungen:

- 1) siehe Seite 2
- 2) Es sind alle Elektrozähler zu erfassen, z.B. auch sep. Zähler für den allgemeinen Verbrauch (Licht, Lüftung usw.). Wenn Ablesungen von sep. Zähler für den allg. Verbrauch fehlen, wird ein Zuschlag von 5 % (Schätzung) addiert.
- 3) Bei Elektrizität Ablesefaktor, bei Öl und Gas Energieinhalt pro Messeinheit

Periodische Belegung jede Woche	
$f_t$	
beheizte Räume:	- belegt 1,0
	- unbelegt 0,3
temperierte Räume:	0,3

Nutzungszone	Nutz. Abk.	Mo	Di	Mi	Do	Fr	Sa	So	$f_t$ 1)	$f_{zv}$ 2)	$f_{zm}$ 3)	$f_z \cdot f_t = f_{zm} \cdot (f_t + f_{zv})$ 4)

**Berechnung des Teilzeit-Korrekturfaktors  $f_{zv}$  für vereinzelte Belegungen**

(Umrechnung von vereinzelten auf tägliche Belegungen, unter Berücksichtigung der Gleichzeitigkeit der periodischen Belegungen jede Woche)

Nutz. Abk.	vereinzelte Belegungen	Belegungen/ Jahr	$f_{zv} = (1 - f_t) \cdot \text{Ver} / 365$	Bemerkungen
	<i>Feiertage Bestattungen Kulturelle Anlässe</i>			

**Energiekennzahl Grobanalyse** (ohne Korrektur der EBF und ohne HGT-Normierung):

$$E = \frac{3,6 \cdot B_i}{\Sigma \text{EBF } 5)} = \frac{3,6 \cdot \dots\dots\dots}{\dots\dots\dots} = \dots\dots \text{ MJ/m}^2\text{a}$$

**Energiekennzahl Feinanalyse** (mit Raumhöhen-, Teilzeit- und Temperatur-Korrektur der EBF und mit HGT-Normierung):

$$\bar{B}_i = \Sigma B_i \cdot \frac{\overline{\text{HGT}}}{\Sigma \text{HGT}_{\text{Ende}} - \Sigma \text{HGT}_{\text{Anfang}} 6)} = \dots\dots\dots = \dots\dots \text{ kWh/a}$$

$$E = \frac{3,6 \cdot \bar{B}_i}{\Sigma \text{EBF}} = \frac{3,6 \cdot \dots\dots\dots}{\dots\dots\dots} = \dots\dots \text{ MJ/m}^2\text{a}$$

- 1)  $f_t$ : Summe der  $f_t$ -Werte aus periodischer Belegung dividiert durch 7
- 2)  $f_{zv}$ : Berechnung siehe separate Berechnungstabelle
- 3)  $f_{zm}$ : Teilzeit-Korrekturfaktor, wenn während einzelnen Monaten während der Heizperiode nicht geheizt wird (siehe Anhang 7, Fig. A39; wenn kein Unterbruch im Heizbetrieb, dann  $f_{zm} = 1$ .)
- 4)  $f_z \cdot f_t$ : Dieser Wert ist auf die Vorderseite zu übertragen
- 5) Bei Grobanalysen wird die beheizte Bruttogeschossfläche (beh. BGF) als EBF eingesetzt.
- 6) siehe HGT Tabellen Anhang A 7

Objekt: .....

**Raumklima und Orgel**

zutreffendes bitte ankreuzen

Mit dem vorliegenden Fragebogen an den Orgelbauer kann das zweckmässige Raumklima bezüglich Erhaltung und Stimmhaltung der Orgel in Erfahrung gebracht werden. Im Hinblick auf die Einsparung von Heizenergie sollten möglichst tiefe Temperaturen genannt werden.

**Allgemeine Angaben zur Orgel** (siehe auch Handbuch «RAVEL-Kirchenheizungen» Abschnitt 3.2)

Name der Orgelbaufirma: .....

verantwortlich für den Orgelservice: .....

Spieltraktur:  mechanisch       elektrisch       pneumatisch       .....

Windlade:  Schleifwindlade       Kegellade       Springlade       .....

Boden:  massiv beledert       massiv papiert       abgesperrt       .....

Registratur:  mechanisch       elektrisch       pneumatisch       .....

Standort: - Magazinbälge       Orgelraum       Turm       .....

- Gebläse       Orgelraum       Turm       .....

- Luftansaug von       Orgelraum       Turm       .....

Gehäuse:  vollständig geschlossen       Fassade       .....

Werkverteilung:       gleiche Ebene       versch. Niveau       .....

**Raumklima und Erhaltung der Orgel**

**Raumlufttemperatur**

Muss für die Erhaltung der Orgel generell geheizt werden:       ja       nein

Empfehlung für minimale Raumlufttemperatur:  2 ... 4 °C       4... 6 °C       .....

Mit welchen Problemen ist zu rechnen, wenn nicht durchgehend geheizt wird: .....

.....

.....

Maximale Raumlufttemperatur im Orgelbereich während Heizperiode:       ca. 18 °C       .....

Maximale Aufheizgeschwindigkeit:       unkritisch       1 ... 2 °C pro Std.       .....

**Raumluftfeuchte**

Tagesmittelwerte im Bereich von:       45 ... 80 %       .....

Über- und Unterschreitungen von ca. 10 % während einigen Stunden zulässig:       ja       nein

**Raumklima und Betrieb der Orgel** (Angaben fakultativ)

Für die Stimmhaltung der Orgel sind folgende Raumlufttemperaturen zweckmässig:

Ausserhalb Belegung:       unbeheizt       6 ... 8 °C       .....

Aufheizen:       ca. 1 °C pro Std.       ca. 2 °C pro Std.       .....

Während Belegung:       10 ... 12 °C       ca. 15 °C       .....

Während Stimmung:       14 °C       15 °C       .....

Bemerkungen: .....

.....

.....

.....



**Bestellung von RAVEL-Dokumentationen:**

Name, Vorname: \_\_\_\_\_

Firma: \_\_\_\_\_

Strasse: \_\_\_\_\_

PLZ, Ort: \_\_\_\_\_

Datum, Unterschrift: \_\_\_\_\_

**Bundesamt für Konjunkturfragen**
**Impulsprogramm RAVEL**
**Belpstrasse 53**
**3003 Bern**
**Fax 031 / 371 82 89**

Titel	Autor	Bestell-Nr.	Preis	Bestellung
<b>Allgemeine Dokumentationen zu RAVEL</b>				
Broschüre "Neue Handlungsspielräume mit weniger Strom"		724.301 d	gratis	
Broschüre "L'économie d'électricité crée de nouveaux champs d'action"		724.301 f	gratis	
Broschüre "Nuove libertà d'azione con meno energia elettrica"		724.301 i	gratis	
Broschüre "11 Praxislehrstücke, wie Ausgaben zur lohnenden Invest. werden"		724.387 d	gratis	
Untersuchungsergebnisse "47 heisse Spuren zu lohnenden Stromsparpotentialen"		724.301.3 d	gratis	
IMPULS - Zeitschrift für IP Bau, RAVEL und PACER			gratis	
<b>RAVEL-Lehrmittel</b>				
Strom rationell nutzen - RAVEL Handbuch		ISBN 3 7281 1830 3	76.--	Buchhandel
Manuel RAVEL - l'électricité à bon escient		ISBN 3 7281 1830 3	76.--	Buchhandel
RAVEL-Tagung 1991: Start zu einer neuen fachlichen Kompetenz		724.300.1 d/f	25.--	
RAVEL-Tagung 1992: Mehr Büro mit weniger Strom		724.300.2 d/f	30.--	
RAVEL-Tagung 1993: Energie-Fitness in der Industrie		724.300.3 d/f	25.--	
RAVEL-Tagung 1994: RAVEL zahlt sich aus		724.300.4 d/f	25.--	
RAVEL-Tagung 91-94: 4er Set		724.300.0 d/f	75.--	
RAVEL-Industrie-Handbuch	A. Huser	724.370 d	50.--	
Erfassung des Energieverbrauchs (2 Bücher und Bon für Diskette)	A. Huser	724.371.0 d	27.--	
Erfassung des Energieverbrauchs (Diskette und Band 1: Leitfaden für Ind. + Gewerbe)	A. Huser	724.371.1 d	12.--	
Erfassung des Energieverbrauchs (Band 2: Anleitung für den Beauftragten)	A. Huser	724.371.2 d	15.--	
Energie - ihre Bedeutung für die Wirtschaft	D. Spreng	724.316 d	14.--	
Analyse des Energieverbrauchs	F. Wolfart	724.318 d	24.--	
Organisation und Energiemanagement	R. Hasenböhler	724.374 d	23.--	
Küche und Strom	L. Perincioli	724.322 d/f	11.--	
Elektrische Antriebe: Auslegung und Betriebsoptimierung	K. Reichert	724.331 d	38.--	
Umwälzpumpen: Auslegung und Betriebsoptimierung	E. Füglistner	724.330 d	33.--	
Energie-effiziente Lüftungstechnische Anlagen in der Haustechnik	U. Steinemann	724.307 d	38.--	
Elektroantriebe	A. Neyer	724.332 d	9.--	
Beleuchtung - Gesamtpaket mit allen vier Bänden		724.329.0 d	80.--	
Beleuchtung - Grundlagen	Ch. Vogt	724.329.1 d	22.--	
Beleuchtung - Zeitgemässe Beleuchtung in Bürobauten	Ch. Vogt	724.329.2 d	25.--	
Beleuchtung - Mit besserem Licht zu glänzenden Produktions-Ergebnissen	Ch. Vogt	724.329.3 d	21.--	
Beleuchtung - Mit besserem Licht zu steigenden Verkaufszahlen	Ch. Vogt	724.329.4 d	21.--	
Haushaltgeräte - Leitfaden zur Gerätewahl	F. Wolfart	724.347 d	22.--	
Geräte zur Wassererwärmung	H. Hediger	724.349 d	36.--	
Elektroheizungen - Sanierung und Ersatz in Wohnbauten	H.P. Meyer	724.346 d	28.--	
Elektrizität im Wärmesektor (WKK, WP, WRG)	H.R. Gabathuler	724.354 d	8.--	
Electricité et chaleur	P. Renaud	724.354 f	8.--	
Standardschaltungen Heft 5		724.359 d		
Wärmerückgewinnung und Abwärmenutzung Heft 2	R. Brunner	724.355 d	15.--	
Wärmepumpen Heft 3	Th. Baumgartner	724.356 d	16.--	
Elektrizität und Wärme (Grundlagen) Heft 1	H.R. Gabathuler	724.357 d	16.--	
Wärmeerkopplungsanlagen - Effizienter planen, bauen und betreiben Heft 4	Hp. Eicher	724.358 d	17.--	
Einsatz der integralen Gebäudeautomation - Optimierung und Betrieb	J. Willers	724.362 d	24.--	
Gebäudeautomation - Inbetriebsetzung und Abnahme	J. Willers	724.363 d	24.--	
Automation und RAVEL	G. Züblin	724.335 d	23.--	
Kompetent antworten auf Energiefragen (Kursordner und Taschenbuch)	M. Kugler	724.386.0 d	60.--	
Kompetent antworten auf Energiefragen (Kursordner)	M. Kugler	724.386.1 d	50.--	
Kompetent antworten auf Energiefragen (Taschenbuch)	M. Kugler	724.386 d	12.50	

## Bestellung von RAVEL-Dokumentationen:

Name, Vorname: \_\_\_\_\_  
 Firma: \_\_\_\_\_  
 Strasse: \_\_\_\_\_  
 PLZ, Ort: \_\_\_\_\_  
 Datum, Unterschrift: \_\_\_\_\_

**Bundesamt für Konjunkturfragen**  
**Impulsprogramm RAVEL**  
**Belpstrasse 53**  
**3003 Bern**  
**Fax 031 / 371 82 89**

Titel	Autor	Bestell-Nr.	Preis	Bestellung
<b>RAVEL-Materialien</b>				
Renouvellement d'air: Extraction d'air des bains, WC, cuisines	G. Spoehrle	724.397.11.51 f	12.--	
Transport de l'air	P. Chuard	724.397.11.52 f	12.--	
Conditionnement des locaux: études de cas	C. Brunner	724.397.11.53 d/f	12.--	
Conditionnement des locaux: humidification, déshumidification	M. Borel	724.397.11.54 f	12.--	
Pompes de circulation - Diminuer la puissance installée et l'énergie cons.	L. Keller	724.397.11.55 f	12.--	
Fallstudie Betrieb und Unterhalt einer Lüftungsanlage	R. Naef	724.397.11.56 d	12.--	
Grundbegriffe der Energiewirtschaft (Glossar)	R. Leemann	724.397.12.51.1 d	12.--	
Methoden der Wirtschaftlichkeitsanalyse von Energiesystemen	R. Leemann	724.397.12.51.2 d	12.--	
Kennwerte betrieblicher Prozessketten	F. Wolfart	724.397.12.54 d	12.--	
Valeurs caractéristiques de processus industriels	F. Wolfart	724.397.12.54 f	12.--	
Elektrische Produktionsverfahren	Hp. Meyer	724.397.12.55 d	12.--	
Energetischer Vergleich pneumatischer, hydraulischer und e.m. Antriebe	J.E. Albrecht	724.397.12.56 d	12.--	
Energieverbrauch in gewerblichen Küchen	J. Tercier	724.397.13 d	12.--	
Fallstudie Testküche	L. Perincioli	724.397.13.52 d	12.--	
Energieverbrauch von Rechner- und Kommunikationsanlagen im Detailhandel	R. Moser	724.397.13.53 d	12.--	
Zuverlässigkeit und Energieverbrauch von elektronischen Geräten	A. Birolini	724.397.13.56 d	12.--	
Elektrizitätsbedarf von Textildruckmaschinen	W. Hässig	724.397.21.51 d	12.--	
Kühlmöbel im Lebensmittelhandel	U. Kaufmann	724.397.21.52 d	12.--	
Wirkungsgradoptimierung der Drucklüfterzeugung und Verteilung	F. Münsf	724.397.21.54 d	12.--	
Analyse du rendement énergétique de processus industr. de prod.	M. Bongard	724.397.21.55 f	12.--	
Analyse processus industriels sélectionnés: utilisation de force dans la chimique	G. Mamane	724.397.21.56 f	12.--	
Elektrizitätsbedarf der Zementindustrie	U. Fischli	724.397.21.61 d	12.--	
Elektrizitätsbedarf von Industrielüftungen	U. Fischli	724.397.21.62 d	12.--	
Lumière, Beleuchtung: Etudes de cas, Fallstudien	R. Miloni	724.397.22.51 d/f	12.--	
Stromverbrauchserhebung in Haushalten	A. Huser	724.397.23.51 d	12.--	
Wäschetrocknen im Mehrfamilienhaus	J. Nipkow	724.397.23.52 d	12.--	
Kühschränke für Hotelzimmer und Studios	M. Beer	724.397.23.53 d	12.--	
Energieverbrauch von elektronischen Bürogeräten	A. Huser	724.397.23.54 d	12.--	
Energierelevante Aspekte von elektronischen Bürogeräten	R. Strauss	724.397.23.55 d	12.--	
Energieverluste bei Büro- und Unterhaltungselektronikgeräten	U. Graune	724.397.23.56/57 d	12.--	
Warmwasserbedarfszahlen und Verbrauchscharakteristik	M. Blatter	724.397.23.58 d	12.--	
Sanierung und Ersatz von Elektroheizungen: Zusatzheizungen	Hp. Meyer	724.397.23.59 d	12.--	
Dimensionierung, Sanierung und Betrieb von Elektroheizungen in Kirchen	E. Hungerbühler	724.397.23.60 d	12.--	
WRG / AWN-Checkliste	R. Brunner	724.397.31.52 d	12.--	
Abgeschlossene und laufende Projekte in den Bereichen WKK und WP	Th. Baumgartner	724.397.31.55 d	12.--	
Möglichkeiten der Wärmerückgewinnung	V. Kyburz	724.397.31.56 d	12.--	
Betriebsoptimierung/Erfolgskontrolle von WP- und WKK-Anlagen	R. Bühler	724.397.31.57 d	12.--	
Interne Wärmelasten von Betriebseinrichtungen	B. Nussbaumer	724.397.32.51 d	12.--	
Nachweis der Wirksamkeit der IGA und des Energiemanagements	M. Züst	724.397.32.53 d	12.--	
Einsatz der IGA für die Betriebsführung	S. Graf	724.397.32.54 d	12.--	
Fallstudie Tunnellüftung	H. Hatz	724.397.41 d	12.--	
Kühltemperaturen im Lebensmittelhandel	A. Kümin	724.397.41.52 d	12.--	
Bedeutung organisat. Fragen für Planung energ. Gebäude/Haustechnikanal.	U. Steinemann	724.397.41.57 d	12.--	
Erhebung des Elektrizitätsverbrauchs bestehender Strassentunnel	J. Steinemann/Borel	724.397.41.58 d/f	12.--	
RAVEL zählt sich aus - Prakt. Leitfaden für Wirtschaftlichkeitsberechn.	A. Müller	724.397.42.01 d	12.--	
RAVEL, une économie d'argent - Guide prat. pour les calculs de rentabilité	A. Müller	724.397.42.01 f	12.--	
Récupération d'énergie électrique et thermique	A. Besson	724.397.42.02 f	12.--	
Planific. des réseaux et optimisation écon. des sections d'âme de câbles électr. de puissance	D. Donati	724.397.42.02.1 f	12.--	
Minimisation et étude économique des pertes des transf. des sous-stations de transformation 65 kV/1	P. Morand	724.397.42.02.2 f	12.--	
Analyse de la consommation d'énergie électrique des bâtiments des SICs (Service Industriels de Sio	D. Donati	724.397.42.02.3 f	12.--	
Energiesparstrategie für Versorgungsunternehmen	F. Spring	724.397.42.51 d	12.--	
Benutzerverhalten im Bürobereich	E. Nussbaumer	724.397.42.55 d	12.--	
Sensorik	N. Havrilla	724.397.43.52 d	12.--	
Rationelle Stromnutzung - Einfl. neuer Technolog. auf künft. Weiterbildung	W. Baumgartner	724.397.46.51 d	12.--	
Rationelle Stromnutzung - Einfluss neuer Technologien: Kurzfassung	W. Baumgartner	724.397.46.52 d	12.--	