

|                     |   |
|---------------------|---|
| <b>Zeitschrift:</b> | Schweizer Ingenieur und Architekt   |
| <b>Herausgeber:</b> | Verlags-AG der akademischen technischen Vereine   |
| <b>Band:</b>        | 116 (1998)  |
| <b>Heft:</b>        | 18  |
| <b>Artikel:</b>     | Beheizen von Kirchen: Gratwanderung zwischen Komfortanspruch und Schäden - Fallbeispiel Kathedrale Chur |
| <b>Autor:</b>       | Baumann, Ernst / Zehnder, Konrad / Rüegg, Thomas  |
| <b>DOI:</b>         | <a href="https://doi.org/10.5169/seals-79493">https://doi.org/10.5169/seals-79493</a>                   |

### Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

### Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

### Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

**Download PDF:** 23.02.2026

**ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>**

Ernst Baumann, Konrad Zehnder, Thomas Rüegg, Zürich

# Beheizen von Kirchen

## Gratwanderung zwischen Komfortanspruch und Schäden – Fallbeispiel Kathedrale Chur

**Renovationen von Kirchen machen mit schätzungsweise 0,3 bis 0,5 Mia. Franken jährlich einen bedeutenden Anteil am schweizerischen Gebäudeunterhalt aus. [1] Der Grund dafür sind Umnutzungen und Komfortmängel, aber auch Abnützung und Schäden. Dies kostet nicht nur Geld, sondern verursacht auch Verluste an wertvollem Kulturgut.**

Die meisten Kirchen sind heute beheizt. Schäden im Innern, die wesentlich durch den praktizierten Heizbetrieb verursacht sind, werden aber meist nicht der Art und Weise, wie geheizt wird, sondern dem Wärmeabgabesystem, sei es eine Bank-, Warmluft- oder Fussbodenheizung, angelastet. Unbestritten ist die Tatsache, dass viele Heizungssteuerungen veraltet sind und eine geringe Regulierbarkeit aufweisen, was den Heizbetrieb wesentlich erschwert.

Die in der Kathedrale Chur (Bild 1) aufgetretenen Schäden an Bauplastik und Ausstattung und deren vom Institut für Denkmalpflege der ETHZ (ID/ETHZ) nachgewiesener Zusammenhang mit der Heizung veranlassten das bischöfliche Ordinariat Chur, beraten durch die kantonale Denkmalpflege, nach geeigneten Lösungen zu suchen. Die vom Bauphysiker in Zusammenarbeit mit dem ID/ETHZ und der Empa gewonnenen Erkenntnisse führten zur Empfehlung, im Rahmen der bevorstehenden Restaurierung der Kathedrale am Prinzip der Warmluftheizung festzuhalten und auf eine andere Heizung zu verzichten. Dies mag auf den ersten Blick überraschen, befindet sich doch direkt neben dem Hochaltar der Warmluftaustritt. Abgesehen vom Heizkomfort wird es für die weitere Schadenentwicklung aber entscheidend sein, wie und wie stark geheizt wird.

### Betroffene Materialien und ihre Gefährdungen

Materiell gesehen sind alte Kirchen komplexe Verbände aus Steinen, Mörteln und Verputzen, Holz, Glasfenstern und Metall, mit Ausstattungen in Form von Wand- und

Deckenmalereien, Stukkaturen, Skulpturen aus gefasstem Holz, Tafelbildern usw. Als Einzelanfertigungen sind ihre Eigenschaften von Fall zu Fall verschieden. Zu ihrer Empfindlichkeit kommt oft mangelhafte Verarbeitung und schliesslich ungünstige Eingriffe und raumklimatische Veränderungen bei Restaurierungen und Renovationen. Dieser Bestand gilt es in seiner Vielfalt zu pflegen und authentisch zu erhalten. Voraussetzung dazu ist allerdings, dass wir das Objekt mit seinen Materialien und seiner Geschichte kennen, seine Gefährdungen verstehen und darauf richtig, d.h. angemessen, reagieren. [2] Ein notwendiger Teil dieses Prozesses ist das Erfassen der Schadenzusammenhänge.

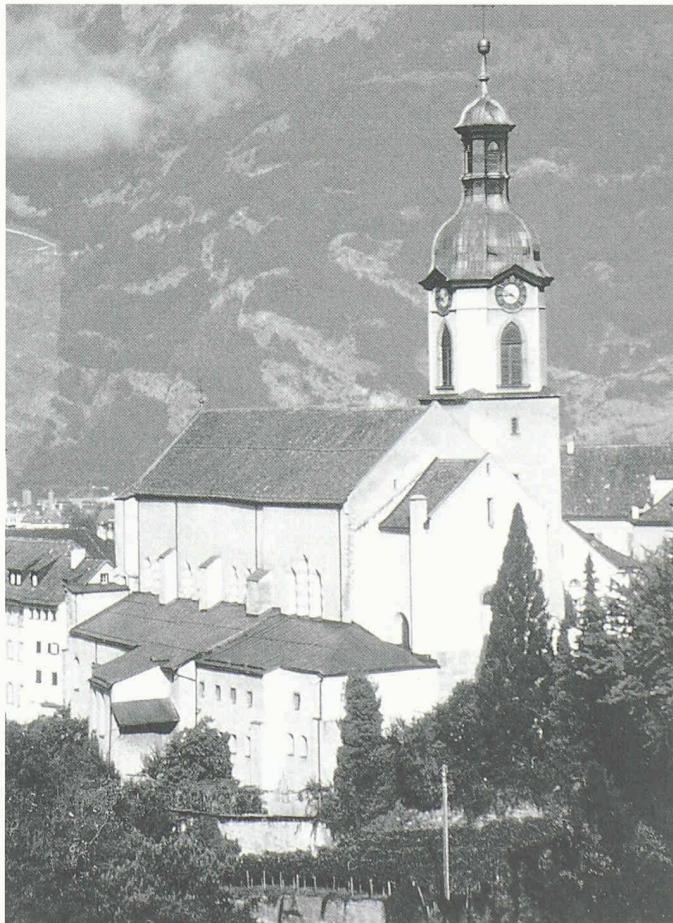
Die wichtigsten Schäden durch das beheizte Raumklima an Materialien sind in Bild 2 zusammengestellt. Dehnschwindbewegungen, Salzkristallisationen, Verschmutzungen und Mikroorganismenbefall können zwar auch ohne Beheizung

aufreten, doch werden sie durch das Heizen meist verstärkt. [3, 4] Neben der Beheizung sind die Materialien weiteren Schadensquellen ausgesetzt wie Luftfeuchte- und Temperaturschwankungen, Sonneneinstrahlung, Feuchtigkeit mit Salzen, Schadstoffen aus der Luft usw. Deshalb muss im konkreten Fall nachgeprüft werden, welches die Schadenursachen sind, um sie erfolgreich korrigieren zu können.

### Auswirkungen von Heizungen auf das Innenklima

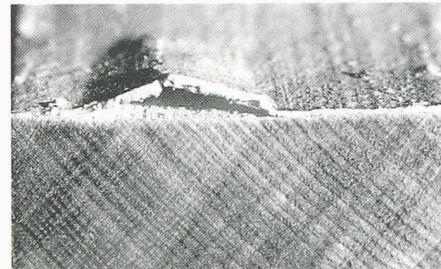
Kirchen materialverträglich und angenehm zu heizen kann unproblematisch sein. Es gibt jedoch Fälle, wo einzig der Verzicht auf eine Heizung gravierende Schäden verhindert. Bekanntes Beispiel dafür ist die Klosterkirche von Müstair GR. Zum Schutz ihrer karolingischen und romanischen Wandmalereien wurde die seit 1950 bestehende Heizung 1988 wieder entfernt.

Zwischen diesen Extremen stellt das Heizen in den meisten Kirchen eine schwierige Aufgabe dar, die einer Gratwanderung gleicht. Zu Zeiten der Benüt-



1  
Kathedrale Chur. Ansicht von Südosten  
(Bild: E. Baumann)

| Art der Schädigung   | Betroffene Materialien  |
|--|---|
| Starke Dehn-Schwind-Bewegungen durch verstärkte und häufige Luftfeuchteschwankungen      | <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Gefasstes Holz, Tafelbilder</li> <li>▪ Orgel</li> </ul>                                    |
| Verstärkte Salzkristallisationen durch extreme Trockenperioden                           | <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Versalzte Steine und Mörtel</li> <li>▪ Versalzte Wandmalereien</li> </ul>                  |
| Verstärkte Verschmutzung durch Staub- und Russ-Verfrachtung, -Deposition und -Adsorption | <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Wände und Materialien im Innenraum allgemein, besonders kühle Wandoberflächen</li> </ul>   |
| Verstärkter Mikroorganismenbefall durch erhöhte Materialfeuchte                          | <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Materialien im Einflussbereich erhöhter Feuchtigkeit, oft in Kondensationszonen</li> </ul> |



2

Schädigungen an Materialien im Zusammenhang mit dem beheizten Raumklima

3

Dachförmiges Aufstehen der Malschicht auf Holz, verursacht durch das Schwinden des Holzes an trockener Luft (Bildbreite 18 mm/ Bild: K. Zehnder)

zung soll sich die erwünschte Behaglichkeit und im ganzen das materialverträglichste Innenklima einstellen. Kommt hinzu, dass Kirchen die geringste Nutzungsdauer aller beheizten Gebäudekategorien aufweisen. Sie beträgt in den meisten Fällen nur wenige Stunden pro Woche. Trotzdem werden viele Kirchen auch bei tiefen Außentemperaturen auf wöchentliche Durchschnittstemperaturen von weit mehr als 12°C beheizt. Dies geschieht in der Annahme, dass der durchgehende Heizbetrieb geeigneter sei als ein ständiges Auf und Ab der Innentemperatur und man so mehr Energie spare.

Heizen hat vielfältige Auswirkungen auf das Innenklima. [1, 5] Im folgenden sind die wichtigsten Faktoren genannt, die Raumklima und damit Energieverbrauch, Komfort und Schadenspotential beeinflussen:

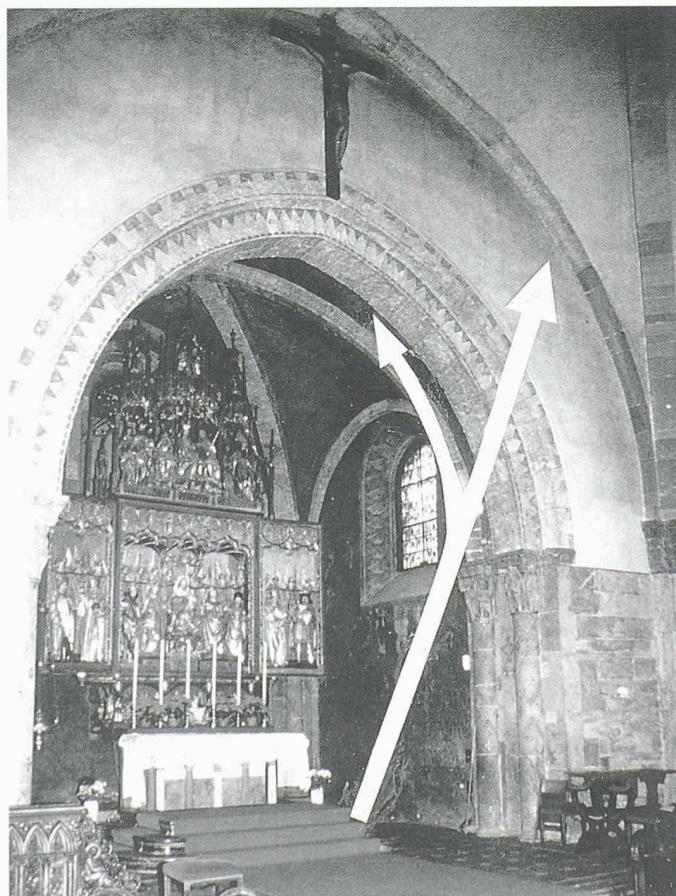
- das Wärmeabgabesystem, etwa Fußbodenheizung mit Durchheizbetrieb oder intermittierender Betrieb mit Bank-, Gas-, Elektrostrahler-, Wandradiatoren- oder Warmluftheizung,
- die mit einer Heizung kombinierte Luftbefeuchtung,
- die Temperaturregelung, etwa stufenloses Aufheizen mit automatischem

Regler oder mit Handschalter, mit oder ohne Raumtemperaturkontrolle durch Innenthermostaten,

- die Aufheiz- und Absenkgrösse und -geschwindigkeit, etwa rasches Aufheizen einer ausgekühlten Kirche oder geringes Anheben der Innen temperatur,
- die Anzahl und Dauer der Heizereignisse, etwa tägliche, wöchentliche oder sporadische Beheizung während Stunden, Tagen oder Wochen,
- die Durchschnittstemperatur,
- das Vorhandensein von Luftströmungen wie etwa Kaltluftabfälle usw.

Die Heizung ist nur ein - wenn auch wesentlicher - Faktor im Klimageschehen einer Kirche. Unabhängig vom Heizen wird das Innenklima bestimmt durch

- das regionale und lokale Aussenklima (Durchschnittstemperatur und Luftfeuchte, Sonnenscheindauer, Niederschlagsmengen, Winde usw.),
- die Situation und Orientierung des Bauwerkes bzw. Raumes in seiner Umgebung,
- Grösse, Form und Konstruktion des Bauwerkes,
- die Materialien der Raumhülle und im Innern, besonders deren thermisches und hygrisches Verhalten, ob etwa sorptionsfähiges Holz oder Feuchtesperren, Wärmedämmungen, Fenster isolierungen usw. vorhanden sind,
- die Art und Intensität der Raumnutzung, etwa Anzahl und Aufenthaltsdauer von Besuchern, Lüftungswohnheiten, Russ- und Staubentwicklung usw.



4

Kathedrale Chur. Blick ins Altarhaus mit Hochaltar. Die Pfeile markieren den austretenden Warmluftstrahl (Bild: E. Baumann)

#### Fallbeispiel Kathedrale Chur

##### Die Schäden

Die Kathedrale Chur, eine der bedeutendsten romanischen Kirchen der Schweiz (12.-13. Jahrhundert), enthält im

Innern eine reiche Bauplastik und Grabplatten aus Scalärastein, ein Sakramentshäuschen aus Sandstein, Wandmalereien, den berühmten spätgotischen Hochaltar (Bild 4) und weitere Altäre mit gefasstem Holz, Tafelbilder, Stukkaturen, farbige Glasfenster u.a.m.

Durch Klimamessungen und Beobachtungen hat das Institut für Denkmalpflege der ETH Zürich seit 1989 folgende Hauptschädigungen nachgewiesen:

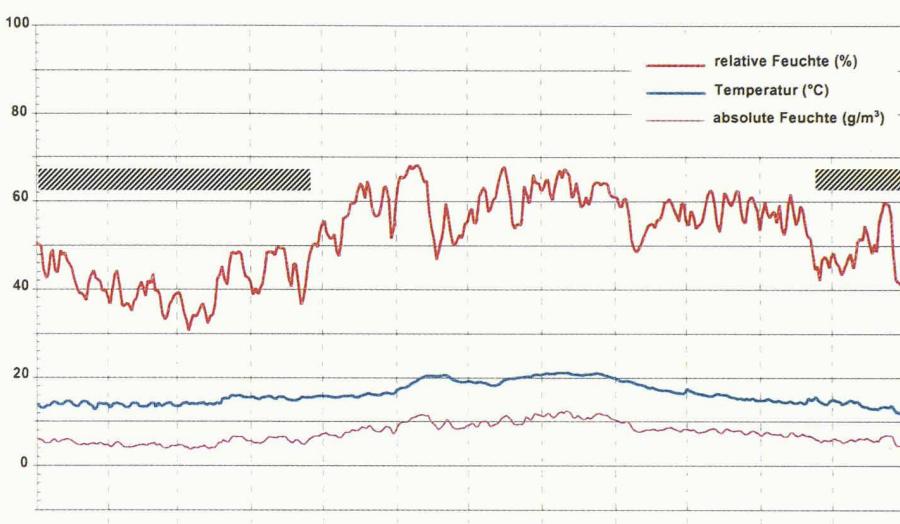
Abschuppen und Absanden des Scalärausteins und Sandsteins infolge kristallisierender Salze. Die Salze wurden durch aufsteigende Grundfeuchte im Mauerwerk angereichert. Bei Trockenperioden im Innern mit relativer Feuchte unter rund 60% kristallisierten hauptsächlich Natrium- und Kaliumnitrat. Neben heizungsbedingt starken Salzausblühungen im Winter kommen schwächere auch bei aussenklimatischen Trockenperioden vor. Da das Mauerwerk relativ träge auf Luftfeuchteschwankungen reagiert, wirken sich bei der Salzkristallisation klimatische Änderungen gedämpft, d.h. als Mittelwert von mehreren Tagen und länger aus.

Am Hochaltar und weiteren Altarretabeln aus Holz sind nach Beobachtungen des Restaurators Oskar Emmenegger, Zizers, während Jahren immer wieder neue Risse und Absplitterungen von Fassungen entstanden. Auch hier wirken sich die infolge des Heizens massiv verstärkten Luftfeuchteschwankungen aus. Weil Holz und Farbschichten rasch auf Änderungen reagieren, sind zusätzlich zu den lang- und mittelfristigen auch die kurzfristigen Schwankungen von wenigen Stunden kritisch.

### Heizung und Heizbetrieb

Die im Jahre 1938 (Renovation 1979) erstellte Warmluftheizung arbeitet im Umluftprinzip. Zusätzlich werden im Schiff die vordersten und hintersten Bankreihen mit elektrischen Heizröhren beheizt. Die Warmluft strömt neben dem Hochaltar durch ein Bodengitter von  $1.6 \text{ m}^2$  aus, gelangt über das Presbyterium ins Mittelschiff und in die Seitenschiffe und wird als Abluft durch die Krypta dem Heizregister wieder zugeführt. Während des Aufheizens wird die Luft künstlich befeuchtet, wobei unklar ist, um wieviel (während der Messungen funktionierte die künstliche Befeuchtung nicht immer).

Beim Unterschreiten einer Aussen temperatur von  $3^\circ$  bis  $5^\circ\text{C}$  beginnt der Domsakristan zu heizen. Er schaltet die Heizung täglich ein und aus, wobei ein automatischer Heizbetrieb möglich wäre (Raumföhler befinden sich im Chor). Die Heizperiode dauert etwa von Anfang



5 Kathedrale Chur. Entwicklung des Innenklimas 1996 (Tagesmittelwerte beim Hochaltar auf +3 m). Die Periode mit starken Salzausblühungen ist als Balken eingezeichnet

November bis Mitte April. Bei einer Warmlufttemperatur von  $48^\circ\text{C}$  wurde bis Ende 1996 während Gottesdiensten eine Innentemperatur von  $14^\circ$  bis  $18^\circ\text{C}$  (je nach Aussentemperatur und Standort in der Kathedrale) erreicht. Das mittlere Raumklima stellt sich während der Heizperiode auf rund  $13^\circ\text{C}$  und 30% bis 50% relativer Feuchte ein.

### Das Raumklima

Folgende Klimaereignisse lassen sich unterscheiden:

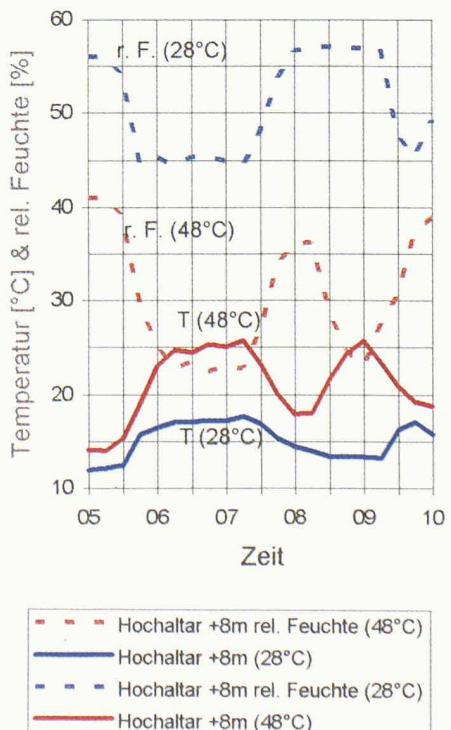
Saisonale Schwankungen. Das Wochennittel bewegt sich zwischen einem winterlichen Minimum von  $12^\circ$  bis  $13^\circ\text{C}$  bzw. 35% bis 40% relativer Feuchte und einem sommerlichen Maximum von  $14^\circ$  bis  $18^\circ\text{C}$  bzw. 60% bis 65% (Bild 5). Die jahreszeitliche Luftfeuchteschwankung im Innern macht damit rund 20% aus. Sie ist eine Folge der Beheizung.

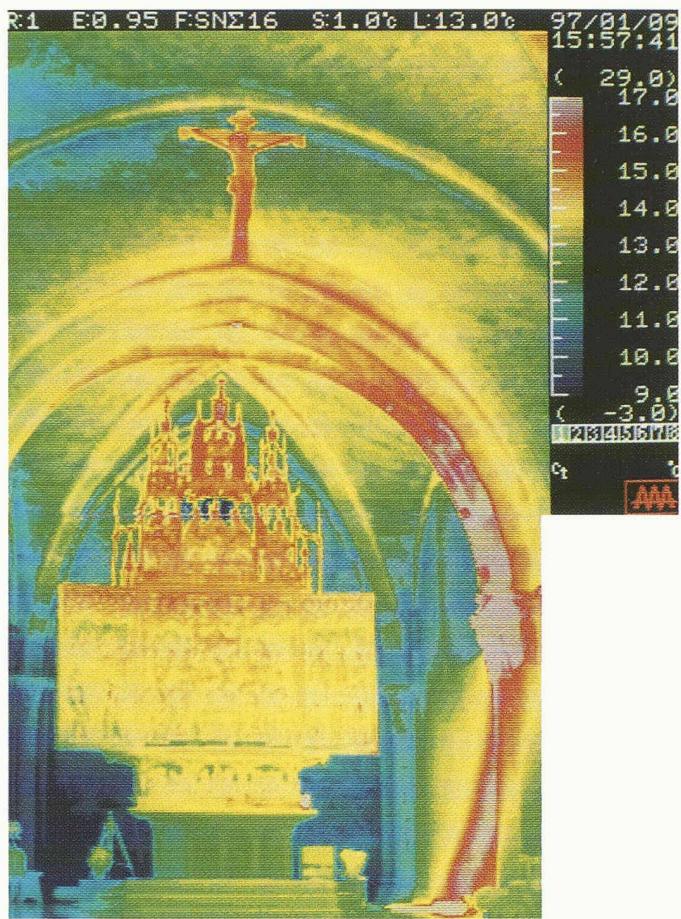
Wetterwechsel des Aussenklimas. Sie verursachen im Innern unregelmässige Änderungen um  $1^\circ$  bis  $3^\circ\text{C}$  bzw. 5% und 15% relativer Feuchte im Verlauf von Tagen bis Wochen. Pro Jahr gibt es ca. 60 bis 80 solcher Ereignisse mit Luftfeuchteänderungen von 10% und mehr.

Tagesschwankungen. Sie betragen außerhalb der Heizperiode maximal  $1^\circ\text{C}$  bzw. wenige Prozent relativer Feuchte. Diese Kurzzeitschwankungen sind wegen der starken Dämpfung durch die Baumsasse sehr gering. Das tägliche Aufheizen bewirkt im Aufenthaltsbereich Tagesschwankungen von  $2^\circ$  bis  $6^\circ\text{C}$  und 2% bis 6% relativer Feuchte. Die Abnahme der relativen

Feuchte während des Temperaturanstiegs wird durch den Feuchtaustausch mit der Baumsasse und durch die zeitweise künstliche Luftbefeuhtung gedämpft. Die festgestellten Luftströmungen (Bild 8) erklären, wie die Warmluft im ganzen Hauptschiff bis hinten zur Empore verteilt wird und wieso das Aufheizen nur kurze Zeit beansprucht. Insgesamt gibt es etwa 160 solche Heizereignisse im Jahr.

6 Kathedrale Chur. Vergleich des Innenklimas beim Aufheizen mit  $48^\circ\text{C}$  bzw.  $28^\circ\text{C}$  beim Hochaltar





7  
Kathedrale Chur.  
Thermogramm der Altarzone bei schwachem Aufheizen (Ausblastemperatur 28°C) am 9.1.97. Die Farbskala von blau bis rot entspricht dem Temperaturbereich 10° bis 16°C. Deutlich erkennbar ist die stärkere Erwärmung des oberen Teils des Hochaltares (rot) und die vom austretenden Warmluftstrahl erwärmten Partien (hellrot) der Wand und des Altarhausbogens

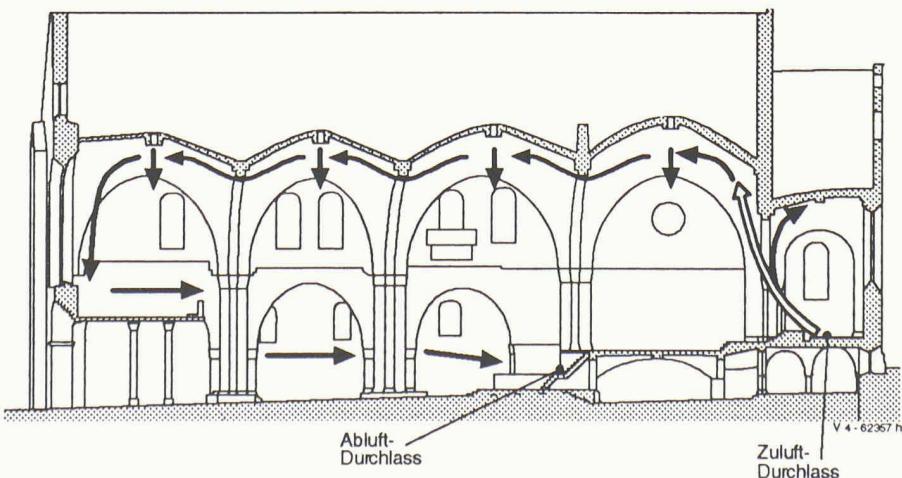
#### Vorgenommene Änderungen und Auswirkungen auf das Raumklima

Seit Sommer 1996 wurde das Messprogramm des ID/ETHZ erweitert, um eine Feinanalyse der Beheizung und Vorschläge zu deren Verbesserung zu machen. Bei gemeinsam durchgeföhrten Messaktionen im Januar 1997 und 1998 wurden während des Aufheizens an mehreren

Raumpunkten die Temperaturen gemessen, Thermogramme kritischer Oberflächen aufgenommen und durch Nebelvisualisierungen ein globales Luftströmungsmuster erstellt. Die wichtigsten Ergebnisse sind:

Beim bisherigen Heizbetrieb mit einer Ausblastemperatur von 48°C erwärmt sich die

8  
Kathedrale Chur. Luftströmungsmuster während der Heizphasen. Der weiße Pfeil markiert den aus dem Altarhaus aufsteigenden Warmluftstrahl. Schwarze Pfeile bezeichnen die Ablenkung eines Strahlanteils zurück ins Altarhaus, die Strömungen längs den Gewölbe-Scheitellinien zur Empore hin, Seitenströmungen ausgehend von den Gewölbescheitelpunkten zu den kalten Seitenwänden, den Kaltluftabfall an der Westwand auf die Empore und die langsamen Rückströmungen zum Abluftdurchlass in der Krypta



Luft im Altarhausgewölbe und in der oberen Zone des Hochaltares auf 25°C (maximal 27°C). Die Differenz zwischen oberer und unterer Zone macht dabei 7° bis 8°C aus. Zugleich fällt die relative Feuchte im Altarhausgewölbe um mehr als 15%. Die Erwärmung im oberen Teil des Altarhauses ist fast doppelt so gross wie in der unteren Zone bzw. im Schiff und wird mitverursacht durch einen Rückstau der ausströmenden Warmluft am Altarhausbogen (Bilder 4, 6 und 7).

Beim reduzierten Heizbetrieb mit einer Ausblastemperatur von 28°C werden die Temperaturausschläge bei analogen räumlichen Verteilungen auf rund die Hälfte herabgesetzt. Die obere Altarzone erwärmt sich um rund 4°C stärker als unten, d.h. auf etwa 17°C. Gleichzeitig sinkt die relative Feuchte in der oberen Altarzone noch um rund 10%. Bei dieser reduzierten Ausblastemperatur und sonst gleichen Bedingungen würde die Durchschnittstemperatur im Winter um 1° bis 2°C, d.h. auf etwa 10°C sinken. Ein ähnlicher thermischer Komfort kann mit einer Verlängerung der Aufheizphase erreicht werden.

Durch das Versetzen des Warmluftaustritts um 4m in Richtung Presbyterium konnte bei reduziertem Heizbetrieb (Warmlufttemperatur 28°C) eine weitere Verbesserung erzielt werden. Die obere Hochaltarzone wird nur noch um 1° bis 2°C stärker erwärmt als unten, wobei die relative Feuchte um etwa 5% abfällt. Beim neuen Standort der Warmluftöffnung wird der Rückstau am Altarhausbogen vermieden, so dass sich im Altarhaus die gleiche vertikale Temperaturverteilung wie im übrigen Raum einstellt.

Welches sind nun die Konsequenzen für Schädigungen an den Materialien?

Mit dem reduzierten Heizbetrieb und der versetzten Ausblasöffnung lassen sich die kurzfristigen Temperatur- und Luftfeuchteteschwankungen im Raum unten um die Hälfte, in der oberen Altarzone um etwa zwei Drittel gegenüber dem bisherigen Heizbetrieb reduzieren. Es ist anzunehmen, dass die durch Dehnungsbewegungen erzeugten Belastungen auf gefasstes Holz - und damit auch dessen Schädigung - in ähnlichem Mass reduziert werden. Dies muss allerdings noch durch Beobachtungen am Objekt bestätigt werden.

Die gegenüber bisher um 1° bis 2°C abgesenkten Durchschnittstemperatur hat eine Erhöhung der mittleren Raumluftfeuchte während der Heizperiode um rund 5% zur Folge. Die dadurch gemilderte jahreszeit-

liche Luftfeuchteschwankung dürfte die Schadenentwicklung am gefassten Holz und an Steinen zumindest tendenziell reduzieren.

Unbeeinflusst bleiben die wetterbedingten Luftfeuchteschwankungen und folglich auch deren Auswirkungen.

Alle Eingriffe und vermuteten Verbesserungen müssen in jedem Einzelfall - besonders bei derart empfindlichen und wertvollen Objekten - auf die tatsächlichen Auswirkungen im Klimageschehen und der Schadensentwicklung überwacht werden.

### Vergleich der häufigsten Heizsysteme in Kirchen

Bei der *Bankheizung* sind die Lufttemperaturen im beheizten Zustand räumlich sehr gleichmäßig (Bild 9 rechte Hälfte), da die Wärme hauptsächlich konvektiv abgegeben und über den beheizten Bänken der Kirche eine weiträumige Auftriebszone warmer Luft erzeugt wird. Die aufsteigende Luft löst eine Zirkulation im ganzen Hauptraum aus. Da mit modernen Steuerungen die Wärmeabgabe ohne Verzögerung reduziert werden kann, lässt sich während der Belegung der Kirche ein guter Komfort ohne übermäßige Kaltluftströmungen erreichen. Vorteilhaft für den Energieverbrauch ist, dass die grosse spezifische Heizleistung es ermöglicht, erst wenige Stunden vor einer Belegung die Heizung einzuschalten und dadurch kurze Heizphasen zu erhalten. Da im Chorbereich wegen fehlender Bänke oft eine ungenügende Heizleistung installiert ist, bildet sich hier eine verstärkte, für den Komfort nachteilige Längszirkulation aus.

Die *Fussbodenheizung* erzeugt ebenfalls räumlich ziemlich ausgeglichene Temperaturen (Bild 10 rechte Hälfte). Wegen der tiefen spezifischen Heizleistung und der Massenträgheit des Fußbodens muss jedoch meistens durchgeheizt werden, so dass keine wesentliche Absenkung zwischen den Nutzungszeiten möglich ist. Daraus resultieren entsprechend hohe Durchschnittstemperaturen und niedrige durchschnittliche Luftfeuchten.

Die positiven Erfahrungen mit Fußbodenheizungen in Wohnzimmern können nicht einfach auf hohe, schlecht isolierte Räume wie Kirchen übertragen werden. Man ist überrascht, dass es trotz eingeschalteter Heizung unangenehm zieht. Vor allem bei hoher Belegungsdichte können Kaltluftströme auftreten, da durch die Wärmeabgabe der anwesenden Personen Auftriebsströmungen grosser Menge ent-

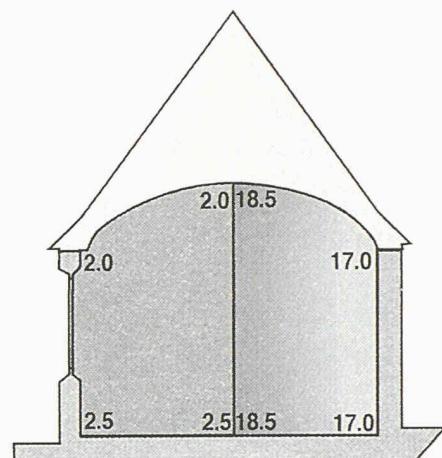
stehen. Sie erzeugen damit eine verstärkte Luftzirkulation und stärkere Kaltluftabfälle. Eine Verbesserung wird durch eine umfassende Wärmedämmung und allenfalls mit Fensterheizungen erzielt.

Im Gegensatz zu den beiden andern Systemen ist bei der *Warmlufttheizung* die Temperatur im beheizten Zustand unter der Decke deutlich höher als unten (Bild 11 rechte Hälfte). Der grösste Teil der Energie wird zuerst nach oben transportiert und von dort aus im ganzen Kirchenvolumen verteilt. Es bildet sich eine stabile Temperaturschichtung mit Warmluftblase unter der Decke aus. Kaltluftabfälle an Fenstern und Außenwänden sind schwächer und weniger häufig, weil die Temperaturdifferenz zwischen aufsteigender Warmluft aus dem Personenbereich und Warmluftblase unter der Decke kleiner ist. Wie Bild 8 zeigt, wird die Wärme durch die entstehende Luftzirkulation sehr rasch im grössten Teil des Raums verteilt. Ein Nachteil ist, dass Zonen, die von der Zirkulationsströmung schlecht erreicht werden, schwächer beheizt sind.

Wie sich die verschiedenen Wärmeabgabesysteme auf Schädigungen auswirken, hängt wesentlich von den Bedingungen des Bauwerkes, vom Heizbetrieb und von der Empfindlichkeit der Materialien ab. Schematisch und als Tendenz ist mit folgenden Auswirkungen zu rechnen:

Hohe Durchschnittstemperatur und tiefe relative Feuchte, wie sie bei *Dauerheizbetrieb* entstehen, verstärkt die Salzkristallisation in Mauern stark und verursacht bedeutende saisonale Dehnschwindbewegungen im Holz.

Kurzfristige Luftfeuchteschwankungen des *intermittierenden Heizbetriebes* verursa-

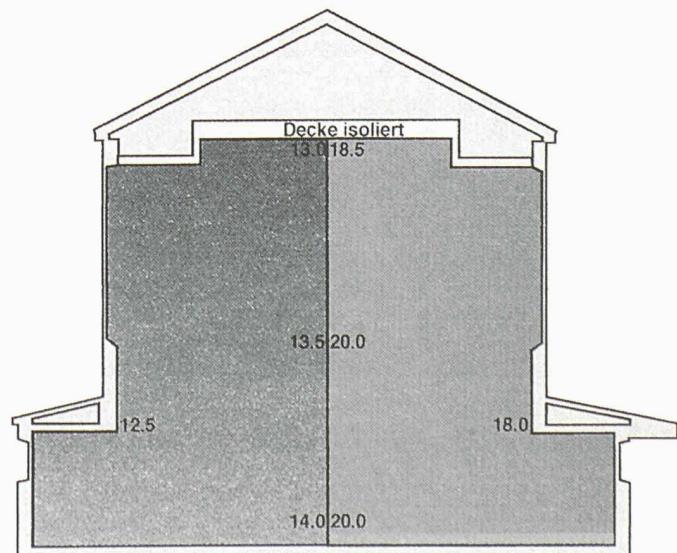


9

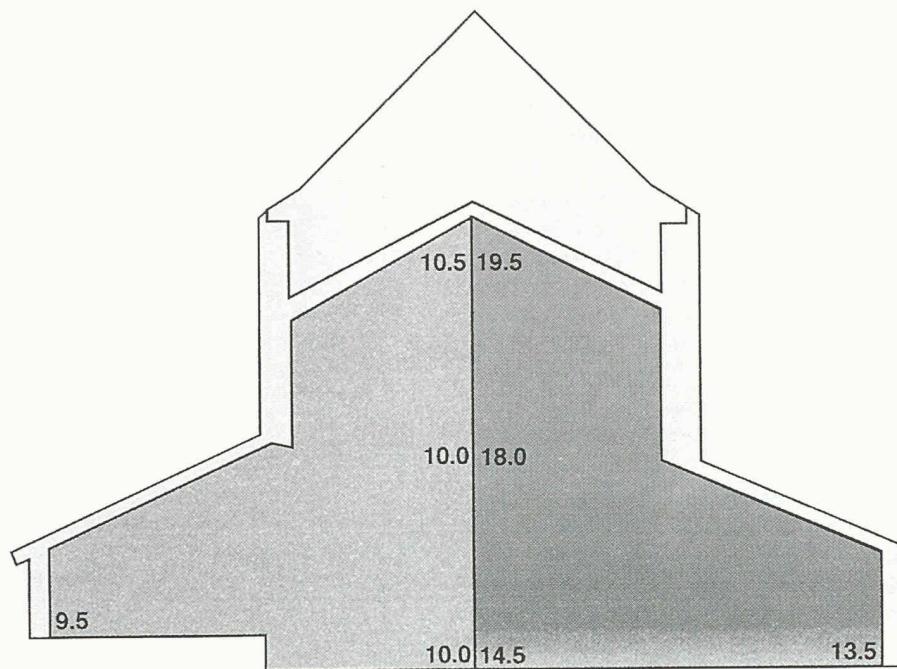
Reformierte Kirche Ebnat mit Bankheizung und alter Steuerung, intermittierender Heizbetrieb. Temperaturen gemessen bei  $-3^{\circ}\text{C}$  Außentemperatur, links unbeheizt, rechts beheizt, sechs Stunden nach Heizbeginn: Schnelle Erhöhung der Raumlufttemperatur um 15K innerhalb sechs Stunden, starke Kaltluftströmungen, gleiche Temperatur auf Bankhöhe wie unter der Decke

chen Dehnschwindbewegungen in den Malschichten und im Holz. Ihre Stärke hängt ab von Stärke und Dauer der Heizereignisse. Zudem haben Temperaturänderungen einen Einfluss auf die Stimmlage der Orgel.

Temperaturunterschiede zwischen Luft und Mauer- bzw. Fensteroberflächen verursachen Kaltluftströmungen, Kondensationen und Verschwätzungen an feucht-kalten Wandoberflächen. Gerade in dieser Hinsicht besitzt die Warmlufttheizung den Vorteil, dass die Luft gefiltert werden kann.



10  
Katholische Kirche Uzwil mit Fussbodenheizung, permanenter Heizbetrieb. Temperaturen gemessen bei  $-1^{\circ}\text{C}$  Außentemperatur, links temperiert, rechts drei Stunden nach Heizbeginn: Erhöhung der Raumlufttemperatur um 2K auf Bankhöhe (Messfühler unter Bank), Kaltluftströmungen während voller Belegung



**11**  
Kathedrale Chur mit Warmluftheizung, intermittierender Heizbetrieb. Temperaturen gemessen bei 0°C Aussentemperatur und einer Einblastemperatur der Heizung von 48°C, links unbeheizt, rechts zwei Stunden nach Heizbeginn: Tägliche schnelle Erhöhung der Raumlufttemperatur je nach Standort um 1 bis 5 K, schwache Kaltluftströmungen, tiefere und unterschiedliche Temperaturen auf Bankhöhe als unter der Decke

## Schlussfolgerungen

Die Untersuchungen der Kathedrale Chur und vielen weiteren Kirchen machen deutlich, dass weniger das Heizsystem als vielmehr der Heizbetrieb die Entwicklung von Schäden bestimmt. Generell gilt: je stärker die Beheizung, desto mehr Schäden.

Dass Nichtbeheizen grundsätzlich materialverträglicher ist, beweisen viele jahrhundertealte Kirchen mit ihren intakt gebliebenen Ausstattungen. Bekannt ist das Beispiel der bis vor kurzem nicht beheizten, 300jährigen Kirche Bel Taimpel in Celerina GR, die im Zusammenhang mit dem Einbau einer Heizung im Jahre 1995 erstmals (!) umfassend renoviert wurde. Die Heizung dient dem heutigen Komfort und nicht der Materialerhaltung. Dennoch gibt es auch hier Ausnahmen, nämlich dort, wo gezieltes Heizen (Temperieren) zur Schadensverminderung eingesetzt wird. In den meisten Fällen stellt ein materialverträgliches Heizen aber hohe Anforderungen an den Heizbetrieb.

Das Beispiel der Kathedrale Chur zeigt, dass eine betriebliche Massnahme das gesamte Raumklima im Sinne einer geringeren Belastung wesentlich verbessern kann. Mit kleinen baulichen Anpassungen könnte sogar der Warmluftaustritt neben dem Hochaltar grundsätzlich belassen werden. Aufgrund der vorliegenden Ergebnisse wird unabhängig von der bevor-

stehenden Restaurierung empfohlen, am Prinzip der Warmluftheizung festzuhalten. Nicht zuletzt kann damit ein schwerwiegender Eingriff in die Bausubstanz vermieden und können erheblich Kosten gespart werden.

Die moderne Warmluftheizung ist nicht mehr vergleichbar mit der veralteten, lärmigen Warmluftheizung von früher. Ausgestattet und betrieben mit einer intelligenten Steuerung ist auch sie geeignet, während meist kurzen Zeiten des Bedarfs den erwünschten Komfort und während der übrigen Zeiten den schonendsten Betrieb zu ermöglichen.

## Empfehlungen

Bei Kirchenrenovationen wurde schon öfters ohne genügende Abklärungen die Schuld für vorhandene Schäden und mangelnden Komfort auf die bestehende Bank- oder Warmluftheizung abgeschoben und eine Fußbodenheizung eingebaut. Im nachhinein war man erstaunt, dass Kaltluftumwälzungen und die begrenzte Wärmeleistung zu einem dauernden Temperieren zwangen; und dass die Schädigung weiter anhielt oder sogar verstärkt wurde, weil man die wirklichen Ursachen weder erkannt noch behoben hat. Auch die erhoffte Energieeinsparung trat nicht im erwarteten Ausmass ein.

Überall, wo die Zusammenhänge nicht klar sind, braucht es Abklärungen. Sie nehmen Bezug auf die konkreten Probleme am Objekt und bilden die Grundlage für realistische Wege zum Erreichen des erwünschten oder möglichen Komforts und der Schadensfreiheit an Bausubstanz und Inneneinrichtung. Ein grösserer Abklärungsaufwand am Anfang erweist sich auch hier immer wieder als lohnend. In allen Fällen besteht das Ziel in einer Nutzung, die mit der Substanz lebt und sich auf Dauer mit ihr verträgt.

## Adressen der Verfasser:

*Ernst Baumann*, Bauphysik, dipl. Bauing, HTL und Energieberater, Bahnhofstr. 23, 9602 Bazenheid; *Konrad Zehnder*, Dr. sc. nat. Geologe, Institut für Denkmalpflege ETH Zürich, Hardturmstr. 181, 8005 Zürich; *Thomas Rüegg*, Dr. rer. nat. Physiker, Abt. Haustechnik Empa, 8600 Dübendorf

## Literatur

- [1] *Baumann, E.*: Kirchenrenovationen. Unterhalt der Kirchen: «Altlast» von morgen? In: Schweizer Ingenieur und Architekt, 37/1995, S. 4ff.
- [2] *Arnold, A.*: Naturwissenschaft und Denkmalpflege. In: Bündner Monatsblatt, 4/1990, S. 251ff.
- [3] *Arnold, A., Zehnder, K., Küng, A., Emmenegger, O.*: Wandmalereizerfall, Salze und Raumklima in der Klosterkirche von Müstair. In: Zeitschrift für Kunsttechnologie und Konservierung, Jg. 5/1991, Heft 2, 171ff.
- [4] *Zehnder, K., Küng, A., Arnold, A.*: Das Raumklima. In: Die romanische Bilderdecke der Kirche St. Martin in Zillis, Bern 1997, S. 169ff.
- [5] *Hungerbühler, E.*: Dimensionierung, Sanierung und Betrieb von Elektroheizungen in Kirchen. EDMZ-Bericht Nr. 724.397.23.60 D, Bundesamt für Konjunkturfragen, Bern 1994.
- [6] *Tanner, C., Stangier, R., Rüegg, T.*: Untersuchungen der evangelischen Kirche Ebnat: Luftdichtheit, Luftwechsel und Strömungsmuster. EMPA-Berichte Nr. 144'994/1, 144'995 und 144'994/2, 1993.