

Prima-Klima II

Erfassung und Bewertung des Innenraumklimas von Kirchen

Ein Projekt der
Erzdiözese Freiburg

in Zusammenarbeit mit
dem Ingenieurbüro
econzept Energieplanung GmbH aus Freiburg
und der
Gi-Electronic GmbH aus Zabernfeld,

gefördert durch den
Innovationsfonds Klima- und Wasserschutz
der badenova AG & Co. KG

Impressum

Titel: Projektbericht zu Prima-Klima-II
Erfassung und Bewertung des Innenraumklimas von Kirchen

Herausgeber: Erzbischöfliches Ordinariat Freiburg, Schoferstraße 2, 79098 Freiburg

Verantwortlich: Abteilung VI Liegenschaften, Bau und Diözesane Stiftungen,
Fachstelle Energie und Umwelt

Berichtsdatum: Textliche Abnahme durch die Steuerungsgruppe am 19. Januar 2012

Inhaltsverzeichnis

1.	Einführung	5
1.1.	Ausgangslage	5
1.2.	Projektziele von Prima-Klima II	5
1.3.	Projektträger: Erzdiözese Freiburg	6
1.4.	Beteiligte Fachfirmen: econzept und GI-electronic	6
1.5.	Steuerungsgruppe	7
1.6.	Förderer: Innovationsfonds Klima- und Wasserschutz der badenova	7
2.	Projektablauf	9
2.1.	Auftaktveranstaltung	9
2.2.	Kirchenauswahl	10
2.3.	Facharbeiten im Rahmen von Prima-Klima II	10
2.3.1.	Masterarbeit – Bauphysikalische Besonderheiten in Kirchen	10
2.3.2.	Technikerarbeit – Marktübersicht Kirchenheizungsregler	11
2.4.	Expertenrunde	11
2.5.	Lüften und Heizen in Kirchen – Die neue Strategie der Erzdiözese Freiburg	12
3.	Die Jahresmessung	13
3.1.	Ablauf und Leistungen	13
3.2.	Messverfahren und -technik	13
3.2.1.	Messgeräte-Set	13
3.2.2.	Anzahl und Positionierung der Messfühler	14
3.2.3.	Bewertung des Messgeräte-Sets und Ausblick	14
3.3.	Datenübertragung zum Datenlogger innerhalb der Kirchen	15
3.4.	Visualisierung der Daten im Internet	15
3.5.	Archivierung in einer SQL Datenbank	16
3.6.	Auswertungsprogramm und Auswertealgorithmen	16
4.	Von der Messung zum Klima-Bericht für die jeweilige Kirche	17
4.1.	Auswertung der Messdaten	17
4.1.1.	Temperaturspreizung	18
4.1.2.	Temperaturniveau	19
4.1.3.	Temperaturänderung	20
4.1.4.	Niveau der relativen Feuchte	21
4.1.5.	Wertänderung der relativen Feuchte	22
4.1.6.	Wassergehalt der Luft	23
4.1.7.	Gefahr von Tauwasserausfall	24
4.2.	Ergänzende Daten und Fakten	25
4.3.	Klima-Kennwerte und Klima-Profil für Kirchen	25
4.3.1.	Die kirchenspezifischen Klima-Kennwerte im Überblick	25

4.3.2. Das Klima-Profil für Kirchen	27
4.4. Charakterisierung und Handlungsbedarf	29
4.5. Empfehlungen	30
4.6. Der Klima-Bericht	31
4.7. Bewertung der ganzjährigen Klimamessung	31
5. Ergebnisse aus den Auswertungen aller 25 Kirchen	33
5.1. Typische Messergebnisse und Empfehlungen im Überblick	33
5.1.1. Abweichung von den empfohlenen Grundtemperaturen	33
5.1.2. Überdurchschnittliche Temperaturspreizungen	33
5.1.3. Hohe Werte bei der relativen Feuchte	33
5.1.4. Veränderungen des Innenraumklimas	34
5.1.5. Gefahr von Tauwasserausfall	34
5.1.6. Die typischen Empfehlungen im Überblick	35
5.2. Energieeinsparpotenzial	35
5.3. Die Klima-Profile aller 25 Kirchen	35
5.4. Gemeinsamkeiten und Unterschiede nach Merkmalen	38
6. Projektziele, Erkenntnisse	40
6.1. Charakterisierung von Kirchen	40
6.2. Kirchenspezifische Empfehlung zum Heizen und Lüften	40
6.3. Heizungs- und Lüftungsstrategien	40
6.3.1. Heizung:	40
6.3.2. Lüftung	40
6.3.3. Regelung	40
6.3.4. Heizungsstrategien	41
6.4. Gewonnene Erkenntnisse verbreiten	41
6.5. Standardisierte ganzjährige Klimamessungen	41
6.6. Basis für vergleichende Auswertung von Klimamessungen	41
6.7. Die Grundthese von Prima Klima I	41
7. Thesen und Empfehlungen	43
7.1. Die XI Thesen zu Lüften und Heizen in Kirchen	43
7.2. Die Empfehlungen	45
7.2.1. Neue Temperierungsregeln festlegen und propagieren	45
7.2.2. Wissenstransfer und Schulungen	45
7.2.3. Produkt „Ganzjährige Klimamessungen“ einsetzen	45
7.2.4. Klimamessung weiter optimieren	46
7.2.5. Produkt über die Diözesangrenzen hinaus verbreiten	46
7.2.6. Richtlinien erarbeiten	46
7.2.7. Weitere Recherche und „Forschung“	47
Anlagen	47

1. Einführung

1.1. Ausgangslage

Als wichtigstes Gebäude der Kirchengemeinde verdient die Kirche eine besondere Aufmerksamkeit.

Die liturgische Nutzung als auch der Erhalt der Kirchengebäude sind ein großes Anliegen und eine große Herausforderung zugleich. In den vergangenen Jahren haben zudem Themen wie Klimaschutz und Energiekostensenkung eine immer größere Bedeutung bekommen. Dabei sind bei Kirchengebäuden gängige Strategien wie sie im Wohngebäudebereich angewendet werden häufig nicht sinnvoll und anwendbar.

Grund genug für die Erzdiözese Freiburg, sich intensiv mit der Thematik Bauphysik, Kirchenheizung und Lüftung auseinander zu setzen.

An einem von der katholischen Regionalstelle durchgeführten Projekt „Prima-Klima in der katholischen Region Breisgau-Schwarzwald-Baar“ in den Jahren 2006 und 2007 haben sich über 30 Mesnerinnen und Mesner mit ihren Kirchen beteiligt. Über einen Zeitraum von einem Jahr wurden mit einer handelsüblichen „Wetterstation“ einmal am Tag Temperatur- und Feuchtwerte abgelesen und handschriftlich notiert. Mit diesem Projekt konnten die Beteiligten für die Zusammenhänge von Temperatur und relativer Luftfeuchtigkeit sensibilisiert und Hilfestellung für ein sinnvolles Lüften und Heizen gegeben werden.

Dennoch wurde im Projekt „Prima Klima I“ deutlich, dass

- vor Ort in den Kirchengemeinden unzureichende Kenntnisse über bauphysikalische Zusammenhänge vorhanden sind und die Akteure nur unzureichend in der Lage sind, adäquat auf Problemanzeigen zu reagieren.
- insbesondere in Problemkirchen detailliertere Untersuchungen bei Gebäude, Heizung, Lüftung und Nutzerverhalten notwendig sind, um die Zusammenhänge innerhalb der Kirchen besser zu verstehen und zwischen nutzungs- und bautechnischen Ursachen zu unterscheiden.
- Kriterien zur Charakterisierung der Kirchen unter heizungs-, lüftungs- und bautechnischen Gesichtspunkten als auch unter Beachtung von Ausstattung und Orgel dazu beitragen könnten, die Kirchen einzustufen und die Ergebnisse bei Sanierungsmaßnahmen zu berücksichtigen.
- durch variable Grund- und Nutztemperaturen zusätzliche Energieeinsparpotenziale erschlossen werden können.
- der Einsatz von örtlich begrenzten Zusatzheizungen dazu beitragen könnte, niedrige Raumtemperaturen zu etablieren.

Zusätzlich wurde bei Prima-Klima-I nach der Auswertung der Messergebnisse und der Austauschveranstaltungen mit den Beteiligten die These formuliert, dass

25% der Kirchen zu feucht sind,
50% der Kirchen kein Feuchteproblem haben und
25% der Kirchen zu trocken sind.

Die Ursachen für ein zu feuchtes bzw. zu trockenes Innenraumklima in Kirchen, so eine ergänzende These, sind zu 50 Prozent nutzerbedingt und zu 50% gebäudebedingt.

1.2. Projektziele von Prima-Klima II

Ausgehend von den Fragen und der erstellten These des Prima-Klima-Projekts in der Region Breisgau-Schwarzwald-Baar sowie der Relevanz der Thematik für die Erzdiözese und die Kirchengemeinden, wurde entschieden, sich noch intensiver mit bauphysikalischen Themen bei Kirchengebäuden zu beschäftigen.

Das Folgeprojekt sollte daher räumlich auf die gesamte Diözese ausgeweitet, die Erfassung der Messdaten erleichtert werden, die Messungen in einem engeren Zeittakt

und mit einer größeren Messgenauigkeit erfolgen. Zudem sollte ein standardisiertes Verfahren zur Erfassung- und Bewertung des Innenraumklimas von Kirchen entwickelt werden.

Unter dem Titel „Prima-Klima II“ wurde das Projekt mit folgenden Zielen gestartet,

- Kriterien zur heizungs- und lüftungstechnischen Charakterisierung von Kirchen unter energie- und bautechnischen Gesichtspunkten zu entwickeln,
- kirchenspezifische Heizungs-, Lüftungs- und Steuerungskonzepte zu erarbeiten,
- konkrete Lösungsansätze für Problemkirchen aufzuzeigen,
- gewonnene Erkenntnisse einem breiten Fachpublikum zu vermitteln.

Diese Ziele sollten erreicht werden durch

- eine detaillierte Untersuchung von 25 Kirchen zur Klärung von Ursachen und Hintergründen von zu feuchten oder zu trockenen Kirchen als auch des Klimaverhaltens im Allgemeinen,
- die Entwicklung eines Profi-Datenlogger-Geräte-Sets sowie eines standardisierten Mess- und Auswerteverfahrens zur Erfassung und Bewertung des Innenraumklimas,
- die Ausarbeitung von energie- und bauphysikalisch relevanten Bewertungskriterien, die sich für eine effektive Charakterisierung von Kirchengebäuden eignen,
- die Entwicklung eines Bewertungsverfahrens, das eine Unterscheidung zwischen falschem Heiz- bzw. Lüftungsverhalten und bautechnischen Gegebenheiten ermöglicht,
- Fachtagungen zu Beginn und zum Abschluss des Projekts.

1.3. Projektträger: Erzdiözese Freiburg

Träger des Projekts war die Erzdiözese Freiburg. Mit rund zwei Millionen Katholiken gehört das Erzbistum zu den großen der 27 Diözesen in Deutschland. Sie umfasst die historischen Landesteile Baden und Hohenzollern und reicht von Basel bis nach Wertheim am Main und von Breisach bis zum Bodensee.

Zur Erzdiözese gehören über 1.170 Kirchengemeinden, die jeweils von örtlichen, überwiegend ehrenamtlichen Gremien geleitet werden. In den Gemeinden der Erzdiözese gibt es 1.403 Kirchen und 651 Kapellen. Diese 2.054 Sakralgebäude bilden knapp 40 Prozent des gesamten kirchengemeindlichen Gebäudebestandes von über 5.200 Gebäuden.

Die Projektleitung lag bei der Abteilung VI Immobilien, Bau und Diözesane Stiftungen im Erzbischöflichen Ordinariat in Freiburg und wurde von Benedikt Schalk, Leiter der Fachstelle Energie und Umwelt wahrgenommen.

1.4. Beteiligte Fachfirmen: econzept und GI-electronic

Mit der fachlichen Umsetzung des Projekts wurde die Firma econzept Energieplanung GmbH aus Freiburg beauftragt. Die Projektleitung wurde von Martin Schellbach übernommen.

Die econzept Energieplanung GmbH ist ein Ingenieurbüro, das sich insbesondere auf die rationelle Energieverwendung spezialisiert hat. econzept beschäftigt 10 Ingenieure aus den unterschiedlichsten Fachbereichen. Die fachübergreifende Zusammenarbeit der Mitarbeiter ermöglicht die Ausarbeitung von Gesamtenergiekonzepten von der Bauphysik bis zu den energietechnischen Anlagen (Heizung, Lüftung, Klima usw.). Auf die Umsetzbarkeit der Konzepte wird besonderer Wert gelegt, weshalb auch die Ausführungsplanung und Bauüberwachung zum Leistungsangebot gehören.

Darüber hinaus ist econzept schon seit über 10 Jahren im Bereich „Energiesparen durch Nutzerverhalten“ tätig. Schon beim Projekt „Prima-Klima in der Katholischen Region Breisgau – Schwarzwald – Baar“ war econzept maßgeblich beteiligt. Das Projekt „Prima-Klima in der Katholischen Region“ wurde mit dem Umweltpreis 2006 der Erzdiözese Freiburg ausgezeichnet.

Das Messgeräte-Set zur Erfassung des Innenraumklimas wurde von der Firma GI-electronics aus Zabernfeld entwickelt.

Die Gi-Electronic GmbH, mit dem wirtschaftlich verbundenen Ingenieurbüro Heino Haas mit 10 Mitarbeitern, ist seit ca. 12 Jahren auf dem Gebiet Messwerteerfassung und -aufbereitung, Steuerung/Regelung und Funk- Datenübertragung tätig. Verschiedene Projekte wurden für und mit Kunden realisiert. Schwerpunkte bilden dabei die Signalaufbereitung in Versuchsfahrzeugen namhafter Automobilhersteller, die weltweit im Einsatz ist, und der Datenfunk per GSM von Test- und Versuchsfahrzeugen für die LKW-Mauterhebung. Als neuer Bereich werden in Zusammenarbeit mit Gemeinden Energie-Management-Lösungen für nicht dauerhaft genutzte Räume in Gebäuden erarbeitet mit dem Ziel der besseren Wirtschaftlichkeit bei mehr Komfort. Pilotprojekte laufen derzeit.

1.5. Steuerungsgruppe

Um eine kontinuierliche fachliche Leitung, Betreuung und Koordination des Projekts sicherzustellen, wurde eine Steuerungsgruppe aus Vertretern der Erzdiözese (Erzbischöfliches Ordinariat und Bauämter) sowie der beteiligten Fachfirmen gebildet.

Der Steuerungsgruppe gehörten folgende Personen an:

- Elke Liesemann, Projektkoordinatorin, econzept Energieplanung GmbH
- Paul Künzig, Erzbischöfliches Bauamt Heidelberg
- Klaus Saier, Erzbischöfliches Ordinariat, Baureferat
- Benedikt Schalk, Projektleitung, Erzbischöfliches Ordinariat, Fachstelle Energie und Umwelt
- Martin Schellbach, fachliche Projektumsetzung, econzept Energieplanung GmbH
- Bettina Sutter-Peters, Erzbischöfliches Bauamt Konstanz
- Eberhard Wittekind, Erzbischöfliches Bauamt Freiburg
- Dr. Werner Wolf-Holzäpfel, Erzbischöfliches Bauamt Heidelberg

Die Steuerungsgruppe hat insgesamt achtzehn Mal getagt und unter Anderem die Auftakt- und Abschlussveranstaltung sowie den Expertenworkshop vorbereitet. Darüber hinaus oblag ihr die Auswahl der zu untersuchenden Kirchen. Großen Raum nahm die Diskussion des Projektfortschritts und der Messergebnisse ein sowie die Konzeption und Gestaltung des Muster-Klima-Berichts zur Ergebnisdarstellung der jeweiligen Kirche.

1.6. Förderer: Innovationsfonds Klima- und Wasserschutz der badenova

Das Projekt wurde maßgeblich unterstützt durch den Innovationsfonds Klima- und Wasserschutz der badenova. Die finanzielle Förderung betrug 50 Prozent der Gesamtkosten. Im Innovationsfonds stellt der Energiedienstleister badenova jedes Jahr 1,8 Millionen Euro aus dem Unternehmensgewinn für neuartige und beispielgebende

Projekte des Klima- und Wasserschutzes in der Region bereit. Auf diese Weise hat der Innovationsfonds der badenova in den vergangenen Jahren insgesamt über 18 Millionen Euro an Fördermitteln für inzwischen 176 Umweltprojekte in der gesamten Region zur Verfügung gestellt. Durch die Fördermittel wurden über 80 Millionen Investitionen im Umwelt- und Klimabereich ausgelöst. Mit dem Innovationsfonds setzt badenova Impulse für den Klimaschutz wie kein anderes Energie-Unternehmen im gesamten Land. Kommunen, Verbände, Organisationen, Vereine, Unternehmen und Privatpersonen können sich um Unterstützung für Projekte bewerben.

2. Projektablauf

Ein Förderantrag für das Projekt wurde im Oktober 2007 beim Innovationsfonds Klima- und Wasserschutz der badenova AG & Co. KG eingereicht. Die Förderzusage in Höhe von insgesamt 248.407 Euro für drei Jahre ging am 15. April 2008 im Erzbischöflichen Ordinariat ein.

Das Projekt startete im Juni 2008 mit dem Vertragsabschluss mit der Firma econzept und der Gründung einer Projektsteuerungsgruppe. Erste Projektschritte waren die Entscheidung über die Entwicklung des Profi-Messgeräte-Sets und die Vorbereitung einer „Auftaktveranstaltung“.

Die größeren Projektschritte und -bausteine werden im Folgenden einzeln beleuchtet.

2.1. Auftaktveranstaltung

Um innerhalb der Erzdiözese auf das Projekt Prima-Klima II aufmerksam zu machen, fand am 2. April 2009 eine Auftaktveranstaltung statt.

Die Themen und die Referenten der Auftaktveranstaltung waren

- | | |
|---|--|
| • Begrüßung | Dr. Fridolin Keck, Generalvikar,
Erzdiözese Freiburg und
Dr. Thorsten Radensleben, Vorstandsvorsitzender,
badenova AG |
| • Prima Klima II
Projektvorstellung | Dipl. Ing. M.BP. Martin Schellbach,
econzept Energieplanung GmbH |
| • Thermische
Behaglichkeit | Prof. Dr.-Ing. Dipl. Phys. Klaus Sedlbauer,
Fraunhofer Institut für Bauphysik |
| • Bauphysikalische
Besonderheiten | Prof. Dr.-Ing. Harald Garrecht,
Technische Universität Darmstadt |
| • Beachtenswertes bei
historischen
Kirchenausstattungen | Dipl. Restaurator Andreas Menrad,
Landesamt für Denkmalpflege |
| • Kirchenheizungssysteme | Dipl.-Ing. Rainer Heimsch,
Ingenieurbüro Rainer Heimsch, Rastede |
| • Denkanstöße – Nutzung,
Ökologie – Architektur | Dr. Werner Wolf Holzäpfel,
Erzbischöfliches Bauamt Heidelberg |
| • Zusammenfassung
und Ausblick | Benedikt Schalk,
Fachstelle Energie und Umwelt, Erzdiözese Freiburg |

Eingeladen waren

- Mitarbeiter der erzbischöflichen Bauämter Freiburg, Heidelberg und Konstanz
- Mitarbeiter des Baureferates im Erzbischöflichen Ordinariat Freiburg
- Mitarbeiter der Verrechnungsstellen der Erzdiözese
- Vertreter der staatlichen Denkmalpflege
- Vertreter der Evangelischen Landeskirche in Baden
- Akkreditierte Energie-Gutachter der Erzdiözese Freiburg und der Evangelischen Landeskirche in Baden

An der Auftaktveranstaltung in der katholischen Akademie in Freiburg nahmen über 120 Personen teil. Die Themenbeiträge und Anregungen der Teilnehmer wurden in einer Broschüre zusammengefasst und veröffentlicht.

Abbildung:

Die Teilnehmer am Abschlusspodium der Auftaktveranstaltung am 2. April:

2.2. Kirchengewahl

Im Laufe des Projekts sollten insgesamt 25 Kirchen untersucht werden. Um einen reibungslosen Ablauf zu gewährleisten und um aus Fehlern und Mängeln zu lernen und die Erfahrungen einfließen lassen zu können, wurde die Teilnahme in drei Projektphasen aufgeteilt:

- Phase 2008/2009: 7 Kirchen
- Phase 2009/2010: 11 Kirchen
- Phase 2010/2011: 7 Kirchen

Zu jeder der drei Phasen konnten sich Kirchengemeinden um eine Teilnahme bewerben. Zusätzlich konnte jedes Bauamt Kirchen zur Untersuchung vorschlagen. Die Auswahl der Kirchen wurde von der Steuerungsgruppe getroffen.

Um ggf. verschiedene Themenstellungen betrachten zu können, wurden bei der Auswahl folgende Kriterien berücksichtigt:

- Klärung von aktuellen Schadensursachen
- Klärung von individuellen Fragen zum Innenraumklima
- Begleitung von Sanierungsmaßnahmen (Messungen vor und/oder nach der Sanierung bzw. Änderung von Heizungssystemen)
- Räumlich und klimatisch gute Verteilung in der Erzdiözese

Aufgrund dieser breiten Auswahl wurden Kirchen vieler verschiedener Baustile, aus allen Regionen und Klimazonen der Erzdiözese untersucht. Die Auswahl der Kirchen erfolgte ohne statistische Vorgaben.

Referenzkirchen für bestimmte Baustile und Regionen ohne bauphysikalische Auffälligkeiten konnten aufgrund des begrenzten Projektumfangs nicht berücksichtigt werden.

2.3. Facharbeiten im Rahmen von Prima-Klima II

Ergänzend zu den Klimamessungen in den 25 Kirchen wurden im Rahmen des Projektes zwei Facharbeiten vergeben.

2.3.1. Masterarbeit – Bauphysikalische Besonderheiten in Kirchen

Die Arbeit wurde von Martin Schellbach als Abschlussarbeit des Studiengangs Bauphysik an der Universität Stuttgart am Lehrstuhl für Bauphysik erstellt.

Die Arbeit gibt einen Überblick über das für Kirchengebäude relevante Wissen hinsichtlich Außenklima, Gebäudetypen, Baumaterialien, hygrothermisches Verhalten, bauphysikalische Anforderungen an kunsthistorische Einrichtungen und Orgeln, Luftwechsel, Gebäudenutzung, Nutzerverhalten, Wärmebrücken, Schimmelwachstum, Heizungs- und Lüftungssysteme sowie Steuerungsstrategien.

Kirkenspezifische Besonderheiten und bauphysikalische Zusammenhänge werden aufgezeigt und Kriterien erarbeitet, die in Abhängigkeit verschiedener Rahmenbedingungen eine Bewertung und Gewichtung der Einflussfaktoren auf das bauphysikalische Verhalten ermöglichen.

2.3.2. Technikerarbeit – Marktübersicht Kirchenheizungsregler

Die Arbeit wurde von Johannes Traub als Abschlussarbeit an der Technikerschule Freiburg erstellt.

Die Arbeit gibt einen Überblick über Regler für Kirchenheizungen, deren Regelfunktionen und Parametrierung (Einstellungen). Anhand einer Beispielkirche wurde aufgezeigt, wie groß das Energieeinsparpotenzial durch eine schrittweise Optimierung der Regelparameter ist.

Die wesentlichen Erkenntnisse waren:

- Die richtige Parametrierung der Kirchensteuerung bietet große Optimierungspotentiale, da Kirchensteuerungen häufig falsch eingestellt sind oder nicht die richtigen Einstellmöglichkeiten bieten.
- Einsparungen ergeben sich durch die Optimierung von Grundtemperatur, Nutztemperatur, Aufheizrampe und von der Außentemperatur abhängige Innenraumtemperaturen.
- Über eine Optimierung der Regelung und der Anpassung der Temperaturen sind Energieeinsparungen von bis zu 40% möglich.
- Kirchenheizungsregler können dazu beitragen, einen sinnvollen Kompromiss zwischen den Interessen Werterhaltung, Komfort und Wirtschaftlichkeit zu erreichen.
- Bei Neubauvorhaben oder im Sanierungsfall sollte generell geklärt werden, welche Regelfunktionen für das konkrete Objekt benötigt werden und wie der Regler zu parametrieren ist
- Es sollte untersucht werden, welche Konsequenzen es hätte, wenn als Regelgröße für die Kirchenheizung nicht die Raumlufthtemperatur, sondern die Oberflächentemperatur verwendet wird und Energiesparpotentiale damit verbunden sind.
- Die Ausarbeitung eines Kriterienkataloges für die Parametrierung von Reglern für Kirchenheizungen unter Berücksichtigung der raumklimatischen Verhältnisse, des künstlerischen oder historischen Wertes, der Sensibilität der Ausstattung und der Belegungszeiten der Kirche wäre für die Bauämter ggf. eine wertvolle Planungshilfe.

Die Facharbeit beinhaltet auch

- eine Checkliste zur Auswahl und Dokumentation sinnvoller Regelfunktionen und
- eine Produktübersicht gängiger Kirchensteuerungen.

2.4. Expertenrunde

Nachdem das Verfahren zur Klimamessung in Kirchen weitestgehend abgeschlossen war, hat sich die Steuerungsgruppe dazu entschlossen, die Ergebnisse und den Muster-Klima-Bericht ausgewiesenen Experten vorzustellen und mit ihnen zu diskutieren.

Die ganztägige Expertenrunde fand am 6. Juli 2011 in Freiburg statt.

Teilgenommen haben ergänzend zu den Mitgliedern der Steuerungsgruppe

- Dr. Claus Arendt, München,
Gründer und Leiter des Instituts für Gebäudeanalyse und Sanierungsplanung
- Thomas Gillich, Karlsruhe,
Architekt der Evangelischen Landeskirche Baden
- Dr. Wulf Grimm, Osnabrück,
Leiter der Abteilung 2 Umwelttechnik, Deutsche Bundesstiftung Umwelt
- Dr. Helmut Künzel, Valley,

langjähriger Leiter der Freilandversuchsstelle Holzkirchen des Fraunhoferinstitutes für Bauphysik

- Jürgen Reinecke, Aachen, Entwicklungsleiter der Firma MAHR und Söhne
- Erwin Selig, Veringenstadt, Gründer und Inhaber der Firma infera Elektroheiztechnik GmbH

Vorgestellt und diskutiert wurden insbesondere

- Projektablauf und Projektinhalte
- Muster-Klima-Bericht am Beispiel der Kirche St. Josef in Baden-Baden
- Charakterisierung der Kirchen
- ausgewählte im Rahmen von Prima Klima II entwickelte Thesen zu Beheizung und Lüftung von Kirchen

Im Laufe der fruchtbaren Diskussion wurde deutlich, dass die Experten das Messverfahren und die computergestützte Auswertung als ein sinnvolles Instrument für die Untersuchung und Bewertung des Innenraumklimas einstufen.

Anmerkungen und Hinweise wurden unmittelbar aufgegriffen und soweit möglich im Muster-Klima-Bericht berücksichtigt.

Aus der Diskussion der Thesen konnten wertvollen Anregungen für die weitere Arbeit bzw. für weitere Untersuchungen gewonnen werden:

- Für die weitere Arbeit sollten Referenzkirchen für die Zustände „zu feucht“ und „zu trocken“ definiert werden. Anhand der Abweichung von diesen Referenzkirchen könnte die Bewertung und Einstufung leichter vorgenommen werden.
- Die Experten vertraten unterschiedliche Meinungen bezüglich der Relevanz des Wassereintrags durch Gottesdienstbesucher.
- Den Kirchengemeinden sollten die Empfehlungen zu Energieeinsparung und zum Klimaschutz wesentlich drastischer dargestellt werden.

Aus finanziellen und Klimaschutztechnischen Gründen, so die einmütige Einschätzung, müssen Kirchengemeinden ihre bisherigen Strategien für Lüftung und Heizung ihrer Kirche überdenken. Nur so könnten sie sich auch in Zukunft in deren Nutzung noch leisten.

2.5. Lüften und Heizen in Kirchen – Die neue Strategie der Erzdiözese Freiburg

Im Licht der Ergebnisse und Projektempfehlungen wird die Erzdiözese ihre Strategie in Bereich Heizen und Lüften in Kirchen anpassen und eine Systematik für die Gebäude-Energie-Beratung im Sakralgebäude zu entwickeln. Dazu bedarf es auch einer breit angelegten innerkirchlichen Diskussion, da beim Thema Heizung und Lüften in der Kirche pastorale, künstlerische und ökonomische Belange sowie der Umwelt- und Denkmalschutz aufeinandertreffen. Die Kunst wird sein hier gedeihliche Kompromisse zu finden.

In der Umsetzung dieser neuen Strategie und Systematik ist zunächst eine Fachtagung für kirchliche Mitarbeiter in Bauämtern und Verrechnungsstellen geplant in der auch die Ergebnisse von Prima-Klima-II vorgestellt und erläutert werden.

3. Die Jahresmessung

Herzstück des Projektes war und ist die ganzjährige Messung der klimarelevanten Daten in den beteiligten Kirchen, also eine Messung über alle Jahreszeiten hinweg. Klimarelevant sind die Temperaturen der Luft und der Wandoberflächen und die relative Feuchtigkeit der Luft, sowohl innerhalb als auch außerhalb des Gebäudes.

Aufgrund der Erfahrungen beim Projekt Prima-Klima I, wurde die Anzahl der Messpunkte innerhalb der Kirche erhöht und das Messintervall deutlich verkürzt. Gleichzeitig wurde eine laufende Kontrolle der gemessenen Werte möglich gemacht, um eventuellen Fehlentwicklungen gegensteuern oder gar Gefahren für Ausstattung und Gebäude zu verhindern.

3.1. Ablauf und Leistungen

Zur ganzjährigen Klimamessung gehörten:

- Installation des Messgeräte-Sets (Siehe Kap. 3.2.1)
- Bereitstellung des Internetzugangs für die Beteiligten und kontinuierliche Qualitätskontrolle der laufenden Messungen (Siehe Kap. 3.4)
- Rückbau des Messgeräte-Sets
- Auswertung der Messdaten (siehe Kap. 4)
- Erstellung und Präsentation eines Klima-Berichts (siehe Kap. 4.6)

Bei allen an Prima-Klima II beteiligten Kirchen wurde auch ein Energie-Gutachten nach kirchlichem Standard erstellt und präsentiert.

Es hat sich gezeigt, dass in Zukunft ein wesentlich größeres Augenmerk auf die genaue Klärung der Fragestellung zu legen ist. Dazu braucht es vorbereitende Gespräche mit den Beteiligten vor Ort sowie mit den Mitarbeitern der Erzbischöflichen Bauämter bzw. den Erzbischöflichen Orgelinspektoren.

Für den Klima-Bericht wurde in der Steuerungsgruppe ein Muster-Klima-Bericht erarbeitet, der für alle Beteiligten (Pfarrgemeinderäte, Bauämter, Orgelinspektoren, Ordinariat, zukünftige Planer) wichtige und weiterführende Informationen enthält.

(Details zum Klima-Bericht siehe auch Kapitel 4.6. Der Klima-Bericht der Kirche St. Josef Baden-Baden ist im Anhang abgedruckt.)

3.2. Messverfahren und -technik

3.2.1. Messgeräte-Set

Das Messgeräte-Set wurde von Fachfirma GI-electronics eigens für das Prima-Klima-II-Projekt entwickelt.

Die Steuerungsgruppe hatte sich gezielt für die Neuentwicklung eines funkbasierten Messsystems und die Zusammenarbeit mit GI-electronics entschieden. Dies sollte ermöglichen, die Technik genau auf die Bedürfnisse der Klimamessung in Kirchen abzustimmen. Dabei war man sich durchaus bewusst, dass sich die eingesetzte Messtechnik im Laufe des Projekts „entwickeln“ würde.

Aufgrund der Erfahrungen wurden die Messgeräte dann auch von Messphase zu Messphase verbessert. Hierzu gehörte u.a. eine verbesserte Abschirmung des Funkmoduls, eine Möglichkeit zur Kontrolle und Anzeige von Funksignalstärke und Batteriespannung, der Einsatz technisch optimierter Sensoren, die Möglichkeit, die Messsensoren außerhalb des Gehäuses anzubringen und die Etablierung eines Kalibrierungsverfahrens.

Das Messgeräte-Set besteht aus:

- Raumsensoren zur Erfassung von Lufttemperatur und relativer Feuchte
incl. Anschlussoption für einen externen Temperaturfühler
incl. Funkmodul
- Datenlogger mit Funkadapter

Im Anhang finden Sie das detaillierte Datenblatt zum Messgeräte-Set.

3.2.2. Anzahl und Positionierung der Messfühler

Die Messfühler wurden in der Kirche so verteilt, dass die wesentlichen Bereiche der Kirche erfasst werden. Die Anzahl der Messpunkte wurde im Interesse einer besseren Übersichtlichkeit und einer Bewältigbarkeit der Datenmenge bewusst begrenzt.

Bei der Installation der Messsensoren wurde darauf geachtet, dass das optische Erscheinungsbild der Kirche möglichst wenig beeinträchtigt wird.

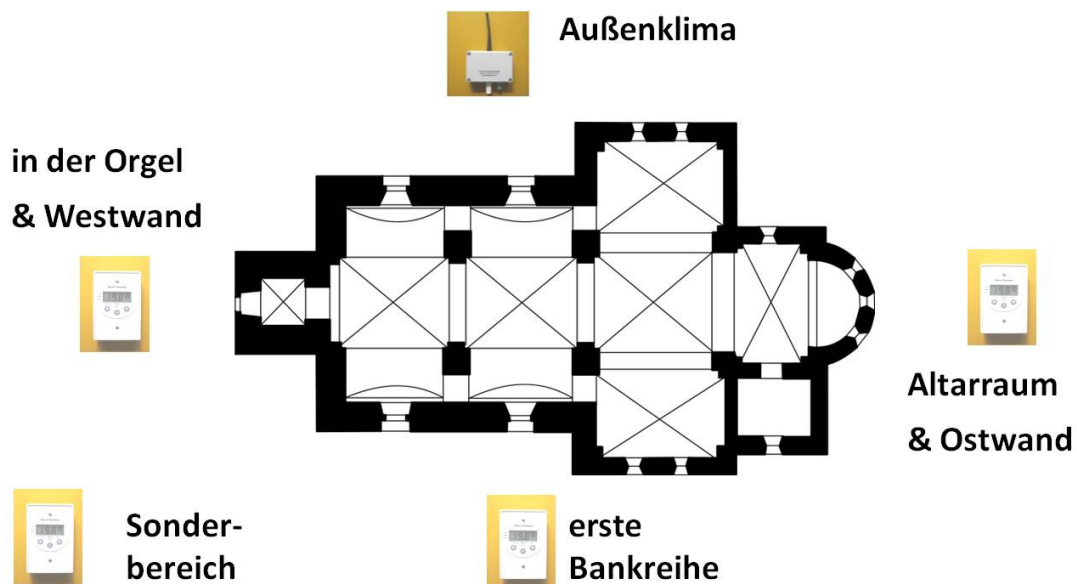
Das Installationsschema (Messorte und Messeinrichtung) sah folgendermaßen aus:

- | | |
|----------------------------|--|
| • Außenbereich (Nordseite) | Lufttemperatur und relative Feuchte |
| • Chor- bzw. Altarbereich | Luft- und Wandtemperatur sowie
relative Feuchte |
| • Erste Bankreihe | Lufttemperatur und relative Feuchte |
| • Orgelbereich | Luft- und Wandtemperatur sowie
relative Feuchte |
| Heizung* | Temperaturwerte |

* = Die Messwerte an der Heizung wurden nicht statistisch ausgewertet.

Abbildung:

Standardisierte Anordnung der Messfühler im Grundriss einer Kirche,



3.2.3. Bewertung des Messgeräte-Sets und Ausblick

Mit dem Messgeräte-Set ist es möglich, die gewünschten Klimawerte zuverlässig zu erfassen. Die Funktechnik vereinfacht den Installationsaufwand gegenüber einer Kabeltechnik erheblich. Beschädigungen und optische Beeinträchtigungen innerhalb des Kirchenraums werden vermieden. Beim Anbringen des Außenfühlers muss darauf geachtet werden, dass ganzjährig keine direkte Sonneneinstrahlung erfolgt.

Im Verlauf des Projekts wurde deutlich, dass die schnellen Veränderungen des Raumklimas bei Aufheiz- und Abkühlvorgängen nur dann präzise erfasst werden können, wenn sich die Messsensoren frei im Raum (also außerhalb eines Gehäuses) befinden.

Es hat sich auch gezeigt, dass die Sensoren vor und nach der Jahresmessung einer Kalibrierung unterzogen werden, da sich insbesondere die physikalischen Eigenschaften der Sensoren zur Erfassung der relativen Feuchte innerhalb weniger Monate erheblich verändern können.

Bei zukünftigen Messungen sollten nur Messgeräte eingesetzt werden, bei denen sich die Messsensoren außerhalb des Gehäuses, also frei im Raum, befinden. Die Sensoren sollten vor- und nachkalibriert und die erfassten Messwerte ggf. entsprechend bereinigt werden.

Zudem wird es zur Klärung von speziellen Fragestellungen nötig und sinnvoll sein, ergänzende Informationen zu erfassen und dafür die Anzahl der Raumsensoren zu erhöhen.

Fragestellungen und dazugehörige Messwerte könnten zum Beispiel sein:

- Heizverhalten Heizzeiten, Zuluft- /Rücklufttemperaturen
- Schimmelbefall Temperatur und Feuchte an gefährdeten Bereiche
- Tauwasserausfall Tauwasserfühler in Raumecken
- Lüftungsverhalten Fenster- / Türkontakte
- Zuglufterscheinungen Temperaturerfassung in verschiedenen Raumhöhen

3.3. Datenübertragung zum Datenlogger innerhalb der Kirchen

Der Datenlogger beinhaltet ein GSM-Modem, das einmal täglich eine Datenverbindung zum Datenserver aufbaut und die Messwerte überträgt. Er musste so installiert werden, dass die Funksignale dauerhaft und ohne Störungen die von den Raumsensoren gesendeten Messwerte empfangen und auf der im Datenlogger integrierten Speicherkarte aufzeichnen kann.

Bei der Installation des Datenloggers in der Sakristei traten anfangs immer wieder Übertragungsprobleme auf, da die Funksignale durch die dicken Mauern erheblich abgeschwächt werden. Als vorteilhaft hat sich die Installation des Datenloggers in der Orgel erwiesen. Zu berücksichtigen ist dabei, dass es auch durch Orgelpfeifen zu Störungen der Funksignale kommen kann. Der speziell für Prima-Klima-II entwickelte Gerätemodus zur Überprüfung der Funksignalstärke hat sich als sehr hilfreich erwiesen. Störende Interferenzen durch Gegenstände oder Störungen in Raumecken können dadurch schon beim Einbau der Messfühler festgestellt werden.

3.4. Visualisierung der Daten im Internet

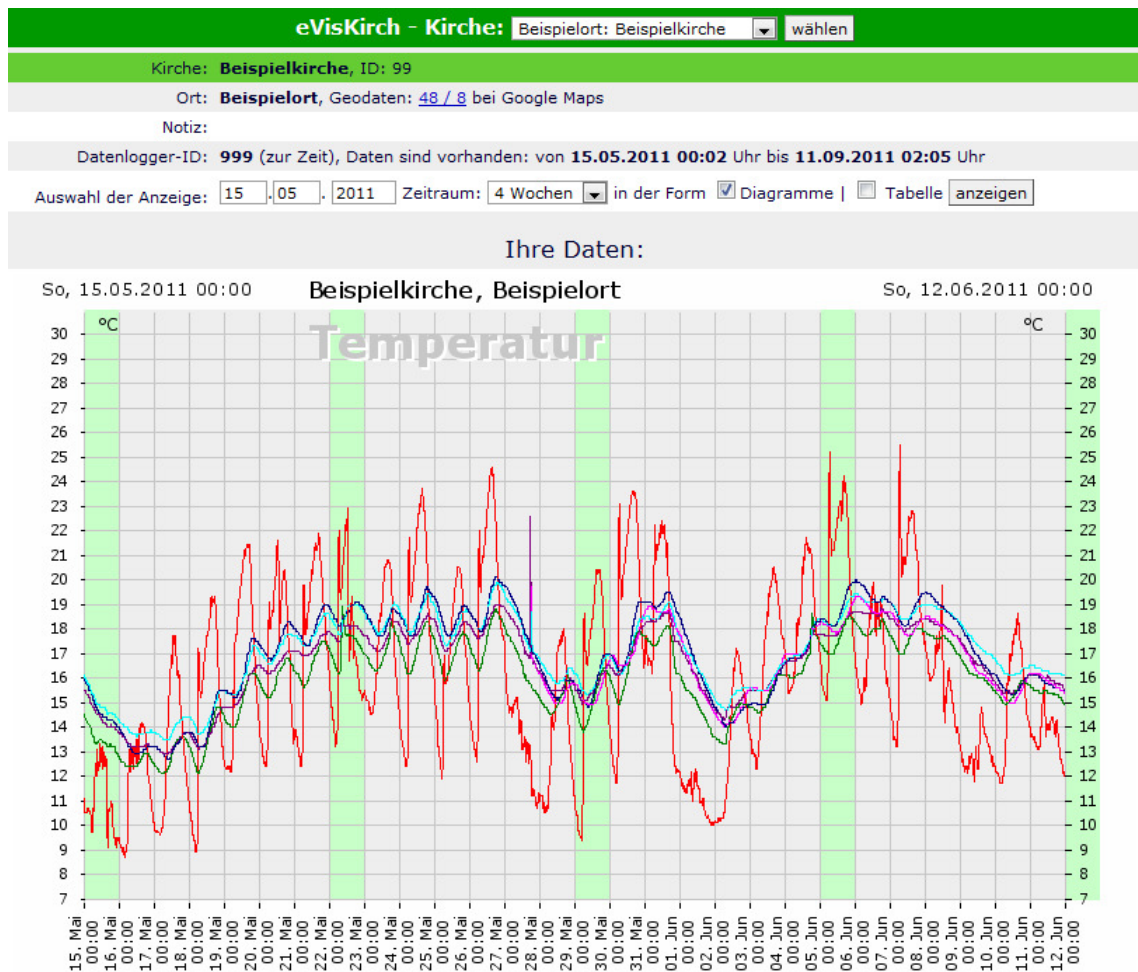
Um eine laufende Kontrolle über die erfassten Werte zu erhalten und ggf. schnell auf schädigende Klimabedingungen reagieren zu können, wurde eigens eine Visualisierung der Daten im Internet eingerichtet.

Über die Internetseite „eviskirch.de“ können sich interessierte Personen mit einem Passwort in die Internetplattform EVisKirch einloggen und die gespeicherten Messdaten als Messdatenverlauf anschauen. Eine Beispieldatei kann mit dem Benutzernamen „**Beispielkirche**“ und dem Passwort „**eviskirch-V1-zugang**“ aufgerufen werden. Messfühler, Zeitraum und Skalierung können frei gewählt werden.

Die tägliche Datenübertragung in Verbindung mit der Visualisierung im Internet ermöglicht es zudem, den Ausfall von Raumsensoren zu erkennen und Mängel schnell zu beheben.

Abbildung:

Screenshot aus der Visualisierungsplattform EVisKirch am Beispiel St. Josef Baden-Baden. Dargestellt sind die Temperaturverläufe der Messstellen im Zeitraum vom 15. Mai bis 12. Juni . September 2011



3.5. Archivierung in einer SQL Datenbank

Die übertragenen Messdaten wurden in einer konventionellen SQL Datenbank gespeichert. Die Archivierung in einer SQL-Datenbank ist angebracht, da dieses Datenbankformat eine vielseitige Konvertierungs- und Auswertungsmöglichkeit der Messdaten bietet.

3.6. Auswertungsprogramm und Auswertealgorithmen

Im Rahmen der Klimamessung wurden über ein ganzes Jahr in jeder Kirche rund 750.000 Messwerte erfasst. Um eine solche Datenfülle grafisch und statistisch auswerten zu können musste ein leistungsfähiges Datenbankprogramm zum Einsatz kommen.

ORIGIN® hat sich bei der Auswertung der Prima-Klima II Daten als ein sehr leistungsfähiges Programm erwiesen, das mit den riesigen Datenmengen hervorragend zurechtkam. Zusätzlich waren die große Anzahl von mathematischen und statistischen Funktionen und die vielseitigen grafischen Darstellungsmöglichkeiten für die Auswertungen von großer Hilfe.

4. Von der Messung zum Klima-Bericht für die jeweilige Kirche

Wesentlicher Bestandteil von Prima Klima II war, in jeder der 25 Kirchen das Innenraumklima zu erfassen und so zu analysieren, dass die jeweiligen Problem- und Handlungsfelder erkennbar werden. Zusätzlich sollten aus der Bewertung der jeweiligen Klimasituation möglichst konkrete Empfehlungen für das zukünftige Handeln in der untersuchte Kirche ausgesprochen werden.

Um den Auftraggebern und den beteiligten kirchlichen Dienststellen (Bauämter, Verrechnungsstellen, Ordinariat) die Ergebnisse und Erkenntnisse in übersichtlicher und verständlicher Form darzustellen, wurde ein standardisierter Klima-Bericht entwickelt.

In diesem Kapitel wird schrittweise dargestellt, wie aus den gemessenen Klimawerten Empfehlungen abgeleitet werden konnten.

4.1. Auswertung der Messdaten

Wesentlich für die Bewertung des Innenraumklimas sind dessen Auswirkungen auf den Nutzungskomfort und die Materialbelastung. Vom Innenraumklima lässt sich zudem ableiten, wie hoch die Gefahr von Schäden ist und welche Einsparpotentiale beim Energieverbrauch bestehen.

Um Rückschlüsse auf die Auswirkungen des Innenraumklimas ziehen zu können, wurden daher das Temperatur- und Feuchteverhalten, der Wassergehalt der Luft und die Gefahr von Tauwasserausfall untersucht.

Auf der Basis von statistischen und mathematischen Auswertungen der Messdaten wurden themenspezifische grafische Darstellungen entwickelt, die es ermöglichen, Problemstellungen schnell zu erkennen. In einigen Fällen wurden zur einfacheren Abschätzung von Problembereichen Grenzen hinterlegt, zum Beispiel für die Grund- und Nutztemperatur in der Heizperiode, die Überhitzungssituation im Sommer oder die Grenzbereiche einer verträglichen relativen Feuchte.

Für bestimmte Fragestellungen war es hilfreich, die Betrachtungszeiträume zeitlich einzugrenzen, weshalb für die Auswertungen und Darstellungen die Jahresverläufe in sechs feste „Zwei-Monats-Abschnitte“ aufgeteilt wurden.

Typische Fragestellungen und die dazugehörigen Zeiträume:

- | | |
|---|--|
| • Sommerüberhitzung | Jul/Aug |
| • Grund- und Nutztemperatur | Heizperiode (Nov/Dez und Jan/Feb) |
| • Änderung von Temperatur und relativer Feuchte | Heizperiode (Nov/Dez und Jan/Feb)
aber auch Jul/Aug |
| • Tauwasserausfall | Übergangszeiten Sep/Okt
sowie Mai/Jun |
| • Thermische Stabilität | Okt |

Um die Jahresverläufe verschiedener Kirchen auf einfache Weise miteinander vergleichen zu können, beginnen alle Jahresverläufe im Juli und enden im Juni, unabhängig davon, wann mit den Messungen tatsächlich begonnen wurde.

In den Kapiteln 4.1.1 bis 4.1.7 werden sie verschiedenen Themen in ihrer Bedeutung für das Kirchenklima beleuchtet und die typische grafische Darstellungen vorgestellt. Die Texte und Darstellungen sind komplett aus dem Musterbericht für die Kirche St. Josef Baden-Baden entnommen. Dort haben sie die Aufgabe, den Leser in das jeweilige Thema einzuführen bevor die jeweiligen Messergebnisse der untersuchten Kirche dargestellt werden. Der Musterbericht ist komplett im Anhang im Kapitel G abgedruckt.

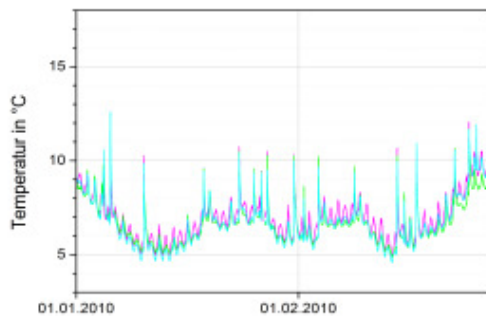
Die mathematischen Algorithmen und statistischen Auswertungen, die die Basis für diese grafischen Darstellungen bilden, finden sich ebenfalls im Anhang in Kapitel A.

4.1.1. *Temperaturspreizung*

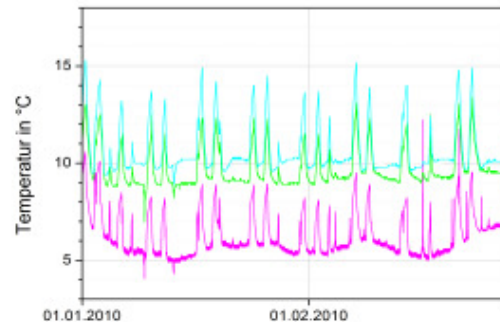
- Eine erhöhte Temperaturspreizung kann ein Indiz dafür sein, dass es innerhalb der Kirche zu thermischen Luftbewegungen und in der Folge zu Zugerscheinungen kommt.
- Innerhalb der Kirche kann es zu erheblichen Temperaturunterschieden zwischen einzelnen Teilbereichen kommen.
- Zur Bewertung der Temperaturunterschiede wird die Temperaturspreizung genutzt.
- Die "Temperaturspreizung" beschreibt die Temperaturdifferenz zwischen den einzelnen Messstellen (Raumluft-, als auch Wandtemperaturen) während der Heizperiode.
- Berücksichtigt werden dabei die Bereiche Altar-, erste Bankreihe und Orgel (*).

- beispielhafte Situationen während der Heizperiode -

- günstige Situation -



- ungünstige Situation -



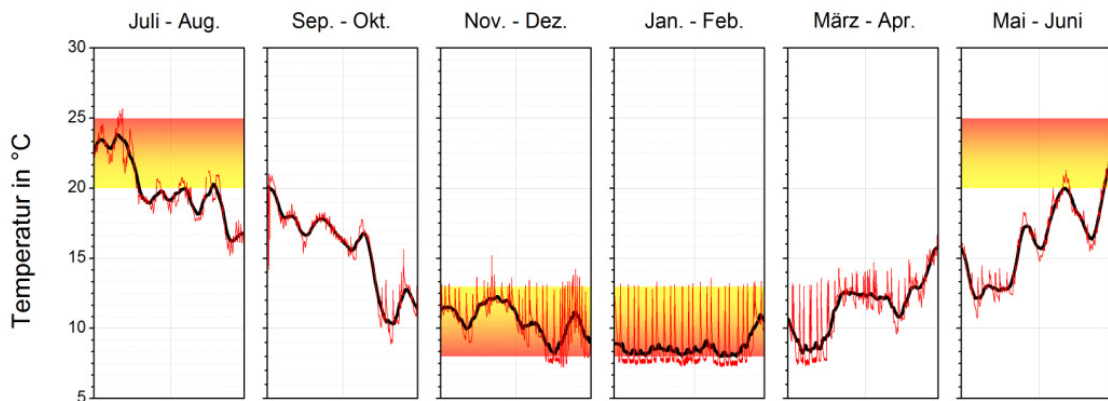
- Bei Spreizungen bis zu 2 Kelvin kann von einem ausgeglichenen Innenraumklima gesprochen werden (linke Abbildung).
- Spreizungen von mehr als 5 Kelvin sind ein Indiz dafür, dass es innerhalb der Kirche erhebliche Temperaturunterschiede gibt (rechte Abbildung).
- Innenraum- und die Wandtemperaturen können unterschiedliche Charakteristika haben und werden getrennt betrachtet.
- In den nachfolgenden Grafiken wird der Mittelwert der Messstellen dargestellt. Bei der Bewertung der Kurven muss die Spreizung berücksichtigt werden.

* siehe Legende im Anhang

4.1.2. Temperaturniveau

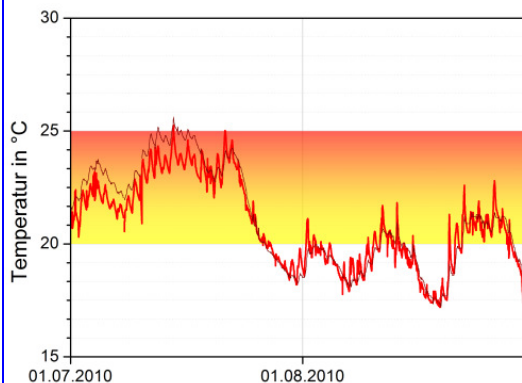
- Das Temperaturniveau der Kirche hat einen maßgeblichen Einfluss auf Nutzungskomfort, Tauwasserausfall und Energieverbrauch.
- Dabei beschreibt das "Temperaturniveau", welche Temperaturen sich im Mittel bei bestimmten Nutzungszuständen (Hochsommer, Heizperiode Grund- und Nutztemperatur während der Heizperiode) einstellen.
- Dargestellt wird nachfolgend der Mittelwert aus den gemessenen bzw. geglätteten Innenraum- und Wandtemperaturen.

- günstiger Jahresverlauf der Innenraumtemperatur -

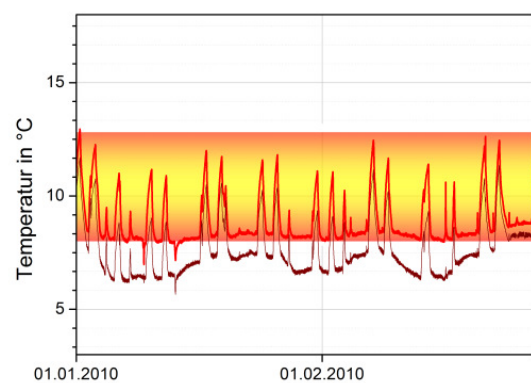


- Von einer komfortmindernden Sommerüberhitzung kann man ausgehen, wenn die geglätteten Innenraumtemperaturen über einen Zeitraum von mehreren Tagen einen Wert von 25 °C (meist im Juli und August) übersteigen.
- Im Winter können die Außenwände von selten oder nicht temperierten Kirchen sehr niedrige Temperaturwerte annehmen. Dies kann unter ungünstigen Bedingungen zu Tauwasserausfall und den damit verbundenen Problemen wie Vergrauung und Schimmelbildung führen.
- Eine hohe Grundtemperatur während der Heizperiode schützt das Gebäude vor Feuchtigkeitsschäden, verursacht aber mehr oder weniger hohe Energieverbräuche und kann zudem in der Heizperiode zu Trockenheitsschäden bei Holzmaterialien führen

- beispielhafte Situation im Sommer -



- beispielhafte Situation im Winter -

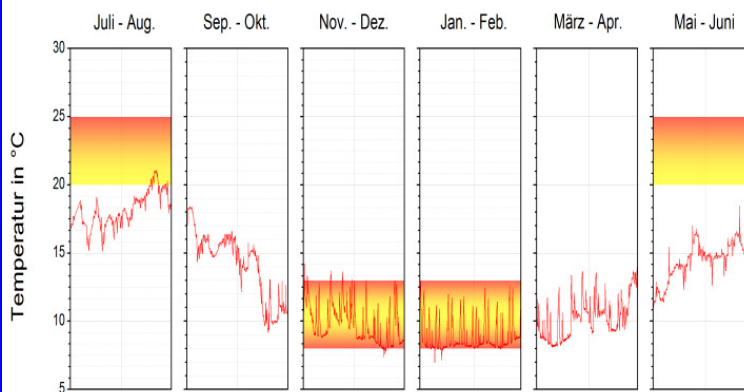


* siehe Legende im Anhang

4.1.3. Temperaturänderung

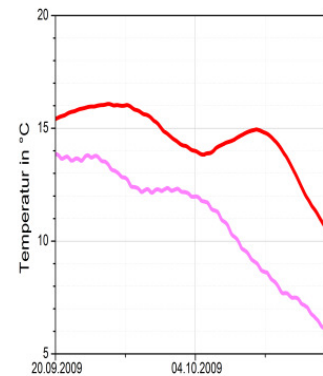
- Die Temperaturänderung in der Kirche hat einen direkten Einfluss auf die Änderung der relativen Feuchte und damit auch auf die Materialbelastung bzw. die Alterung der Ausstattung.
- Die "absolute Temperaturänderung" beschreibt die Änderung der Innenraum- und Wandtemperaturen im Tages- sowie im Jahresverlauf.
- Zur Schonung von Gebäude und Ausstattung sollte die absolute Temperaturänderung bei Aufheiz- und Auskühlvorgängen maximal 5 Kelvin betragen.
- Die gelb-roten Markierungen kennzeichnen die empfohlenen Temperaturbereiche im Sommer als auch während der Heizperiode.
- Die "Thermische Stabilität" beschreibt, wie intensiv sich Änderungen der Außentemperaturen auf die Innenraumtemperaturen auswirken.

- beispielhafte Temperaturänderungen über das Jahr -



* geglättete Mittelwerte aus den Messwerten

- Thermische Stabilität -

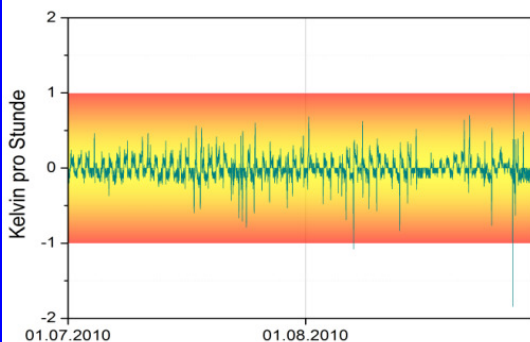


Typische Situation im Oktober

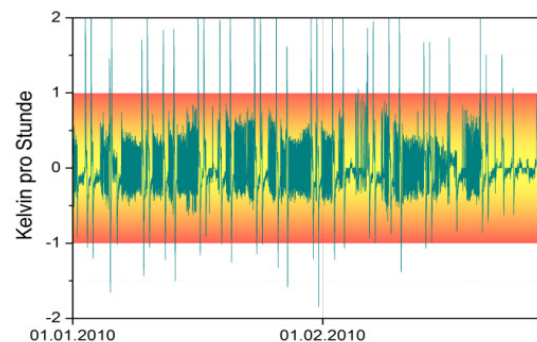
- Die "Änderungsgeschwindigkeit" beschreibt die Änderung der Innenraum- und Wandtemperatur innerhalb einer Stunde.
- Besonders materialbelastend sind schnelle Temperaturänderungen.
- Nach der Empfehlung der Erzdiözese Freiburg sollte beim Aufheiz- und Abkühlvorgang die Temperaturänderungsgeschwindigkeit maximal 1 Kelvin pro Stunde (siehe rot-gelbes Band in der nachfolgenden Grafik) betragen.

- Beispiele zur Änderungsgeschwindigkeit -

- günstige Situation -



- ungünstige Situation -

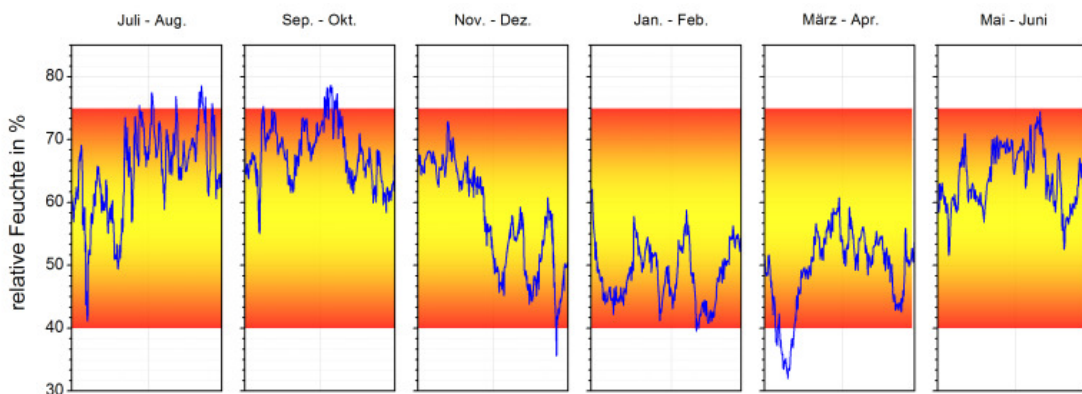


* siehe Legende im Anhang

4.1.4. Niveau der relativen Feuchte

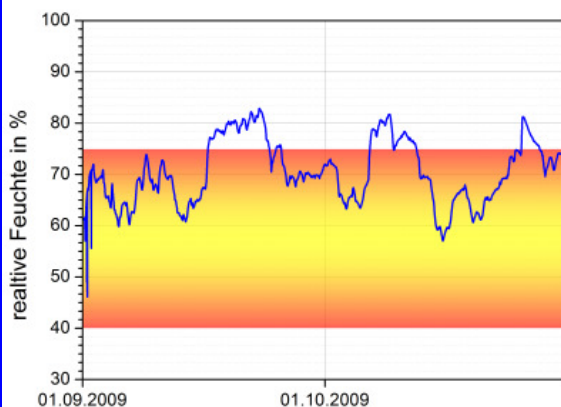
- Das Niveau der relativen Feuchte hat einen maßgeblichen Einfluss auf Feuchte- und Trockenschäden und damit auch auf die Vergrauung der Wände, Schimmelbefall und Rissbildung bei Hölzern.
- Dabei beschreibt das "Niveau der relativen Feuchte", welche Werte sich im Mittel bei bestimmten Nutzungszuständen (Hochsommer, Grund- und Nutztemperatur während der Heizperiode) einstellen.
- Die relative Feuchte erreicht bei vielen Kirchen am Ende der Heizperiode einen vergleichsweise niedrigen und nach der Sommerperiode einen hohen Wert.
- Verlaufen die Messwerte in einem Messwertbereich von 45% und 70%, ist nicht mit Feuchte- und Trockenschäden zu rechnen.
- Werte unterhalb von 40% bzw. oberhalb von 75% sollten möglichst nicht auftreten, da in diesen Fällen mit Schäden gerechnet werden muss
- Überschreitungen im Sommer und Winter sind in der Regel nicht unüblich, sollten jedoch nur gelegentlich und kurzzeitig auftreten.

- Relative Feuchte im Jahresverlauf -

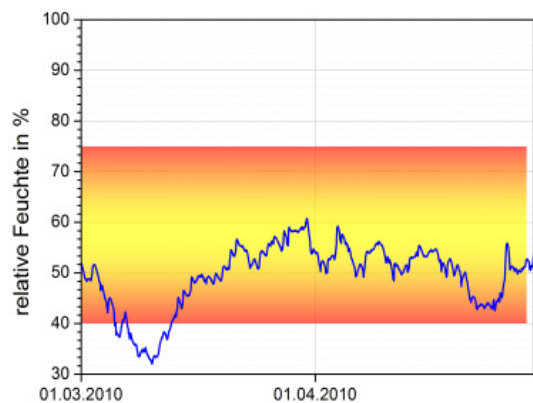


- Verlauf der relativen Feuchte im Detail -

- grenzwertige Situation im Sommer -



- grenzwertige Situation im Winter -

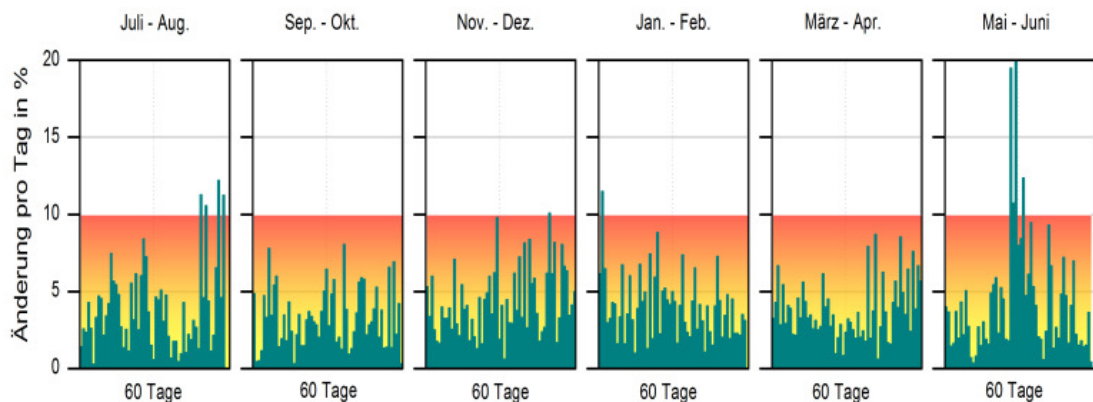


* siehe Legende im Anhang

4.1.5. Wertänderung der relativen Feuchte

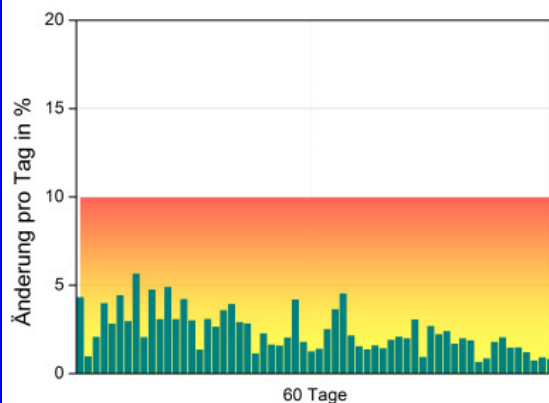
- Die Änderung der relativen Feuchte in der Kirche hat einen erheblichen Einfluss auf die Materialbelastung und damit auf Schädigung und Alterung der Materialien.
- Die "Änderung der relativen Feuchte" beschreibt die Wertänderung der relativen Feuchte innerhalb eines Zeitraums von 24 Stunden (Tageswert) bzw. eines Jahres (Jahreswert).
- Änderungen von 30% im Jahr und 10% am Tag (siehe gelb-rotes Band der nachfolgenden Grafik) sollten nicht überschritten werden.

- Werteänderung der relative Feuchte im Jahresverlauf -

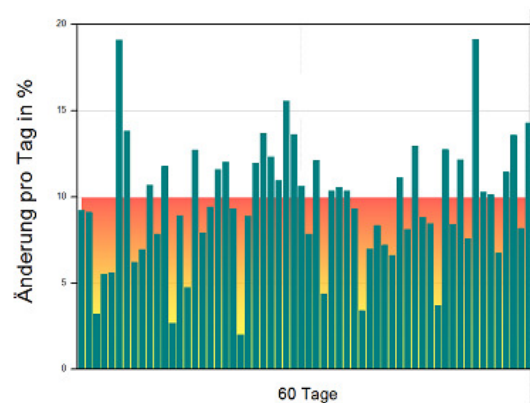


- Änderung der relativen Feuchte -

- günstige Situation -



- ungünstige Situation -



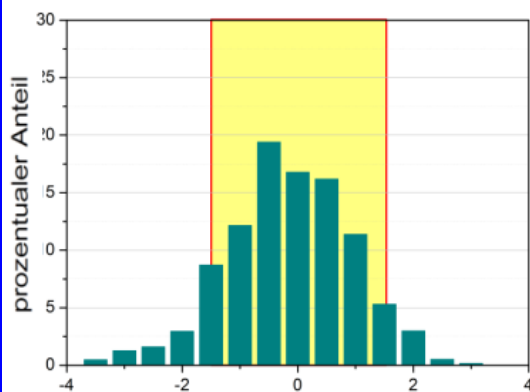
* siehe Legende im Anhang

4.1.6. Wassergehalt der Luft

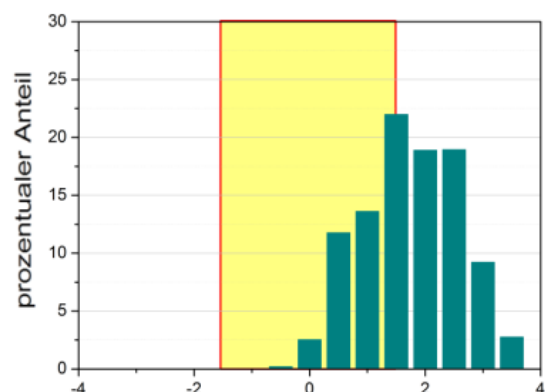
- Der Wassergehalt der Außenluft wird maßgeblich vom überregionalen Außenklima bestimmt und stellt sich in der Regel mit einem gewissen Zeitversatz auch innerhalb der Kirche ein.
- Der "Wassergehalt der Luft" beschreibt, wie viel Wasser sich in der Luft befindet.
- Es wird der Unterschied zwischen der Außen- und Innenraumsituation betrachtet.
- Durch die Untersuchung und Bewertung von Differenzen zwischen dem Wassergehalt der Außen- und Innenraumluft können Rückschlüsse auf aussenklimateunabhängige Feuchteinträge gezogen werden.
- Für ein ausgewogenes Innenraumklima ist es wichtig, dass sich Feuchteinträge und Feuchteausträge im Jahresmittel ausgleichen.
- Zu einem Feuchtestau kann es kommen, wenn die Feuchtelast (eingebrachte Feuchte durch aufsteigende Feuchte oder Personen) aufgrund eines beschränkten Luftwechsels nur begrenzt ausgetragen werden kann.
- In den nachfolgenden Häufigkeitsverteilungen wird die Differenz des Wassergehalts der Luft innen zum Wassergehalt der Luft außen dargestellt.

- Feuchteverhältnis Innen zu Außen -

- ausgeglichene Situation -



- einseitige Situation** -



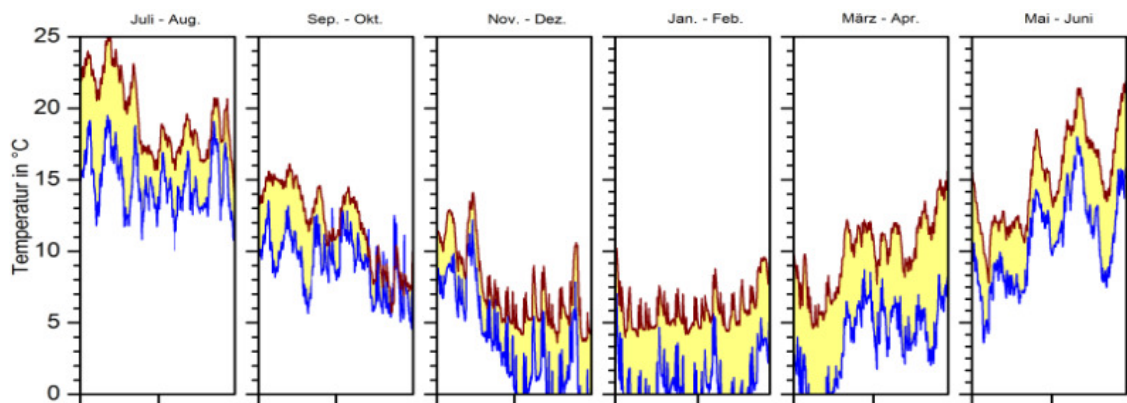
** Wassergehalt Innen ist höher als Außen

* siehe Legende im Anhang

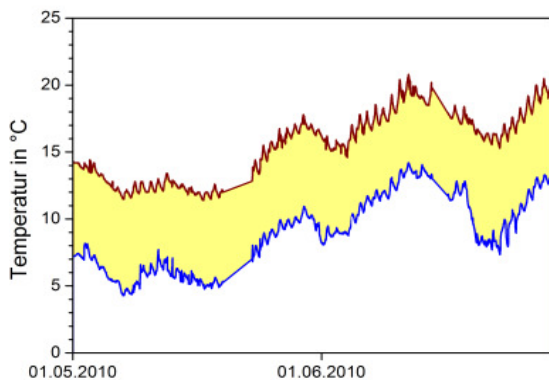
4.1.7. Gefahr von Tauwasserausfall

- Der Tauwasserausfall in einer Kirche hat einen erheblichen Einfluss auf die Gefahr der Vergrauung und Schimmelbildung.
- "Tauwasserausfall" tritt auf, wenn die sogenannte Taupunkttemperatur von Raum- oder Außenluft unterschritten wird.
- Die Gefahr, dass die Taupunkttemperatur unterschritten wird, ist von der Lufttemperatur als auch vom aktuellen Wassergehalt der Luft abhängig.
- Um die Gefahr des Tauwasserausfalls bewerten zu können, wird in der nachfolgenden Grafik die abgeleitete Wandtemperatur in den Raumecken (niedrigster gemessener Wandtemperaturwert abzüglich 2 Kelvin) in Relation zur Taupunkttemperatur der Raum- bzw. Außenluft dargestellt.
- Das gelbe Band zwischen den Temperaturwerten kann als "Sicherheitszone" interpretiert werden. Je breiter sie ist, desto weniger ist mit Tauwasserausfall zu rechnen.
- Bei der Ermittlung der Taupunkttemperatur wurde der ungünstigste gemessene Klimawert zu Grunde gelegt.

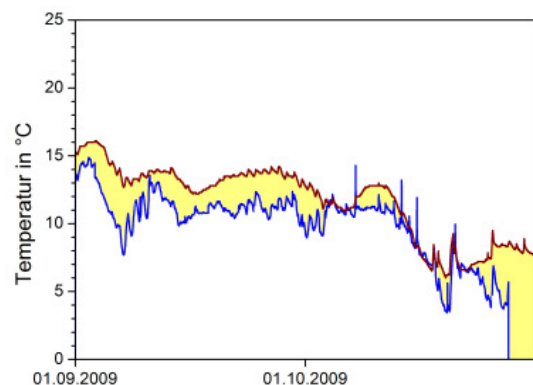
- Gefahr des Tauwasserausfalls im Jahresverlauf -



- günstige Situation im Mai / Juni -



- ungünstige Situation im Sep / Okt -



- Die Betrachtungen des Tauwasserausfalls werden zur Bewertung von Lüftungsvorgängen mit großen Luftwechselraten auch für die Außenluft durchgeführt.

* siehe Legende im Anhang

4.2. Ergänzende Daten und Fakten

Für die Bewertung des Innenraumklimas wurden ergänzend zu den Klimadaten weitere Daten und Fakten erfasst und herangezogen:

- aufgetretene Schäden (Vergrauung, Schimmel, Risse)
- technische Anlagen im Bestand (Anlagentyp, Sanierungsbedarf)
- Gebäudekennwerte (Größe, Masse, Materialien, U-Werte)
- Energieverbräuche (spezifische Werte)

4.3. Klima-Kennwerte und Klima-Profil für Kirchen

Eine weitere Verdichtung der Information und ein Vergleich mit anderen untersuchten Kirchen erfolgte über die Bildung von kirchenspezifischen Kennwerten, die zu einem sogenannten Klima-Profil für Kirchen zusammengefasst wurden. Damit konnte das Klimaverhalten mit diskreten Zahlenwerten beschrieben und die Eigenheiten einer Kirche auf einen Blick sichtbar gemacht werden.

4.3.1. Die kirchenspezifischen Klima-Kennwerte im Überblick

Für den Vergleich der Kirchen und um das Klimaverhalten einer Kirche besser einstuft zu können, wurden spezifische Klimakennwerte entwickelt. Die Kennwerte wurden zum großen Teil aus den Klimamessungen ermittelt, beruhen zum anderen aber auch auf bestehenden Datenerhebungen (z.B. Gebäudedaten), Berechnungen (z.B. Heizleistung) und aktuellen Verbrauchsdaten.

Zur besseren Übersicht wurden die Kennwerte den Themen Gebäude, Heizenergie, spezifischen Heizleistung, spezifischer Verbrauch, Sommerüberhitzung, Heizverhalten, Nutzungskomfort Heizperiode, Schimmelgefahr, Rissgefahr bei Hölzern, Tauwasserausfall und Materialbelastung zugeordnet.

Um den Vergleich der Kirchen zu vereinfachen und eine bessere Einschätzung für die spezifische Situation zu gewinnen, wurden aus den Kennwerten der 25 untersuchten Prima-Klima-Kirchen ein unterer und ein oberer Bereichswert ermittelt. Diese Bereichswerte sind so definiert, dass rund 90% aller Kennwerte der 25 Kirchen zwischen dem unteren und dem oberen Bereichswert liegen. Die Bandbreite der Bereichswerte zeigt, wie unterschiedlich die Kirchengebäude, das Innenraumklima, die Nutzung, die Gefahren und der Energieverbrauch sein können.

Bei der Bewertung des Innenraumklimas einer Kirche ist es bei den Themen Sommerüberhitzung, Heizverhalten, Schimmelgefahr, Rissgefahr bei Hölzern, und Materialbelastung allerdings nicht sinnvoll, sich an den Bereichswerten zu orientieren. Bei diesen Themen macht es mehr Sinn, sich an den Empfehlungswerten der Erzdiözese Freiburg zu orientieren. Diese resultieren entweder aus Erfahrungswerten oder aus einer energiepolitischen Zielsetzung.

In der folgenden Tabelle sind die Themen, zu denen sie zusammengefasst wurden, die dazugehörigen Kennwerte, die unteren und oberen Bereichswerte sowie die Empfehlungswerte aufgeführt.

Tabelle:

Obere und untere Grenzen der Bereichs- und Empfehlungswerte kirchentypischer Kennzahlen sortiert nach Themen

Themen			Bereichswerte		Empfehlungswerte	
und Kennwerte	Quartils- wert	Einheit	von	bis	von	bis
Gebäude						
Grundfläche (netto)		m ²	200	1.000		
Volumen (netto)		m ³	1.500	10.000		
A/V Verhältnis (Flächen-Volumen-Verhältnis)		m ² /m ³	0,2	0,6		
Wand U-Wert		W/m ² K	0,8	1,4		
Fenster U-Wert		W/m ² K	3,5	5,8		
Decken U-Wert		W/m ² K	0,3	0,8		
Heizenergie						
Verbrauch		kWh	15.000	150.000		
Einsparpotenzial bei 8 °C Grundtemperatur		kWh	5	15.000		
spezifische Heizleistung						
flächenspezifische Leistung		W/m ²	150	300		
volumenspezifische Leistung		W/m ³	10	36		
spezifischer Verbrauch						
flächenspezifischer Verbrauch		kWh/m ²	80	150		
volumenspezifischer Verbrauch		kWh/m ³	5	25		
Sommerüberhitzung						
Extremwert		°C	23	27	20	25
Höchstwert		°C	23	26,5	20	25
Mittelwert		°C	17	21	20	25
Heizverhalten						
Minimaltemperatur		°C	4,5	10	8	13
Grundtemperatur gemessen		°C	4,5	11	8	13
Nutztemperatur		°C	10	15	8	13
Maximaltemperatur		°C	11	15	8	13
Nutzungskomfort Heizperiode						
niedrigste Wandtemperatur		°C	3,0	9,0		

Spreizung Innentemperaturen	K	0,5	4,0		
Differenz Wand zu Außen	K	-17,0	-8,0		
Differenz Wand zu Innen	K	-4,0	-2,0		
Schimmelgefahr					
relative Feuchte Maximalwert	%	70	83	60	75
relative Feuchte Mittelwert	%	62	76	60	75
Rissgefahr bei Hölzern					
relative Feuchte Minimalwert	%	40	54	40	55
relative Feuchte Mittelwert .	%	45	65	40	55
Tauwasserausfall					
Wandtemperatur Raumecke	°C	1,0	7,0		
Differenz Wandecke Taupunkt	K	2,0	5,5		
Feuchtedifferenz Innen zu Außen	g/m³	0,02	0,9		
Materialbelastung *					
Aufheizen	K/h	0,4	1,0	0,0	1,0
Abkühlen	K/h	-0,7	-0,3	-1,0	0,0
Δ -T im Jahr	K/a	15	23	10,0	18,0
Δ -F am Tag	%/d	5	11	0	10
Δ -F im Jahr	%/a	22	36	0	30

4.3.2. Das Klima-Profil für Kirchen

Mit Hilfe der Kennwerte wird ein sogenanntes Klima-Profil für Kirchen erstellt. Das Klima-Profil ermöglicht es, die spezifischen Eigenschaften einer Kirche zusammenfassend und übersichtlich darzustellen und gleichzeitig mit Hilfe der Bereichs- und Empfehlungswerte mit anderen Kirchen in Relation zu setzen bzw. zu vergleichen.

In der folgenden Übersicht ist das Klima-Profil der Kirche St. Josef Baden-Baden dargestellt.

Aus einem solchen Klima-Profil für Kirchen kann beispielsweise

- ein falsches Nutzerverhalten
- das gebäudespezifische Klimaverhalten
- Fehlfunktionen der Heizungsanlage
- Schadenspotenziale
- Energieverschwendung

erkannt werden.

Abbildung:
Das Klima-Profil für Kirchen am Beispiel von St. Josef Baden-Baden

	Quantilwert	Kennwert	Einheit	unterer Vergleichswert	Lage der Werte					oberer Vergleichswert
Gebäude										
Grundfläche (netto)		780	m²	200				780	1.000	
Volumen (netto)		11.100	m³	2.000					10.000	11.100
A/V Verhältnis		0,29	m²/m³	0,3	0,3				0,6	
Wand U-Wert		2,0	W/m²K	0,8					1,4	2,0
Fenster U-Wert		4,5	W/m²K	3,5			4,5		5,8	
Decken U-Wert		1,2	W/m²K	0,3					0,8	1,2
Heizenergie										
Verbrauch	4) 95%	238.000	kWh	23.000					150.000	238.000
Einsparpotenzial bei 8° GT	5u95%	2.799	kWh	1.000	####				30.000	
spezifische Heizleistung										
flächenspezifische Leistung		301	W/m²	150					280	301
volumenspezifische Leistung		21	W/m³	10			21		36	
spezifischer Verbrauch										
flächenspezifischer Verbrauch		307	kWh/m²	80					140	307
volumenspezifischer Verbrauch		21	kWh/m³	10					20	21
Sommerüberhitzung										
Extremwert	97%	23,7	°C	20,0				23,7	25,0	
Höchstwert	90%	22,9	°C	20,0			22,9		25,0	
Mittelwert	1)	19,7	°C	19,7	20,0				25,0	
Heizverhalten										
Minimaltemperatur	1%	6,7	°C	6,7	8,0				13,0	
Grundtemperatur	3%	8,1	°C		8,0	8,1			13,0	
Nutztemperatur	95%	13,9	°C		8,0				13,0	13,9
Maximaltemperatur	97%	14,2	°C		8,0				13,0	14,2
Nutzungskomfort Heizperiode										
niedrigste Wandtemperatur	5%	7,9	°C	4				8	8	
Spreizung Innentemperaturen	1)	3,9	K	0,0					3,0	3,9
Differenz Wand zu Außen	5%	-14	K	-15		-14			-10	
Differenz Wand zu Innen	5%	-3,9	K	-5		-4			0	
Schimmelgefahr										
relative Feuchte Maximalwert	97%	79	%	60					75	79
relative Feuchte Mittelwert	1) 2)	69	%	60			69		75	
Rissgefahr bei Hölzern										
relative Feuchte Minimalwert	3%	55	%	40					55	55
relative Feuchte Mittelwert	1) 2)	65	%	40					55	65
Tauwasserausfall										
Wandtemperatur Raumecke	5%	5,9	°C	4,0		5,9			10,0	
Differenz Wandecke Taupunkt	5%	3,0	K	3,0	3,0				8,0	
Feuchteverhältnis Innen Außen	3)	0,77	g/m³	0,2				0,8	1,0	
Materialbelastung										
Aufheizen	95%	2,7	K/h	0,0					1,0	2,7
Abkühlen	5%	-2,3	K/h	-2,3	-1,0				0,0	
Δ-T im Jahr	5u95%	16,3	K/a	10,0				16,3	18,0	
Δ-F am Tag	4) 95%	13	%/d	0					10	13
Δ-F im Jahr	5u95%	19	%/a	0			19		30	

1) Mittelwert

2) im Zeitraum mit den höchsten / niedrigsten Werten

3) über das gesamte Jahr

4) in der Heizperiode

1) Mittelwert

2) im Zeitraum mit den höchsten / niedrigsten Werten

3) über das gesamte Jahr

4) in der Heizperiode

4.4. Charakterisierung und Handlungsbedarf

Für die Charakterisierung der Kirche werden alle Ergebnisse und Erkenntnisse aus den Messdatenverläufen, den Kennwerten und dem Klima-Profil für Kirchen zusammengefasst. Zusätzlich werden die ergänzenden Daten und Fakten, wie beispielsweise vorhandene Schäden und der Zustand der technischen Anlagen (siehe Kapitel 0), berücksichtigt.

Dem Auftraggeber kann so zusammenfassend verdeutlicht werden, welche Besonderheiten beim Raumklima bestehen und ggf. beachtet werden sollten.

In Abhängigkeit der Lage der Kennwerte im Klima-Profil erfolgt eine Einstufung als normal, nicht ideal, auffällig oder extrem.

Abbildung:

Charakterisierung des Raumklimas am Beispiel St. Josef Baden-Baden

<u>Bewertung des Raumklimas</u>		extrem auffällig	nicht ideal normal
Temperatur			
Niveau	- Sommer / Herbst		
	- Winter / Frühjahr		
Änderung	- pro Stunde		
	- über das Jahr		
relative Feuchte			
Niveau	- oberer Wert		
	- Mittelwert		
	- unterer Wert		
Änderung	- pro Tag		
	- über das Jahr		
Feuchtigkeit		- Differenz Außen Innen	

Ergänzend zur Charakterisierung wird der Handlungsbedarf bewertet.

In Abhängigkeit der Lage der Kennwerte im Klima-Profil für Kirchen erfolgt eine Abschätzung des Handlungsbedarfs in keiner, gelegentlich, dringlich oder sehr hoch.

Abbildung:

Klärungs- und Handlungsbedarf am Beispiel St. Josef Baden-Baden

<u>Klärungs- und Handlungsbedarf</u>		
		sehr hoch gelegentlich dringlich keiner
Gefahren	- Tauwasserausfall - Vergrauung - Schimmelbildung	
Komfort	- Sommer - Winter	
Energie	- im Vergleich	
Heizung	- Heiz- und Lüftungsstrategie - Sanierung Heizung	
Einflüsse	- Umgebung / Klima - Gebäude - Nutzer	

4.5. Empfehlungen

Unter Berücksichtigung von Gebäudebestand, Ausstattung und technischen Anlagen können mit Hilfe der Untersuchungsergebnisse abschließend Empfehlungen für die weitere Vorgehensweise ausgesprochen werden

In der nachfolgenden Tabelle sind beispielhafte Empfehlungen zu Heizstrategie und Heizsystemzusammengefasst.

Temperaturniveau und Heizverhalten	Absenkung von Grund- und Nutztemperatur
Feuchte Kirchen	(Teil-)Temperierung gefährdeter Bereiche bzw. Wände feuchteabhängiges Heizen Anpassung von Temperaturniveau und/oder Kirchennutzung
Feuchtestau	Klimaregulierendes Lüften
Geringer Abstand zwischen Wand- und Taupunkttemperatur	Anhebung der Raumlufttemperatur (grundsätzlich oder nur bei Bedarf)
Zu schnelle Änderungen (Temperatur- und relative Feuchte)	Optimierung der Steuerung

Die Empfehlungen sind in der Regel für jede Kirche ganz individuell und situationsabhängig, da auch die nachfolgenden Aspekte berücksichtigt werden:

- Nutzungsintensität und Nutzerverhalten (Erwärmung der gesamten Raumhülle einer Kirche oder nur Temperierung im Nutzungsumfeld)
- Denkmalschutz
- Schutz der Ausstattung
- Nutzerkomfort

4.6. Der Klima-Bericht

Für jede der 25 untersuchten Kirchen wurden die Auswertungsergebnisse, Erkenntnisse und Empfehlungen aus der ganzjährigen Klimamessung in einem standardisierten Bericht zusammengefasst, dem sogenannten Klima-Bericht.

Bei der Konzeption des Klima-Berichts wurde Wert darauf gelegt, dass die Ergebnisse möglichst allen Beteiligten möglichst verständlich und trotzdem sehr kompakt dargestellt werden. Zielsetzung war es zusätzlich, den unterschiedlichen Interessen und Fachkenntnissen des Pfarrgemeinde- und Stiftungsrats, der Bauämter und externer Fachleute gleichermaßen gerecht zu werden.

Der Bericht beinhaltet deshalb erklärende und zusammenfassende Elemente. Je nach Interesse kann der Bericht im Detail oder themen- bzw. interessenorientiert gelesen werden.

Im Bericht sind enthalten:

- Hintergründe und Zielsetzungen zur Klimamessung
- Daten und Fakten der jeweiligen Kirche
- Messtechnik und –methoden
- Ergebnisse der Klimamessung, wobei bei jedem Thema allgemeine Informationen vorangestellt wurden, um auch einem Laien die Interpretation der Darstellungen zu ermöglichen.
- Kennwerte und Charakteristika
Die Kennwerte werden in Bezug zu den anderen Kirchen gestellt, was ein individuelles Profil der Kirche ergibt.
Aus diesem Profil wird ein Charakter der Kirche (mit einer Bewertung des Innenraumklimas und der Darstellung des Handlungsbedarfs) abgeleitet.
- Anmerkungen und Empfehlungen
- Im Anhang sind alle Messergebnisse grafisch dokumentiert

Durch die Komplexität und Vielseitigkeit der Zusammenhänge ist eine persönliche Präsentation und Erläuterung der Ergebnisse in der Regel notwendig.

Die Standardisierung des Klima-Bericht resultiert aus der Überzeugung, dass nur mit einem standardisierten Bericht ein einheitliches Vorgehen und ein vergleichsweise kostengünstiges Verfahren erreicht werden kann.

Ein beispielhafter Bericht ist im Anhang abgedruckt.

4.7. Bewertung der ganzjährigen Klimamessung

Bei der Durchführung der Jahresmessungen in den 25 Prima Klima Kirchen und bei den abschließenden Präsentationen der Ergebnisse in den Kirchengemeinden hat sich gezeigt, dass

- bei den Kirchengemeinden das Bewusstsein für bauphysikalische Aspekte und angemessene Heizungskonzepte steigt,
- die Auftraggeber das Kirchengebäude und dessen Innenraumklima besser kennen lernen,

- kirchenspezifische Fragestellungen besser beantwortet, Probleme erkannt und (ansatzweise) erklärt werden können,
- der Handlungsbedarf sichtbar wird und Empfehlungen für Heizen und Lüften ausgesprochen werden können,
- Entscheidern, Architekten und Planern viele Hinweise für Sanierungen und Beseitigung von Schäden gegeben werden können und
- in problematischen Kirchen fundierte Grundlagen für weitergehende Untersuchungen geschaffen wurden.

5. Ergebnisse aus den Auswertungen aller 25 Kirchen

Nachfolgend werden die Ergebnisse aus den 25 Klima-Berichten zusammengefasst.

5.1. Typische Messergebnisse und Empfehlungen im Überblick

Besonders häufig genannte Empfehlungen und für die Gesamtbewertung der Raumklimas besonders aussagekräftige Ergebnisse werden nachfolgend tabellarisch dargestellt. Die ermittelten Werte resultieren auf der Auswertung der für die Fragestellung relevanten „2-Monats-Perioden“.

5.1.1. Abweichung von den empfohlenen Grundtemperaturen

Tabelle: Verteilung der untersuchten Kirchen nach der Grundtemperatur:

Grundtemperatur	< 5°C	5°C – 7°C	7°C – 9°C	9°C – 11°C	> 11°C
Anzahl der Kirchen	1	5	4 + 6	8	1

In 15 der 25 untersuchten Kirchen liegen die Grundtemperaturen über dem von der Erzdiözese vorgegebenen Wert von 8 °C.

Die Empfehlung bei diesen Kirchen ist, die Grundtemperatur auf 8 °C abzusenken. Dabei wird generell empfohlen bei der Temperaturabsenkung darauf zu achten, dass diese nicht zu einer übermäßigen Erhöhung der relativen Feuchte führt und die Grundtemperatur ggf. im Herbst und im Frühjahr so angehoben wird, dass keine Feuchteschäden verursacht werden.

Bei Kirchen mit Grundtemperaturen unter 8°C wird empfohlen, besonders genau auf den Jahresverlauf der relativen Feuchte zu achten, die Kirche in kritischen Zeiten generell zu temperieren, vor intensiven Nutzungen mit vielen Kirchenbesuchern ggf. frühzeitig und langsam aufzuwärmen oder ggf. auch intensive Nutzungen zu vermeiden.

5.1.2. Überdurchschnittliche Temperaturspreizungen

Tabelle: Verteilung der Kirchen nach der Temperaturspreizung:

Temperaturspreizung	< 1 K	1 – 2 K	2 – 3 K	3 – 4 K	> 4 K
Anzahl der Kirchen	4	10	3	5	3

In 11 der 25 untersuchten Kirchen konnte eine Temperaturspreizung größer 2 Kelvin zwischen den Messstellen festgestellt werden. In 4 dieser Kirchen wird eine Sitzbankheizung und in 7 Kirchen eine Warmluftheizung genutzt.

Die Empfehlung bei hohen Temperaturspreizungen ist eine Optimierung der Wärmeverteilung durch eine Reduzierung der Zulufttemperaturen und die Installation zusätzlicher Luftauslässe oder ergänzender dezentraler Wärmeerzeuger.

5.1.3. Hohe Werte bei der relativen Feuchte

Bei der Bewertung der relativen Feuchte wird der Mittel- als auch der Maximalwert betrachtet.

Tabelle: Verteilung der Kirchen nach dem Maximalwert der relativen Feuchte:

rel. Feuchte Max-Wert	< 70%	70 – 75 %	75 – 80 %	80 – 85 %	> 85%
Anzahl der Kirchen	4	6	6	7	2

Bei 15 der untersuchten Kirchen übersteigt die relative Feuchte Maximalwerte von 75%. Diese werden als tendenziell zu feucht eingestuft. In 5 dieser 15 Kirchen, wird Schimmel in der Orgel festgestellt.

Bei diesen Kirchen wird empfohlen, das Lüftungsverhalten entsprechend der Klimasituation in der Kirche anzupassen, je nach Situation durch ein händisches oder ein automatisches, klimaregulierendes Lüften.

In Kirchen mit dauerhaft hohen Werten bei der relativen Feuchte wird der zeitweilige Einsatz von Entfeuchtungsgeräten empfohlen.

Auffallend ist, dass es zwischen dem Maximalwert und dem Mittelwert der relativen Feuchte scheinbar einen direkten Zusammenhang gibt, der nachfolgend dargestellt wird.

Tabelle: Zusammenhang von Mittelwert und Maximalwert der relativen Feuchte:

rel. Feuchte Max-Wert	< 70%	70 – 75 %	75 – 80 %	80 – 85 %	> 85%
rel. Feuchte Mittelwert	< 63%	63 – 68 %	68 - 71 %	71 - 77 %	> 77%

5.1.4. Veränderungen des Innenraumklimas

Tabelle: Verteilung der Kirchen nach der Temperaturänderung:

Temperaturänderung	< 0,2 K/h	0,2 – 0,5 K/h	0,5 – 1 K/h	1 – 3 K/h	> 3 K/h
Anzahl der Kirchen	1	9	10	4	1

Bei 5 Kirchen ändert sich die Innenraumtemperatur schneller als der Empfehlungswert von 1 Kelvin pro Stunde.

Tabelle: Verteilung der Kirchen nach der Änderung der relativen Feuchte:

Änderung rel. Feuchte	< 5 %/d	5 – 7 %/d	7 – 9 %/d	9 – 11%/d	> 11 %/d
Anzahl der Kirchen	4	7	7	3	4

Bei 6 Kirchen ändert sich die relative Feuchte schneller als der Empfehlungswert von 10% pro Tag.

Bei Kirchen mit zu hohen Änderungsgeschwindigkeiten wird empfohlen, die Parameter der Steuerung zu optimieren oder eine neue Steuerung mit einer Aufheiz- und Auskühlfunktion zu installieren.

5.1.5. Gefahr von Tauwasserausfall

Tabelle: Verteilung der Kirchen nach der Temperaturdifferenz Wand zu Taupunkt:

Temperaturdifferenz Wand zu Taupunkt	< 4 K	4 – 5 K	5 – 6 K	6 – 7 K	> 7 K
Anzahl der Kirchen	3	7	6	5	4

Geht man davon aus, dass eine erhöhte Gefahr von Tauwasserausfall besteht, wenn die Temperaturdifferenz zwischen der niedrigsten gemessenen Wandtemperatur und der gemessenen Taupunkttemperatur unter 5 Kelvin sinkt, dann sind davon 10 Kirchen betroffen.

Bei diesen 10 Kirchen wird empfohlen, die Grundtemperatur in den Zeiten anzuheben, in denen mit einem erhöhten Tauwasserausfall gerechnet werden muss

Interessant ist, dass die Gefahr genauso häufig im Herbst auftritt wie im Frühjahr.

5.1.6. Die typischen Empfehlungen im Überblick

Bei den Prima-Klima-Kirchen werden vorrangig die nachfolgenden Maßnahmen empfohlen

- Änderung Temperaturniveau
- Änderung Heiz- und Lüftungsverhalten
- Optimierung Steuerung
- Feuchteabhängiges Heizen und Lüften
- Optimierung Wärmeverteilung

5.2. Energieeinsparpotenzial

Das Energieeinsparpotenzial wurde über die Differenz der ermittelten Grundtemperatur zur der von der der Erzdiözese vorgegeben Grundtemperatur von 8°C errechnet.

Bezogen auf den jährlichen Gesamtenergieverbrauch von 1.850 MWh könnte der Verbrauch um rund 390 MWh verringert werden. Das Energieeinsparpotenzial, das sich alleine durch die Reduzierung der Grundtemperaturen auf den von der Erzdiözese vorgegebenen Wert ergibt, beträgt für die 25 untersuchten Prima-Klima-Kirchen rund 21 %.

Weitere Einsparpotenziale könnten ausgeschöpft werden, wenn zusätzlich die Nutztemperatur gesenkt und die empfohlene Temperatur von 13°C nicht überschritten wird.

5.3. Die Klima-Profile aller 25 Kirchen

Mit der standardisierten ganzjährigen Klimamessung wurde die Grundlage dafür geschaffen, vergleichende Auswertungen über alle untersuchten Kirchen hinweg durchzuführen. Durch einen direkten Vergleich der Kirchen kann festgestellt werden, wo sich Übereinstimmungen und Unterschiede abzeichnen.

Abbildung:

Die Klima-Profile aller 25 Kirchen im Überblick (Jeder rote Strich repräsentiert den Messwert einer Kirche):

Gebäude		
Grundfläche (netto)	m ²	200
Volumen (netto)	m ³	1500
A/V Verhältnis	m ² /m ³	0,2
Wand U-Wert	W/m ² K	0,8
Fenster U-Wert	W/m ² K	3,5
Decken U-Wert	W/m ² K	0,3
Heizenergie		
Verbrauch	kWh	15.000
Einsparpotenzial bei 8° GT	kWh	5
spezifische Heizleistung		
flächenspezifische Leistung	W/m ²	150
volumenspezifische Leistung	W/m ³	10
spezifischer Verbrauch		
flächenspezifischer Verbrauch	kWh/m ²	80
volumenspezifischer Verbrauch	kWh/m ³	5
Sommerüberhitzung		
Extremwert	°C	23,0
Höchstwert	°C	23,0
Mittelwert	°C	17,0
Heizverhalten		
Minimaltemperatur	°C	4,5
Grundtemperatur	°C	4,5
Nutztemperatur	°C	10,0
Maximaltemperatur	°C	11,0
Nutzungskomfort Heizperiode		
niedrigste Wandtemperatur	°C	3
Spreizung Innentemperaturen	K	0,5
Differenz Wand zu Außen	K	-17
Differenz Wand zu Innen	K	-4
Schimmelgefahr		
relative Feuchte Maximalwert	%	70
relative Feuchte Mittelwert	%	62
Rissgefahr bei Hölzern		
relative Feuchte Minimalwert	%	40,0
relative Feuchte Mittelwert	%	45,0
Tauwasserausfall		
Wandtemperatur Raumecke	°C	1,0
Differenz Wandecke Taupunkt	K	2,0
Feuchteverhältnis Innen Außen	g/m ³	0,0
Materialbelastung		
Aufheizen	K/h	0,4
Abkühlen	K/h	-0,7
Δ-T im Jahr	K/a	15,0
Δ-F am Tag	%/d	5,0
Δ-F im Jahr	%/a	22

Wird der Verlauf von Temperatur und relativer Feuchte einer Kirche dem Verlauf aller 25 Kirchen überlagert ergeben sich folgende Bilder:

Abbildung:

Temperaturverlauf der Kirche St. Josef Baden-Baden (Rote Linie) im Vergleich zu den anderen untersuchten Kirchen (Graue Linien).

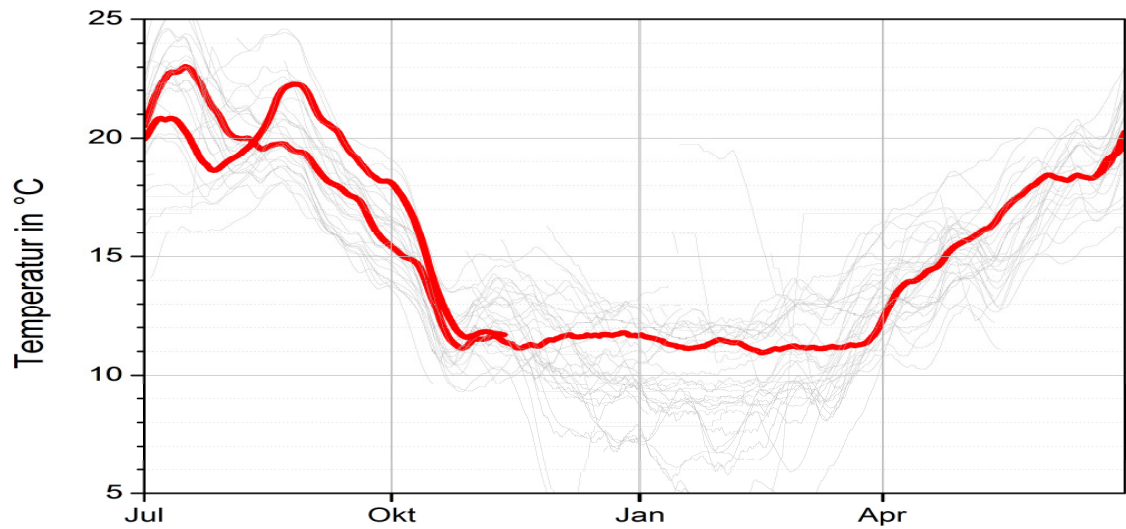
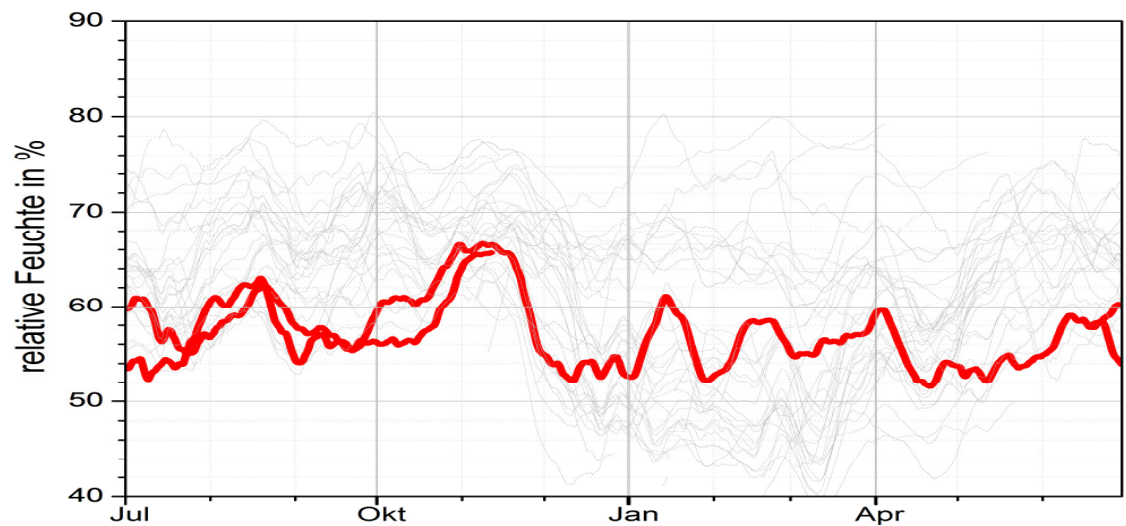


Abbildung:

Verlauf der Relativen Feuchte der Kirche St. Josef Baden-Baden (Rote Linie) im Vergleich zu den anderen untersuchten Kirchen (Graue Linien).



5.4. Gemeinsamkeiten und Unterschiede nach Merkmalen

Ergänzend zum direkten Vergleich der Messwertverläufe und Kennwerte wurde untersucht, ob sich bei Kirchen mit vergleichbaren Merkmalen (z.B. Baujahr oder Regionen) signifikante Gemeinsamkeiten oder Unterschiede für diese Themen zeigen.

Für die nachfolgenden Merkmale wurden die Kirchen bezüglich der dargestellten Themen miteinander verglichen. Die Felder, bei denen sich signifikante Gemeinsamkeiten oder Unterschiede abzeichnen, sind mit einem „X“ gekennzeichnet.

Tabelle:

Übersicht über mögliche Zusammenhänge zwischen Themen und Merkmalen in den 25 Prima-Klima-II-Kirchen

Merkmale	Themen	Gebäude	spez. Heizleistung	spez. Verbrauch	Sommerüberhitzung	Heizverhalten	Nutzungskomfort Winter	Schimmelgefahr	Rissgefahr bei Hölzern	Tauwasserausfall	Materialbelastung	Heizenergie
Räumliche Region (Nord-, Mittel-, Süd- Ostbaden)					x	x			x	x		
Klimatische Zone (Rheinschiene, niedrige Höhenlage, mittlere Höhenlage, hohe Höhenlage)			x		x	x						
Baustile (Mittelalterlich, Neuzeitlich, Historismus, Neue Sachlichkeit, Moderne)					x					x		
Baujahre (vor 1300, -1600, -1750, -1840, -1918, -1955, nach 1955)					x			x				
Art des Heizsystems / Wärmeverteilung (Warmluft, Boden, Strahlung, Kombination)			x	x	x							x
Winddichtheit (LWR < 0,5; < 0,7, > 0,7 1/h)			x	x	x	x						
Volumen (V < 2.500, < 8.000; > 8.000 m³)				x		x		x		x		
Schimmelbefall Orgel (ja, nein)				x		x		x		x		
hohe relative Feuchte im Winter				x				x	x	x		x

Eine aussagekräftige statistische Auswertung der 25 Kirchen war aufgrund der geringen Anzahl der untersuchten Kirchen nicht möglich. Der durchgeführte Vergleich ergab jedoch wertvolle Hinweise, wo sich Übereinstimmungen und Unterschiede abzeichnen und wo, bei größerer Anzahl von Untersuchungsobjekten, interessante Ergebnisse zu erwarten sind.

Um zu abgesicherten Aussagen zu kommen, sind weitere Untersuchungen und eine Verbreiterung der Datenbasis erforderlich (siehe hierzu auch Kapitel 7.2.7). Wichtig ist dabei auf jeden Fall eine generelle Differenzierung zwischen unproblematischen und problematischen Kirchen.

6. Projektziele, Erkenntnisse

Im nachfolgenden Kapitel wird darauf eingegangen, welche Ziele und Ausgangsthesen des Projektes Prima-Klima-II erreicht wurden. Zudem wird aufgezeigt, welcher Klärungs- und Handlungsbedarf generell noch besteht und welche Strategien zum Heizen und Lüften von Kirchen von der Erzdiözese noch entwickelt und vorgegeben werden sollten.

6.1. Charakterisierung von Kirchen

Erstes Ziel des Projektes war, Kriterien zur Charakterisierung von Kirchen unter energie- und bautechnischen Gesichtspunkten zu entwickeln (siehe Kapitel 1.2).

Wie in Kapitel 4.3 aufgezeigt, wurde dieses Ziel mit der Festlegung und Ermittlung von kirchenspezifischen Kennzahlen, der Entwicklung des Klima-Profil für Kirchen und der Bewertung des Raumklimas und dem Klärungs- und Handlungsbedarf erreicht.

6.2. Kirchenspezifische Empfehlung zum Heizen und Lüften

Zweites Ziel von Prima-Klima war es, für jede der 25 Kirchen kirchenspezifische Empfehlungen zum Heizen und Lüften auszusprechen. Entscheidend für die Empfehlungen waren neben den Klimamessungen, offenkundige Schäden, der Anlagenbestand sowie die Möglichkeiten mit den vorhandenen technischen Anlagen eine günstige Heiz- und Lüftungssituation zu schaffen.

In jeder der 25 Kirchen konnten Empfehlungen für eine zukünftig sinnvolle Beheizung und Lüftung ausgesprochen und wertvolle Hinweise für Sanierungsmaßnahmen gegeben werden.

6.3. Heizungs- und Lüftungsstrategien

Aus dem Projekt heraus zeichnen sich für eine Basiskonzeption von Heizung, Lüftung und Regelung folgende Tendenzen ab.

6.3.1. Heizung:

Es kann zwischen zwei grundsätzlich verschiedenen Ansätzen unterschieden werden, der dauerhaften Beheizung der Kirche auf eine Grundtemperatur und der gelegentlichen Temperierung der Nutzungsbereiche. Aus wirtschaftlichen Gesichtspunkten bietet sich im ersteren Fall eine Warmluftheizung, im zweiten Fall eine elektrische Sitzbankheizung an. Durch die Kombination der Systeme können die systemspezifischen Vorteile beider Systeme vereinigt werden.

6.3.2. Lüftung

Obwohl schwerwiegende Schäden überwiegend durch ungünstige Feuchtwerte verursacht werden, werden in Kirchengebäuden nur in Ausnahmefällen kontrollierte, feuchteregulierende Lüftungssysteme eingesetzt. Es stellt sich die Frage, ob zur Vermeidung von Feuchte- oder Trockenschäden zukünftig verstärkt klimaregulierende Lüftungssysteme eingebaut werden müssen oder ob durch eine verstärkte Nutzerschulung diesem Problem begegnet werden kann?

Gerade im Bereich des klimaregulierenden Lüften gibt es noch erheblichen Forschungs- und Klärungsbedarf.

6.3.3. Regelung

Die Möglichkeiten mit heutigen Kirchenheizungsregelungen können sehr umfassend sein. Unklar ist häufig, welche der Regelungsoptionen bei welchen Kirchen und bei welchen Raumklimasituationen eingesetzt werden sollten. Mit Hilfe der Jahresklimamessung kann aufgezeigt werden, welche Regelungsoptionen in welcher Kirche sinnvollerweise genutzt werden sollten.

6.3.4. Heizungsstrategien

Es zeigte sich, dass die bestehenden Regeln nicht ausreichen, um für die vielseitigen Beheizungs- und Nutzungssituationen konkrete Empfehlungen auszusprechen. Eine klare Trennung zwischen dauerhaft und gelegentlich beheizten Kirchen ist zwingend erforderlich.

Die Weiterentwicklung und Differenzierung der bestehenden Handlungsempfehlungen sollte unbedingt vorangetrieben werden. Abgestimmte Grundstrategien und Leitlinien für Kirchengebäude sind für zielorientierte Empfehlungen zwingend erforderlich (siehe auch Kapitel 7.1.8.).

6.4. Gewonnene Erkenntnisse verbreiten

Als letztes Ziel sollten die Projektergebnisse einem breiten Fachpublikum vermittelt werden.

Die Auftaktveranstaltung bot eine gute Möglichkeit das Projekt und die Ergebnisse vorzustellen. Die intensive Arbeit der Steuerungsgruppe, die Diskussion in der Runde der Bauamtsleiter sowie im Expertenworkshop haben dazu beigetragen, die Gesamtzusammenhänge besser zu verstehen und den Fachaustausch zu optimieren.

Auch dieser Projektbericht und die Broschüre zum sinnvollen Lüften und Heizen in Kirchen sollen zur Verbreitung der Erkenntnisse beitragen.

Um die Thematik in der Erzdiözese umfassend zu verbreiten, werden aber noch weitergehende Projekte, Veranstaltungen und Schulungen notwendig sein.

6.5. Standardisierte ganzjährige Klimamessungen

Messgeräte-Sets und Hilfsmittel zur Kontrolle und Auswertung der Klimawerte sind im Rahmen des Projektes eigens entwickelt worden und gewährleisten einen hohen Qualitätsstandard.

Mit dem Klima-Bericht ist es zudem gelungen, die umfangreichen Messungen und deren Ergebnisse verständlich darzustellen, den Charakter und den Handlungsbedarf der Kirche zu bestimmen und den Verantwortlichen in den Kirchengemeinden sinnvolle Empfehlungen für die zukünftige Beheizung und Lüftung zu geben.

Die standardisierte ganzjährige Klimamessung ist ausgereift und kann nun in der Fläche angewendet werden.

6.6. Basis für vergleichende Auswertung von Klimamessungen

Die Anzahl der gemessenen Kirchen ist so gering, dass eine vergleichende Auswertung der Messergebnisse der 25 Kirchen nur begrenzt möglich und sinnvoll ist. Erste Vergleichsergebnisse und Hinweise für weitere Forschungen werden in Kapitel 8 vorgestellt.

Die Standardisierung der ganzjährigen Klimamessung und des Auswerteverfahrens und der klare Weg, wie Erkenntnisse und Empfehlungen gewonnen werden, ist eine hervorragende Basis für weiterführende vergleichende Untersuchungen.

6.7. Die Grundthese von Prima Klima I

Die Grundthese von Prima Klima I lautete:

- 25% der Kirchen sind zu feucht
- 50% der Kirchen haben kein Feuchteproblem
- 25% der Kirchen sind zu trocken

Die Ursachen für ein zu feuchtes bzw. zu trockenes Innenraumklima in Kirchen, seien zu 50 Prozent nutzerbedingt und zu 50% gebäudebedingt.

Bei den Prima Klima II Kirchen ergab sich folgendes Ergebnis:

- 52% der Kirchen sind zu feucht
- 32% der Kirchen haben kein Feuchteproblem
- 16% der Kirchen sind zu trocken

Der Begriff „zu trocken“ bzw. „zu feucht“ wurde dabei wie folgt definiert.

	Quartilswert	relative Feuchte*
zu feucht	97%	> 75 %
zu trocken	3%	< 40 %

** im ungünstigsten 2-Monats Zeitraum*

Es ist zu vermuten, dass zur Teilnahme am Prima-Klima-II-Projekt überwiegend Kirchen mit Feuchteproblemen vorgeschlagen wurden. Feuchteprobleme (Vergrauungen, Schimmelbefall, ...) sind offensichtlicher und werden eher erkannt als Trockenprobleme. Die Grundthese von Prima-Klima I kann daher mit den bisherigen Messergebnissen weder bestätigt noch verworfen werden.

Die Untersuchung bzw. Bewertung der Ursachen konnte noch nicht abschließend durchgeführt werden.

7. Thesen und Empfehlungen

7.1. Die XI Thesen zu Lüften und Heizen in Kirchen

Insgesamt wurde deutlich, dass auch mit dem groß angelegten Prima Klima II Projekt keineswegs alle Fragen zum Heizen und Lüften von Kirchen beantwortet werden konnten. Eine weitergehende Auseinandersetzung und Diskussion ist unumgänglich, auch deshalb, weil mit starken Veränderungen bei der Nutzungsintensität der Kirchen und einem geänderten Nutzungs- und Heizverhalten gerechnet werden muss. Dadurch ist mit einem erhöhten Schadenspotenzial für Gebäude und Ausstattung zu rechnen.

Die Ausarbeitung von detaillierten Handlungsempfehlungen und Leitlinien ist deshalb unbedingt notwendig. Als Basis für die weitere Diskussion wurden aus dem Projekt heraus elf Thesen entwickelt:

I. Wenn Erfassung des Innenraumklimas von Kirchen dann Jahresmessungen!

Zur vollständigen Erfassung des Innenraumklimas einer Kirche sind Messungen im gesamten Jahresverlauf unerlässlich, da sich für jede Jahreszeit ganz spezifische Themen und Fragestellungen bezüglich des Innenraumklimas und der potenziellen Gefahren ergeben.

II. Energieeinsparung im Kirchengebäude bedeutet in erster Linie eine Absenkung der Grundtemperatur!

Die größte Energieeinsparung kann durch eine Verringerung der Grundtemperatur erzielt werden. Die Einsparung ist in Kirchen mit einer seltenen Nutzung besonders hoch.

III. Mit einer Grundtemperierung von 8 °C lässt sich 21 % Energie sparen!

Würde die, in den diözesanen Richtlinien vorgegebene, Grundtemperatur von 8 °C in den 25 Prima-Klima-Kirchen eingehalten, ließe sich der Energieverbrauch, ohne bauliche Eingriffe und große Investitionskosten, um 21 % senken.

IV. Die verträgliche Temperaturdifferenz beträgt maximal 5 Kelvin.

Je geringer die Temperaturdifferenz zwischen Grund- und Nutztemperatur umso „stabiler“ ist das Innenraumklima einer Kirche und umso geringer ist die Materialbelastung. Daher sollte die Temperaturdifferenz zwischen Grund- und Nutztemperatur auf 5 Kelvin begrenzt und diese Grenze propagiert werden.

V. Die klimafreundliche Grundtemperatur ist variabel und feuchtegesteuert!

Durch eine weitergehende, von der Nutzungsintensität abhängige, Absenkung der Grundtemperatur könnten zusätzliche Energieeinsparpotenziale erschlossen werden.

Da bei einer niedrigen Grundtemperatur die Gefahr des Tauwasserausfalls und den damit einhergehenden Schäden erheblich ansteigt, ist in diesem Fall eine Überwachung der relativen Feuchte und eine Nachregulierung der Raumtemperatur in kritischen Situationen unabdingbar.

Zudem sollte sichergestellt sein, dass die Absenkttemperatur vor einer Nutzung rechtzeitig und gemäßigt auf die Grundtemperatur angehoben wird.

VI. Die bisherigen Regeln und Empfehlungen zum Beheizen und Lüften von Kirchen sollten überarbeitet und in verständlicher Form aufbereitet werden!

Die bisherigen Empfehlungen sind sehr allgemein gehalten und führen in vielen Fällen zu Verwirrungen.

Unter anderem werden Raum- und Sitzbankstrahlungsheizungen oft falsch betrieben. Die unterschiedlichen Möglichkeiten und Grenzen dieser Systeme werden zu wenig beachtet und genutzt. Die Unterschiede sind dringend herauszuarbeiten und in Form von Handlungsempfehlungen zu verbreiten.

VII. Die zukünftige Nutzung ist der wesentliche Ausgangspunkt für eine sinnvolle, angepasste Heizstrategie und Heiztechnik!

Die wesentlichen Entscheidungskriterien für die Wahl einer bestimmten Heizstrategie und Heiztechnik sollten in Zukunft

- > die zukünftige Nutzungsintensität,
- > die denkmalrechtliche und künstlerische Bedeutung der Ausstattung sowie
- > das bestehende Wärmeverteilungs- und Heizsystem

sein.

Da sich die Nutzungsintensität vieler Kirchen stark verändern wird, bedarf es einer fundierten und breiten Diskussion – vor Ort und mit der Diözesanleitung – über klimaschutz- und gebäudeverträgliche Heizstrategien (Winter- und Sommerkirche, Absenkung der Grundtemperatur)!

VIII. Die Regeln zur Auslegung von Heizungsanlagen müssen überarbeitet werden!

Die Auslegung und Planung der Kirchenheizung sollte zukünftig verstärkt unter Berücksichtigung von energiesparenden Ansätzen bzw. Heizstrategien erfolgen. Hierzu sind eine generelle Überarbeitung der Heizlastberechnung und Steuerungsfunktionen mit variablen Auslegungs- und Raumtemperaturen, realen Luftwechselzahlen und individuellen Aufheizleistungen notwendig.

In einem Feldversuch sollten für bestimmte Kirchengebäude und deren Gebäudemerkmale Luftwechselzahlen ermittelt werden. Die daraus resultierenden Erkenntnisse wären für eine realistische Ermittlung der Heizlast und der Bewertung des Feuchtetransports wichtig.

IX. Bauliche Maßnahmen zur Energieeinsparung sind zum Teil kontraproduktiv und müssen vor Einbau überprüft werden!

Durch Wärmeschutzmaßnahmen wie Vorsatzverglasungen, Windfänge und gedämmte Decken reduziert sich der natürliche Luftwechsel bzw. Luftaustausch in Kirchen erheblich.

Das führt aber auch dazu, dass die im Kirchenraum anfallenden Feuchtelasten, wie beispielsweise aufsteigende Feuchte, nicht oder verzögert abgeführt werden. Der damit verbundene Feuchtestau kann zu Vergrauungen und anderen Schäden führen.

Die Auswirkungen von bauliche Wärmeschutzmaßnahmen auf das Innenraumklima sollten deshalb grundsätzlich untersucht und bewertet werden.

X. Materialbestimmungen vor Schadensbeseitigung!

Bei Schimmelbefall muss der Schimmelpilz vor der Schadensbeseitigung durch eine Laboruntersuchung bestimmt werden, um seine bevorzugten Wachstumsbedingungen bzw. das Gefahrenpotenzial auch für die Kirchenbesucher zu kennen.

Bei aufsteigender Feuchtigkeit im Sockelbereich ist der Wandaufbau und die Salzbelastung vor einer Schadensbeseitigung zu bestimmen, um aufgrund des spezifischen Feuchteverhaltens die notwendigen Maßnahmen zu ergreifen.

XI. Lüftungsventilatoren sollten verstärkt auch zur Abführung von Raumluftfeuchte genutzt werden

Lüftungsventilatoren von Warmluftheizungen werden häufig ausschließlich zur Erwärmung der Kirche im Umluftbetrieb verwendet. Die Möglichkeit bei bestimmten Klimasituationen (Raumlufftfeuchte außen im Verhältnis zur Raumlufftfeuchtigkeit innen) Feuchtigkeit durch einen gezielten Außenluft- und Fortluftbetrieb abzuführen, werden in der Regel nicht genutzt.

7.2. Die Empfehlungen

Für die konkrete Weiterarbeit werden folgende Empfehlungen ausgesprochen:

7.2.1. Neue Temperierungsregeln festlegen und propagieren

Es wird empfohlen, bei regelmäßig genutzten Kirchen verstärkt auf die Einhaltung einer Grundtemperatur von 8 °C und einer maximalen Nutztemperatur von 13 °C hinzuwirken. Wobei die kirchen- und nutzungsspezifischen Besonderheiten einer Kirche grundsätzlich berücksichtigt werden sollten.

Für selten und gelegentlich genutzte Kirchen sollten spezielle Empfehlungen zum richtigen Heizen und Lüften ausgearbeitet werden.

7.2.2. Wissenstransfer und Schulungen

Als Konsequenz aus Prima-Klima-II sollte das aufgebaute Wissen den Menschen zugänglich gemacht werden, die mit Kirchengebäuden zu tun haben.

Empfehlenswerte Instrumente sind:

- Schulungen von Mesnerinnen und Mesnern
- Info-Brief der Energie-Offensive
- Arbeitshilfe zu „Richtig lüften und heizen in Kirchen“ für Nutzer und Betreiber
- Information, Erfahrungsaustausch und Weiterbildung von Bauamtsmitarbeitern

7.2.3. Produkt „Ganzjährige Klimamessungen“ einsetzen

Weil mit der ganzjährigen Klimamessung

- der Wissensschatz bei den Verantwortlichen über die Zusammenhänge im Kirchengebäude steigt,
- die Probleme im Gebäude erkannt und zum Teil erklärt werden,
- hilfreiche Empfehlungen für ein angepasstes Heizen und Lüften ausgesprochen,
- wertvolle Informationen für Sanierungen und Beseitigung von Schäden zur Verfügung gestellt werden und
- in problematischen Kirchen fundierte Grundlagen für weitergehende Untersuchungen geschaffen werden

sollte sie in Zukunft in das kirchliche Planungs- und Umsetzungsverfahren von Bau- und Investitionsmaßnahmen in Kirchen integriert und offensiv eingesetzt werden.

Kriterien zur Durchführung der Klimamessung sollten sein:

- Schäden an Gebäude, Orgel und/oder Ausstattung
- Kurze Renovationszyklen
- Überdurchschnittlich hohe Energiekennwerte
- Wechsel einer Heizungsanlage (Wärmeverteilung) bzw. Wechsel der Heizstrategie
- Hohe Wertigkeit des Gebäudes und/oder der Ausstattung
- Änderung der Nutzungsintensität
- Evaluation von Sanierungsmaßnahmen und Heizungserneuerungen

Die Erzdiözese bietet eine ganze Reihe von verschiedenen Beratungsinstrumenten mit unterschiedlicher Intensität und Zielsetzung an (Energie-Check, Heizvariantenvergleich, Klimamessung, Energie-Gutachten, bauphysikalische

Gutachten, ...). Bei der Auswahl der passenden Beratungsinstrumente für ein Kirchengebäude sollten die Erzbischöflichen Bauämtern eine entscheidende Steuerungsfunktion wahrnehmen.

7.2.4. Klimamessung weiter optimieren

Trotz der Erfahrungen des dreijährigen Projektes ergeben sich weitere Optimierungsmöglichkeiten und –notwendigkeiten, die bis zur endgültigen Markteinführung zu berücksichtigen sind:

- Abstimmung und Klärung der Problem- und Aufgabenstellung VOR der Messung.
- Messgeräte weiter optimieren.
- Weitere Messpunkte an Wandoberflächen zur Erfassung der Tauwasserproblematik integrieren und Module für Sonderfragen anbieten.
- Für Sonderfragen wie die Schimmelbildung in Orgeln entsprechende Untersuchungs- und Auswertungsmethoden entwickeln und anbieten.
- Verknüpfung zum kirchlichen Energie-Gutachten und zum üblichen Planungs- und Umsetzungsverfahren in der Erzdiözese.
- Aufbau Messdatenbank zum Vergleich von unproblematischen und problematischen Kirchen.
- Abgleich der erhobenen Grunddaten mit dem Liegenschaftsprogramm der Erzdiözese.

7.2.5. Produkt über die Diözesangrenzen hinaus verbreiten

An einer Klimaerfassung und –bewertung in Kirchen, die trotz Standardisierung einen großen Erkenntniszuwachs bei günstigen Kosten bietet, dürften auch andere Diözesen und Landeskirchen interessiert sein. Zudem böte das Verfahren der ganzjährigen Klimamessung auch der Denkmalpflege ein kostengünstiges Verfahren zu Berücksichtigung ihrer Belange.

7.2.6. Richtlinien erarbeiten

Zur Verbesserung des Bauverfahrens wäre es sinnvoll die Leitlinien für das Lüften und Heizen von Kirchen zu aktualisieren und festzulegen, wann und welche Sanierungsmaßnahmen unter welchen Bedingungen empfohlen werden sollen.

Dadurch könnte die Klärung von bauphysikalischen und heizungstechnischen Detailfragen verbessert werden, die bisher aufgrund der Komplexität des Themas und fehlender strategischer Vorgaben oftmals nur eingeschränkt möglich sind. Zusätzlich könnten persönliche Erfahrungen und Meinungen bei der Entscheidungsfindung durch abgestimmte Auswahlkriterien sinnvoll ergänzt werden.

Zusätzlich ist es notwendig technische Richtlinien für die Beurteilung des Kirchengebäudes zu entwickeln. Übereinstimmend und verbindlich sollte beispielsweise festgelegt werden:

- Wie und an welcher Stelle die Raumlufttemperatur gemessen werden soll, die für die Bewertung der Grundtemperatur maßgeblich ist.
- Wie sich die Kirchengemeinden verhalten sollen, wenn bei Einhaltung der empfohlenen Grundtemperatur die relative Feuchte dauerhaft 75% übersteigt.
- Welche Temperaturdifferenzen in welchen Kirchen als akzeptabel bzw. unakzeptabel gelten.
- Unter welchen Kriterien eine Nutzerschulung und in welchen Fällen Anlagen zum klimaregulierenden Lüften oder gar Entfeuchtungsgeräte eingesetzt werden sollen.
- Unter welchen Bedingungen welche Temperaturänderungen sinnvoll sind. Dies insbesondere auch deshalb, da bei den Fachleuten zu diesem Thema keine übereinstimmende Meinung besteht.
- Ob die Empfehlung zur Geschwindigkeit der Temperaturänderung sich auf die Raumluft oder die Wandoberfläche bezieht.

- Welche technischen Anlagen und Nutzungsstrategien in Kirchen ein- und umgesetzt werden sollen, bei denen eine erhöhte Gefahr von Tauwasserausfall besteht.

7.2.7. Weitere Recherche und „Forschung“

Die ganzjährige Klimamessung in der vorliegenden Form bietet – auch laut Aussage der Expertenrunde – bislang mit diesem Aufwand nicht mögliche Einsichten. Dennoch sind zur Fundierung der Aussagen und zur Vertiefung weitere Recherchen angezeigt.

Insbesondere folgende Themen wären für weitere Forschungsprojekte lohnenswert:

- Feuchtegezielte variable Grundtemperatur
- Wandtemperaturen als Regelungsparameter
- Werteänderung und Materialbelastung
- Ermittlung von realen Luftwechselraten

Freiburg, 19. Januar 2012

Die Steuerungsgruppe Prima-Klima-II

Redaktion: Martin Schellbach und Benedikt Schalk

Anlagen

- A** Auswertealgorithmen
- B** Datenblätter Messfühler
- C** Kirchenvergleich Region Rheinschiene
- D** Liste der untersuchten Kirchen mit Grunddaten
- E** Kontaktdaten der Projektbeteiligten
- F** Legende zu den Grafiken und Darstellungen.
- G** CD mit den Klima-Gutachten aller 25 Kirchen
- H** Muster-Klima-Bericht am Beispiel der Kirche St. Josef Baden-Baden

Bitte beachten Sie: Die Anlagen B bis D sowie F und G werden erst in der Druckversion des Projektberichts vervollständigt.

- maximale Änderung der rel. Feuchte pro Tag
- Bezug: mittlere relative Feuchte innen
Differenz des größten und kleinsten Wertes eines Tages
Bezug: mittlere relative Feuchte innen

e. Gefahr von Tauwasserausfall bei Raum- und Außenluft

dargestellte Werte

- Temperatur Wandecke $T_{\text{Wand mittel}} - 2 \text{ Kelvin}$
- Taupunkttemperatur Raumluft $T_{\text{tau max (Raumluft)}}$
- Taupunkttemperatur Außenluft $T_{\text{tau max (Aussenluft)}}$

f. Verlauf und Charakteristik der Luftfeuchtigkeit

gemessene Werte

- Temperatur außen
- relative Feuchte außen

Bezugswerte

- mittlere Temperatur innen geglättet
 - mittlere relative Feuchte innen geglättet
- gleitender Durchschnitt über 1500 Datenpunkte (= 10 Tage)
gleitender Durchschnitt über 1500 Datenpunkte

abgeleitete Werte

- Absolute Feuchte innen
 - Absolute Feuchte außen
 - Differenz innen zu außen
 - Differenz innen zu außen geglättet
 - Häufigkeit Differenz innen zu außen
- abs F innen = $610,78 \cdot e^{((17,08 \cdot T_i)/(234,18+T_i))} \cdot r_{Fi} / (0,46 \cdot (273+T_i)) / 100$
abs F aussen = $610,78 \cdot e^{((17,08 \cdot T_a)/(234,18+T_a))} \cdot r_{Fa} / (0,46 \cdot (273+T_a)) / 100$
abs F Diff = abs F innen - abs F aussen
abs F Diff = abs F innen - abs F aussen
gleitender Durchschnitt über 1500 Datenpunkte
Häufigkeit der Differenzwerte im angegebenen Zeitraum

B. Datenblätter Messfühler

C. Kirchenvergleich Region Rheinschiene

D. Liste der untersuchten Kirchen mit Grunddaten

E. Kontaktdaten der Projektbeteiligten

Auftraggeber: **Erzdiözese Freiburg**
Schoferstraße 2, 79098 Freiburg
www.ebfr.de

Auftragnehmer: **econzept Energieplanung GmbH**
Wiesentalstr. 29, 79115 Freiburg
<http://www.econzept.de>

Gi-Electronic GmbH
Weinstrasse 9, 74374 Zaberfeld
www.gi-electronic.com

Gefördert durch: **Innovationsfonds Klima- und Wasserschutz**
der badenova AG & Co. KG
Tullastraße 61, 79108 Freiburg
www.badenova.de

F. Legende zu den Grafiken und Darstellungen

G. CD mit den Klima-Gutachten aller 25 Kirchen

H. Muster-Klima-Bericht am Beispiel der Kirche St. Josef Baden-Baden